

# بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## سند راهبردی و نقشه‌ی راه توسعه‌ی فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق

اعضای محترم کمیته راهبری تدوین سند:

دکتر محمد آراسته

دکتر مصطفی پرنیانی

دکتر شاهرخ فرهنگی

دکتر گئورگ قره‌پتیان

دکتر حمیدرضا کارشناس

مهندس بهرام هوشانفر

دکتر عبدالامیر یاقوتی

دکتر علی یزدیان ورجانی

مدیر پروژه: مهندس احمد اسماعیلی

گروه پژوهشی الکترونیک صنعتی

راهبر: معاونت فناوری

ناشر: پژوهشگاه نیرو

کارفرما: شرکت توانیر

سفارش دهنده: وزارت نیرو

ویرایش اول

۱۳۹۴

اجرای پروژه طرح کلان و راهبردی "تدوین سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری تجهیزات انتقال AC انعطاف پذیر" توسط پژوهشگاه نیرو در اسفند ۱۳۹۲ مصوب گردید. عنوان و حیطة طرح با توجه نظرات و تأکید اعضا محترم کمیته راهبری در شهریور ۱۳۹۳ به طرح کلان "تدوین سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق" تغییر عنوان یافت.

در راستای اجرای طرح تیم پروژه به همراه مشاور مدیریت تکنولوژی طرح متدولوژی تدوین سند توسعه را طراحی نمود که بر این اساس مهمترین فعالیتهای پروژه عبارتند از:

- تدوین مبانی سند توسعه فناوری
- ارزیابی هوشمندی فناوری
- تدوین ارکان جهت‌ساز
- تدوین برنامه اقدامات و سیاست‌ها
- تدوین ره نگاشت و برنامه عملیاتی

## .....فهرست مطالب

فصل اول: ادبیات موضوع ساختار توسعه فناوری.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۲
۲-۱- مرزبندی و شناخت سیستم.....	۲
۱-۲-۱- مرزبندی محتوایی.....	۲
۱-۱-۲-۱- کنش گران.....	۳
۲-۱-۲-۱- نهادها.....	۱۲
۳-۱-۲-۱- فناوری.....	۱۴
۴-۱-۲-۱- شبکه‌ها.....	۱۴
فصل دوم: مرزبندی فنی فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق.....	۱۵
۱-۲- مقدمه.....	۱۷
۲-۲- مرزبندی فنی.....	۱۷
۳-۲- درخت فناوری.....	۱۹
فصل سوم: قوانین و اسناد بالادستی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق.....	۲۱
۱-۳- مقدمه.....	۲۳
۲-۳- سند چشم انداز ۱۴۰۴ جمهوری اسلامی ایران.....	۲۴
۳-۳- قانون برنامه پنجم توسعه کشور.....	۲۴
۴-۳- قانون بودجه سال ۹۳ کل کشور.....	۲۵
۵-۳- سیاست‌های کلی نظام جمهوری اسلامی ایران در مورد "انرژی".....	۲۶

- ۳-۵-۱- سیاست‌های کلی نفت و گاز ..... ۲۶
- ۳-۵-۲- سیاست‌های کلی سایر منابع انرژی ..... ۲۶
- ۳-۶- سیاست‌های کلی علم و فناوری ..... ۲۷
- ۳-۷- سیاست‌های کلی اصلاح الگوی مصرف ..... ۲۸
- ۳-۸- قانون ۷۵ ماده ای اصلاح الگوی مصرف ..... ۲۹
- ۳-۸-۱- فصل سوم: ساختار و تشکیلات ..... ۲۹
- ۳-۸-۲- فصل نهم: تولیدکنندگان و توزیع کنندگان انرژی ..... ۲۹
- ۳-۹- سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی ..... ۳۰
- ۳-۱۰- سند نقشه جامع علمی کشور ..... ۳۰
- ۳-۱۱- قانون هدفمند کردن یارانه‌ها ..... ۳۳
- ۳-۱۲- برنامه راهبردی وزارت نیرو ..... ۳۴
- ۳-۱۲-۱- بخش برق و انرژی ..... ۳۴
- ۳-۱۲-۱-۱- رئوس برنامه‌های بخش برق و انرژی وزارت نیرو ..... ۳۵
- ۳-۱۲-۱-۲- راهبردهای بخش برق و انرژی وزارت نیرو ..... ۳۶
- ۳-۱۲-۲- بخش انرژی‌های تجدیدپذیر ..... ۳۷
- ۳-۱۲-۳- بخش آموزش، پژوهش و فناوری ..... ۳۸
- ۳-۱۲-۴- بخش پشتیبانی فنی و مهندسی ..... ۳۸
- ۳-۱۳- سیاست‌ها و اولویت‌های پژوهش و فناوری ..... ۳۸
- ۳-۱۴- سند راهبردی ملی توسعه فناوری پیل سوختی کشور ..... ۳۹

- ۳-۱۵- سند راهبردی ملی توسعه صنعت برق بادی ایران ..... ۴۰
- ۳-۱۶- سند توسعه ویژه (فرابخشی) "مدیریت انرژی" ..... ۴۰
- ۳-۱۷- برنامه راهبردی وزارت صنعت، معدن، تجارت ..... ۴۱
- ۳-۱۸- برنامه راهبردی فولاد ..... ۴۱
- ۳-۱۹- اساسنامه شرکت های برق و آئین نامه ها ..... ۴۲
- ۳-۱۹-۱- اساسنامه شرکت توانیر ..... ۴۲
- ۳-۱۹-۲- اساسنامه شرکت سهامی انرژی های نو ایران (سانا) ..... ۴۲
- ۳-۱۹-۳- اساسنامه شرکت سهامی سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا) ..... ۴۳
- ۳-۱۹-۴- اساسنامه سازمان انرژی های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی (ساتبا) ..... ۴۳
- ۳-۱۹-۵- اساسنامه شرکت های برق منطقه‌ای ..... ۴۴
- ۳-۱۹-۶- آیین نامه تعیین شرایط و روش خرید و فروش برق در شبکه برق کشور ..... ۴۴
- ۳-۲۰- جمع بندی ..... ۴۵

## فصل چهارم: ساختار نهادی و کنش‌گران فعال در فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه

- برق ..... ۵۱
- ۴-۱- مقدمه ..... ۵۲
- ۴-۲- مجلس ..... ۵۲
- ۴-۳- مجمع تشخیص مصلحت نظام ..... ۵۲
- ۴-۴- شورای عالی علوم، تحقیقات و فناوری (عتف) ..... ۵۳
- ۴-۵- معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری ..... ۵۴

- ۴-۶- دفتر همکاری‌های فناوری و نوآوری ریاست جمهوری..... ۵۵
- ۴-۷- وزارت علوم تحقیقات و فناوری..... ۵۶
- ۴-۸- وزارت صنعت معدن و تجارت..... ۵۷
- ۴-۹- وزارت نیرو..... ۵۸
- ۴-۱۰- سازمان ملی استاندارد ایران..... ۵۹
- ۴-۱۱- سازمان حفاظت محیط زیست..... ۶۰
- ۴-۱۲- سازمان بهره‌وری انرژی ایران..... ۶۱
- ۴-۱۳- مرکز تحقیقات سیاست‌های علمی کشور..... ۶۱
- ۴-۱۴- سازمان گسترش و نوسازی صنایع کشور..... ۶۲
- ۴-۱۵- پژوهشگاه نیرو..... ۶۳
- ۴-۱۶- معاونت برق و انرژی (وزارت نیرو)..... ۶۵
- ۴-۱۷- دفتر استانداردهای فنی، مهندسی، اجتماعی و زیست‌محیطی برق و انرژی (معاونت برق و انرژی وزارت نیرو)..... ۶۷
- ۴-۱۸- معاونت برنامه‌ریزی و امور اقتصادی وزارت نیرو..... ۶۸
- ۴-۱۹- معاونت امور تحقیقات و منابع انسانی..... ۷۰
- ۴-۲۰- دفتر آموزش، تحقیقات و فناوری (معاونت امور تحقیقات و منابع انسانی)..... ۷۱
- ۴-۲۱- مرکز توسعه فناوری صنعت برق و انرژی (پژوهشگاه نیرو)..... ۷۱
- ۴-۲۲- هیئت تنظیم بازار برق..... ۷۲
- ۴-۲۳- شرکت مدیریت شبکه برق ایران..... ۷۴

- ۲۴-۴- سازمان انرژیهای نو..... ۷۴
- ۲۵-۴- توانیر..... ۷۵
- ۲۶-۴- دفتر فنی و نظارت انتقال(توانیر)..... ۷۷
- ۲۷-۴- معاونت هماهنگی توزیع (توانیر)..... ۸۱
- ۲۸-۴- دفتر امور تحقیقات برق (توانیر)..... ۸۲
- ۲۹-۴- صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور..... ۸۴
- ۳۰-۴- صندوق مالی توسعه تکنولوژی ایران..... ۸۵
- ۳۱-۴- صندوق حمایت از تحقیقات و توسعه صنایع الکترونیک..... ۸۵
- ۳۲-۴- پارکهای علم وفناوری..... ۸۶
- ۳۳-۴- صندوق غیردولتی پژوهش و فناوری صنعت برق..... ۸۷
- ۳۴-۴- ارائه دهندگان خدمات آموزشی و پژوهشی..... ۸۸
- ۳۵-۴- ارائه دهندگان خدمات صنعتی..... ۸۹
- ۳۶-۴- ترسیم نگاشت نهادی..... ۸۹
- ۳۷-۴- جمع بندی..... ۹۳
- نتیجه گیری..... ۹۳

۵- مراجع..... ۹۵

## فهرست جداول

جدول ۱-۱: ابعاد دسته بندی قواعد ..... ۱۴

جدول ۱-۳: قوانین و مقررات موجود در حوزه تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق.. ۲۳

جدول ۲-۳: مستندات مرتبط با لزوم توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق

۴۵.....

جدول ۱-۴: ماتریس نهاد کارکرد صنعت تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق..... ۸۹



## فهرست اشکال

شکل (۱-۲): درخت فناوری ..... ۲۱

شکل (۱-۴): روابط بین نهادها در صنعت تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق ..... ۹۲

## فصل اول: ادبیات موضوع ساختار توسعه فناوری

## ۱-۱- مقدمه

ساختار صنعت را از روش‌ها و الگوهای متفاوتی می‌توان بررسی نمود. در این گزارش با استفاده از مفهوم مرزبندی به شناسایی سیستم مورد مطالعه پرداخته و اجزای نظام توسعه فناوری معرفی می‌گردد.

## ۱-۲- مرزبندی و شناخت سیستم

سیستم، یک مفهوم نظری قابل پیاده‌سازی در زمینه‌های کاربردی مختلف است. بر این اساس، تعریف سیستم در هر زمینه کاربردی ضروری است. یکی از اصلی‌ترین راه‌های تعریف یک سیستم، مرزبندی آن است. مرزبندی محیط توسعه فناوری باعث می‌گردد تا سیستم از محیط اطراف خود جدا شده و تحلیل از قابلیت کنترل بالاتری در ارائه نتایج برخوردار باشد [1]. اهمیت مرزبندی سیستم از این جهت است که نتیجه آن بر خروجی مراحل بعدی اثرگذار بوده و دشواری آن نیز از سبب این است که روش واحدی برای آن وجود ندارد. در این مطالعه، از دو بعد توصیفی و محتوایی به مرزبندی سیستم تحت مطالعه پرداخته می‌شود. مرزبندی توصیفی با مشخص نمودن واحد تحلیل، عمق و گستردگی سیستم تحت مطالعه را معین می‌کند. در طرف مقابل، مرزبندی محتوایی اجزای درون سیستم مانند کنش‌گران، نهادها، فناوری‌ها، و شبکه‌ها را مورد شناسایی قرار گرفته و تا از این طریق حوزه عملکرد سیستم معین گردد [2].

### ۱-۲-۱- مرزبندی محتوایی

مرزبندی محتوایی برای جدایی سیستم از محیط و تشخیص عوامل داخلی اثرگذار بر توسعه فناوری از عوامل خارجی آن ضروری است [3]. هر سیستم از مؤلفه‌ها و روابط مختلفی تشکیل شده است. مرزبندی محتوایی با این فرض که تعاملات میان اجزای سیستم قوی‌تر از تعاملات موجود با محیط است، به شناسایی اجزای ساختاری درون یک سیستم می‌پردازد. با داشتن نگاهی سیستمی، نظام توسعه فناوری از چهار جزء کنش‌گران<sup>۱</sup>، نهادها<sup>۲</sup>، شبکه‌ها<sup>۳</sup> و فناوری‌ها<sup>۴</sup> تشکیل شده است.

<sup>1</sup>-Actors

<sup>2</sup>-Institutions

<sup>3</sup>-Networks

<sup>4</sup>-Technologies

### ۱-۱-۲-۱- کنش گران

کنش گران یکی از سه مؤلفه‌ی ساختاری در توسعه فناوری می‌باشد که با انجام فعالیت، بر فرآیند خلق، انتشار و بهره‌برداری از نوآوری اثر می‌گذارد. در توسعه فناوری، کنش گر را می‌توان مترادف با ذینفع در برنامه‌ریزی راهبرد سازمانی قلمداد نمود. بر این اساس، کنش گر، عبارت است از فرد، گروه و یا سازمانی که می‌تواند بر ورودی‌ها (منابع) و یا برون‌دادهای یک سیستم تأثیر بگذارد و یا از خروجی‌ها و برون‌دادهای آن (خدمات، محصولات، پیامدها و ...) تأثیر پذیرد. کنش گران یک سیستم به دو دسته کلی کنش گران داخلی و کنش گران خارجی تقسیم می‌شوند.

هر کنش گر موجود در نظام توسعه فناوری بر اساس راهبرد خود، در چارچوب نهادهای پیرامون، و با صرف منابع لازم، به انجام فعالیت‌های نوآورانه می‌پردازد [4]. با به‌انجام رسیدن فعالیت‌ها، کارکردهای مختلفی برآورده می‌گردد. مجموع کارکردهای برآورده شده توسط فعالیت‌های کنش گران مختلف، عملکرد نهایی سیستم را تعیین خواهد نمود. بنابراین با شناسایی و تحلیل توسعه فناوری از زاویه کنش گران می‌توان در درجه اول سهم بالقوه و بالفعلی که هر کنش گر در برآوردن کارکردها و تامین عملکرد سیستم مشخص نمود و در درجه دوم نیز آلترناتیوهای ساختاری که منجر به ایجاد عملکرد بالا در سیستم می‌شود را شناسایی کرد.

برای شناسایی کنش گران، روش‌های مختلفی مانند استفاده از جداول داده-ستاده و آمارهای عضویت موجود در اتحادیه‌ها و صنایع، استفاده از پتنت‌های ثبت شده و شناخت بنگاه‌های مرتبط با آن‌ها و استفاده از قاعده گلوله برف<sup>۱</sup> (شناخت کنش گران پیرامون یک واحد تحلیل از روی ارتباطات با سایر کنش گران) توصیه شده است [5].

در این گزارش کنش گران به چهار دسته اصلی تقسیم می‌شوند.

### الف) سیاست گذار<sup>۲</sup>

یک سیاست‌گذار نهادی است که برنامه‌هایی که باید توسط دولت، کسب و کارها و غیره دنبال شود را تعیین می‌کند.

<sup>۱</sup>-Snowball method

<sup>۲</sup>- policy-maker

سیاست‌گذاری به صورت فرآیندی تعریف شده است که به واسطه آن دولت به منظور ارائه پیامد (تغییرات مطلوب در دنیای واقعی)، چشم‌انداز سیاسی خود را به برنامه و عمل تبدیل می‌کند. لذا سیاست‌گذاری، کارکرد اصلی هر دولت می‌باشد. به طور کل، سیاست می‌تواند شکل‌های مختلفی به خود بگیرد مانند سیاست‌های غیر مداخله‌ای، تنظیم، تشویق تغییرات داوطلبانه (مانند کمک‌های مالی) و ارائه خدمات عمومی. لذا به نظر می‌رسد بررسی ویژگی‌های فرآیند سیاست‌گذاری مناسب، مفید واقع شود. در ادامه، ده ویژگی برای فرآیند مذکور آورده شده است:

۱. نگاه رو به جلو<sup>۱</sup>: واضح است که فرآیند سیاست‌گذاری، پیامدهایی که سیاست برای دستیابی به آن طراحی شده است را تعریف می‌کند. لذا به طور معمول، در این فرآیند باید نگاهی بلند مدت (حداقل پنج ساله) بر اساس روندهای آماری و پیش‌بینی‌های اجتماعی، سیاسی، اقتصادی و فرهنگی وجود داشته باشد. نکات زیر رویکرد نگاه رو به جلو را واضح‌تر می‌سازد:

- بیان پیامدهای مطلوب در مراحل اولیه
- طراحی سناریو یا پیشامدهای احتمالی
- لحاظ کردن استراتژی بلند مدت اجرایی
- استفاده از برنامه آینده‌نگاری<sup>۲</sup> و یا دیگر روش‌های پیش‌بینی

۲. نگاه بیرون‌گرا<sup>۳</sup>: فرآیند سیاست‌گذاری تاثیر عوامل را در سطوح منطقه‌ای، ملی و بین‌المللی در نظر می‌گیرد و از تجارب دیگر مناطق یا کشورها استفاده می‌کند. نکات زیر رویکرد بیرون‌گرایی را نشان می‌دهد:

- استفاده از مکانیسم‌های OECD، EU و غیره
- استفاده از تجارب دیگر کشورها در برخورد با مسئله‌ای خاص
- تشخیص نوسانات در کشور

<sup>۱</sup>- looking forward

<sup>۲</sup>- foresight program

<sup>۳</sup>- outward looking

۳. نوآور، منعطف و خلاق: فرآیند سیاست‌گذاری در برخورد با مسائل منعطف می‌باشد و ایده‌های نوین را تشویق می‌کند. ریسک‌ها شناسایی می‌شوند و به طور فعال مدیریت می‌شوند. نکات زیر یک رویکرد خلاق، نوآور و منعطف را نشان می‌دهد:

- استفاده از جایگزین‌ها برای روش‌های معمولی کاری (مانند جلسات طوفان فکری)
- تعریف موفقیت بر حسب پیامدهای شناسایی شده
- ارزشیابی و مدیریت هوشیارانه ریسک
- حرکت به سمت ایجاد ساختارهای مدیریتی که ایده‌های جدید و کارهای گروهی را ارتقا می‌دهند

۴. مبتنی بر شواهد<sup>۱</sup>: توصیه‌ها و تصمیمات سیاست‌گذاران بر اساس بهترین شواهد موجود و حوزه وسیعی از منابع می‌باشد که تمامی ذینفعان کلیدی در مراحل اولیه دخالت داده می‌شوند. نکات کلیدی رویکرد مبتنی بر شواهد در سیاست‌گذاری شامل:

- مرور تحقیقات موجود
- انجام تحقیقات جدید
- مشاوره با متخصصین مربوطه و/ یا استفاده از مشاورین داخلی و خارجی
- لحاظ کردن دامنه وسیعی از گزینه‌های ارزیابی شده و مناسب

۵. فراگیر<sup>۲</sup>: فرآیند سیاست‌گذاری، میزان اثرگذاری سیاست و سهم آن در برآورده‌سازی نیازهای مردم به طور مستقیم و یا غیر مستقیم را در نظر می‌گیرد. یک رویکرد فراگیر، ممکن است شامل جنبه‌های زیر باشد:

- رایزنی با مسئولین پیاده ساز / ارائه‌کننده خدمت
- رایزنی با موجودیت‌های تأثیرپذیر از سیاست
- انجام ارزشیابی اثر
- گرفتن بازخورد از دریافت‌کنندگان یا ارائه‌دهندگان

<sup>۱</sup>- evidence-based

<sup>۲</sup>- inclusive

۶ پیوسته و کل نگر<sup>۱</sup>: فرآیند، نگاهی جامع دارد و فراتر از مرزهای سازمانی حرکت می‌کند. از اینرو، اهداف استراتژیک اداری را در نظر می‌گیرد. در کل می‌توان بیان کرد که هدف عمده، ایجاد پایه‌ای اخلاقی و قانونی برای سیاست می‌باشد و ملاحظات ساختارهای سازمانی و مدیریت صحیح در نظر گرفته می‌شود. نکات زیر، رویکرد کل نگر و پیوسته را نشان می‌دهند:

- تعریف اهداف افقی<sup>۲</sup> در مراحل اولیه

- تعریف واضح از تنظیمات کاری مشترک با دیگر بخش‌ها

- شناسایی دقیق موانع این رویکرد به انضمام استراتژی‌های غلبه بر آن

۷ یادگیری از تجربیات<sup>۳</sup>: به معنای کسب تجربه از روش‌هایی است که کارآمد شناخته شده‌اند و یا عدم کارایی‌شان به اثبات رسیده است. رویکرد یادگیری برای بهبود سیاست شامل جنبه‌های زیر می‌باشد:

- جمع‌آوری اطلاعات درباره نمونه‌های عملی منتشر شده

- تمیز دادن میان شکست سیاست برای اثرگذاری بر مشکلات و شکست عملیاتی / مدیریتی پیاده‌سازی سیاست

۸ ارتباطات: فرآیند سیاست‌گذاری، چگونگی ارتباط سیاست با مردم را در نظر می‌گیرد. موارد زیر در ایجاد ارتباط مؤثر سیاست سهم قابل توجهی دارند:

- آماده‌سازی و پیاده‌سازی استراتژی ارتباطات / ارائه

- ارائه خدمات اطلاعاتی اجرایی از مراحل اولیه

۹ ارزیابی: ارزیابی سیستماتیک اثربخشی سیاست در فرآیند سیاست‌گذاری وجود دارد. رویکردهای سیاست‌گذاری که تعهد به ارزیابی را نشان می‌دهند، شامل:

- تعریفی واضح از هدف ارزیابی مجموعه

- تعریف معیارهای موفقیت

- تعیین ابزارهای ارزیابی از مراحل اولیه

<sup>۱</sup>- joined-up

<sup>۲</sup>- cross-cutting objectives

<sup>۳</sup>- learn lessons

▪ استفاده از آزمایشات<sup>۱</sup> به منظور اثرگذاری بر پیامد نهایی

۱۰. بازنگری<sup>۲</sup>: سیاست‌های موجود باید به طور مستمر بازنگری شوند چرا که سیاست‌های طراحی شده برای حل مشکلات، باید کارایی خود را در طول زمان حفظ کنند. جنبه‌های رویکرد بازنگری برای سیاست‌گذاری شامل:

- برنامه بازنگری مستمر با شاخص‌های عملکرد متنوع و معنادار
- مکانیسم‌هایی برای فراهم کردن بازخورد از سیاست‌های تنظیم شده
- دور انداختن سیاست‌های شکست خورده!

(ب) تنظیم‌کننده<sup>۳</sup>

تنظیم مجموعه گوناگونی از ابزارهاست که به واسطه آن دولت نیازمندی‌های شرکت‌ها و مردم را تنظیم می‌کند. کارکردهای تنظیم‌کننده بنا به دلایل گوناگونی به وجود آمده‌اند از جمله:

- تعیین حقوق و مسئولیت‌های هر یک از موجودیت‌های جامعه به منظور تحقق اهداف توسعه پایدار
  - تنظیم استانداردهای صنعتی
  - جمع‌آوری مالیات‌ها و دیگر درآمدها و ...
- به منظور درک بهتر کارکردهای تنظیم‌کننده، بررسی انواع روش‌های تنظیمی مفید خواهد بود.

انواع تنظیمات

- فرمان و کنترل<sup>۴</sup>: تنظیم دستور و کنترل نوعاً وضع / تحمیل استانداردهای حمایت شده توسط مصوبات قانونی است، هرگاه استانداردها سازگار نباشند. بنابراین، قانون به عنوان منع یا اجبار فعالیت‌های معینی به کار می‌رود. استانداردها می‌تواند از طریق قانون‌گذاری یا تنظیم‌کنندگانی که به واسطه فرآیند تنظیم برای تعریف قانون مشروعیت دارند، تنظیم شود.

<sup>1</sup>- pilots

<sup>2</sup>- review

<sup>3</sup>-regulator

<sup>4</sup>-command and control



نقاط قوت چنین رویکرد مستقیمی در تنظیم این است که اغلب به طور سریع پیاده‌سازی می‌شوند، محدودیت‌های تعریف شده به طور واضح تنظیم می‌شود، و نشان می‌دهد که تنظیم‌کننده یا دولت قاطعانه عمل می‌کند. از سویی دیگر، این رویکرد می‌تواند برای فعالیت‌های تنظیمی پیچیده باشد. مشکلاتی که ممکن است به واسطه این رویکرد رخ بدهد، در دسته‌های زیر قرار می‌گیرند:

- تسخیر شدن در فرآیند تنظیم<sup>۱</sup>: رویکرد مذکور نیازمند این است که تنظیم‌کننده و تنظیم‌شونده<sup>۲</sup>، به ویژه برای تضمین در فراهم آوردن اطلاعات مورد نیاز تنظیم‌کننده، با یکدیگر مشارکت داشته باشند. این ارتباط نزدیک ممکن است به تسخیر شدن تنظیم‌کننده توسط تنظیم‌شونده منتهی شود و در نتیجه آن قوانینی که به نفع یک مجموعه خاص است در نظر گرفته شود نه قوانینی که رفاه عمومی را در بر گیرد.
- افراط در قانون<sup>۳</sup>: این رویکرد اغلب به صورت پیچیده، غیر منعطف و مداخله‌گر به تصویر کشیده شده است. تدبیر در قوانین دقیق، به ویژه زمانی که یک اقتصاد در حال تغییر است، می‌تواند مشکل باشد. به علاوه، درگیری مستقیم سیاست‌گذاران می‌تواند به معنی ایجاد قوانینی در پاسخ به موقعیت‌ها یا زمینه‌های خاص باشد که اغلب در مقیاس‌های زمانی کوتاه در نظر گرفته می‌شود. لذا می‌توان بیان نمود که رویکرد مذکور همواره مؤثر و جلوتر از زمان نمی‌باشد.
- تنظیم کردن استانداردها: گاهی اوقات تنظیم یک استاندارد مناسب، به عنوان مثال تعیین یک سطح معین از آلودگی یا کارایی واقعی اهداف برای سیستم‌های توزیع و انتقال، پیچیده است.
- تنفیذ: پیچیدگی قوانین و این امکان که طراحی انجام شده ممکن است تمامی فعالیت‌ها را در بر نگیرد، تنفیذ را برای تنظیم‌کننده مشکل می‌کند.

● خود-تنظیمی<sup>۴</sup>: این رویکرد می‌تواند به عنوان نوعی از نسخه خود انجामी<sup>۵</sup> رویکرد دستور و کنترل تلقی شود. در این مورد، اغلب انجمن‌های تجاری یا کسب و کار تشکیل شده که قوانین عملکرد را ایجاد، کنترل و اجرا می‌کنند. به

<sup>1</sup> -regulatory capture

<sup>2</sup> -regulatee

<sup>3</sup> -legalism

<sup>4</sup> -self-regulation

<sup>5</sup> -do-it-yourself

عنوان یک قانون، خود تنظیمی اغلب به عنوان یک روش کسب و کار دیده می‌شود که اقدام انحصاری به منظور جلوگیری از مداخله دولت انجام می‌دهد. مزایای این رویکرد شامل سطح بالای تعهد کسب و کارها و ماهیت جامع قوانین تنظیم شده می‌باشد. به علاوه، این رویکرد منعطف‌تر از رویکرد دستور و کنترل بوده چرا که به قانونگذاری نیازی ندارد. از سویی دیگر، خود تنظیمی می‌تواند به صورت یک رویکرد غیردموکراتیک، محدود به بررسی دقیق بیرونی و در معرض سوءاستفاده توسط کسانیکه با اهداف مختلف قوانین را تنظیم می‌کنند، دیده شود. در کمترین سطح، خود تنظیمی همواره در معرض چالش‌های منتج شده از علاقه‌های بیرونی کسانیکه فکر می‌کنند استانداردها و قوانین به سمت کاهش تأثیر فعالیت‌های غیر مطلوب تنظیم نشده است، قرار دارد.

- تنظیم مبتنی بر تشویق<sup>۱</sup>: یک تشویق، سیاست، قانون، مکانیسم قیمت، یا رویه‌ایست که به دنبال تعدیل رفتار افراد یا شرکت‌ها به واسطه تغییر در هزینه‌ها یا سودهای حاشیه‌ای مرتبط با تصمیم یا فعالیت خاص می‌باشد. از یک سو، می‌توان گفت که تمامی تنظیمات بر مبنای تشویق است چرا که تنظیم از طریق مفهوم پایه جریمه برای رفتارهای "بد" و پاداش برای رفتارهای "خوب" عمل می‌کند. تنظیم مبتنی بر تشویق سعی دارد به منظور کاهش هزینه‌ها و بهبود خدمات، برنامه سودمند با سودهای زیاد را پاداش دهد. هدف عمده این است که تنظیم‌شونده فعالیت‌های غیر مطلوب خود را از طریق تحمیل / وضع مالیات و کمک‌های مالی محدود یا متوقف کند. برای به کارگیری این رویکرد، گام‌های اصلی شامل انتخاب واحدهای اندازه‌گیری، تعیین خط مبنا، انتخاب اهداف برای بهبود و / یا نگهداری و سپس اجرای تشویق‌ها و جریمه‌ها می‌باشد. یکی از انواع تنظیمات مبتنی بر تشویق، تنظیم مبتنی بر عملکرد<sup>۲</sup> (PBR) است که تشویق‌ها ملزم به بهبود در عملکرد مطلوب، کاهش قیمت و بهبود در کیفیت خدمات می‌باشد. به علاوه، PBR بیشتر به استانداردهای عملکرد خارجی متکی است و کمتر به فعالیت‌های خاص شرکت حساس است. مزایای PBR این است که به بهبود در بهره‌برداری شرکت‌ها، کاهش هزینه‌های نگهداری و عملیات و بهبود در پایایی سیستم کمک می‌کند. طرح تنبیه و تشویق به صورت مکانیکی عمل می‌کند. بنابراین کاهش در حوزه صلاحیت تنظیمی، در مقابل امکان تسخیر در فرآیند تنظیم را کاهش می‌دهد. به علاوه این رویکرد، انعطاف‌پذیری در تصمیم‌گیری شرکت، که آیا از قانون تبعیت کند یا جریمه بپردازد، را فراهم می‌کند. اگرچه به عنوان یکی از معایب

<sup>۱</sup> -incentive-based regulation

<sup>۲</sup> -Performance-based regulation

این روش، می‌توان به ایجاد قوانین بسیار پیچیده و غیر منعطف که واقعیت‌های بازار در آن لحاظ نشده است، اشاره کرد. از مفروضات اصلی این رویکرد، عقلانیت اقتصادی است که لزوماً در همه موارد یافت نمی‌شود. همچنین، گاهی اوقات پیش‌بینی تأثیر این نوع رویکرد مشکل است. به عنوان مثال، رفتار "بد"، مانند آلودگی، می‌تواند پاداش بگیرد اگر که قوانین به طور صحیح تنظیم نشده باشند.

- مکانیسم‌های مبتنی بر بازار<sup>۱</sup>: حوزه وسیعی از مکانیسم‌های مبتنی بر بازار وجود دارند که می‌توانند برای تنظیم فعالیت‌ها مورد استفاده قرار بگیرد. تنظیمات مبتنی بر بازار می‌تواند اثربخشی هزینه‌ای را ثابت کند و مداخلات تنظیمی در عملیات روزانه شرکت‌ها را کمینه کند. انواع مکانیسم‌های معمول مبتنی بر بازار در زیر بررسی می‌شوند.
  - قوانین رقابتی<sup>۲</sup>: قوانینی هستند که برای کنترل رفتار شرکت‌ها ایجاد می‌شوند تا تضمین کند بازار، خدمات را با محدود کردن فعالیت‌های غیر مطلوب مانند قیمت‌گذاری تهاجمی، کمک مالی<sup>۳</sup>، تحویل می‌دهد. قانون رقابتی می‌تواند به تنظیم از طریق دستور و کنترل ترجیح داده شود چرا که کمتر در امور شرکت‌ها مداخله می‌کند، برای سرمایه‌گذاری عمومی ارزانتر است.

- تنظیم به واسطه قرارداد<sup>۴</sup>: دولت می‌تواند از قدرت خرید خود برای تعیین شرایط قراردادها با کسب و کارهای خارجی استفاده کند. شرایط قراردادی برای هدایت اهداف اجتماعی مطلوب، مانند نسبت معینی از انرژی تجدیدپذیر در تولید کالاها، می‌تواند استفاده شود. این رویکرد، گاهی به عنوان راه حل کوتاه‌مدت، در نظر گرفته می‌شود و زمانی ارزشمند است که هدف افزایش سریع استواری فرآیند تنظیم و در زمان کوتاه است. اگرچه ترجیحاً باید تقویت شود و در نهایت با شاخص‌های تنظیمی پایدارتری جایگزین شود. افزایش تنظیم به واسطه قرارداد، نباید به عنوان یک جایگزین برای عامل‌های تنظیمی موجود لحاظ شود، بلکه باید به عنوان یک روش متمم با بهبود در اثربخشی و اعتبار تنظیم‌کننده در نظر گرفته شود. تحت رژیم تنظیم به واسطه قرارداد، یک تنظیم‌کننده به طور بالقوه باید در مذاکرات مجدد قرارداد درگیر شود و از این رو، نقش

<sup>1</sup> - market-based regulation

<sup>2</sup> -competitive laws

<sup>3</sup> -cross-subsidization

<sup>4</sup> -regulation by contract

تنظیم‌کننده به طور فزاینده‌ای یک کارگزار امین یا یک بازیگر بی طرف می‌شود که بر روی ایجاد راه حل‌ها و ایجاد اجماع میان تأمین‌کنندگان خدمات، سرمایه‌گذاران و دولت متمرکز می‌شود.

○ مجوزهای قابل فروش<sup>۱</sup>: این رویکرد در محدود کردن انتشار دی‌اکسیدکربن بسیار مهم است. سطح معینی از انتشار قابل قبول توسط دولت تعیین شده، و به صاحبان بنگاه‌های اقتصادی فوق‌العاده‌هایی<sup>۲</sup> تا حد مجاز واگذار می‌شود. در مقابل صاحبان بنگاه‌های اقتصادی می‌توانند سطح انتشار را از حد تخصیص داده شده پایین‌تر قرار دهند و فوق‌العاده‌های اضافی را مبادله کنند و یا حاضر به پرداخت جریمه شوند. از لحاظ سیاسی، این رویکرد یک مکانیسم جذاب است چرا که شرکت‌ها را در تصمیم‌گیری آزاد می‌گذارد. اگرچه، موفقیت این طرح به حدودی که دولت تعیین می‌کند بستگی دارد.

○ تنظیم بر اساس افشاجری<sup>۳</sup>: این رویکرد نیازمند این است که تولیدکنندگان، منابع یا گنجایش محصولاتشان را بیان می‌کنند. به علاوه، این مکانیسم به مشتریان اجازه می‌دهد تا منبع مقدم را انتخاب کنند. اگرچه، در این روش فرض بر این است که مشتریان برای رسیدن به هدف مطلوب، می‌توانند انتخاب صحیح را انجام بدهند.

### ج) تسهیل‌کننده

سازمان‌های محلی یا بین‌المللی هستند که معمولاً توسط دولت سرمایه‌گذاری می‌شوند و هدف آن توسعه و بهبود بازار خدمات می‌باشد. یک تسهیل‌کننده، تأمین‌کنندگان خدمات را از طریق ایجاد محصولات خدماتی جدید، ارتقاء تجارب مفید و ایجاد ظرفیت حمایت می‌کند. به علاوه، تسهیل‌کننده می‌تواند بر طرف تقاضا از طریق آموزش صنایع کوچک درباره مزایای خدمات یا فراهم کردن محرک‌هایی برای امتحان آن‌ها نیز متمرکز شود. کارکردهای دیگر یک تسهیل‌کننده شامل ارزیابی خارجی تأثیر تأمین‌کنندگان خدمات، تضمین خدمات و حمایت برای محیط سیاسی بهتر می‌باشد. عمل تسهیل، کارکردی است که به طور معمول توسط سازمان‌های توسعه‌گرا انجام شده و می‌تواند شامل سازمان‌های غیر دولتی، انجمن‌های صنعتی و کارفرمایان و عامل‌های دولتی باشد.

<sup>1</sup> -tradable permits

<sup>2</sup> -allowance

<sup>3</sup> -disclosure regulation

در این راستا، ذکر نکته‌ای لازم به نظر می‌رسد که تفکیک نقش‌های تسهیل‌کنندگان و ارائه‌کنندگان برای خدمات توسعه کسب و کار<sup>۱</sup> ضروری است. در بسیاری از برنامه‌های توسعه‌ای، یک سازمان نقش تأمین‌کننده (ارائه مستقیم خدمات به بنگاه‌های اقتصادی) و نقش تسهیل‌کننده (تشویق دیگر شرکت‌ها برای عرضه خدمات به بنگاه‌های اقتصادی) را توأمآیفا می‌کند. این مسئله اغلب تناقضی برای تأمین‌کنندگان رقابتی به وجود می‌آورد، چرا که تسهیل‌کنندگان معمولاً اهداف توسعه‌ای داشته و تأمین‌کنندگان اهداف تجاری و لذا ترکیب نقش‌ها ممکن است به برنامه‌های ناکارآمد و استفاده نامناسب از سرمایه منجر شود. به علاوه، چنانچه تسهیل‌کنندگان به صورت دولتی سرمایه‌گذاری شده باشند، هنگامی که بازار توسعه پیدا می‌کند و تأمین‌کنندگان و دیگر بازیگران دائمی بازار بر کارکردهای خود مسلط شدند، باید از صحنه بازیگران بازار حذف شود. تنها حالت استثنایی زمانی است که تسهیل‌کننده فعالیت‌های خود را از طریق فروش خدمات به تأمین‌کنندگان از نظر مالی تأمین کند و در نتیجه به یک بازیگر دائمی و پایدار در بازار تبدیل شود.

(د) ارائه دهنده کالا و خدمات

#### ➤ ارائه‌کننده خدمات آموزشی و پژوهشی

تأمین‌کننده خدمات آموزشی و پژوهشی شامل دانشگاه‌ها، پژوهشگاه‌ها و مؤسساتی هستند که در زمینه آموزش و پژوهش در حوزه فناوری‌های تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق فعالیت می‌کنند.

#### ➤ ارائه‌کننده خدمات صنعتی

شامل شرکت‌هایی می‌شود که در زمینه طراحی و ساخت تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق فعالیت می‌کنند این شرکت‌ها ممکن است سازنده تمام قطعات نبوده و ترکیبی از عملیات طراحی، ساخت و مونتاژ تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه قدرت را انجام دهند و یا ارائه‌کننده محصول یا خدمتی به سازندگان این تجهیزات باشند.

### ۱-۲-۱-۲- نهادهای

نهادهای قواعد بازی هستند. نهادهای توسعه فناوری، مجموعه‌ی قوانین و مقررات، قواعد، نرم‌ها و استانداردهایی می‌باشد که یا به‌شکل بازدارنده و یا به‌صورت تحریک‌کننده، به رفتارهای اجتماعی-اقتصادی-صنعتی شکل می‌دهد [6]. تفاوت بین نهادهای با

<sup>1</sup> - business development services

کنش‌گران در این است که کنش‌گران به اجرا و دنبال کردن فعالیت‌ها می‌پردازند، درحالی که قواعد تنها تعاملات بین آن‌ها را تعریف کرده و چارچوبی برای انجام فعالیت‌ها ایجاد می‌نمایند. بدین وسیله نهادها موجب کاسته شدن از عدم تعیین موجود در مسیر رشد فناوری شده و نوعی پایداری در مجموعه حاکم میکند. نهادها را می‌توان به دو دسته کلی رسمی و غیررسمی تقسیم‌بندی نمود. نهادهای رسمی از سوی سازمان‌ها صادر شده و دارای ضمانت اجرایی از نوع قانون می‌باشند. در طرف مقابل، نهادهای غیررسمی در جریان طبیعی تعاملات اجتماعی باب شده و دارای ضمانت اجرایی از نوع تعهد اجتماعی هستند [7]. از بعد نوع نیز نهادها به سه دسته‌ی تنظیمی<sup>۱</sup>، هنجاری<sup>۲</sup>، و شناختی<sup>۳</sup> تقسیم می‌شوند. نهادهای تنظیمی مجموعه قواعد رسمی هستند که مجاز بودن یا مجاز نبودن انجام فعالیت‌ها را از طریق داشتن ضمانت اجرایی قانونی مشخص می‌نماید. نهادهای هنجاری قواعدی غیررسمی هستند که به تعیین درست و یا غلط بودن فعالیت‌ها از طریق ارزش‌های قابل قبول در جامعه می‌پردازد. در نهایت، نهادهای شناختی نیز قواعدی غیررسمی هستند که با شکل‌گیری در محدوده‌ی ذهنی هر فرد، بر مجموعه رفتارها و تصمیم‌گیری‌های فرد اثرگذار می‌شود. در کنار این دو بعد، نهادها را می‌توان از ابعاد بخش، مرز جغرافیایی، و سطح وابستگی به فناوری نیز تقسیم‌بندی نمود [8].

با تکیه بر ابعاد اشاره شده، می‌توان چارچوبی ساختاری برای اطمینان از پوشش همه‌جانبه فرایند تحلیل کرد که در جدول (۱-۱) ارائه شده است. شناخت هر نهاد درگیر در توسعه فناوری در هر یک از این ابعاد، تصویر روشنی از این جزء ساختاری ارائه دهد.

<sup>1</sup>Regulative

<sup>2</sup>Normative

<sup>3</sup>Cultural cognitive

## جدول ۱-۱: ابعاد دسته‌بندی قواعد

توضیحات	بعد
در قالب سه صورت قواعد تنظیمی، قواعد هنجاری، و قواعد شناختی	نوع <sup>۱</sup>
بیانگر دامنه اثر نهاد بوده و شامل نظام‌های مالی-اعتباری، آموزشی-تحقیقاتی، تولیدی-کسب‌وکار	بخش <sup>۲</sup>
نهادهای منطقه‌ای، ملی و بین‌المللی	مرز <sup>۳</sup>
بیانگر میزان استقلال نهاد از فناوری و شامل قواعد داخلی <sup>۵</sup> و قواعد محیطی <sup>۶</sup>	وابستگی <sup>۴</sup>

## ۱-۲-۱-۳- فناوری

شناخت فناوری منجر به تعیین مرزهای دانشی شده و فناوری‌های مرتبط با فناوری موردنظر را مشخص می‌نماید. در ادبیات راه‌های مختلفی مانند تعیین نزدیکی میان حوزه‌های فناورانه با اندازه‌گیری فاصله‌ی فناورانه<sup>۷</sup> [9]، استفاده از نظر خبرگان و تحلیل‌های کتاب‌سنجی<sup>۸</sup> و پتنت، برای شناسایی فناوری‌های مرتبط با فناوری مورد مطالعه استفاده می‌گردد. این بخش در گزارش درخت فناوری به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## ۱-۲-۱-۴- شبکه‌ها

روابط موجود در یک گروه از کنش‌گران، نهادها و فناوری‌ها می‌تواند از روابط موجود در خارج از گروه، قوی‌تر باشد. در صورتی که این مؤلفه‌های ساختاری باعث ایجاد یک پیکربندی متراکم گردند، می‌توان آن را یک ساختار شبکه‌ای یا یک شبکه نامید [10]. شبکه‌ها روابط میان سازمانی کنش‌گرانی هستند که به دنبال دستیابی به اهداف مشترکی می‌باشند. در حقیقت، یک سیستم توسعه‌دهنده فناوری شبکه‌هایی از کنش‌گران، نهادها، فناوری‌ها و روابط میان آن‌ها محسوب می‌گردند. اتحادهای

<sup>1</sup>-Institutional Type

<sup>2</sup>-Institutional Sector

<sup>3</sup>-Institutional Boundary

<sup>4</sup>-Institutional Context

<sup>5</sup>-Internal Institution

<sup>6</sup>-External Institution

<sup>7</sup>-Technological distance

<sup>8</sup>-Bibliometric

راهبردی<sup>۱</sup>، اتحادیه‌های گروه‌های کاری<sup>۲</sup>، کمیته‌های فنی<sup>۳</sup>، شبکه‌های پروژه<sup>۴</sup>، شبکه‌های منطقه‌ای و شبکه‌های سیاسی همگی از انواع شبکه‌ها میان کنش‌گران هستند. شبکه‌ها در حالت کلی در دو صورت رسمی (در راستای برآوردن اهدافی راهبردی، عضویت خودآگاه کنش‌گران) و غیررسمی (عدم وجود هدف برنامه‌ریزی شده، عدم مرزبندی مشخص در عضویت و یا عدم عضویت کنش‌گران) شکل‌گیری پیدا می‌کنند. در یک دسته‌بندی دیگر، شبکه‌ها را از بعد هدفمندی و میزان درهم‌تنیدگی به چهار دسته‌ی شبکه‌های زنجیره تأمین، شبکه‌های سنتی، شبکه‌های راهبردی، و کالج‌های نامشهود<sup>۵</sup> تقسیم می‌کنند. به‌طور کلی شبکه‌ها دارای پنج کارکرد اصلی تبادل اطلاعات و ایجاد دانش، انتشار دانش، ارتباطات، اعمال نفوذ، و ساختارسازی هستند [11].

هدف از شناسایی شبکه‌های موجود در توسعه فناوری، ایجاد ارتباط میان سطوح خرد و میانی سیستم تحت مطالعه و کشف ارتباط اقدامات کنش‌گران در مسیر توسعه فناوری است. برای شناسایی شبکه‌های موجود، می‌توان از طریق شش معیار بنیان-گذار/سال تأسیس، تمرکز فنی شبکه، کنش‌گران اصلی درگیر در شبکه، مأموریت شبکه، نوع شبکه (اتحادیه‌های راهبردی، اتحادیه‌های گروه‌های کاری، کمیته‌های فنی، شبکه‌های پروژه، شبکه‌های منطقه‌ای و شبکه‌های سیاسی)، و کارکرد شبکه، به شناسایی این جزء ساختاری پرداخت.

در بخش بعد ابتدا مرزبندی فنی تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق را مشخص می‌نماییم و سپس در فصل بعد نهادها (قوانین و مقررات) موجود در حوزه توسعه فناوری های الکترونیک قدرت در شبکه برق معرفی می‌گردد و در ادامه و در فصل سوم به شناسایی بازیگران اصلی صنعت تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق و نقش هر کدام در آن بخش پرداخته می‌شود و سپس نگاهت نهادی فناوری‌های تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق ارائه می‌گردد.

<sup>1</sup>-Strategic alliance

<sup>2</sup>-Working group association

<sup>3</sup>-Technical committee

<sup>4</sup>-Project networks

<sup>7</sup>-Scientific invisible College



فصل دوم: مرزبندی فنی فناوری تجهیزات الکترونیک

قدرت در شبکه برق

## ۲-۱- مقدمه

در این فصل به معرفی فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق، شرح مختصری از انواع آن‌ها، کاربرد و دسته بندی آن‌ها تحت قالب درخت فناوری پرداخته می‌شود و سپس نمایش گرافیکی از درخت فناوری ارائه می‌گردد.

## ۲-۲- مرزبندی فنی

کلیدهای نیمه هادی الکترونیک قدرت نقش بسزایی در تغییر چهره شبکه برق ایفا کرده‌اند. به کمک تجهیزات الکترونیک قدرت این امکان فراهم شده که دستورات کنترلی مختلف را در شبکه بتوان با سرعتی بسیار زیاد اجرا نمود. تغییرات دو دهه اخیر در شبکه برق باعث توجه روزافزون به تجهیزات الکترونیک قدرت شده است. یکی از این تغییرات تغییر ساختار در شبکه برق است که برای اجرایی نمودن کامل آن نیاز به ایجاد انعطاف‌پذیری در شبکه برق وجود دارد. این نیاز منجر به معرفی ادوات FACTS گردیده است. تغییر دیگر روی داده در سالهای اخیر، توجه به مساله شبکه‌های هوشمند است که به عنوان راهکار اصلی مواجهه با پدیده گرم شدن زمین مطرح شده و در حال پی‌گیری است. بدون شک تصور شبکه هوشمند بدون تجهیزات الکترونیک قدرت محال است و اساس این شبکه‌ها بر بکارگیری تجهیزاتی با قابلیت کنترل‌پذیری است.

شبکه‌های برق در آینده برای اینکه بتوانند نیازهایی از جمله بار مصرفی، قابلیت اطمینان امنیت و اقتصادی بودن را برآورده سازند باید دارای ویژگی تعاملی و خودکار بودن باشند. این تصویر نیازمند تکنولوژی‌های متعددی است که از جمله مهمترین آن الکترونیک قدرت است.

تجهیزات الکترونیک قدرت بطور کلی دارای نقش‌های زیر در شبکه هستند.

- تبدیل انرژی الکتریکی از شکل AC به DC و بر عکس
- تغییر شکل موج ولتاژ یا جریان
- تغییر آرایش شبکه برق

• فراهم نمودن امیدانس مجازی قابل کنترل

تجهیزات الکترونیک قدرت علاوه بر نقش مهمی که در شبکه برق ایفا می‌کنند دارای کاربردهای بسیار متنوعی هستند که از آن جمله می‌توان به منابع تغذیه تجهیزات IT، انواع شارژرها (از شارژر موبایل تا شارژر خودروهای برقی)، لامپ‌های کم مصرفی و LED، درایو موتورهای الکتریکی و... اشاره نمود.

تمرکز این سند بر کلیه تجهیزات الکترونیک قدرتی است که کاربرد آنها در شبکه برق مطرح است. تجهیزاتی همچون درایوهای ASD که نقشی در شبکه برق ایفا نمی‌کنند خارج از حیطه این سند هستند. ادوات متعددی نیز وجود دارند که علاوه بر کاربرد در شبکه برق، کاربردهای دیگری نیز دارند که از جمله می‌توان به فیلترهای اکتیو، SVC و ... اشاره نمود. این ادوات در این سند همگی تنها با تاکید بر کاربرد در شبکه برق مورد بررسی قرار خواهند گرفت اگر چه در مطالعات وجود سایر کاربردها برای این تجهیزات همواره مد نظر خواهد بود.

برای تکمیل بحث فوق نیازمند تعریف عبارت "شبکه برق" بکار رفته در عنوان سند هستیم. شبکه برق در مفهوم سنتی می‌تواند به کلیه تجهیزات تولید، انتقال و توزیع اطلاق گردد که در مالکیت وزارت نیرو قرار دارد. این تعریف با توجه به تجدید ساختار شبکه برق و معرفی مفاهیمی چون ریز شبکه و شبکه‌های هوشمند نمی‌تواند به وضوح حیطه سند را مشخص کند. ابهام دیگری که این تعریف ایجاد خواهد کرد تلاقی آن با مفاهیم مشابهی همچون شبکه برق یک مجتمع صنعتی و... است.

برای حل این مساله می‌توان تقسیم‌بندی را از این منظر انجام داد که هر تجهیز الکترونیک قدرت یا به عنوان بار و مصرف‌کننده در شبکه برق نقش ایفا می‌کند یا نقش دیگری دارد. بر این اساس و با توجه به اهداف و وظائف کلی وزارت نیرو در این سند کلیه تجهیزات الکترونیک قدرت که نتوان به آنها بار یا مصرف‌کننده اطلاق نمود در حیطه این سند قرار دارند.

همانطور که اشاره گردید تجهیزات الکترونیک قدرت دارای کاربردهای متعددی در شبکه برق هستند. این کاربردها با توجه به چشم‌انداز شبکه‌های برق هوشمند بسیار فراگیرتر خواهد شد و در زمینه‌های مختلف گسترش خواهد یافت. دسته‌بندی این کاربردها در شبکه برق می‌تواند با توجه به نوع نگرش متفاوت باشد.

## ۲-۳- درخت فناوری

به منظور ایجاد تصویری روشن از حیطه فناوری مورد بررسی اغلب از نمایش گرافیکی حوزه‌های فناوری به صورت درخت فناوری استفاده می‌شود. این درخت را می‌توان با توجه به دسته‌بندی‌های مختلف ارائه شده از تجهیزات الکترونیک قدرت ترسیم نمود. با در نظر گرفتن معیارهای ترسیم درخت فناوری و هدف مورد نظر این سند دسته‌بندی درخت فناوری به صورت زیر انجام گرفته است:

- ادوات FACTS
- ادوات بهبود کیفیت توان یا Custom power
- مبدل پست‌های HVDC-MVDC
- مبدل‌های منابع تولید پراکنده
- مبدل‌های مورد نیاز در سیستم سامانه حمل و نقل برق
- مبدل‌های استاتیک نیروگاهی

در سطح بعدی درخت بر اساس کاربرد هر یک از تقسیم‌بندی‌های فوق شاخه‌های جدید ایجاد شده است. در بخش ادوات کیفیت توان دو دسته کاربرد مشخص شده است: کاربردهای جبران سازی و کاربردهای تغییر ساختار شبکه. در کاربرد جبران‌سازی ادوات ذکر شده عبارتند از:

Dstatcom, DVR, UPQC, UPS, PET, APF

در کاربرد تغییر ساختار شبکه ادوات عبارتند از:

SCL, SCB, STS

در بخش ادوات FACTS بر خلاف سایر بخش‌ها، دسته‌بندی بر اساس نوع اتصال به شبکه انجام شده است. علت این مساله ایجاد تشابه با متون فنی است که اغلب دسته‌بندی ادوات FACTS را به این شکل انجام داده‌اند.

ادوات FACTS در نظر گرفته شده در دسته ادوات موازی عبارتند از:

SVC (TSR-TCR-TSC,TCT,MCR),TCVL,TCBR,STATCOM

در شاخه بعدی به ادوات FACTS با اتصال سری در شبکه پرداخته شده که عبارتند از:

TSIC (TCSC-TCSR-TSSR-TSSC),FCL,SSSC,IPC,TCVR,TCPST,DSSSC

آخرین دسته بندی ادوات FACTS مربوط به ادواتی است که دارای بیش از یک نقطه اتصال سه فاز شبکه هستند. ادوات این دسته عبارتند از:

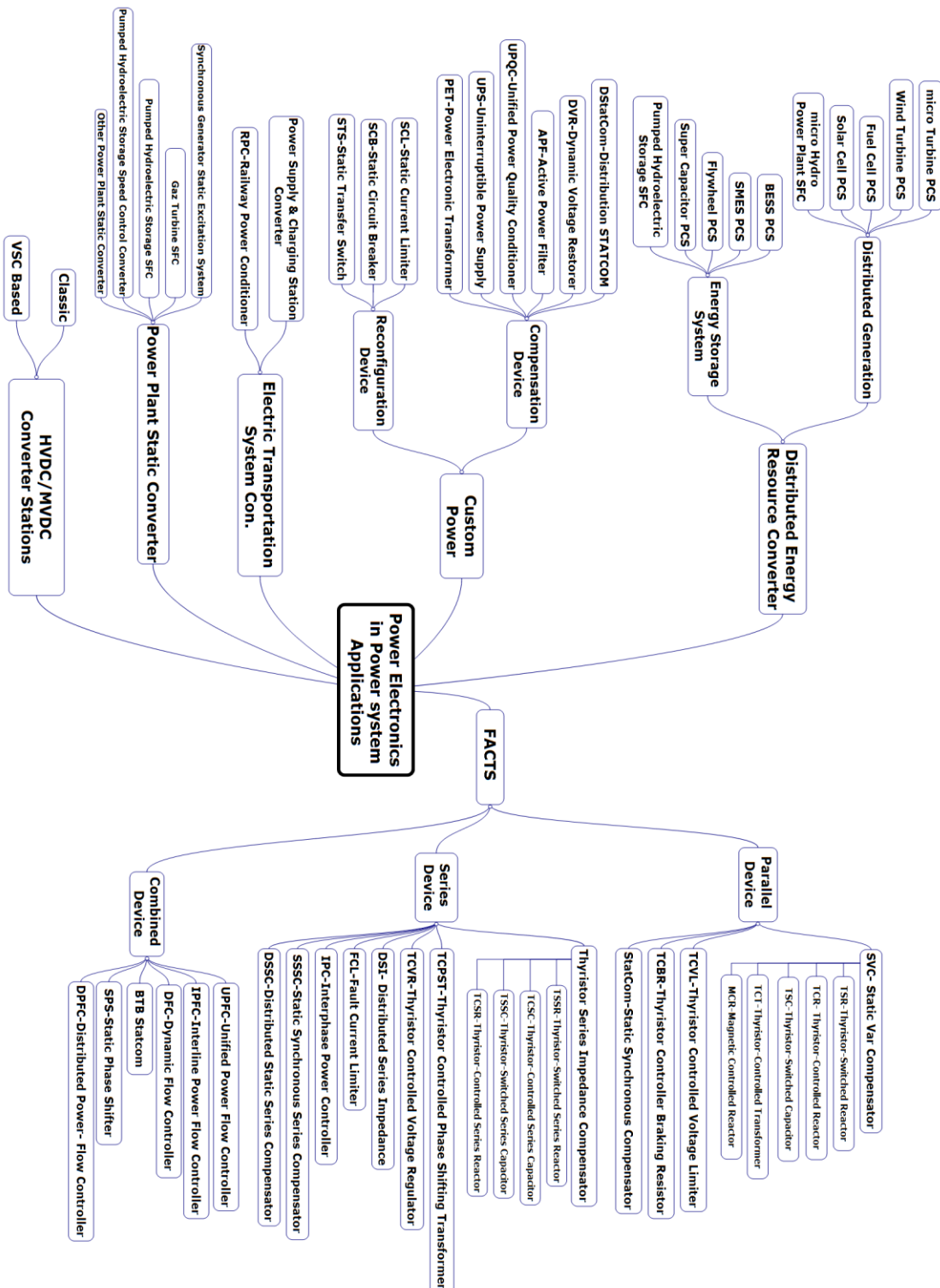
UPFC-IPFC-DFC-SPS-BTB Statcom-DPFC

در بخش مبدل های منابع تولید پراکنده تقسیم بندی شامل دو شاخه است که عبارتند از مبدل های مربوط به مولدهای تولید پراکنده و مبدل سیستم های ذخیره ساز انرژی. در بخش تولید پراکنده به مبدل پنل های خورشیدی، توربین بادی، میکروتوربین و توربین های آبی کوچک اشاره شده است و نهایتاً در بخش ذخیره سازی انرژی سیستم شکل دهنده توان برای باتری ها، چرخ طیارها، ابرخازن ها، ذخیره سازهای ابر رسانای مغناطیسی و مبدل فرکانسی سیستم تلبمه ذخیره ای اشاره شده است.

در خصوص شاخه مربوط به انتقال DC به دو تکنولوژی ساخت مبدل آن شامل مبدل های ترستوری و مبدل های منبع ولتاژ اشاره شده است.

آخرین شاخه مربوط به مبدل های مورد نیاز در سیستم سامانه حمل و نقل برق می شود که تقسیم بندی شامل مبدل های مورد نیاز سیستم تغذیه و تجهیزات بهساز توان شبکه برق سامانه ریلی است.

در شکل ۱-۲ نمای کلی درخت فناوری آورده شده است.



شکل (۱-۲). درخت فناوری

فصل سوم: قوانین و اسناد بالادستی توسعه فناوری

تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق

## ۳-۱- مقدمه

در این فصل کلیه سیاست‌ها و برنامه‌های مصوب نهادهای حاکمیتی و صنایع مختلف که به شکل مستقیم و یا غیر مستقیم با مسئله " لزوم توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق " ارتباط دارند، مورد بررسی قرار خواهند گرفت. عناوین این مستندات در جدول (۳-۱) ارائه شده است.

## جدول ۳-۱: قوانین و مقررات موجود در حوزه تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق

ردیف	نام سند/قانون / اساسنامه
۱	سند چشم‌انداز ۱۴۰۴ جمهوری اسلامی ایران
۲	قانون برنامه پنجم توسعه کشور
۳	قانون بودجه سال ۹۳ کل کشور
۴	سیاست‌های کلی نظام جمهوری اسلامی ایران در مورد "انرژی"
۵	سیاست‌های کلی علم و فناوری
۶	سیاست‌های کلی اصلاح الگوی مصرف
۷	قانون ۷۵ ماده ای اصلاح الگوی مصرف
۸	سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی
۹	سند نقشه جامع علمی کشور
۱۰	قانون هدفمند کردن یارانه ها
۱۱	برنامه راهبردی وزارت نیرو
۱۲	سیاست‌ها و اولویت‌های پژوهش فناوری
۱۳	سند توسعه ویژه (فرابخشی) "مدیریت انرژی"
۱۴	سند راهبردی ملی توسعه فناوری پیل سوختی کشور
۱۵	سند راهبردی ملی توسعه صنعت برق بادی ایران
۱۶	ماموریت‌ها و وظایف وزارت صنعت، معدن و تجارت
۱۷	برنامه راهبردی فولاد
۱۸	اساسنامه شرکت‌های برق و آئین‌نامه‌ها



### ۳-۲- سند چشم انداز ۱۴۰۴ جمهوری اسلامی ایران

در سند چشم‌انداز ۲۰ ساله جمهوری اسلامی ایران که در تاریخ ۸۲/۸/۳۱ ابلاغ شد، در راستای چشم‌انداز افق ۱۴۰۴ هجری شمسی، به برخورداری از دانش پیشرفته، توانایی در تولید علم و فناوری متکی بر سهم برتر منابع انسانی و سرمایه اجتماعی در تولید ملی تأکید شده است. بطور خاص در رابطه با امور علمی و فناوری، در این سند به موارد زیر اشاره شده است:

- دستیابی به جایگاه اول اقتصادی، علمی و فناوری در سطح منطقه آسیای جنوب غربی با تأکید بر جنبش نرم‌افزاری و تولید علم، رشد پرشتاب و مستمر اقتصادی، ارتقاء نسبی سطح درآمد سالانه و رسیدن به اشتغال کامل.

### ۳-۳- قانون برنامه پنجم توسعه کشور

در قانون برنامه پنجساله پنجم توسعه جمهوری اسلامی ایران (۱۳۹۴ - ۱۳۹۰) مصوب جلسه علنی مورخ ۸۹/۱۰/۱۵ مجلس شورای اسلامی، موارد زیر مورد توجه قرار گرفته است:

- دولت مجاز است به منظور دستیابی به جایگاه دوم علمی و فناوری در منطقه و تثبیت آن تا پایان برنامه پنجم، اقدامات زیر را انجام دهد:

- نسبت به ایجاد و تجهیز و راه اندازی آزمایشگاه کاربردی در دانشگاه‌ها و موسسات آموزشی و پژوهشی از طریق دستگاه‌های اجرایی و شرکت‌های تابعه و وابسته آنها اقدام نماید.

- به منظور افزایش سهم تحقیق و پژوهش از تولید ناخالص داخلی به گونه ای برنامه ریزی نماید که سهم پژوهش از تولید ناخالص داخلی سالانه به میزان ۰/۵ درصد افزایش یافته و تا پایان برنامه به ۳ درصد برسد.

- حمایت مالی از پژوهش‌های تقاضا محور مشترک با دانشگاه‌ها و موسسات آموزش عالی، پژوهشی و فناوری وابسته به وزارتخانه‌های علوم، تحقیقات و فناوری و بهداشت، درمان و آموزش پزشکی به ویژه مواردی که ناظر به حل یکی از مشکلات موجود در کشور می‌باشد.

- حمایت مالی از شرکت‌های دانش بنیان و تجاری‌سازی نتایج حاصل از تحقیق، تولید و صادرات خدمات فنی و مهندسی به ویژه محصولات مبتنی بر فناوری‌های پیشرفته.

- تدوین ضوابط و ارائه حمایت‌های لازم در راستای تشویق طرف‌های خارجی قرار دادهای بین‌المللی و سرمایه‌گذاری خارجی برای انتقال دانش فنی و بخشی از فعالیت‌های تحقیق و توسعه مربوط به داخل کشور و انجام آن با مشارکت شرکت‌های داخلی.

- ایجاد «صندوق توسعه علمی و فناوری کشور» به عنوان یک موسسه عمومی غیر دولتی دارای شخصیت حقوقی و استقلال مالی به منظور اعطای تسهیلات و حمایت مالی از توسعه خلاقیت و فعالیت‌های نوآورانه و طرح‌های پژوهشی در حوزه‌های پژوهش‌های بنیادی، کاربردی، توسعه‌ای (حوزوی و غیر حوزوی) و تجاری‌سازی با تأکید بر توانمندسازی بخش غیر دولتی و حمایت هدفمند از نخبگان و نوآوران علمی و فناوری.

### ۳-۴- قانون بودجه سال ۹۳ کل کشور

در قانون بودجه سال ۱۳۹۳ کل کشور مصوب جلسه علنی مورخ ۱۳۹۲/۱۲/۶ مجلس شورای اسلامی، در موارد زیر به اهمیت منابع تجدیدپذیر و گسترش کاربرد آن‌ها، تأکید شده است:

- دولت موظف است در ازای برقی کردن چاه‌های کشاورزی با منابع انرژی نوین از جمله انرژی خورشیدی به‌جای استفاده از سوخت‌های سنگواره‌ای (فسیلی و نفت گاز) مبلغ معادل پرداختی بابت یارانه سوخت را به شرکت‌های تولیدی برق از جمله خورشیدی پرداخت نماید و تجهیزات مربوطه را به کشاورزان تحویل دهد.

- صندوق توسعه ملی و بانک‌های عامل مکلفند در پرداخت سرمایه در گردش تسهیلات به بخش‌های خصوصی و تعاونی، استفاده از ظرفیت کامل واحدهای موجود و آماده بهره‌برداری و سپس طرح‌های با پیشرفت فیزیکی نزدیک به بهره‌برداری و نهایتاً طرح‌های دارای توجیه فنی و اقتصادی و زیست‌محیطی مرتبط با تولید و صادرات نفت و گاز، پتروشیمی، معدن و آب و برق را در اولویت قرار دهند.

- وزارت نیرو اجازه دارد به منظور اجرای طرح‌های افزایش بازدهی نیروگاه‌ها با اولویت نصب بخش بخار در نیروگاه‌های چرخه (سیکل) ترکیبی، توسعه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، کاهش تلفات، بهینه‌سازی و صرفه جویی در مصرف سوخت مایع، جایگزینی مصرف برق به جای گاز یا فرآورده‌های نفتی در مناطقی که توجیه اقتصادی دارد و افزایش سهم صادرات برق

تا سقف یکصد و بیست هزار میلیارد ریال به روش بیع متقابل، با سرمایه گذاران بخش‌های خصوصی و عمومی با اولویت استفاده از تجهیزات ساخت داخل قرارداد منعقد نماید. دولت مکلف است در قبال این تعهد، سوخت صرفه‌جویی شده یا معادل آن نفت خام را با محاسبه میزان صرفه‌جویی حاصله در مدت حداکثر دو سال به سرمایه گذاران تحویل نماید.

- وزارت نیرو می‌تواند حداکثر تا سقف (۴,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰) ریال صرفاً بابت حمایت از توسعه و نگهداری شبکه‌های روستایی و تولید برق تجدیدپذیر و پاک توسط شرکت توانیر هزینه نماید.

### ۳-۵- سیاست‌های کلی نظام جمهوری اسلامی ایران در مورد "انرژی"

مصوب مورخ ۱۳۷۷/۱۰/۲۳ که در تاریخ ۱۳۷۹/۱۱/۳ توسط مقام معظم رهبری تایید و ابلاغ گردیده است. با توجه به موارد مطرح شده برخی از سیاست‌های کلی مطرح‌شده در بخش‌های مختلف در این ابلاغیه به شرح زیر می‌باشد:

#### ۳-۵-۱- سیاست‌های کلی نفت و گاز

- گسترش تحقیقات بنیادی و توسعه‌ای و تربیت نیروی انسانی و تلاش برای ایجاد مرکز جذب و صدور دانش و خدمات فنی مهندسی انرژی در سطح بین‌الملل و ارتقاء فناوری در زمینه‌های منابع و صنایع نفت و گاز و پتروشیمی.
- بهینه‌سازی مصرف و کاهش شدت انرژی.

#### ۳-۵-۲- سیاست‌های کلی سایر منابع انرژی

- ایجاد تنوع در منابع انرژی کشور و استفاده از آن با رعایت مسائل زیست محیطی و تلاش برای افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر با اولویت انرژی‌های آبی.
- تلاش برای کسب فن‌آوری و دانش فنی انرژی‌های نو و ایجاد نیروگاه‌ها از قبیل بادی و خورشیدی و پیل‌های سوختی و زمین گرمایی در کشور.

### ۳-۶- سیاست‌های کلی علم و فناوری

سیاست‌های کلی علم و فناوری در ۱۳۹۳/۶/۳۰ توسط مقام معظم رهبری به روسای قوای سه گانه و رئیس مجمع تشخیص مصلحت نظام ابلاغ شد، با توجه به موارد مطرح شده برخی از سیاست‌های کلی علم و فناوری (نظام آموزش عالی، تحقیقات و فناوری) در بخش‌های مختلف در این ابلاغیه به شرح زیر می باشد:

- جهاد مستمر علمی با هدف کسب مرجعیت علمی و فناوری در جهان با تاکید بر:

- تولید علم و توسعه نوآوری و نظریه پردازی
- ارتقا جایگاه جهانی کشور در علم و فناوری و تبدیل ایران به قطب علمی و فناوری جهان اسلام.
- توسعه علوم پایه و تحقیقات بنیادی.
- دستیابی به علوم و فناوری‌های پیشرفته با سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی ویژه.

- بهینه‌سازی عملکرد و ساختار نظام آموزشی و تحقیقاتی کشور به منظور دستیابی به اهداف سند چشم انداز و شکوفایی علمی با تاکید بر:

- مدیریت دانش و پژوهش و انسجام بخشی در سیاست‌گذاری برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی در حوزه علم و فناوری و ارتقا مستمر شاخص و روزآمدسازی نقشه جامع علمی کشور با توجه به تحولات علمی و فنی در منطقه و جهان.
- سامان‌دهی و تقویت نظام‌های نظارت، ارزیابی، اعتبارسنجی و رتبه بندی در حوزه‌های علم و فناوری.
- افزایش بودجه تحقیق و پژوهش به حداقل ۴٪ تولید ناخالص داخلی تا پایان سال ۱۴۰۴ با تاکید بر مصرف بهینه منابع و ارتقا بهره وری.

- گسترش همکاری و تعامل فعال، سازنده و الهام بخش در حوزه علم و فناوری با سایر کشورها و مراکز علمی و فنی معتبر منطقه‌ای و جهانی به ویژه جهان اسلام همراه با تحکیم استقلال کشور با تاکید بر:

- اهتمام بر انتقال فناوری و کسب دانش طراحی و ساخت برای تولید محصولات در داخل کشور با استفاده از ظرفیت بازار ملی در مصرف کالاهای وارداتی.
- توسعه صنایع و خدمات مبتنی بر علوم و فناوری‌های جدید و حمایت از تولید و صادرات محصولات دانش بنیان و متکی بر فناوری‌های بومی به ویژه در حوزه‌های دارای مزیت و ظرفیت، با اصلاح امر واردات و صادرات کشور.
- ایجاد تحول در ارتباط میان نظام آموزش عالی، تحقیقات و فناوری با سایر بخش‌ها با تاکید بر:
  - افزایش سهم علم و فناوری در اقتصاد و درآمد ملی، ازدیاد توان ملی و ارتقای کارآمدی.
  - تعیین اولویت‌ها در آموزش و پژوهش با توجه به مزیت‌ها، ظرفیت‌ها و نیازهای کشور و الزامات نیل به جایگاه اول علمی و فناوری در منطقه.
  - حمایت مادی و معنوی از فرآیند تبدیل ایده به محصول و افزایش سهم تولید محصولات و خدمات مبتنی بر دانش پیشرفته فناوری داخلی در تولید ناخالص داخلی با هدف دستیابی به سهم ۵۰ درصد.
  - حمایت از مالکیت فکری و معنوی و تکمیل زیرساخت‌ها و قوانین و مقررات مربوط.

### ۳-۷- سیاست‌های کلی اصلاح الگوی مصرف

سیاست‌های کلی اصلاح الگوی مصرف در ۱۳۸۹/۴/۱۴ توسط مقام معظم رهبری به روسای قوای سه گانه و رئیس مجمع تشخیص مصلحت نظام ابلاغ شد، در این قانون به صرفه‌جویی در مصرف انرژی با اعمال مجموعه‌ای متعادل از اقدامات قیمتی و غیر قیمتی به منظور کاهش مستمر " شاخص شدت انرژی " کشور به حداقل دو سوم میزان کنونی تا پایان برنامه پنجم توسعه و به حداقل یک دوم میزان کنونی تا پایان برنامه ششم توسعه اشاره دارد. همچنین بر اجرای سیاست‌های زیر نیز تاکید شده است:

- اولویت دادن به افزایش بهره‌وری در تولید، انتقال و مصرف انرژی در ایجاد ظرفیت‌های جدید تولید انرژی.
- انجام مطالعات جامع و یکپارچه سامانه انرژی کشور به منظور بهینه‌سازی عرضه و مصرف انرژی.

- تدوین برنامه ملی بهره‌وری انرژی و اعمال سیاست‌های تشویقی نظیر حمایت مالی و فراهم کردن تسهیلات بانکی برای اجرای طرح‌های بهینه‌سازی مصرف و عرضه انرژی و شکل‌گیری نهادهای مردمی و خصوصی برای ارتقاء کارایی انرژی.
- پایش شاخص‌های کلان انرژی با ساز و کار مناسب.
- افزایش بازدهی نیروگاه‌ها، متنوع سازی منابع تولید برق و افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و نوین.
- گسترش تولید برق از نیروگاه‌های تولید پراکنده، کوچک مقیاس و پر بازده برق و تولید همزمان برق و حرارت.
- بهبود روش‌های انتقال حامل‌های انرژی از جمله حداکثرسازی انتقال فرآورده‌های نفتی از طریق خط لوله و راه آهن.

### ۳-۸- قانون ۷۵ ماده ای اصلاح الگوی مصرف

به دنبال ابلاغ سیاست‌های کلی اصلاح الگوی مصرف توسط مقام معظم رهبری، مجلس شورای اسلامی در سال ۱۳۸۹ قانون ۷۵ ماده ای اصلاح الگوی مصرف را به تصویب رساند. برخی از فصل‌های آن که به صورت مستقیم و غیر مستقیم مرتبط با لزوم توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت می باشد، در ادامه آورده شده است.

#### ۳-۸-۱- فصل سوم: ساختار و تشکیلات

در فصل سوم ماده (۶)، وزارت خانه‌های نیرو، نفت، کشاورزی و صنایع و معادن موظفند که کلیه فناوری‌های مورد نیاز برای عرضه و مصرف انرژی در بیست سال آینده را در حیطه تخصصی خود شناسایی و تمهید کنند و امکان طراحی و بهبود آن‌ها برای به کارگیری توسط سازندگان و تولیدکنندگان داخلی را فراهم نمایند.

#### ۳-۸-۲- فصل نهم: تولیدکنندگان و توزیع کنندگان انرژی

در ماده ۵۱، وزارتخانه‌های نیرو و نفت حسب مورد موظفند طرح‌های مرتبط با افزایش بازده انرژی را متناسب با میزان افزایش بازده از حمایت مقرر در این قانون که به صورت عمومی اعلام می شود بهره مند سازند.

### ۳-۹- سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی

با هدف تأمین رشد پویا و بهبود شاخص‌های مقاومت اقتصادی و دستیابی به اهداف سند چشم‌انداز بیست‌ساله، سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی در ۱۳۹۲/۱۱/۲۹ توسط مقام معظم رهبری ابلاغ گردید. برخی از نکات قابل توجه در این سند عبارتند از:

- پیشتازی اقتصاد دانش بنیان، پیاده‌سازی و اجرای نقشه جامع علمی کشور و ساماندهی نظام ملی نوآوری به منظور ارتقاء جایگاه جهانی کشور و افزایش سهم تولید و صادرات محصولات و خدمات دانش‌بنیان و دستیابی به رتبه اول اقتصاد دانش‌بنیان در منطقه.

- استفاده از ظرفیت اجرای هدفمندسازی یارانه‌ها در جهت افزایش تولید، اشتغال و بهره‌وری، کاهش شدت انرژی و ارتقاء شاخص‌های عدالت اجتماعی.

- مقابله با ضربه‌پذیری درآمد حاصل از صادرات نفت و گاز که یکی از راه‌های آن افزایش صادرات برق است.

- افزایش ارزش افزوده از طریق تکمیل زنجیره ارزش صنعت نفت و گاز، توسعه تولید کالاهای دارای بازدهی بهینه (براساس شاخص شدت مصرف انرژی) و بالا بردن صادرات برق، محصولات پتروشیمی و فرآورده‌های نفتی با تأکید بر برداشت صیانتی از منابع.

### ۳-۱۰- سند نقشه جامع علمی کشور

این سند در جلسات متعددی در سال ۱۳۸۹ به تصویب شورای عالی انقلاب فرهنگی رسیده است. از ویژگی‌های اصلی الگوی نظام علم و فناوری و نوآوری که در این سند به آنها اشاره شده است می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ترکیب الگوهای عرضه محوری و تقاضا محوری و توجه ویژه به حوزه‌های اولویت‌دار در آرمان‌های نظام.

- اجتماع دو رویکرد درون‌مداری و برون‌مداری از نظر توجه به نیازها و قابلیت‌های بومی و سایر کشورها.

- تلفیق آموزش با پژوهش و مهارت.

یکی از اهداف کلان نظام علم و فناوری کشور که در این سند به آن اشاره شده، افزایش سهم تولید محصولات و خدمات مبتنی بر دانش و فناوری داخلی به بیش از ۵۰٪ تولید ناخالص داخلی کشور است. از دیگر اهداف این بخش، تثبیت جایگاه کشور در:

علوم و فناوری‌های حوزه نفت و گاز به منظور دستیابی به نقش محوری در منطقه.

فناوری زیستی به منظور کسب ۳٪ از بازار جهانی مربوطه.

در این سند در رتبه‌بندی اولویت‌های علم و فناوری کشور، فناوری زیستی، فناوری‌های زیست محیطی، انرژی‌های نو و تجدیدپذیر در اولویت "الف" و فناوری‌هایی چون نیم رساناها در اولویت "ب" قرار دارند.

برخی از راهبردها و اقدامات ملی متناسب با راهبردهای کلان توسعه علم و فناوری در کشور نیز عبارتند از:

- همسو کردن سیاست‌های توسعه صنعتی و اقتصادی کشور به‌ویژه برنامه‌های ۵ساله توسعه با سیاست‌های کلان توسعه علم و فناوری در کشور.

- سازماندهی نظام‌های حرفه‌ای مبتنی بر دانش علمی و فنی برای اداره واحدهای اقتصادی - اجتماعی و نهادینه کردن فرهنگ مهارت‌گرایی و پژوهش محوری و کارآفرینی در نظام علم و فناوری و نوآوری.

- اصلاح فرآیندها و ساختارهای نظارت و ارزیابی علم، فناوری و نوآوری ملی و تعیین استانداردهای بومی در حوزه علم و فناوری در چارچوب نیازهای اقتصادی و اجتماعی کشور.

- توسعه و متوازن‌سازی زیرساخت، امکانات و تجهیزات، متناسب با سیاست‌ها و راهبردهای پیشرفت علم و فناوری و نوآوری.

- توسعه و تقویت شبکه‌های مناسبات ملی و فراملی دانشمندان و پژوهشگران و همکاری بین‌المللی با اولویت کشورهای اسلامی و کشورهای فارسی زبان.

- توجه ویژه به توسعه نیازمحور علوم و فناوری‌های مهندسی برای تولید و جذب فناوری با توان رقابتی و ثروت‌آفرینی همراه با حفظ محیط زیست و الگوی صحیح مصرف و رعایت اخلاق حرفه‌ای.

و در راستای این راهبردها اقدامات ملی زیر باید انجام گیرد:



- ساماندهی نظام استاندارد علم و فناوری با حفظ وظایف برنامه‌ریزی و نظارت برای دولت و ارایه خدمات آزمایشگاهی با مشارکت بخش غیردولتی و بومی کردن استانداردها و تدوین استانداردهای جدید با مشارکت نهادهای علمی و مدنی و دانش بنیان.

- افزایش نقش و سهم دولت در حمایت از پژوهش‌های راهبردی و بنیادین با تأکید بر بهره‌برداری از نتایج آنها.

- حمایت از ایجاد و توسعه آزمایشگاه‌های ملی و مراکز خدمات تخصصی در حوزه‌های اولویت‌دار.

- حمایت از ایجاد و توسعه شبکه‌های آزمایشگاهی تخصصی در حوزه‌های اولویت‌دار و طراحی سازوکارهای انگیزشی مناسب برای مشارکت داوطلبانه در شبکه.

- ایجاد شبکه‌های پژوهشی در داخل و خارج از کشور برای انتشار و تبادل دانش و فناوری متناسب با اولویت‌های ملی و بهره‌گیری از فرصت‌های جهانی.

- حمایت از طرح‌های پژوهشی و فناوری بین‌المللی با سرمایه‌گذاری مشترک و تسهیل همکاری‌های با مؤسسات فناوری خارجی و گسترش تعاملات فناورانه با کشورهای دارای فناوری پیشرفته با روش‌هایی نظیر مشارکت در کنسرسیوم‌ها با رعایت سیاست‌های نظام.

- اصلاح قوانین و مقررات مربوط به انتقال فناوری به کشور و ایجاد و توسعه نهادهای انتقال و بومی‌سازی فناوری از خارج به داخل و بالعکس.

- تقویت شرکت‌های فنی و مهندسی به منظور کسب توان طراحی مفهومی و پایه.

- واگذاری طرح‌های کلان ملی پژوهش و فناوری به متخصصان داخلی به منظور ارتقای خودباوری و توانمندی ملی و درجهت تأمین نیازهای آتی کشور و جهان.

- حمایت از شرکت‌های طراحی و مهندسی به منظور کاربردی کردن دانش فنی تولید شده در پژوهشگاه‌ها و دانشگاه‌ها.

### ۳-۱۱- قانون هدفمند کردن یارانه‌ها

در اجرا اصل یکصد و بیست و سوم قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران قانون هدفمند کردن یارانه‌ها که با عنوان لایحه به مجلس شورای اسلامی تقدیم شده و در جلسه علنی مورخ ۱۳۸۸/۱۰/۱۵ تصویب شده است، به موارد زیر اشاره شده است:

- قیمت تمام شده برق، مجموع هزینه‌های تبدیل انرژی، انتقال و توزیع و هزینه سوخت با بازده حداقل سی و هشت درصد (۳۸٪) نیروگاه‌های کشور و رعایت استانداردها محاسبه می‌شود و هر ساله حداقل یک درصد (۱٪) به بازده نیروگاه‌های کشور افزوده شود به طوری که تا پنج سال از زمان اجراء این قانون به بازده چهل و پنج درصد (۴۵٪) برسد و همچنین تلفات شبکه‌های انتقال و توزیع تا پایان برنامه پنج‌ساله پنجم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران به چهارده درصد (۱۴٪) کاهش یابد.

دولت مکلف است با تشکیل کارگروهی مرکب از کارشناسان دولتی و غیر دولتی نسبت به رتبه‌بندی تولیدکنندگان برق از نظر بازده و توزیع‌کنندگان آن از نظر میزان تلفات، اقدام نموده و سیاست‌های تشویقی و حمایتی مناسب را اتخاذ نماید.

- دولت مکلف است سی درصد (۳۰٪) خالص وجوه حاصل از اجراء این قانون را برای پرداخت کمک‌های بلاعوض یا یارانه سود تسهیلات و یا وجوه اداره شده برای اجراء موارد زیر هزینه کند:

الف- بهینه‌سازی مصرف انرژی در واحدهای تولیدی، خدماتی و مسکونی و تشویق به صرفه‌جویی و رعایت الگوی مصرف که توسط دستگاه اجرائی ذیربط معرفی می‌شود.

ب- اصلاح ساختار فناوری واحدهای تولیدی در جهت افزایش بهره‌وری انرژی، آب و توسعه تولید برق از منابع تجدیدپذیر.

## ۳-۱۲- برنامه راهبردی وزارت نیرو

### ۳-۱۲-۱- بخش برق و انرژی

در بخش برق و انرژی، وزارت نیرو عهده‌دار سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی کلان انرژی و ایجاد تعامل بین عرضه و تقاضای برق و حفظ کیفیت آن در راستای توسعه پایدار و امنیت عرضه انرژی کشور می‌باشد. وزارت نیرو با برنامه‌ریزی، سازماندهی، هدایت و نظارت، بسترهای لازم را برای ایجاد هماهنگی بین فعالیت بخش‌های خصوصی، تعاونی و عمومی فراهم نموده و با حمایت از بهینه‌سازی مصرف و رونق‌بخشی به فضای کسب و کار در بخش برق و انرژی، حقوق کلیه ذینفعان خود شامل آحاد جامعه، بخش‌های صنعت، کشاورزی، خدمات و دولت را رعایت می‌کند.

وزارت نیرو با ارتقاء بهره‌وری و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، سازگار با محیط زیست و متناسب با زیرساخت‌های حال و آینده و توسعه مشارکت و بهره‌وری منابع انسانی متخصص و خلاق، نقشی مؤثر در رفاه اجتماعی و تبادل برق با کشورهای منطقه را ایفا نموده و در راستای کاهش شدت انرژی، افزایش خوداتکایی و توسعه کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر اقدام می‌کند.

وزارت نیرو در بخش برق با استفاده از منابع متنوع و در دسترس انرژی، مدیریت تقاضا و تکیه بر ساختاری منسجم، به گونه‌ای عمل می‌کند تا کشور در عرضه برق مطمئن و پایا و با کیفیت مناسب (درحد استانداردهای جهانی) سرآمد کشورهای منطقه شده و با ایجاد بسترهای لازم، دسترسی آزاد به شبکه و رقابت منصفانه در بازار برق را میسر می‌نماید.

اهم وظایف این وزارتخانه در بخش برق عبارتند از:

۱- سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی، اجرا و توسعه طرح‌های تولید، انتقال و توزیع انرژی برق در شهرها و روستاهای سراسر کشور.

۲- بررسی و تدوین پیشنهادهای لازم در زمینه راهبردها، برنامه‌ها، قوانین و آیین‌نامه‌های صنعت برق.

۳- برنامه‌ریزی جهت انجام طرح‌های تحقیقاتی و پژوهشی مرتبط با فعالیت شرکت.

۴- جذب سرمایه‌های داخلی و خارجی و ایجاد زمینه‌های لازم برای مشارکت بخش خصوصی در اجرای طرح‌های تولید و انتقال برق در سراسر کشور.

۵- عضویت در کمیته و کنوانسیون های جهانی انرژی و کسب و تبادل اطلاعات لازم به منظور استاندارد کردن و ارتقاء فعالیت های صنعت برق کشور.

۶- سیاست گذاری، نظارت و هماهنگی بین شرکت های زیرمجموعه به منظور اجرای به موقع طرح های برق در راستای پیشبرد اهداف کلان صنعت برق کشور.

### ۳-۱۲-۱-۱- رؤس برنامه های بخش برق و انرژی وزارت نیرو

براساس موارد فوق، برخی از برنامه های عملی بخش برق و انرژی این وزارتخانه در دولت دهم که در سال ۱۳۸۹ تدوین شده است، عبارتند از:

\_\_ پیشبرد برنامه جامع برق و انرژی سالیانه به میزان حداقل ۲۰ درصد با نگرش به برنامه پنجم توسعه

\_\_ افزایش بازده نیروگاه های حرارتی حداقل به میزان سالیانه ۱ درصد و رساندن به بازده ۴۱ درصد

\_\_ طراحی و اجرا توربین های بادی مگاواتی و توربین های برق آبی متوسط و کوچک.

\_\_ افزایش ظرفیت نصب شده نیروگاه های انرژی های نو و تجدیدپذیر (بادی، خورشیدی، برق آبی متوسط و کوچک و ...) به سطح ۳ درصد کل ظرفیت نیروگاهی.

\_\_ احداث ۳۰۰۰ مگاوات نیروگاه های تولید پراکنده با اولویت تولید همزمان برق و حرارت.

\_\_ توسعه فناوری سیستم های انتقال انعطاف پذیر (FACTS) و احداث پست های GIS و خطوط انتقال HVDC در کشور.

\_\_ کاهش تلفات شبکه به میزان سالیانه حداقل ۱ درصد و رساندن به سطح ۱۵ درصد

\_\_ ایجاد زیرساخت هوشمند در شبکه توزیع در سطح حداقل ۲۰ درصد شبکه

\_\_ افزایش ظرفیت تبادل برق با کشورهای همسایه با اولویت افزایش سهم بخش خصوصی در تجارت منطقه ای (سطح

مبادلات با پاکستان به ۱۵۰ مگاوات، عراق به ۱۰۰۰ مگاوات و ترکیه به ۵۰۰ مگاوات، برقراری ارتباط الکتریکی ایران-

آذربایجان-روسیه با ظرفیت ۷۰۰ مگاوات، اتصال به شبکه اروپا و اتصال به شبکه کشورهای حاشیه خلیج فارس از طریق کابل زیردریایی)، برقراری ارتباط الکتریکی شبکه سراسری با جزیره کیش با استفاده از کابل زیردریایی - ادامه روند اصلاح الگوی مصرف با کاهش روند رشد متوسط مصرف سالانه بسیاری از این سیاست‌ها در راستای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش برق و انرژی می‌باشند.

### ۳-۱۲-۱-۲- راهبردهای بخش برق و انرژی وزارت نیرو

از جمله این راهبردها می‌توان به برخی موارد قابل توجه که در زیر آمده است، اشاره نمود:

- ارتقاء و توسعه نظام مدیریت تقاضا و اصلاح الگوی مصرف انرژی در بخش‌های مختلف با رویکرد کاهش شدت انرژی در کشور:

- توسعه شرکت‌های خدمات انرژی غیردولتی در جهت بهینه‌سازی مصرف
  - حمایت از مراکز پژوهشی و صنایع مرتبط به منظور توسعه فناوری‌های جدید در راستای کاهش مصرف انرژی
  - اصلاح ساختار موجود جهت اعمال مدیریت تقاضا و کاهش شدت انرژی
- ارتقاء سطح تحقیق و توسعه و فناوری بخش برق و انرژی:

- هدایت و حمایت از مراکز تحقیقاتی داخلی و شرکت‌های تحقیقاتی و یا مشاوره‌ای غیردولتی
- شناسایی، انتقال و بومی‌سازی فناوری‌های نوین و سازگار با محیط‌زیست
- افزایش سطح تعامل بخش برق و انرژی با مراکز علمی و تحقیقاتی داخلی و خارجی توانمند و نهادینه‌سازی آن
- مطالعه و بررسی کاربرد روش‌های نوین انتقال و ذخیره‌سازی برق از جمله: ابررسانا، سیستم‌های انتقال برق با ولتاژ خیلی بالا (EHV)، سیستم‌های انتقال برق فشار قوی با جریان مستقیم (HVDC)، سیستم‌های انتقال برق متناوب انعطاف‌پذیر (FACTS)، باتری‌ها، هوای فشرده، هیدروژن و ...

- توسعه ظرفیت‌های تولید، انتقال و توزیع برق متناسب با نیازهای مصرف مدیریت شده و نوسازی و بهینه‌سازی آنها

- ارتقاء توانمندی در تولید برق از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر:

- تمرکز بر تحقیق و پژوهش و بومی‌سازی فناوری در فعالیتهای مربوط به تولید برق از انرژی خورشیدی و بادی در کشور
- تخصیص درصد معین و فزاینده‌ای از اعتبارات تحقیقاتی به بومی‌سازی فناوری‌های مرتبط با انرژی‌های نو و تجدیدپذیر
- تعریف و اجرای پروژه‌های نمونه در زمینه انرژی‌های نو و تجدیدپذیر و تجاری‌سازی آنها
- بسترسازی، حمایت و جلب مشارکت بخش غیردولتی برای توسعه انرژی‌های نو و تجدیدپذیر

- توسعه مبادلات منطقه‌ای برق:

- حمایت از بخش خصوصی برای توسعه تجارت منطقه‌ای برق با توجه به بازارهای هدف و متناسب با ارزش افزوده ملی
- افزایش ظرفیت تبادل برق با کشورهای منطقه و رفع موانع توسعه ظرفیتهای تبادل سنکرون، متناسب با استانداردهای جهانی
- اعطای مجوز صادراتی به تولیدکنندگان برق از منابع انرژی‌های نو و تجدیدپذیر

- کاهش تلفات در شبکه‌های برق، در جهت نیل به سطح بهینه:

- استقرار سازوکار اقتصادی- تجاری در فعالیتهای کاهش تلفات و هوشمندسازی شبکه
- هماهنگی در طراحی و توسعه شبکه‌های فوق توزیع و توزیع برق

اصلاح معماری شبکه‌های توزیع.

### ۳-۱۲-۲- بخش انرژی‌های تجدیدپذیر

وظایف این وزارتخانه در این بخش عبارتند از:

۱- تعیین سیاست‌های کلان انرژی

۲- برنامه‌ریزی و اجرای طرح‌های انرژی‌های تجدیدپذیر با توجه به ویژگی هر منطقه از کشور.

۳- مطالعه، تحقیق و پژوهش به منظور شناسایی توان مناطق کشور در استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر.

۴- مطالعه، تحقیق و اجرای طرح‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی در کشور.

در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر، عملکرد وزارت نیرو بر توسعه فناوری هیدروژن، توسعه فناوری پیل سوختی، نیروگاه‌های بادی، نیروگاه خورشیدی و نیروگاه زمین گرمایی متمرکز شده است.

### ۳-۱۲-۳- بخش آموزش، پژوهش و فناوری

در این بخش، وزارت نیرو عهده‌دار توسعه پژوهش و فناوری، افزایش خلاقیت و نوآوری در راستای تامین نیازهای صنعت آب و برق است.

### ۳-۱۲-۴- بخش پشتیبانی فنی و مهندسی

در این بخش، انجام طرح‌های تحقیقاتی و پژوهشی به منظور بالابردن توان ساخت داخل، مدیریت بر ساخت و تولید قطعات مورد نیاز تاسیسات آب و برق در داخل کشور و صدور خدمات فنی و مهندسی به سایر کشورها برای اجرای طرح‌های آب و برق مورد توجه است.

### ۳-۱۳- سیاست‌ها و اولویت‌های پژوهش و فناوری

در طرح‌های کلان پژوهش و فناوری مصوب شورای عالی عتف در بخش کمیسیون تخصصی مربوط به انرژی به موارد زیر اشاره شده است:

- بومی‌سازی و توسعه دانش فنی طراحی و ساخت توربین گاز ۲۵ مگاوات با قابلیت افزایش تا ۳۰ مگاوات و کسب نشان ایرانی.

- توسعه فناوری و ساخت توربین‌های مگاواتی ملی توربین بادی (ساخت نمونه ۲ مگاواتی).

- شبکه هوشمند برق ایران و پیاده سازی نمونه.

- طراحی و ساخت توربین گازی ۲۰۰ کیلوواتی با سیستم تولید همزمان برق و حرارت (CHP) برای تولید پراکنده و ذخیره سازی انرژی آن.

در اولویت های پژوهش و فناوری در بخش کمیسیون تخصصی انرژی در زمینه برق و انرژی به موارد زیر اشاره شده است:

- توسعه فناوری های ذخیره سازی برق و انرژی و تولید پراکنده برق.

- توسعه فناوری های نوین و کارای شبکه های انتقال و توزیع برق.

- توسعه فناوری های تبدیل انرژی های تجدیدپذیر.

### ۳-۱۴ - سند راهبردی ملی توسعه فناوری پیل سوختی کشور

هیئت وزیران در جلسه مورخ ۱۳۸۴/۴/۳ سند راهبردی ملی توسعه فناوری پیل سوختی کشور را تصویب نمودند. برخی از نکات قابل توجه در این سند عبارتند از:

- طراحی و تولید و ارتقا فناوری پیل های سوختی راهبردی در بازارهای رقابتی داخل و خارج از کشور با رعایت اولویت های بازار تقاضا.

- بسط و توسعه سرمایه گذاری در صنعت تولید پیل های سوختی راهبردی و فناوری های کلیدی آن با تاکید بر نقش بخش خصوصی تکیه بر مزیت های رقابتی ایجاد اشتغال و رویکرد صادرات.

- ایجاد و گسترش ظرفیت های بکارگیری و بهره برداری از فناوری پیل های سوختی راهبردی در داخل و خارج از کشور با ایجاد و بهره گیری از ساز و کارهایی نظیر احتساب هزینه های واقعی تولید انرژی توسعه بازارهای ویژه در کشور و وضع قوانین مورد نیاز.

کاهش آلودگی محیط زیست به ویژه در شهرهای بزرگ با بکارگیری فناوری پیل سوختی در حمل و نقل و تامین برق.



### ۳-۱۵ - سند راهبردی ملی توسعه صنعت برق بادی ایران

سند راهبردی ملی توسعه صنعت برق بادی ایران در سال ۱۳۸۶ به تصویب رسید. برخی از نکات قابل توجه در این سند عبارتند از:

- افزایش سهم نیروگاه‌های بادی متناسب با افزایش میزان نصب انواع نیروگاه‌ها در کشور با تأمین حداقل ۲۴۵۰۰ مگاوات ظرفیت نصب‌شده در افق چشم‌انداز.

- ارتقاء قابلیت اطمینان و امنیت شبکه انرژی از طریق توسعه انرژی بادی و ایجاد تنوع در سبد انرژی کشور.

- بهبود وضعیت زیست‌محیطی کشور از طریق کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی.

- افزایش توانمندی‌های فناورانه و تولیدی در کشور در حوزه انرژی بادی با رویکرد صادرات فناوری و با تأکید بر توانمندسازی بخش خصوصی.

- افزایش حجم سرمایه‌گذاری در توسعه کسب و کارهای دانش‌بنیان و توسعه دانش فنی توسط بخش خصوصی در راستای تولید ثروت.

### ۳-۱۶ - سند توسعه ویژه (فرابخشی) "مدیریت انرژی"

در سند توسعه ویژه "مدیریت انرژی" در برنامه چهارم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران تدوین شده توسط سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، در بخش اقدامات مهم و اساسی به موارد زیر اشاره شده است:

- تدوین، ارتقا و اعمال استانداردهای کیفیت حامل‌های انرژی.

- حمایت از انجام مطالعات و فعالیت‌های مهندسی در زمینه ارتقای کارایی انرژی.

- کاهش میزان تلفات در شبکه‌های انتقال و توزیع انرژی.

- حمایت از نوآوری‌های بخش انرژی از طریق تدوین قوانین حمایتی.

- حمایت از تحقیقات در بخش انرژی با هدف کاهش هزینه تمام شده و کاهش ارزشبری با تاکید بر انرژی‌های نو و پاک.
- انجام پروژه‌های پایلوت در زمینه های CHP، اتوماسیون و بازیافت حرارت در کارخانجات مناسب در گروه‌های صنعتی.
- گسترش بازار برق و توسعه شبکه تبادل انرژی با کشورهای همسایه.
- ایجاد، تقویت و توسعه کشورهای خدمات انرژی (ESCO) شامل تمام فعالیت‌های مدیریت، فنی - مهندسی، ممیزی و ... مانند مدیریت بار، صرفه جویی انرژی و جایگزینی بین حامل ها.

### ۳-۱۷ - برنامه راهبردی وزارت صنعت، معدن، تجارت

برنامه راهبردی وزارت صنعت، معدن و تجارت سال ۱۳۹۲ تهیه شده و در آن همه فعالیت‌های اقتصادی بر اساس استاندارد بین المللی طبقه بندی فعالیت‌ها (آیسیک، ویرایش ۴) ارائه شده است و رشته کلیه فعالیت‌های در حوزه مأموریت وزارت صنعت، معدن و تجارت مشخص شده است.

شرح وظایف اداره کل صنایع فلزی، برق و الکترونیک وزارت صنعت، معدن و تجارت، شامل موارد زیر است:

- مشارکت با سازمان ملی استاندارد ایران و سایر مراجع مربوطه جهت تدوین یا بازنگری استانداردهای مورد نیاز (به لحاظ کیفی، زیست محیطی، بهداشتی و مدیریتی و میزان مصرف انرژی)
- مشارکت در انجام مطالعات و بررسی‌های لازم به منظور استفاده بهینه از منابع انرژی، کاهش ضایعات و ارائه راهکار به واحدها در جهت بازیابی ضایعات.

### ۳-۱۸ - برنامه راهبردی فولاد

در این سند به صورت مستقیم به لزوم توسعه فناوری‌های تجهیزات الکترونیک قدرت اشاره نشده است، اما به لزوم توسعه و احداث نیروگاه‌های برق تا ۸۲۵۰ مگاوات توسط واحدهای تولیدی فولاد و یا بخش خصوصی اشاره شده است.

### ۳-۱۹-۱- اساسنامه شرکت‌های برق و آئین‌نامه‌ها

#### ۳-۱۹-۱-۱- اساسنامه شرکت توانیر

هیئت وزیران در جلسه مورخ ۱۳۸۱/۹/۲۷ اساسنامه شرکت مادر تخصصی تولید، انتقال و توزیع نیروی برق ایران (توانیر)، را تصویب نمودند. در این اساسنامه به موارد زیر به عنوان برخی از وظایف این شرکت اشاره شده است:

- بررسی و تدوین پیشنهادهای لازم در زمینه راهبردها و سیاست‌ها و برنامه‌های بلندمدت و میان‌مدت صنعت برق

- تهیه طرح‌های لازم برای توسعه تأسیسات تولید و انتقال و توزیع صنعت برق

- سرمایه‌گذاری در تأسیسات تولید و انتقال و توزیع صنعت برق

- راهبری و پایش شبکه سراسری برق از طریق شرکت‌های زیرمجموعه و همچنین ایجاد سازوکارهای لازم برای توسعه رقابت در امر تولید، خرید و فروش برق.

- نظارت بر نحوه استفاده از انرژی برق و ترویج فرهنگ مدیریت مصرف

- حمایت از تحقیقات و فعالیت‌های علمی و توسعه منابع انسانی و سایر عوامل موثر در بهبود مدیریت و بهره‌وری صنعت برق کشور.

- بررسی، مطالعه و سایر اقدامات لازم برای توسعه فناوری، انتقال دانش فنی و اطلاع‌رسانی تأمین کالا و ساخت تجهیزات موردنیاز صنعت برق.

#### ۳-۱۹-۲- اساسنامه شرکت سهامی انرژی‌های نو ایران (سانا)

در اساسنامه این شرکت، به توسعه کاربرد انرژی‌های حاصل از منابع تجدیدپذیر و انجام مطالعات، تحقیق و توسعه، طراحی و مشاوره ساخت و اجرای سیستم‌های نمونه و همچنین انجام حمایت‌های فنی و اقتصادی و ظرفیت‌سازی در زمینه ارتقا و توسعه کارایی انرژی تأکید شده است.

### ۳-۱۹-۳- اساسنامه شرکت سهامی سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا)

هدف این شرکت ارتقا و توسعه کارایی انرژی می‌باشد. از جمله وظایف این شرکت، توسعه مدیریت انرژی به منظور استفاده کارآمد و بهینه از منابع انرژی، از طریق انجام مطالعات تحقیق و توسعه، طراحی، مشاوره و اطلاع‌رسانی، مدیریت ساخت و اجرا، حمایت‌های فنی و اقتصادی و ظرفیت‌سازی به‌ویژه در بخش‌های غیردولتی و مدیریت طرح‌ها و پروژه‌های مرتبط با هدف می‌باشد.

این سازمان در اردیبهشت ماه سال ۱۳۸۹ نسبت به تهیه و تدوین سند نقشه راه بهره‌وری انرژی الکتریکی بر اساس قوانین بالادستی اقدام نمود. در این سند چگونگی نیل به اهداف کمی تعیین شده در بخش بهینه‌سازی مصرف انرژی تبیین شده است. که از جمله سیاست‌های مورد توجه آن اصلاح شبکه‌های توزیع به منظور کاهش تلفات شبکه می‌باشد.

### ۳-۱۹-۴- اساسنامه سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی (ساتبا)

این اساسنامه در تاریخ ۱۳۹۲/۷/۱۰ به تصویب هیأت وزیران رسیده است و در ۱۳۹۳/۱/۱۷ به تصویب مجلس رسیده است. در این سند، وظایف زیر برای این سازمان مطرح شده است:

- ارتقا و توسعه کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر، توسعه مدیریت تقاضای انرژی‌های الکتریکی به منظور استفاده بهینه و کارآمد از منابع انرژی.

- سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی و نظارت بر پیاده‌سازی سامانه هوشمند شبکه برق در چهارچوب قوانین و مقررات مربوط.

- تدوین استانداردها و معیارها.

- حمایت از طراحی، ساخت و آزمایش طرح‌های آزمایشی به منظور کسب دانش و تجربیات نوین.

- حمایت فنی و اقتصادی و هدایت مطالعات و پژوهش‌های مراکز علمی، تحقیقاتی، مشاوره‌ای داخلی و خارجی.

- حمایت از اجرای پروژه‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی.

### ۳-۱۹-۵- اساسنامه شرکت‌های برق منطقه‌ای

هیئت وزیران در جلسه‌های مورخ ۱۳۸۱/۱۲/۴ و ۱۳۸۲/۲/۷ اساسنامه شرکت‌های برق منطقه‌ای را تصویب نمود. از جمله فعالیت و وظایف این شرکت‌ها که در اساسنامه آنها ذکر شده، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- خرید و فروش و مبادله نیروی برق اعم از کلی و جزئی

- ایجاد و توسعه تاسیسات تولید و انتقال نیروی برق و اداره و بهره‌برداری از آنها

- ایجاد و توسعه شبکه و تاسیسات توزیع نیروی برق در کلیه نقاط حوزه فعالیت خود و بهره‌برداری از آنها

- خرید خدمات از بخش غیر دولتی برای انجام امور مطالعاتی، اجرایی، بهره‌برداری و نگهداری تاسیسات صنعت برق و خدمات مشترکان به منظور کاهش هزینه‌ها، افزایش بهره‌وری و ارتقای سطح خدمات

- انجام تمهیدات لازم به منظور توسعه مشارکت بخش غیردولتی در صنعت برق به نحوی که دسترسی عام به شبکه‌های برق در حوزه فعالیت شرکت برای تبادل انرژی برقرار گردد.

### ۳-۱۹-۶- آیین‌نامه تعیین شرایط و روش خرید و فروش برق در شبکه برق کشور

در این آیین‌نامه که توسط دبیرخانه هیأت تنظیم بازار برق در سال ۱۳۸۴ تهیه شده است، آمده است: راهبری شبکه سراسری برق کشور و اطمینان از شرایط بهره‌برداری ایمن از این شبکه و مدیریت دسترسی و جابجائی (ترانزیت) انرژی الکتریکی در شبکه برق شامل تبادلات درون و برون مرزی بر عهده معاونت راهبری و پایش شبکه شرکت مدیریت شبکه برق ایران (مرکز ملی راهبری و پایش شبکه سراسری برق کشور) است.

## ۳-۲۰- جمع بندی

در جستجو و مطالعه اسناد بالادستی کشور و برنامه راهبردی صنایع مختلف که به صورت مستقیم و غیر مستقیم مرتبط با حوزه تجهیزات الکترونیک قدرت هستند غالباً بر تحقق اهداف سند چشم انداز ۲۰ ساله جمهوری اسلامی ایران، کاهش تلفات و افزایش بازده شبکه توزیع و همچنین مباحث زیست محیطی تاکید شده است.

با توجه به این مطالب الزاماتی که در زمینه توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق باید در تدوین بیانیه اولیه چشم انداز در نظر گرفته شوند در جدول ۳-۲ گردآوری شده است.

جدول ۳-۲: مستندات مرتبط با لزوم توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق

ردیف	قانون تصویب شده	بخش مربوط به انرژی	موارد و ویژگی‌های قابل برداشت از قانون که در تدوین بیانیه اولیه چشم انداز باید در نظر گرفته شوند
۱	سند چشم انداز ۱۴۰۴ جمهوری اسلامی ایران	توسعه یافته	دستیابی به جایگاه مناسب در میان کشورهای توسعه یافته جهان در افق ۱۴۰۴
		برخوردار از دانش پیشرفته	بومی سازی دانش شناخت و طراحی و تولید فناوری های دراولویت تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق در افق ۱۴۰۴
		توانا در تولید علم و فناوری	تربیت نیروی انسانی متخصص و بومی سازی کامل تولید در افق ۱۴۰۴
		تولید ملی با تکیه بر سهم برتر منابع انسانی و سرمایه اجتماعی	سازماندهی و بسیج امکانات و ظرفیتهای کشور در جهت افزایش سهم کشور در تولیدات علمی
		بهره مندی از محیط زیست مطلوب	توجه به محیط زیست و تلاش برای افزایش ایمنی محیط زیست
		دست یافتن به جایگاه اول اقتصادی، علم و فناوری در سطح منطقه آسیای جنوب غربی (آسیای میانه، قفقاز، خاورمیانه و کشورهای همسایه)	دستیابی به جایگاه اول منطقه در بخش های مختلف صنعت تجهیزات الکترونیک قدرت
۲	قانون برنامه پنجم توسعه کشور	به گونه ای برنامه ریزی نماید که سهم پژوهش از تولید ناخالص داخلی سالانه به میزان ۰/۵ درصد افزایش یافته و تا پایان برنامه به ۳ درصد برسد.	توجه و حمایت از برنامه ها و طرح های پژوهشی

ردیف	قانون تصویب شده	بخش مربوط به انرژی	موارد و ویژگی‌های قابل برداشت از قانون که در تدوین بیانیه اولیه چشم‌انداز باید در نظر گرفته شوند
		در ماده ۱۳۴ به منظور اعمال صرفه‌جویی، تشویق و حمایت از مصرف‌کنندگان در راستای منطقی کردن و اصلاح الگوی مصرف انرژی و برق، حفظ ذخایر انرژی کشور و حفاظت از محیط زیست به وزارتخانه‌های نیرو، نفت و صنایع و معادن اشاره می‌شود.	توجه به محیط زیست، اصلاح الگوی مصرف
۳	قانون بودجه سال ۹۳ کل کشور	<p>اجرای طرح‌های افزایش بازدهی نیروگاه‌ها با اولویت نصب بخش بخار در نیروگاه‌های چرخه (سیکل) ترکیبی، توسعه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، کاهش تلفات، بهینه‌سازی و صرفه‌جویی در مصرف سوخت مایع، جایگزینی مصرف برق به جای گاز یا فرآورده‌های نفتی در مناطقی که توجیه اقتصادی دارد و افزایش سهم صادرات برق تا سقف یکصد و بیست هزار میلیارد ریال به روش بیع متقابل، با سرمایه‌گذاران بخش‌های خصوصی و عمومی با اولویت استفاده از تجهیزات ساخت داخل قرارداد منعقد نماید.</p> <p>وزارت نیرو می‌تواند حداکثر تا سقف (۴,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰) ریال صرفاً بابت حمایت از توسعه و نگهداری شبکه‌های روستایی و تولید برق تجدیدپذیر و پاک توسط شرکت توانیر هزینه نماید.</p>	<p>توسعه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر</p> <p>توجه به کاهش تلفات که می‌تواند با اسفاده از تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق میسر شود</p> <p>صادرات برق</p> <p>تولید برق تجدیدپذیر و پاک</p>
۴	سیاست‌های کلی نظام جمهوری اسلامی ایران در مورد "انرژی"	<p>ایجاد تنوع در منابع انرژی کشور و استفاده از آن با رعایت مسائل زیست محیطی و تلاش برای افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر با اولویت انرژی‌های آبی.</p> <p>تلاش برای کسب فن‌آوری و دانش فنی انرژی‌های نو و ایجاد نیروگاه‌ها از قبیل بادی و خورشیدی و پیل‌های سوختی و زمین گرمایی در کشور</p>	<p>افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر</p>
۵	سیاست‌های کلی علم و فناوری	<p>ارتقا جایگاه جهانی کشور در علم و فناوری و تبدیل ایران به قطب علمی و فناوری جهان اسلام؛</p> <p>توسعه علوم پایه و تحقیقات بنیادی</p> <p>دستیابی به علوم و فناوری‌های پیشرفته با سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی ویژه</p>	<p>توسعه تحقیقات بنیادی</p> <p>افزایش بودجه تحقیق و پژوهش و توجه بیشتر به زمینه‌های پژوهشی</p>
		<p>سامان‌دهی و تقویت نظام‌های نظارت، ارزیابی، اعتبارسنجی و رتبه‌بندی در حوزه‌های علم و فناوری.</p> <p>افزایش بودجه تحقیق و پژوهش به حداقل ۴٪ تولید ناخالص داخلی تا پایان سال ۱۴۰۴ با تاکید بر مصرف بهینه منابع و ارتقا بهره‌وری.</p>	<p>رتبه‌بندی در حوزه علم و فناوری</p> <p>حمایت از طرح‌ها و تحقیقات پژوهشی اولویت دار</p> <p>اهتمام بر انتقال تکنولوژی و کسب دانش طراحی در کشور با</p>

ردیف	قانون تصویب شده	بخش مربوط به انرژی	موارد و ویژگی‌های قابل برداشت از قانون که در تدوین بیانیه اولیه چشم‌انداز باید در نظر گرفته شوند
		<p>– افزایش سهم علم و فناوری در اقتصاد و درآمد ملی، ازدیاد توان ملی و ارتقای کارآمدی.</p> <p>– حمایت از مالکیت فکری و معنوی و تکمیل زیرساخت‌ها و قوانین و مقررات مربوط.</p>	توجه به حجم بازار بالقوه در کشور
		اهتمام بر انتقال فناوری و کسب دانش طراحی و ساخت برای تولید محصولات در داخل کشور با استفاده از ظرفیت بازار ملی در مصرف کالاها.	
۶	سیاست‌های کلی اصلاح الگوی مصرف	<p>– اولویت دادن به افزایش بهره‌وری در تولید، انتقال و مصرف انرژی در ایجاد ظرفیت‌های جدید تولید انرژی.</p> <p>– انجام مطالعات جامع و یکپارچه سامانه انرژی کشور به منظور بهینه‌سازی عرضه و مصرف انرژی.</p> <p>– بازنگری و تصویب قوانین و مقررات مربوط به عرضه و مصرف انرژی.</p> <p>– افزایش بازدهی نیروگاه‌ها، متنوع‌سازی منابع تولید برق و افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و نوین.</p> <p>– بهبود روش‌های انتقال حامل‌های انرژی.</p>	افزایش بهره‌وری، ایجاد ظرفیت‌های جدید، انجام تحقیقات، افزایش بازده نیروگاه‌ها، افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و نوین
۷	سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی	<p>– پیشسازی اقتصاد دانش بنیان، پیاده‌سازی و اجرای نقشه جامع علمی کشور و ساماندهی نظام ملی نوآوری به منظور ارتقاء جایگاه جهانی کشور و افزایش سهم تولید و صادرات محصولات و خدمات دانش بنیان و دستیابی به رتبه اول اقتصاد دانش بنیان در منطقه.</p> <p>– استفاده از ظرفیت اجرای هدفمندسازی یارانه‌ها در جهت افزایش تولید، اشتغال و بهره‌وری، کاهش شدت انرژی.</p> <p>– افزایش ارزش افزوده از طریق تکمیل زنجیره ارزش صنعت نفت و گاز، توسعه تولید کالاها دارای بازدهی بهینه (براساس شاخص شدت مصرف انرژی) و بالابردن صادرات برق</p>	دستیابی به جایگاه اول اقتصاد دانش بنیان افزایش تولید و سهم صادرات برق با بهره‌مندی از سامانه‌های ذخیره‌سازی در تولید برق از منابع تجدیدپذیر



ردیف	قانون تصویب شده	بخش مربوط به انرژی	موارد و ویژگی‌های قابل برداشت از قانون که در تدوین بیانیه اولیه چشم‌انداز باید در نظر گرفته شوند
۸	سند نقشه جامع علمی کشور	<p>– اجتماع دو رویکرد درون‌مداری و برون‌مداری از نظر توجه به نیازها و قابلیت‌های بومی و سایر کشورها.</p> <p>– توجه ویژه به توسعه نیازمحور علوم و فناوری‌های مهندسی برای تولید و جذب فناوری با توان رقابتی و ثروت‌آفرینی همراه با حفظ محیط زیست و الگوی صحیح مصرف.</p> <p>– اصلاح قوانین و مقررات مربوط به انتقال فناوری به کشور و ایجاد و توسعه نهادهای انتقال و بومی‌سازی فناوری از خارج به داخل و بالعکس.</p>	<p>اصلاح قوانین مربوط به انتقال تکنولوژی و بومی‌سازی فناوری</p> <p>اصلاح الگوی مصرف و توجه به محیط زیست</p>
۹	قانون هدفمند کردن یارانه‌ها	<p>– قیمت تمام شده برق، مجموع هزینه‌های تبدیل انرژی، انتقال و توزیع و هزینه سوخت با بازده حداقل سی و هشت درصد (۳۸٪) نیروگاه‌های کشور و رعایت استانداردها محاسبه می‌شود و هر ساله حداقل یک درصد (۱٪) به بازده نیروگاه‌های کشور افزوده شود به طوری که تا پنجسال از زمان اجراء این قانون به بازده چهل و پنج درصد (۴۵٪) برسد و همچنین تلفات شبکه‌های انتقال و توزیع تا پایان برنامه پنجساله پنجم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران به چهارده درصد (۱۴٪) کاهش یابد.</p> <p>– بهینه‌سازی مصرف انرژی در واحدهای تولیدی، خدماتی و مسکونی</p> <p>– توسعه تولید برق از منابع تجدیدپذیر.</p>	<p>افزایش بهره‌وری، کاهش تلفات، بهینه‌سازی مصرف انرژی، اصلاح ساختار فناوری واحدهای تولیدی، توسعه تولید برق از منابع تجدیدپذیر.</p>
۱۰	برنامه راهبردی وزارت نیرو	<p>– ارتقاء بهره‌وری و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، سازگار با محیط زیست و متناسب با زیرساخت‌های حال و آینده و تبادل برق با کشورهای منطقه و کاهش شدت انرژی، افزایش خوداتکایی و توسعه کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر.</p> <p>– سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی، اجرا و توسعه طرح‌های تولید، انتقال و توزیع انرژی برق.</p> <p>– افزایش ظرفیت نصب شده نیروگاه‌های انرژی‌های نو و تجدیدپذیر (بادی، خورشیدی، برق‌آبی متوسط و کوچک و ...) به سطح ۳ درصد کل ظرفیت نیروگاهی</p> <p>و GIS و احداث پست‌های (FACTS) – توسعه فناوری سیستم‌های انتقال انعطاف‌پذیر در کشور HVDC خطوط انتقال</p> <p>– کاهش تلفات شبکه به میزان سالیانه حداقل ۱ درصد و رساندن به سطح ۱۵ درصد</p> <p>– ایجاد زیرساخت هوشمند در شبکه توزیع در سطح حداقل ۲۰ درصد شبکه</p>	<p>ارتقاء فناوری، بهینه‌سازی مصرف، توجه به محیط زیست و افزایش بهره‌وری در تولید برق و کاهش تلفات شبکه</p> <p>افزایش ظرفیت نصب شده نیروگاه‌های انرژی‌های نو و تجدیدپذیر</p> <p>توسعه فناوری سیستم‌های الکترونیک قدرت از جمله HVDC و FACTS</p> <p>تمرکز بر تحقیق و پژوهش و بومی‌سازی فناوری</p>

موارد و ویژگی‌های قابل برداشت از قانون که در تدوین بیانیه اولیه چشم‌انداز باید در نظر گرفته شوند	بخش مربوط به انرژی	قانون تصویب شده	ردیف
	<p>زیست‌های نوین و سازگار با محیط‌سازی فناوری-شناسایی، انتقال و بومی</p> <p>- مطالعه و بررسی کاربرد روش‌های نوین انتقال و ذخیره‌سازی برق از جمله: ابرسانا، های انتقال برق فشار قوی با (، سیستم EHV های انتقال برق با ولتاژ خیلی بالا (سیستم (، FACTS پذیر (های انتقال برق متناوب انعطاف)، سیستم HVDC جریان مستقیم ( باطری‌ها، هوای فشرده، هیدروژن و ...</p> <p>های تولید، انتقال و توزیع برق متناسب با نیازهای مصرف مدیریت - توسعه ظرفیت سازی آنها شده و نوسازی و بهینه</p> <p>- تمرکز بر تحقیق و پژوهش و بومی‌سازی فناوری در فعالیتهای مربوط به تولید برق از انرژی خورشیدی و بادی در کشور</p> <p>توزیع و توزیع برق‌های فوق - هماهنگی در طراحی و توسعه شبکه های توزیع - اصلاح معماری شبکه</p>		
توسعه فناوری‌های نوین و کارای شبکه‌های انتقال و توزیع برق	<p>- شبکه هوشمند برق ایران و پیاده‌سازی نمونه</p> <p>- توسعه فناوری‌های ذخیره‌سازی برق و انرژی و تولید پراکنده برق</p> <p>- توسعه فناوری‌های نوین و کارای شبکه‌های انتقال و توزیع برق</p> <p>- توسعه فناوری‌های تبدیل انرژی‌های تجدیدپذیر</p>	سیاست‌ها و اولویت‌های پژوهش فناوری	۱۱
تولید برق تجدیدپذیر و پاک و توسعه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر توجه به مسائل زیست محیطی	<p>- سرمایه‌گذاری در صنعت تولید پیل‌های سوختی راهبردی و فناوری‌های کلیدی آن با تکیه بر نقش بخش خصوصی و تاکید بر مزیت‌های رقابتی ایجاد اشتغال و رویکرد صادرات.</p> <p>- کاهش آلودگی محیط‌زیست به ویژه در شهرهای بزرگ با بکارگیری فناوری پیل سوختی در حمل و نقل و تامین برق.</p>	سند راهبردی ملی توسعه فناوری پیل سوختی کشور	۱۲
تولید برق تجدیدپذیر و پاک و توسعه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر توجه به مسائل زیست محیطی	<p>- افزایش سهم نیروگاه‌های بادی متناسب با افزایش میزان نصب انواع نیروگاه‌ها در کشور با تامین حداقل ۲۴۵۰۰ مگاوات ظرفیت نصب شده. بهبود وضعیت زیست‌محیطی کشور با کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی.</p> <p>- افزایش توانمندی‌های فناورانه و تولیدی در کشور در حوزه انرژی بادی با رویکرد صادرات فناوری و با تاکید بر توانمندسازی بخش خصوصی.</p>	سند راهبردی ملی توسعه صنعت برق بادی ایران	۱۳

ردیف	قانون تصویب شده	بخش مربوط به انرژی	موارد و ویژگی‌های قابل برداشت از قانون که در تدوین بیانیه اولیه چشم‌انداز باید در نظر گرفته شوند
۱۴	سند توسعه ویژه (فرابخشی) "مدیریت انرژی"	<ul style="list-style-type: none"> <li>- تدوین، ارتقا و اعمال استانداردهای کیفیت حامل‌های انرژی</li> <li>- حمایت از انجام مطالعات و فعالیت‌های مهندسی در زمینه ارتقای کارایی انرژی</li> <li>- کاهش میزان تلفات در شبکه‌های انتقال و توزیع انرژی</li> <li>- حمایت از نوآوری‌های بخش انرژی از طریق تدوین قوانین حمایتی</li> <li>- حمایت از تحقیقات در بخش انرژی با هدف کاهش هزینه تمام شده و کاهش ارزشبری با تاکید بر انرژی‌های نو و پاک</li> <li>- گسترش بازار برق و توسعه شبکه تبادل انرژی با کشورهای همسایه</li> </ul>	<p>حمایت از تحقیقات و مطالعات در زمینه ارتقای کارایی انرژی</p> <p>کاهش میزان تلفات در شبکه برق</p>
۱۵	ماموریتها و وظایف وزارت صنعت، معدن و تجارت	<ul style="list-style-type: none"> <li>- مشارکت با سازمان ملی استاندارد ایران و سایر مراجع مربوطه جهت تدوین یا بازنگری استانداردهای مورد نیاز (به لحاظ کیفی، زیست محیطی و میزان مصرف انرژی)</li> <li>- مشارکت در مطالعات و بررسی های لازم به منظور استفاده بهینه از منابع انرژی</li> </ul>	<p>تدوین یا بازنگری استانداردهای مورد نیاز به لحاظ کیفی، زیست محیطی و میزان مصرف انرژی</p> <p>توسعه صادرات</p>
۱۶	اساسنامه شرکتهای برق و آئین‌نامه‌ها	<ul style="list-style-type: none"> <li>- بررسی و تدوین پیشنهادهای لازم در زمینه راهبردها و سیاست‌ها و برنامه‌های بلندمدت و میان‌مدت صنعت برق.</li> <li>- تهیه طرح‌های لازم برای توسعه تأسیسات تولید و انتقال و توزیع صنعت برق</li> <li>- بررسی، مطالعه و سایر اقدامات لازم برای توسعه فناوری، انتقال دانش فنی و اطلاع‌رسانی تأمین کالا و ساخت تجهیزات مورد نیاز صنعت برق.</li> <li>- اصلاح شبکه های توزیع به منظور کاهش تلفات شبکه.</li> <li>- ایجاد و توسعه شبکه و تأسیسات توزیع نیروی برق در کلیه نقاط حوزه فعالیت خود و بهره برداری از آنها.</li> </ul>	<p>کاهش تلفات شبکه</p> <p>توسعه فناوری و انتقال دانش فنی و ساخت تجهیزات مورد نیاز صنعت برق</p>

## فصل چهارم: ساختار نهادی و کنش‌گران فعال در فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق

#### ۴-۱- مقدمه

در این فصل به شناسایی بازیگران و نهادهای فعال در حوزه توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق، شرح ماموریت آن‌ها، ساختار و نحوه سازماندهی آن‌ها پرداخته می‌شود و بر اساس نقشی که در سطح کلان یا خرد ایفا می‌کنند به دو بخش محیط بیرونی و درونی تقسیم می‌شوند و سپس نگاهی نهادی مجموعه این نهادها و روابط آن‌ها با یکدیگر ارائه می‌گردد.

#### ۴-۲- مجلس

مجلس در نظام جمهوری اسلامی ایران از اهمیت ویژه و والایی برخوردار بوده و محور بسیاری از تصمیم‌گیری‌ها، قانون‌گذاری‌ها، برنامه‌ریزی‌ها است و چراغ هدایت دولت و ملت را به دست دارد. مجلس پایگاه اساسی نظام و مردم و مایه حضور و مشارکت واقعی مردم در تصمیم‌گیری‌ها و مظهر اراده ملی است. با توجه به نقش مؤثر و مهم مجلس در نظام کشور، وظایف عمده مجلس در دو بخش خلاصه می‌گردد:

- قانون‌گذاری
- نظارت

در جهان امروز، طرح پرسش‌های نو و مسائل پیچیده و چندوجهی در حوزه‌های مختلف، نهادهای قانون‌گذاری را ناگزیر از تأسیس مراکز علمی و پژوهشی ساخته تا با اتکا به تخصص‌ها و مطالعات فراهم آمده در آن مراکز و بهره‌گیری از آن‌ها، به شناخت کارشناسانه مسائل و پاسخگویی به نیازهای نو در تدوین قوانین توفیق یابند.

#### ۴-۳- مجمع تشخیص مصلحت نظام

در سال ۱۳۶۸ و در جریان بازنگری قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران، این مجمع رسماً به صورت یکی از نهادهای رسمی کشور درآمد و وظیفه اصلی آن حل اختلاف بین مجلس شورای اسلامی و شورای نگهبان است.

وظایف مجمع تشخیص مصلحت نظام:

- مجمع تشخیص مصلحت نظام، مسئولیت تصمیم‌گیری در سیاست‌های کلان داخلی و خارجی ایران و حل اختلاف میان قوای سه‌گانه را برعهده دارد و همچنین ناظر بر فعالیت‌های آنان است.
  - این مجمع، وظیفه تدوین برنامه چشم‌انداز ۲۰ ساله (از ۱۳۸۴ تا ۱۴۰۴) و نظارت بر اجرای آن را برعهده دارد.
  - همچنین از سال ۱۳۸۵ رهبر جمهوری اسلامی، اختیار نظارت بر عملکرد قوای سه‌گانه را که از اختیارات رهبر است، به این مجمع واگذار کرد.
- مجمع تشخیص مصلحت نظام بالاترین رکن سیاست‌گذاری کلان در کشور می‌باشد زیرا تدوین سیاست‌های کلی نظام در حوزه‌های علم و فناوری و پژوهش در قالب سند چشم‌انداز ۲۰ ساله از وظایف این نهاد می‌باشد.

#### ۴-۴- شورای عالی علوم، تحقیقات و فناوری (عتف)

بر اساس ماده ۹۹ قانون برنامه سوم توسعه فرهنگی، اقتصادی و اجتماعی کشور، وزارت فرهنگ و آموزش عالی به وزارت علوم، تحقیقات و فناوری تغییر نام داده و مأموریت‌های جدی و جدیدی در حوزه پژوهش و فناوری به وزارت محول شده است. بر همین اساس قانون اهداف، وظایف و تشکیلات وزارت علوم، تحقیقات و فناوری در شهریورماه ۱۳۸۳ به تصویب مجلس شورای اسلامی رسیده است. بر اساس مواد ۳ و ۴ این قانون، تشکیل شورای عالی علوم، تحقیقات و فناوری با هدف ایجاد هماهنگی و یکپارچگی در سیاست‌گذاری کلان اجرایی در حوزه علوم، تحقیقات و فناوری پیش‌بینی شده است.

شورای عالی علوم، تحقیقات و فناوری در جهت ارتقای کیفیت سیاست‌گذاری در زمینه‌های مختلف علوم، تحقیقات و فناوری و راهبری توسعه فناوری‌های دارای اولویت ملی، اقدام به تشکیل کمیسیون‌های دوازده‌گانه نموده است. از مهمترین وظایف این کمیسیون‌ها می‌توان به اولویت‌بندی و پیشنهاد اجرای طرح‌های اجرائی بلندمدت سرمایه‌گذاری کلان در بخش‌های آموزشی، پژوهشی و فناوری و همچنین بررسی و پیشنهاد منابع مالی مورد نیاز در حوزه‌های علوم، تحقیقات و فناوری اشاره کرد.

وظایف شورای عالی علوم تحقیقات و فناوری به شرح زیر می‌باشد:

- اولویت‌بندی و انتخاب طرح‌های اجرائی بلندمدت سرمایه‌گذاری کلان در بخش‌های آموزشی و پژوهشی و فناوری
- بررسی و پیشنهاد منابع مالی مورد نیاز در حوزه‌های علوم، تحقیقات و فناوری

- مجلس شورای اسلامی در بند ۲۶ قانون بودجه سال ۱۳۸۸، کلیه دستگاه‌های اجرایی را مکلف به گزارش‌دهی از عملکرد بودجه‌های پژوهشی خود نموده و وزارت علوم، تحقیقات و فناوری نیز موظف است گزارشات مزبور را جمع‌بندی و به شکل جامعی به مجلس ارائه نماید.
- در واقع با توجه به بند اول وظایف این شورا، می‌توان این شورا را جزء سیاستگذاران پژوهشی کشور قلمداد نمود.

#### ۴-۵- معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری

معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری در ۱۵ بهمن سال ۱۳۸۵ به دستور ریاست جمهور وقت و با استناد به اصل ۱۲۴ قانون اساسی تشکیل گردید. معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری زیر نظر رئیس جمهور قرار دارد و به منظور هماهنگی و هم-افزایی امور علمی و فناوری در کل کشور تشکیل شده است که از وزارتخانه‌ها و سایر دستگاه‌های اجرایی کشور مجزا می‌باشد و از ۵ معاونت تشکیل شده که عبارتند از: معاونت سیاستگذاری و ارزیابی راهبردی، معاونت توسعه فناوری، معاونت نوآوری و تجاری‌سازی، معاونت امور بین‌الملل و تبادل فناوری و معاونت توسعه مدیریت و منابع. دفتر سیاستگذاری معاونت سیاستگذاری و ارزیابی راهبردی، نقش سیاستگذار را بر عهده دارد.

اهداف معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری عبارتند از:

- ارتقای اقتدار ملی، تولید ثروت و افزایش کیفیت زندگی مردم از طریق افزایش توانمندی‌های فناوری و نوآوری در کشور
- ارتقای «نظام ملی نوآوری» و تکمیل مؤلفه‌ها و حلقه‌های آن
- توسعه «اقتصاد دانش‌بنیان» از طریق هماهنگی و هم‌افزایی بین‌بخشی و بین دستگاهی
- ارتقای ارتباط «دانش» با «صنعت» و «جامعه» و تسهیل تبادلات بین بخش‌های عرضه و تقاضای فناوری و نوآوری
- تجاری‌سازی دستاوردهای فناوری و نوآوری و توسعه شرکت‌های دانش‌بنیان
- توسعه فناوری‌های راهبردی و اولویت‌دار ملی مطرح در نقشه جامع علمی کشور
- اعتلای ارتباطات بین‌المللی علمی، فناوری و نوآوری و توسعه دیپلماسی علمی و فناوری

وظایف اساسی معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری عبارتند از:

- سیاستگذاری و برنامه‌ریزی تأمین منابع مالی در نظام علم، فناوری و نوآوری کشور
- هدفمندسازی، هدایت و توسعه پژوهش‌های کاربردی، تقاضا محور و مأموریت‌گرا و کمک به تجاری‌سازی نتایج آنها
- توسعه دیپلماسی علم و فناوری و ارتباطات بین‌المللی و توسعه سرمایه‌گذاری خارجی در طرح‌های دانش بنیان، هدایت سرمایه‌های انسانی و مالی ایرانیان خارج از کشور و توسعه شبکه‌های بین‌المللی علم و فناوری به ویژه در جهان اسلام با هماهنگی و همکاری دستگاه‌های ذیربط
- توسعه سازوکارهای سرمایه‌گذاری خطر پذیر و تأمین مالی لازم در اقتصاد دانش بنیان
- تحریک تقاضا، بازارسازی و تضمین بازار برای تولیدات داخلی و بازاریابی و صادرات کالاها و خدمات دانش بنیان
- رصد فرصت‌های بین‌المللی به منظور توسعه فناوری به ویژه شناسایی و کسب فناوری‌های نوظهور با هماهنگی و همکاری دستگاه‌های ذیربط

انجام اقدامات لازم جهت توسعه اولویت‌های علم و فناوری نقشه جامع علمی کشور.

#### ۴-۶- دفتر همکاری‌های فناوری و نوآوری ریاست جمهوری

معاونت پژوهش و برنامه‌ریزی دفتر همکاری‌های فناوری ریاست جمهوری در سال ۱۳۷۷ جهت پاسخگویی به نیازهای دفتر در شش بخش پژوهش، برنامه‌ریزی و نظارت، حقوقی و قراردادها، ارزیابی تکنولوژی، اطلاع‌رسانی داخلی و آموزش کارکنان ایجاد گردید.

وظایف و برنامه‌های این معاونت در بخش‌های مختلف به شرح زیر می‌باشد:

##### • پژوهش

مطالعه در زمینه سیاست‌ها و برنامه‌های توسعه کشورهای موفق، مطالعه و پژوهش در زمینه عوامل مؤثر در توسعه و پیشرفت کشور، کمک به فرهنگ‌سازی در عرصه تکنولوژی، مطالعه و پژوهش در مبانی تکنولوژی، تدوین مفاهیم و روش‌های مناسب انتقال تکنولوژی، مطالعه وضع موجود تکنولوژی‌های کشور، پیش‌بینی روند توسعه تکنولوژی‌های داخل کشور و سایر کشورها،



بالاخص در زمینه تکنولوژی‌های مورد نیاز کشور، کمک به تشکیل و راه‌اندازی کانون‌های تحلیلی‌گری و ایجاد ارتباط با مجموعه‌های فکری موجود در داخل و خارج از کشور، ایجاد ارتباط بین محققین و تحلیلگران در عرصه تکنولوژی

- ارزیابی تکنولوژی

بکارگیری ابزارهای مدیریت تکنولوژی و روش‌های مهندسی صنایع جهت بررسی و ارزیابی طرح‌های تکنولوژیکی و تکنولوژی‌های منتخب از نظر میزان تناسب با نیازهای مشخص شده، ارزیابی میزان موفقیت در جذب تکنولوژی‌ها و رسیدن به اهداف تکنولوژیکی و مطالعه امکان سنجی فنی - اقتصادی پروژه‌ها.

وظایف و فعالیت‌های دفتر همکاری‌های فناوری ریاست جمهوری

- تسهیل و کمک به انجام پروژه‌های مشترک با منابع خارجی

ارتباط با ایرانیان مقیم خارج از کشور و تبادل اطلاعات در زمینه فناوری‌های نوین.

#### ۴-۷- وزارت علوم تحقیقات و فناوری

حدود اختیارات و مأموریت‌های وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به صورت ذیل می‌باشد:

۱- در زمینه انسجام امور اجرایی و سیاستگذاری نظام علمی و امور تحقیقات و فناوری

- شناسایی مزیت‌های نسبی، قابلیت‌ها، استعدادها و نیازهای پژوهش و فناوری کشور بر مبنای آینده‌نگری و آینده‌پژوهی و معرفیان به واحدهای تولیدی، تحقیقاتی، دانشگاه‌ها و مراکز آموزشی و تحقیقاتی جهت بهره‌برداری
- بررسی اولویت‌های راهبردی تحقیقات و فناوری با همکاری یا پیشنهاد دستگاه‌های اجرایی ذی ربط و پیشنهاد به شورای عالی علوم، تحقیقات و فناوری
- حمایت از توسعه تحقیقات بنیادی و پژوهش‌های مرتبط با فناوری‌های نوین بر اساس اولویت‌ها
- برنامه‌ریزی برای تدارک منابع مالی و توسعه فناوری کشور و مشارکت در ایجاد، توسعه و تقویت فناوری ملی و حمایت از توسعه فناوری‌های بومی

- اتخاذ تدابیر لازم به منظور افزایش کارایی و اثر بخشی تحقیقات کشور و توسعه تحقیقات کاربردی با همکاری دستگاه‌های ذی ربط.
  - اتخاذ تدابیر و تهیه پیشنهادهای لازم درخصوص انتقال فناوری و دانش فنی و برنامه ریزی به منظور بومی کردن فناوری‌های انتقال یافته به داخل کشور و ارایه آنها به شورای عالی علوم، تحقیقات و فناوری.
  - ایجاد زمینه‌های مناسب برای عرضه فناوری در داخل و خارج کشور و حمایت از صدور فناوری‌های تولید شده در کشور و کمک به ایجاد انجمن‌ها و شرکت‌های غیر دولتی علمی، تحقیقاتی و فناوری.
  - اتخاذ راهکارهای مناسب برای کمک به توسعه پژوهش و فناوری در بخش‌های غیر دولتی.
- ۲- در زمینه اداره امور دانشگاه‌ها و موسسات آموزش عالی تحت پوشش وزارت علوم، تحقیقات و فناوری.
- تعیین راهکارهای لازم و برنامه‌ریزی و حمایت از ایجاد و گسترش دانشگاه‌ها، موسسات آموزش عالی، مراکز تحقیقاتی و فناوری و دیگر مراکز فعالیت‌های علمی- پژوهشی همانند شهرک‌های تحقیقاتی، آزمایشگاه‌های ملی، موزه‌های علوم و فنون با استفاده از منابع دولتی و غیردولتی و مشارکت‌های مردمی متناسب با نیازها و ضرورت‌های کشور.
- برنامه‌ریزی اجرایی، آموزشی و تحقیقاتی متناسب با نیازها و تحولات علمی و فنی در جهان.
  - نظارت بر فعالیت‌های دانشگاه‌ها و موسسات آموزش عالی و تحقیقاتی کشور.
- در مجموع این وزارتخانه هم نقش نظارت بر دانشگاه‌های کشور را بر عهده دارد که وظیفه معاونت آموزشی این وزارتخانه می‌باشد و هم نقش سیاست‌گذاری نظام علمی و امور تحقیقات و فناوری را برعهده دارد که وظیفه مرکز برنامه‌ریزی و سیاستگذاری پژوهشی در معاونت پژوهش و فناوری این وزارتخانه است.

#### ۴-۸- وزارت صنعت معدن و تجارت

اهداف کلی وزارت صنایع به شرح زیر می باشد:

- تدوین استراتژی توسعه صنعتی و معدنی.
- تعیین سیاست‌ها، برنامه و ضوابط کلی بخش صنعت و معدن کشور.

- نظارت بر فعالیتهای صنعتی و معدنی و هدایت و حمایت از آن ها.
- برنامه ریزی برای افزایش بازدهی و بهره‌وری بخش صنعت و معدن کشور.
- حمایت از اقدامات مربوط به رشد بهره‌وری مدیریت و نیروی انسانی و توسعه کارآفرینی بخش صنعت و معدن کشور.
- صدور مجوز تاسیس و بهره‌برداری واحدهای تولیدی صنعتی و معدنی با رعایت مقررات زیست محیطی.

#### ۴-۹- وزارت نیرو

وزارت نیرو یکی از مهمترین وزارتخانه‌های اقتصادی دولت محسوب می شود. میزان اعتبارات سالیانه این وزارتخانه به طور طبیعی چند برابر برخی از وزارتخانه‌ها است. اهمیت تامین و توزیع آب و برق با کیفیت مطلوب که از حیاتی‌ترین نیازهای جامعه است، مهمترین هدف این وزارتخانه محسوب می شود. اما می توان مهمترین اهداف وزارت نیرو را به شرح زیر در چند محور ذکر کرد:

- حفاظت، نگهداری، بهره‌برداری و بهبود کمی و کیفی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی.
  - رضایت و اقناع مردم با تامین، تصفیه و توزیع مناسب آب بهداشتی سالم و دائمی برای انواع مصارف.
  - بالا بردن بهداشت محیط شهرها و روستاها با طراحی و اجرای شبکه‌های جمع آوری و تصفیه خانه‌های فاضلاب.
  - تامین نیازهای انرژی با کیفیت مطلوب و تمام وقت برای انواع مصارف شهروندان
  - دیدگاه بلندمدت (دورنگر) به صیانت از منابع آب و انرژی و انتقال آن به نسل‌های آینده
- وظایف و ماموریت‌های این وزارتخانه در بخش برق شامل موارد زیر می‌باشد:
- سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی، اجرا و توسعه طرح‌های تولید، انتقال و توزیع انرژی برق در شهرها و روستاهای سراسر کشور.
  - بررسی و تدوین پیشنهادهای لازم در زمینه راهبردها، سیاست‌ها، برنامه‌ها، قوانین و آیین نامه‌های صنعت برق و تعرفه های بهای مصرف و اشتراک برق به طور سالیانه جهت ارایه به دولت و مجلس و اجرای آنها.

- برنامه‌ریزی جهت انجام طرح‌های تحقیقاتی و پژوهشی مرتبط با فعالیت شرکت و هماهنگی و برنامه‌ریزی آموزشی به منظور ارتقاء سطح علمی کارکنان صنعت برق کشور.
- جذب سرمایه‌های داخلی و خارجی و ایجاد زمینه‌های لازم برای مشارکت بخش خصوصی در اجرای طرح‌های تولید و انتقال برق در سراسر کشور.
- عضویت در کمیته و کنوانسیون‌های جهانی انرژی و کسب و تبادل اطلاعات لازم به منظور استاندارد کردن و ارتقاء فعالیت‌های صنعت برق کشور.
- هدفمند کردن میزان مصرف برق و یارانه‌ها برابر استانداردهای جهانی.
- سیاستگذاری، نظارت و هماهنگی بین شرکت‌های زیرمجموعه به منظور اجرای به موقع طرح‌های برق در راستای پیشبرد اهداف کلان صنعت برق کشور.

#### ۴-۱۰- سازمان ملی استاندارد ایران

هدف سازمان استاندارد ایران تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) و نظارت بر اجرای آنها و همچنین انجام تحقیقات مربوطه می‌باشد.

فعالیت‌های اساسی این سازمان در حوزه‌های زیر می‌باشد:

- تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) به عنوان تنها مرجع رسمی این وظیفه در کشور
- انجام تحقیقات به منظور تدوین استاندارد، بالا بردن کیفیت کالاهای تولید داخلی، کمک به بهبود روش‌های تولید و کارایی صنایع
- ترویج استانداردهای ملی
- نظارت بر اجرای استانداردهای اجباری
- کنترل کیفی کالاهای صادراتی مشمول استاندارد اجباری و جلوگیری از صدور کالاهای نامرغوب به منظور فراهم نمودن امکانات رقابت با کالاهای مشابه خارجی و حفظ بازارهای بین‌المللی

- کنترل کیفیت کالاهای وارداتی مشمول استاندارد اجباری به منظور حمایت از مصرف‌کنندگان داخلی و جلوگیری از ورود کالاهای نامرغوب خارجی
  - راهنمایی علمی و فنی تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان انواع کالاها
- آزمایش و تطبیق نمونه کالا با استانداردهای مربوط، اعلام مشخصات و اظهار نظر مقایسه‌ای و صدور گواهینامه‌های لازم.

#### ۴-۱۱- سازمان حفاظت محیط زیست

تحقق اصل پنجاهم قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران به منظور حفاظت از محیط زیست و تضمین بهره‌مندی صحیح و مستمر از محیط زیست به نحوی که ضمن حفظ تعادل مناسبات زیستی موجبات توسعه پایدار و بهبود، رشد و اعتلای کیفی انسان‌ها فراهم آید. سازمان حفاظت از محیط زیست، سازمانی دولتی است که بر امور مربوط به حفظ محیط زیست ایران نظارت دارد. این سازمان وابسته به ریاست جمهوری ایران است.

وظایف اساسی سازمان به شرح زیر می باشد:

- حفاظت از اکوسیستم‌های طبیعی کشور و ترمیم اثرات سوء گذشته در محیط زیست
  - پیشگیری و ممانعت از تخریب و آلودگی محیط زیست
  - ارزیابی ظرفیت قابل تحمل محیط در جهت بهره‌وری معقول و مستمر از منابع محیط زیست.
  - نظارت مستمر بر بهره‌برداری از منابع محیط زیست.
  - برخورد فعال با زمینه‌های بحرانی محیط زیست شامل آلودگی‌های بیش از ظرفیت قابل تحمل محیط.
  - بررسی، مطالعه و تحقیق به منظور دستیابی یا حصول شناسائی در زمینه‌های زیر:
- عوامل آلوده‌کننده و مخرب محیط زیست در زمینه آب، هوا، خاک، مواد زائد، آفت‌کش‌ها، کودهای شیمیایی، سرو صدا و نظایر آنها.
- چگونگی استقرار پدیده‌های عمرانی و توسعه کشور مانند واحدهای صنعتی، نیروگاه‌ها، سدها، مجتمع‌های کشاورزی و عمرانی و سکونتگاه‌های انسانی و نظایر آن.

- استفاده از تکنولوژی سازگار با محیط.

#### ۴-۱۲ - سازمان بهره‌وری انرژی ایران

سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا) با هدف ارتقاء و بهبود کارائی انرژی تشکیل گردیده است. این سازمان وظیفه خود می‌داند تا با تمام توان در راستای تحقق موضوع فعالیت خود که عبارتست از توسعه مدیریت تولید، تقاضا و مصرف انرژی جهت استفاده کارآمد و بهینه از منابع انرژی در سراسر کشور، کنترل و کاهش آلودگی محیط زیست، از طریق انجام مطالعات، تحقیق توسعه، آموزش، انتشارات و ارائه خدمات مطلوب علمی، فنی و تخصصی گام برداشته و جهت رسیدن به اهداف مورد نظر و اجرای آن تمامی تلاش خود را بکار ببندند.

وظایف این سازمان عبارتند از :

- توسعه مدیریت انرژی به منظور استفاده کارآمد و بهینه از منابع انرژی، از طریق انجام مطالعات، تحقیق و توسعه، آموزش و آگاه سازی، انتشارات، طراحی، مشاوره و اطلاع رسانی، مدیریت ساخت و اجراء، حمایت‌های فنی و اقتصادی و ظرفیت‌سازی به ویژه در بخش‌های غیردولتی.

- مدیریت طرح‌ها و پروژه‌های مرتبط با هدف و موضوع فعالیت شرکت.

- همکاری و اشتراک مساعی با شرکت‌ها و موسسات در جهت تحقق موضوع فعالیت و هدف شرکت.

- انجام اموری که شرکت مادر تخصصی توانیر انجام آن را به شرکت درحوزه فعالیت آن محول نماید

- انجام هرگونه عملیات و معاملات که علاوه بر رعایت صرفه و صلاح، برای مقاصد شرکت ضروری و مرتبط باشد.

#### ۴-۱۳ - مرکز تحقیقات سیاست‌های علمی کشور

این مرکز به عنوان کانون تفکر در زمینه سیاست‌پژوهی و سیاست‌سازی علم، پژوهش و فناوری در سطح ملی و به صورت فرابخشی در کنار شورای مذکور ایفای نقش می‌کند. مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور سازمانی پژوهشی است که با اجرای

پژوهش‌های بنیادی کاربردی و توسعه‌ای در سطح ملی و فرابنگاهی به منظور توسعه فرآیندها و برون‌دادهای سیاستگذار در حوزه علم و فناوری و نیز اشاعه نتایج پژوهشی در جهت ترویج تفکر علمی و توجه به پژوهش در جامعه فعالیت می‌کند. از اهداف این مرکز می‌توان به توسعه و گسترش و پژوهش‌های مورد نیاز وزارت در زمینه سیاستگذاری علمی و پژوهشی کشور و همچنین زمینه سازی مناسب فرهنگی برای گسترش فعالیت‌های علمی و پژوهشی در سطح جامعه اشاره کرد.

وظایف مرکز تحقیقات سیاست‌های علمی کشور به شرح زیر می‌باشند:

- بررسی و شناسایی نیازهای پژوهشی در زمینه سیاستگذاری علمی و توسعه فعالیت‌های علمی کشور.
- اجرای طرح‌های پژوهشی بنیادی کاربردی و توسعه‌ای به منظور تحقق اهداف مرکز.
- فراهم آوردن امکانات لازم و متناسب با فعالیت‌های پژوهشی مرتبط.
- ایجاد تعامل سازنده با نیروی متخصص و موسسه‌های علمی و پژوهشی در داخل و خارج کشور به منظور تحقق اهداف مرکز در چارچوب قوانین و مقررات.

#### ۴-۱۴ - سازمان گسترش و نوسازی صنایع کشور

در برنامه سوم پیش از انقلاب اسلامی، سیاست بر این بود که با اجرای همزمان اصلاحات ارضی و با انتقال سرمایه زمین داران، اولین هسته های سرمایه گذاری صنعتی شکل گیرد. از آن جایی که سرمایه داران نوپا با مفاهیم مدیریت صنعتی آشنا نبودند، سازمان مدیریت صنعتی برای جدا کردن مدیریت از مالکیت و بانک توسعه صنعتی برای کمک به منابع مالی و تقویت بنیان‌های تشکیل سرمایه ایجاد شدند. در جریان اجرای برنامه سوم ضرورت وجود موسسه ای توانمند و فراگیر برای توسعه بخش صنعت و تسریع در صنعتی شدن مورد توجه قرار گرفت. لذا در تیرماه ۱۳۴۶ سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران تاسیس شد. گسترش و نوسازی صنایع کشور در جهت رقابت پذیری در عرصه جهانی از راه فراهم آوردن ملزومات توسعه صنعتی با هدف تأمین منافع ذینفعان و پیشگام در جهانی سازی صنایع ایران را می‌توان به عنوان مأموریت سازمان گسترش و نوسازی صنایع کشور برشمرد.

وظایف سازمان گسترش و نوسازی صنایع کشور شامل موارد زیر است :

- تهیه و انتشار نشریه‌های صنعتی

- استفاده از ظرفیت‌های خالی صنعت در صنایع نظامی
- اتخاذ تصمیم نسبت به خریداری یا اداره کارخانه‌های موضوع قانون تمرکز امور صنعت و معدن
- تصویب پیشنهادات مربوط به فروش یا وثیقه گذاردن سهام سازمان در شرکت‌های صنعتی معدنی
- تصویب طرح‌هایی که در زمینه بررسی‌های علمی و صنعتی
- اتخاذ تصمیم و تصویب وام‌ها یا اعتباراتی برای سرمایه‌گذاری در صنایع
- طراحی و پیاده‌سازی نظام ملی نوآوری و گسترش صنایع نوین.
- حمایت از نهادهای توسعه و بهسازی کننده صنایع
- حمایت مالی از شرکت‌های دانش بنیان
- حمایت از متقاضیان سرمایه‌گذاری بخش غیردولتی در مناطق کمتر توسعه یافته
- ساماندهی فعالیتهای کارآفرینی و اشتغال‌زایی کوچک و متوسط تولیدی در روستاها
- آموزش فنی و حرفه‌ای روستائیان و مرزنشینان در صنعت به منظور ارتقاء درآمد و کیفیت زندگی آنان.
- حمایت از متقاضیان سرمایه‌گذاری بخش غیردولتی در طرح‌های حائز اولویت
- توسعه و گسترش کشاورزی صنعتی، صنایع روستایی و خدمات نوین
- ساماندهی فعالیتهای کارآفرینی و اشتغال‌زایی کوچک و متوسط تولیدی در روستاها
- تقویت مزیت‌های رقابتی و توسعه صنایع مبتنی بر منابع تبدیلی و تکمیلی
- تشکیل شرکت‌های صنعتی و معدنی و یا شرکت‌ها و واحدهای خدمات و یا مشارکت در این قبیل شرکت‌ها.
- خریداری تمام یا قسمتی از کارخانه‌هایی که در معرض تعطیلی قرار می‌گیرند.
- فروش یا وثیقه گذاردن سهام متعلق به خود در شرکت‌های تابعه.

#### ۴-۱۵ - پژوهشگاه نیرو

پژوهشگاه نیرو به منظور تحقق بخشی از وظایف پژوهشی وزارت نیرو و نیز ارتقاء کیفی امور آن وزارتخانه، وابسته به وزارت نیرو تاسیس گردید. پژوهشگاه نیرو سازمانی دولتی که مسئولیت راهبری تحقیقات وابسته به صنعت برق و انرژی ایران برگزار



می‌کند. پژوهشگاه نیرو در سال ۱۳۷۶ با اخذ مجوز سه پژوهشکده "برق"، "تولید نیرو" و "انتقال و توزیع نیرو" از شورای گسترش آموزش عالی بطور رسمی کار خود را آغاز و در سال ۱۳۷۷ با اخذ دو مجوز جدید پژوهشکده‌های "انرژی و محیط زیست" و "کنترل و مدیریت شبکه" را نیز به مجموعه خود افزود و در ادامه با ایجاد "مراکز شیمی و مواد"، "توسعه فناوری توربین‌های بادی" و "آزمایشگاه‌های مرجع" فعالیت‌های خویش را توسعه بخشید.

با توجه به نقش زیر بنایی صنعت برق در رشد و توسعه اقتصادی و اجتماعی کشور، پژوهشگاه نیرو با انجام پروژه‌های بنیادی، کاربردی و توسعه‌ای به منظور پاسخگویی بهتر و بیشتر به نیازهای صنعت برق و رفع مشکلات آن و دستیابی به فناوری‌های نوین اقدام به تعریف پروژه برنامه استراتژیک خود هم‌راستا با خواسته‌ها و برنامه‌های استراتژیک وزارت نیرو و برنامه توسعه پنجم کشور نموده و در سال ۱۳۸۷ پس از تبیین بیانیه‌های ماموریت، چشم انداز و ارزش‌های سازمانی با تحلیل محیط داخل و خارج و همچنین مطالعات تطبیقی در عرصه بین‌المللی استراتژی‌ها و اهداف پژوهشگاه را تدوین و در سال ۱۳۸۹ با استفاده از متدولوژی کارت امتیازی متوازن (BSC) با اجرای برنامه‌ها و دستیابی به اهداف کمی راه رسیدن به چشم انداز را هموار نموده است.

فلسفه وجودی ماموریت پژوهشگاه نیرو شامل ارتقاء فناوری، توسعه پژوهش و نوآوری جهت افزایش توانمندی، رقابت پذیری و بهره‌وری صنعت برق و انرژی کشور است.

محصولات و خدمات این ماموریت تکمیل چرخه مدیریت نوآوری و فناوری صنعت برق و انرژی از طریق:

- انجام تحقیقات توسعه‌ای و کاربردی و بنیادی در حوزه صنعت برق و انرژی
- اجرای مطالعات و تحقیقات راهبردی، کلان، بلندمدت و با ریسک بالای صنعت برق و انرژی
- مدیریت تحقیقات کاربردی و توسعه‌ای صنعت برق و انرژی
- آینده نگاری، سیاست پژوهی و برنامه ریزی فناوری‌های نوین در عرصه صنعت برق و انرژی
- اکتساب فناوری‌های نوین در عرصه صنعت برق و انرژی
- تجاری‌سازی نتایج تحقیقات و بکارگیری در صنعت برق و انرژی
- تهیه استانداردها و ارائه خدمات آزمایشگاهی و ارزیابی کیفیت تجهیزات و سیستم‌های صنعت برق و انرژی

- طراحی و توسعه زیرساخت‌های مورد نیاز جهت ایجاد مراکز و شرکت‌های نوآور در حوزه صنعت برق و انرژی.
  - ایجاد و توسعه شبکه فناوری میان دانشگاه‌ها، مراکز پژوهشی و قطب‌های علمی پژوهشی داخل و خارج کشور.
- در حوزه صنعت برق و انرژی.

#### ۴-۱۶- معاونت برق و انرژی (وزارت نیرو)

وظایف حاکمیتی بخش انرژی:

۱. سیاستگذاری و برنامه‌ریزی در زمینه صیانت و بهره‌برداری بهینه از منابع انرژی کشور.
۲. برنامه‌ریزی کلان انرژی کشور به منظور حصول اطمینان از تامین و عرضه انرژی مورد نیاز بخش‌های گوناگون.
۳. سیاستگذاری و برنامه‌ریزی برای شناسایی و در اختیار گرفتن انرژی‌های دست نیافته (انرژی‌های نو) و حمایت و ترویج کاربرد آن.
۴. نظارت بر نحوه استفاده از انواع انرژی به منظور رعایت رفاه مردم و حفظ منابع انرژی کشور.
۵. تعیین الگوی مصرف انواع انرژی با رعایت مصالح کشور و حفظ حقوق مردم.
۶. سیاستگذاری و برنامه‌ریزی به منظور مدیریت مصرف انرژی.
۷. تدوین استانداردها و مقررات لازم برای تولید، مصرف و تبدیل انرژی در کلیه بخش‌های اقتصادی و اجتماعی.
۸. حمایت از توسعه تحقیقات کاربردی، فن آوری و منابع انسانی در بخش انرژی.
۹. تولید آمار و اطلاعات پایه بخش انرژی و تسهیل دسترسی به آنها.
۱۰. برنامه‌ریزی برای اصلاح ساختار مصرف انرژی و اعطای تسهیلات مالی و فنی لازم در بخش انرژی.
۱۱. حذف انحصار، ایجاد و توسعه رقابت و حمایت از بخش غیردولتی برای مشارکت در فعالیت‌های بخش انرژی با هدف افزایش کارایی و حفظ حقوق مردم.
۱۲. تهیه، تدوین و پیشنهاد قوانین مرتبط با بخش انرژی
۱۳. تعیین نرخ انواع انرژی
۱۴. کاهش، شفاف سازی و هدفمند کردن یارانه

۱۵. ارزیابی رضایت مشترکین و سیاست‌های بهبود آن

وظایف حاکمیتی بخش برق :

۱. سیاستگذاری و برنامه‌ریزی کلان و نظارت بر اجرای طرح‌های توسعه در حد حصول اطمینان از تامین برق مورد نیاز
  ۲. تصویب و ابلاغ استانداردها و دستورالعمل‌های لازم برای تنظیم اثرات خارجی صنعت و رعایت حقوق مشترکین و مصالح جامعه و نظارت بر اجرای آنها در زمینه‌های فنی، زیست محیطی، ایمنی و ارائه خدمات به مشترکین.
  ۳. کاهش، شفاف سازی و هدفمند کردن یارانه ها.
  ۴. تصویب تعرفه‌های فروش برق.
  ۵. تهیه و تصویب مقررات و آئین نامه‌ها و دستورالعمل‌های ناظر بر روابط شرکت‌های فعال در بازار برق و نظارت بر اجرای آنها.
  ۶. ایجاد و توسعه رقابت بر آن بخش از امور صنعت برق که امکان رقابت در آنها وجود دارد.
  ۷. تشویق و حمایت از سرمایه گذاری بخش غیردولتی در صنعت برق.
  ۸. تسهیل دسترسی عمومی به آمار و اطلاعات صنعت برق.
  ۹. نظارت بر اجرای قوانین و برنامه‌ریزی برای تحقق سیاست‌های مصوب کشور در رابطه با صنعت برق و تامین هزینه اجرای سیاست‌ها و طرح‌های غیراقتصادی از دید بنگاه برق.
  ۱۰. حمایت از توسعه تحقیقات کاربردی، فن آوری و منابع انسانی در صنعت برق.
  ۱۱. ظرفیت‌سازی و حمایت از صنایع داخلی.
  ۱۲. تهیه، تدوین و پیشنهاد قوانین و مقررات مرتبط.
- ارزیابی رضایت مشترکین و سیاست‌های بهبود آن.

## ۴-۱۷- دفتر استانداردهای فنی، مهندسی، اجتماعی و زیست‌محیطی برق و انرژی (معاونت

### برق و انرژی وزارت نیرو)

در معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو، دفتری تحت عنوان دفتر استانداردهای فنی و مهندسی، اجتماعی و زیست‌محیطی برق و انرژی شکل گرفته است که با رویکرد حاکمیتی و با بهره‌گیری از دستاوردهای گذشته، به این مهم پردازد.

بطور کلی نتایج نهایی فعالیت‌های صنعت برق از طریق کارآمدی و اثربخشی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و درازمدت آشکار می‌شود و جامعه و مسئولین آن را از دو طریق درک می‌نمایند:

۱. تاثیرگذاری مثبت بر کیفیت زندگی مردم.

۲. تاثیرگذاری مثبت بر توسعه پایدار ملی.

برای دستیابی به این نتایج، امور برق و انرژی وزارت نیرو در موارد زیر بر صنعت برق و تعاملات آن نظارت عالییه داشته و اعمال حاکمیت می‌نماید:

۱. حفاظت از حقوق متقابل مشتریان و بخش عرضه برق

۲. حفظ پایایی و امنیت سیستم قدرت کشور

۳. بهره‌وری بخش عرضه برق

۴. مدیریت تقاضای برق

۵. تعاملات صنعت برق با محیط‌زیست

۶. خوداتکایی علمی و فنی صنعت برق

۷. بازرگانی برق (بازرگانی داخلی و خارجی)

۸. توازن و پایداری اقتصادی صنعت برق

ابزار معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو برای نظارت عالیه و اعمال حاکمیت عبارتند از: سیاست‌گذاری‌ها، برنامه‌ریزی‌های ملی، مقررات، استانداردها، ضوابط فنی، نقشه‌های راه فناوری، نظامنامه‌ها، آیین‌نامه‌ها، دستورالعمل‌ها، ایجاد شرایط مناسب ملی و بین‌المللی.

دفتر استانداردهای فنی و مهندسی، اجتماعی و زیست‌محیطی برق و انرژی، به عنوان یک دفتر از معاونت امور برق و انرژی، مسئولیت تدوین استانداردها و مقررات فنی، مدیریت ظرفیت‌سازی برای استقرار و تحقق و نیز نظارت بر اجرا و بهبود مداوم آنها را، در تمامی موارد هشت‌گانه فوق، با اثرگذاری مستقیم و یا با واسطه، بر عهده دارد.

ذکر این نکته ضروری است که دستیابی شهروندان، صنایع و سازمان‌ها به برق، الزاماً از طریق شبکه سراسری انجام پذیرد بلکه استفاده از شبکه‌ها و ظرفیت‌های محلی و خصوصی نیز می‌تواند کاربرد داشته باشد که در این زمینه‌ها نیز استانداردها و مقررات فنی کاربرد گسترده‌ای دارند.

#### ۴-۱۸- معاونت برنامه‌ریزی و امور اقتصادی وزارت نیرو

وظایف حاکمیتی بخش برنامه‌ریزی و امور اقتصادی:

۱. مطالعات و آینده‌نگری همه جانبه شرایط محیطی و جهانی صنعت آب و برق
۲. تدوین برنامه دوربرد و راهبردی وزارت نیرو
۳. تلفیق برنامه‌های کوتاه مدت و میان مدت بخش‌های مختلف صنعت آب و برق
۴. تلفیق، تدوین و ارائه لایحه بودجه وزارت نیرو
۵. نظارت دقیق، مستمر و مؤثر بر اجرای برنامه
۶. تهیه و تدوین گزارش عملکرد برنامه
۷. تدوین سیاست‌های تشویقی و حمایت از بخش خصوصی و سرمایه‌گذاری غیردولتی و خارجی
۸. برنامه‌ریزی جهت اجرای اصل ۴۴ قانون اساسی و خصوصی سازی صنعت
۹. مطالعات و بررسی ظرفیت‌های داخلی صنعت آب و برق

۱۰. تدوین سیاست‌های توسعه کارآفرینی در وزارت نیرو
۱۱. انجام امور مربوطه به دبیرخانه مجامع عمومی شرکت‌های تابعه
۱۲. نظارت بر قراردادهای مرتبط با صنعت آب و برق
۱۳. مطالعات و بررسی اقتصاد کلان صنعت آب و برق
۱۴. مطالعات و بررسی بازار بین‌المللی مرتبط با وزارت نیرو
۱۵. تنظیم سیاست‌ها و روابط اقتصاد خارجی وزارت نیرو
۱۶. تدوین سیاست‌های تشویقی و حمایتی از صادرکنندگان مرتبط با صنعت آب و برق
۱۷. تدوین سیاست‌های راهبری بازار آب و برق
۱۸. تنظیم مقررات مربوط به بازار آب و برق
۱۹. تدوین و استقرار سیاست‌های توسعه رقابت در بازارهای آب و برق
۲۰. مطالعات و آینده‌نگری همه‌جانبه شرایط محیطی و جهانی صنعت آب و برق
۲۱. تدوین برنامه دوربرد و راهبردی وزارت نیرو
۲۲. تلفیق برنامه‌های کوتاه مدت و میان مدت بخش‌های مختلف صنعت آب و برق
۲۳. تلفیق، تدوین و ارائه لایحه بودجه وزارت نیرو
۲۴. نظارت دقیق، مستمر و مؤثر بر اجرای برنامه
۲۵. تهیه و تدوین گزارش عملکرد برنامه
۲۶. تدوین سیاست‌های تشویقی و حمایت از بخش خصوصی و سرمایه‌گذاری غیردولتی و خارجی
۲۷. برنامه ریزی جهت اجرای اصل ۴۴ قانون اساسی و خصوصی سازی صنعت
۲۸. مطالعات و بررسی ظرفیت‌های داخلی صنعت آب و برق
۲۹. تدوین سیاست‌های توسعه کارآفرینی در وزارت نیرو
۳۰. انجام امور مربوطه به دبیرخانه مجامع عمومی شرکت‌های تابعه
۳۱. نظارت بر قراردادهای مرتبط با صنعت آب و برق

۳۲. مطالعات و بررسی اقتصاد کلان صنعت آب و برق
  ۳۳. مطالعات و بررسی بازار بین المللی مرتبط با وزارت نیرو
  ۳۴. تنظیم سیاستها و روابط اقتصاد خارجی وزارت نیرو
  ۳۵. تدوین سیاستهای تشویقی و حمایتی از صادرکنندگان مرتبط با صنعت آب و برق
  ۳۶. تدوین سیاستهای راهبردی بازار آب و برق
  ۳۷. تنظیم مقررات مربوط به بازار آب و برق
- تدوین و استقرار سیاستهای توسعه رقابت در بازارهای آب و برق.

#### ۴-۱۹ - معاونت امور تحقیقات و منابع انسانی

وظایف حاکمیتی بخش تحقیقات و منابع انسانی عبارتند از:

۱. برنامه ریزی جامع منابع انسانی صنعت آب و برق
۲. تدوین سیاستها و راهبردی منابع انسانی
۳. مطالعه و بررسی و تنظیم سیاستهای افزایش انگیزش و کارآمدی منابع انسانی
۴. بررسی و تدوین راهکارهای استقرار ارزشهای انسانی در سازمان
۵. مطالعات، برنامه ریزی و ساماندهی امر مدیریت و ارائه الگوی مناسب مدیریتی
۶. راهبردی تحول اداری صنعت آب و برق و ارتقاء سلامت اداری
۷. مطالعات، تدوین، اصلاح و استقرار ساختار سازمانی، سیستمها و روشهای کارآمد در وزارت نیرو
۸. تدوین و ارائه طرحهای ارتقاء کیفیت و بهبود بهره وری صنعت آب و برق
۹. تدوین سیاستهای آموزش و تحقیقات صنعت آب و برق
۱۰. ساماندهی ارتباطات با مراکز آموزشی و پژوهشی درون و برون صنعت آب و برق
۱۱. تدوین سیاستها و استراتژی توسعه فن آوری
۱۲. تدوین و استقرار نظام راهبردی و توسعه آموزش

۱۳. راهبری برنامه‌های آموزش‌های تخصصی مورد نیاز صنعت

۱۴. هدایت هیات‌های امانت مراکز آموزشی و پژوهشی صنعت آب و برق

۱۵. مطالعه و بررسی مستمر فناوری‌های نوین اطلاعاتی مورد نیاز صنعت

۱۶. تدوین نظام ارتباطات به هنگام در صنعت آب و برق

۱۷. تدوین و استقرار نظام آماری و اطلاعاتی در وزارت نیرو

۱۸. مدیریت و راهبری اطلاعات علمی، اسناد و کتابخانه

۱۹. ایجاد بانک اطلاعاتی صنعت و به‌روزرسانی آن

مطالعه و ارائه سیستم‌های مکانیزه جهت ارائه خدمات به مشترکین صنعت آب و برق.

#### ۴-۲۰- دفتر آموزش، تحقیقات و فناوری (معاونت امور تحقیقات و منابع انسانی)

ماموریت اصلی این دفتر، توسعه آموزش، تحقیقات و فناوری در صنعت آب و برق بوده و اهم برنامه‌ها و وظایف مرتبط با این

ماموریت عبارت است از:

- سیاستگذاری و برنامه‌ریزی آموزش، تحقیقات و فناوری
- تسهیل و بهینه‌سازی فرآیند انجام آموزش، تحقیقات و فناوری
- تعمیق و توسعه فعالیت‌های آموزش، تحقیقات و فناوری
- بررسی و تحلیل نیازهای آموزش، تحقیقات و فناوری
- تسهیل و تنظیم تعاملات آموزش، تحقیقات و فناوری
- پایش، ارزیابی و تحلیل وضعیت آموزش، تحقیقات و فناوری

#### ۴-۲۱- مرکز توسعه فناوری صنعت برق و انرژی (پژوهشگاه نیرو)

اهداف و ماموریت‌های مرکز توسعه فناوری صنعت برق و انرژی:



از جمله اهداف و مأموریت‌های مرکز توسعه فناوری صنعت برق و انرژی، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- رفع مشکلات و نیازهای فنی صنعت برق کشور از طریق جذب، پذیرش و حمایت از شرکت‌های فناور مستعد
- فراهم نمودن زمینه ارتقاء کمی و کیفی آنها در جهت تکمیل چرخه توسعه فناوری آنها
- حاکمیت دیدگاه کاربردی، تفکر تجاری سازی و حرکت نتیجه محور در فعالیتهای علمی و پژوهشی
- استقرار چارچوب‌های مدیریتی و اقتصادی در پروژه‌ها و طرح‌های فنی
- استفاده از پتانسیل صنعت برق و انرژی کشور در بخش‌های دولتی و خصوصی، به ویژه پژوهشگاه نیرو
- روان‌سازی مقررات و تسهیل فرآیندهای کاری و مدیریتی مربوط
- ایجاد و راهبری شبکه ملی مراکز رشد مرتبط با حوزه برق و انرژی
- هموار نمودن مسیر توسعه کسب و کار بین‌المللی
- کمک به راه اندازی و مدیریت صندوق‌های حمایت مالی ریسک‌پذیری

#### ۴-۲۲- هیئت تنظیم بازار برق

دبیرخانه هیات تنظیم بازار، به‌عنوان بازوی عملیاتی هیات تنظیم انجام کلیه امور و مسئولیت‌های مرتبط در دامنه وظایف خود - از جمله انجام مطالعات، تدوین پیش نویس رویه‌ها، آرایه گزارش‌ها، تسلیم پیشنهادهای و سایر امور دبیرخانه‌ای - را بر عهده دارد. دبیرخانه هیأت تنظیم بازار برق ایران از اوایل کار هیأت تنظیم بازار برق تشکیل و برابر با وظایف و شرایط مندرج در آیین‌نامه اجرایی هیأت تنظیم تاکنون به فعالیت خود ادامه داده است. هم‌اکنون دبیرخانه هیأت تنظیم بازار برق به‌عنوان یکی از زیرمجموعه‌های معاونت امور برق وزارت نیرو از دو واحد طراحی بازار و پایش بازار - مستقر در دفتر خصوصی‌سازی صنعت برق - تشکیل شده است.

از جمله وظایف دبیرخانه بر اساس ماده ۸ آیین‌نامه اجرایی هیات تنظیم بازار برق می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱. بررسی و تهیه گزارش درباره طرح‌ها، سؤالات و سایر موضوعات ارجاعی به هیأت و همچنین تدوین "متن پیشنهادی برای تصویب درباره موارد مندرج در دستورجلسات هیأت.

۲. ایجاد ارتباط و همکاری با فعالان بازار، موسسات علمی و پژوهشی و متخصصان امر به منظور جلب مشارکت آنان برای اظهار نظر و ارائه طرح‌ها و پیشنهادات
  ۳. تبادل اطلاعات با نهادهای مسئول در حوزه فعالیت‌های هیات ایجاد نظام اطلاع رسانی در حوزه فعالیت‌های هیات.
  ۴. انجام امور تحقیقاتی، آموزشی، انتشاراتی و فرهنگ سازی در حوزه فعالیت‌های هیأت و حمایت از انجام این امور توسط متخصصان و موسسات علمی و پژوهشی؛
  ۵. بررسی عوامل درونی و برونی تاثیرگذار بر بازار برق، تهیه و تدوین برنامه‌های گسترش دامنه بازار برق و ارائه گزارش ادواری به هیأت.
  ۶. تهیه طرح برای اصلاح و تکمیل آیین‌نامه‌های بازار برق، تدوین طرح‌های لازم در زمینه رویه‌های اجرائی، رفع ابهام از آیین‌نامه‌های بازار برق و پیشنهاد آن به هیأت برای تایید.
  ۷. بررسی درخواست متقاضیان اخذ مجوز شرکت در بازار برق و تنظیم گزارش لازم برای اخذ تاییدیه هیأت و صدور مجوز براساس رویه‌های مصوب هیأت.
  ۸. ایجاد سیستم نظارت به منظور حصول اطمینان از رعایت آیین‌نامه‌های بازار، رویه‌های اجرائی و سایر مصوبات هیأت توسط فعالان بازار برق.
  ۹. تدوین تعرفه‌ها و دامنه نرخ‌های بازار و پیشنهاد به هیأت برای تایید.
- با توجه به مفاد ماده ۱۲ قانون سازمان برق ایران، کلیه فعالان بازار موظفند اطلاعاتی را که دبیرخانه هیات تنظیم بازار برق به منظور حصول اطمینان از صحت عملیات در بازار برق و در چارچوب رویه‌های مصوب هیات درخواست می‌نماید، در اختیار دبیرخانه مزبور قرار دهند و دبیرخانه هیات تنظیم بازار موظف است کلیه آیین‌نامه‌ها و مقررات مربوط به بازار برق را در اختیار فعالان بازار برق قرار دهد.
- این دبیرخانه، در سال ۱۳۸۵ و در پی تشکیل دفتر خصوصی سازی صنعت برق، در ساختار این دفتر ادغام شد و وظایف دبیرخانه، توسط دو گروه از گروه‌های چهارگانه این دفتر تحت عنوان واحد پایش و واحد طراحی، پیگیری و انجام می‌شود.

## ۴-۲۳- شرکت مدیریت شبکه برق ایران

اهداف و موضوع فعالیت شرکت مدیریت شبکه برق ایران:

- راهبری و پایش بهره‌برداری از شبکه تولید و انتقال برق کشور به منظور حفظ پایداری و امنیت شبکه و تامین مطمئن برق کشور.
  - فراهم ساختن امکان دسترسی به شبکه برق کشور برای متقاضیان اعم از دولتی و غیر دولتی به منظور خرید، فروش و جابجایی (ترانزیت) برق.
  - برقراری شرایط برای خرید و فروش رقابتی برق و ایجاد، اداره و توسعه بازار و بورس برق.
- اتخاذ تدابیر و انجام اقدامات لازم در راستای حصول اطمینان از تامین برق، گسترش مشارکت بخش غیر دولتی و توسعه رقابت در تولید و توزیع برق در چارچوب.

## ۴-۲۴- سازمان انرژی‌های نو

ماموریت سازمان انرژی‌های نو (سانا) عبارت است از:

کمک به پایدارسازی و تنوع‌بخشی منابع انرژی، توسعه ظرفیت‌ها و کاهش هزینه‌های درازمدت نظام تولید انرژی و صیانت از محیط زیست و منابع انرژی تجدیدناپذیر کشور از طریق مدیریت منابع تجدیدپذیر انرژی و مدیریت گسترش تولید و مصرف انرژی‌های نوین در کشور با تمرکز بر حداکثرسازی مشارکت بخش خصوصی

تحقق ماموریت فوق از طریق انجام فعالیت‌های زیر صورت می‌گیرد:

- مشارکت فعال در تدوین طرح ملی انرژی و استراتژی انرژی‌های نو در کشور
- مشارکت فعال در ایجاد و مدیریت بازار تضمین شده برای تولیدکنندگان انرژی‌های نو در کشور
- تهیه اطلس و امکان‌سنجی منابع مختلف انرژی‌های نو در کشور

- شکل‌دهی و حمایت از روابط بین متخصصان و سازمان‌های فعال داخلی در زمینه انرژی‌های نو از یک طرف و متخصصان، سازمان‌ها و جوامع بین‌المللی از طرف دیگر
- شناسایی منابع بین‌المللی و تلاش در جهت جذب و تخصیص این منابع به فعالیت‌های تحقیقاتی و تولیدی انرژی‌های نو در کشور.
- تدوین استراتژی‌های توسعه تکنولوژی در زمینه انرژی‌های نو و تعیین اولویت‌های تحقیقاتی در حوزه انرژی‌های نو به منظور حمایت از مراکز تحقیقاتی و تولیدی در جهت توسعه تکنولوژی‌های مربوطه.
- ردیابی تحولات تکنولوژی در حوزه انرژی‌های نو و آگاه‌سازی مراکز تحقیقاتی و تولیدی کشور از دست‌آوردهای آن.
- فراهم کردن بستر لازم برای انتقال، جذب و صدور تکنولوژی‌های مربوط به انرژی‌های نو و حمایت از بنگاه‌ها در استفاده و تجاری‌سازی آن‌ها.
- مشارکت فعال در تدوین معیارها و قوانین برای حمایت از تولید و فعالیت‌های R&D در زمینه انرژی‌های نو فرهنگ‌سازی و تشویق جامعه به استفاده از انرژی‌های نو.

#### ۴-۲۵- توانیر

فعالیت‌های شرکت توانیر در زمینه مدیریت سهام و سرمایه‌های شرکت در صنعت برق، انجام هرگونه فعالیت در راستای تأمین برق مطمئن و اقتصادی برای کلیه مصارف خانگی، عمومی، صنعتی، کشاورزی، تجاری و غیره اعم از سرمایه‌گذاری، مدیریت و نظارت بر ایجاد و بهره‌برداری از تأسیسات و انجام کلیه معاملات مربوط به برق می‌باشد که موارد زیر را می‌توان از جمله وظایف این شرکت برشمرد:

۱. بررسی و تدوین پیشنهادهای لازم در زمینه راهبردها و سیاست‌ها و برنامه‌های بلندمدت و میان مدت صنعت برق و ارائه آن به وزارت نیرو
۲. اجرای سیاست‌ها، برنامه‌ها و مصوبات وزارت نیرو
۳. تهیه طرح‌های لازم برای توسعه تأسیسات تولید، انتقال و توزیع برق و ارائه آن به وزارت نیرو جهت اخذ مجوز
۴. سرمایه‌گذاری در تأسیسات تولید و انتقال و توزیع صنعت برق.

۵. اتخاذ تدابیر و راهکارهای لازم به منظور حصول اطمینان از اجرای صحیح و به موقع طرح‌های توسعه و بهینه‌سازی تأسیسات.
۶. راهبری و پایش شبکه سراسری برق از طریق شرکت‌های زیرمجموعه و همچنین ایجاد سازوکارهای لازم برای توسعه رقابت در امر تولید، خرید و فروش برق از جمله ایجاد سیستم‌ها و انجام عملیات بازار و بورس برق.
۷. تدوین و پیشنهاد تعرفه‌های برق به وزارت نیرو
۸. خرید و فروش عمده برق در داخل و خارج کشور از طریق شرکت‌های زیرمجموعه
۹. اخذ هرگونه وام و تسهیلات مالی از منابع داخلی و خارجی، عرضه اوراق قرضه و مشارکت داخلی و پیش فروش انشعاب و انرژی برق و سایر روشهای تأمین منابع مالی با اخذ مجوز از مراجع قانونی ذیربط .
۱۰. مدیریت، توسعه و تأمین منابع مالی صنعت برق و استفاده بهینه از این منابع از طریق برقراری تسهیلات و گردش منابع مالی میان شرکت و شرکت‌های زیرمجموعه
۱۱. انجام عملیات لازم به منظور نظارت در نحوه استفاده از انرژی برق به نمایندگی از طرف وزارت نیرو و همچنین ترویج فرهنگ مدیریت مصرف به منظور بهینه‌سازی مصرف و کاهش مصارف غیرضروری.
۱۲. بررسی، مطالعه و سایر اقدامات لازم برای توسعه فناوری، انتقال دانش فنی و اطلاع رسانی تأمین کالا و ساخت تجهیزات موردنیاز صنعت برق کشور.
۱۳. حمایت از توسعه فعالیت‌های آموزشی و پژوهشی در زمینه‌های تخصصی مرتبط با صنعت برق و پشتیبانی از برنامه‌های تربیت متخصصان موردنیاز صنعت برق کشور.
۱۴. حمایت از تحقیقات و فعالیت‌های علمی و توسعه منابع انسانی و سایر عوامل موثر در بهبود مدیریت و بهره‌وری صنعت برق کشور.
۱۵. مدیریت و هماهنگی تجاری، فنی و برنامه‌ای بین شرکت‌های زیرمجموعه و هدایت و هماهنگی آنها در جهت سیاست‌های تعیین شده از طرف وزارت نیرو و دولت.
۱۶. نظارت بر امور مدیریت و نظام مالی شرکت‌های زیرمجموعه و انجام بازرسی و حسابرسی‌های لازم.

۱۷. تدوین مقررات و استانداردها و دستورالعمل‌های لازم برای حسن اجرای امور و استفاده بهینه از امکانات و تأسیسات صنعت برق و ارایه آنها به وزارت نیرو و همچنین انجام عملیات لازم به منظور نظارت بر اجرای آنها به نمایندگی وزارت نیرو.

۱۸. پیشنهاد و پیگیری درخواست‌های عمومی صنعت برق از دولت.

انجام هرگونه عملیات مالی، معاملات، سرمایه‌گذاری، تشکیل شرکت، مشارکت در مؤسسات و شرکت‌های دیگر که مرتبط با موضوع شرکت باشد، با رعایت مقررات مربوط.

#### ۴-۲۶- دفتر فنی و نظارت انتقال (توانیر)

اهداف بنیادی بخش انتقال و فوق توزیع:

- افزایش آمادگی شبکه (خطوط و پست‌ها)
- کاهش تلفات شبکه
- کاهش زمان تعمیرات
- کاهش تعداد و زمان خروجی‌های خطوط و ترانسفورمرها
- کاهش میزان خاموشی‌ها
- مدیریت مصرف
- گسترش بهره‌گیری از فنی‌آوری‌های نو در شبکه
- ارتباط با مراکز دانشگاهی و علمی

شرح وظایف گروه نظارت بر تجهیزات فشارقوی:

- همکاری در تهیه، تدوین و بازنگری دستورالعمل‌های نگهداری و تعمیرات تجهیزات شبکه (خطوط و پست‌های انتقال و فوق توزیع).

- همکاری در ارائه حداقل نیاز مشخصات فنی (براساس استانداردهای موجود) مرتبط با پروژه‌های توسعه و اصلاح و بهینه‌سازی پست‌ها و خطوط انتقال و فوق توزیع .
- تهیه و تدوین دستورالعمل‌های لازم در ارتباط با فرآیندهای جایگزینی تجهیزات دارای قدمت طولانی و نامناسب در شبکه‌های انتقال و فوق توزیع .
- همکاری در تهیه و تدوین استانداردهای تجهیزات شبکه‌های انتقال و فوق توزیع .
- نظارت بر عملکرد ترانسفورماتورهای قدرت و سایر تجهیزات فشارقوی پست‌ها و خطوط انتقال و فوق توزیع.
- اعلام نظر در ارتباط با تقاضای خرید دستگاه‌های تست و لوازم یدکی خطوط و پست‌های انتقال و فوق توزیع شرکت‌های برق منطقه‌ای.
- همکاری در برنامه‌ریزی آموزش‌های مخصوص تجهیزات انتقال و فوق توزیع .
- نظارت بر آزمایشات کارخانه‌ای تجهیزات شبکه انتقال و فوق توزیع .
- برقراری ارتباط با موسسات علمی داخلی و خارجی به منظور کسب آخرین اطلاعات و روش‌های تعمیر و نگهداری بهینه تجهیزات انتقال و فوق توزیع .
- نظارت عالیه بر آزمایش‌های راه اندازی پست‌ها و خطوط انتقال (۴۰۰ و ۲۳۰ کیلوولت)
- پیگیری و بررسی علل خروج‌های اضطراری و خودکار ترانسفورماتورهای قدرت و خطوط انتقال نیروی شرکت‌های برق منطقه‌ای.

شرح وظایف گروه نظارت بر بهره‌برداری انتقال :

- همکاری در تهیه، تدوین و بازنگری دستورالعمل‌های بهره‌برداری و ایمنی و نظارت بر حسن اجرای آن‌ها
- همکاری با دفتر بودجه و بررسی‌های اقتصادی در بررسی اقتصادی بهینه‌های شبکه انتقال و فوق توزیع.
- بررسی و تخصیص بودجه جاری و بهینه‌سازی شبکه انتقال نیرو و فوق توزیع با هماهنگی دفتر بودجه و بررسی‌های اقتصادی .

- کنترل عملکرد و فعالیت‌های مرتبط با پروژه‌های بهینه‌سازی از شرکت‌های برق منطقه‌ای و سایر شرکت‌های تحت پوشش (مدیریت شبکه و پست‌های بلا فصل نیروگاه‌ها).
- نظارت بر برنامه‌ریزی و عملکرد نگهداری و تعمیرات پست‌ها و خطوط انتقال و فوق توزیع .
- همکاری در رفع مشکلات فنی و بودجه‌ای مطرح شده بین شرکت‌های برق منطقه‌ای و سایر شرکت‌ها در زمینه مسائل مربوط به بهره‌برداری و نگهداری و تعمیرات .
- اجرای ارزیابی میدانی انتقال نیروی شرکت‌های برق منطقه‌ای .
- تهیه گزارش عملکرد سالیانه بهینه‌سازی خطوط و پست‌ها

شرح وظایف گروه نظارت بر هماهنگی سیستم :

- همکاری در ارائه حداقل نیاز مشخصات فنی (براساس استانداردهای موجود) مرتبط با پروژه‌های توسعه و اصلاح و بهینه‌سازی پست‌ها و خطوط انتقال و فوق توزیع .
- تهیه و تدوین دستور العمل‌های لازم در ارتباط با فرآیند جایگزینی تجهیزات حفاظتی دارای قدمت طولانی و نامناسب در شبکه‌های انتقال و فوق توزیع .
- همکاری در اجرای نظارت عالی بر راه اندازی پست‌ها و خطوط انتقال .
- همکاری در تهیه و تدوین استانداردهای تجهیزات شبکه انتقال و فوق توزیع .
- نظارت بر بررسی حوادث از نقطه نظر هماهنگی حفاظت و پیگیری اقداماتی که موجب کاهش حوادث می‌گردد و همچنین پیگیری اجرای نتایج بررسی حوادث .
- نظارت بر فعالیت‌های مربوط به هماهنگی سیستم .
- اعلام نظر در ارتباط با تقاضای خرید دستگاه‌های تست و لوازم یدکی شرکت‌های برق منطقه‌ای .
- هماهنگی و همکاری در برنامه‌ریزی آموزش‌های مخصوص سیستم‌های حفاظتی مدرن با شرکت‌های برق منطقه‌ای .
- نظارت بر آزمایشات کارخانه‌ای تجهیزات شبکه انتقال و فوق توزیع .



- بررسی گزارشات مربوط به مشکلات فنی مطرح شده بین شرکت‌های برق منطقه‌ای و سایر شرکت‌ها (حل اختلافات فنی) در زمینه مسائل مربوط به هماهنگی عملکرد سیستم‌ها .
- بررسی فنی و پیگیری حوادث در موارد خاص مانند حوادث توسعه یافته و یا حوادث منجر به ضایعات انسانی و تجهیزاتی و اقتصادی.

شرح وظایف گروه مهندسی شبکه:

- به‌روز نگهداشتن اطلاعات شبکه سراسری از طریق ارتباط با شرکت مدیریت شبکه برق ایران .
- تهیه گزارشات بررسی پیک تابستان و برگزاری جلسات بررسی و پیگیری اجرای نتایج آن .
- بررسی محدودیت‌های شبکه و ارائه راهکارهای مربوطه با همکاری واحدهای ذیربط .
- بررسی عوامل ناپایداری سیستم و ارائه راهکارهای رفع آنها .
- همکاری در بررسی حوادث از نقطه نظر سیستمی و پیگیری اجرای نتایج بررسی حوادث .
- پیگیری اقداماتی که موجب کاهش حوادث می‌گردد .
- همکاری در بررسی و ارائه طرح‌های توسعه شبکه و شرکت در جلسات برنامه‌ریزی توسعه شبکه .
- برقراری ارتباط با موسسات علمی داخلی و خارجی به‌منظور کسب آخرین اطلاعات و روش‌های افزایش پایداری شبکه .
- بررسی مشکلات فنی مطرح شده بین شرکت‌های برق منطقه‌ای و سایر شرکت‌ها در زمینه مسائل سیستمی شبکه .
- پیگیری خاموشی واحدهای صنعتی بزرگ، شرکت نفت و سایر صنایع و نظارت و پیگیری رفع قطعی برق صنایع .
- انجام سایر امور محول شده

شرح وظایف گروه نظارت بر طرح‌های توسعه و نوسازی :

- همکاری در تهیه و تدوین استانداردهای تجهیزات شبکه های انتقال و فوق توزیع .

- نظارت بر طرح‌های توسعه و نوسازی پست‌ها و خطوط انتقال و فوق توزیع شامل کنترل برنامه زمانی اجرا و پیشرفت کار و نظارت بر کیفیت اجرا .
- برقراری ارتباط با موسسات علمی داخلی و خارجی به منظور کسب آخرین اطلاعات و روش‌های و راهکارهای بهینه اجرای طرح‌های توسعه و نوسازی و کنترل پروژه .
- بررسی گزارشات مربوط به مشکلات فنی مطرح شده بین شرکت‌های برق منطقه ای با سایر شرکت‌ها (حل اختلافات فنی) در زمینه طرح‌های توسعه و نوسازی .
- نظارت بر کیفیت فنی نیروهای انسانی شاغل در بخش نظارت بر طرح و توسعه شرکت‌های برق منطقه‌ای .

تهیه گزارش عملکرد شش ماهه طرح‌های خط و پست در حال اجرا.

#### ۴-۲۷- معاونت هماهنگی توزیع (توانیر)

اهداف بنیادی بخش توزیع در صنعت برق :

بخش توزیع نیرو به سبب آنکه رابط بین صنعت برق و مشترکان است نقشی چند سویه بر عهده دارد: نخست نقش فنی برای نگهداری، راهبری و توسعه شبکه‌های توزیع، دوم پذیرش و خدمات رسانی به مشترکان و تامین رضایت ایشان و فروش انرژی برق به عنوان یک کالای اقتصادی و سوم حفظ ارتباط و هماهنگی با بخش‌های بالادست صنعت به طوری که مجموعه صنعت برق از این رهگذر بتواند به فرایند تولید و عرضه برق ادامه دهد و راه را برای توسعه خود هموار سازد.

بدیهی است هدایت و راهبری این حجم فعالیت در گستره پهناور میهن اسلامی سیاستگذاری منسجم و هماهنگی مستمری را طلب می نماید. از این رو شرکت توانیر با تشکیل دفاتری به شرح زیر توجه ویژه‌ای به این بخش نموده است .

- دفتر برنامه‌ریزی توزیع
- دفتر پشتیبانی فنی توزیع
- دفتر نظارت بر توزیع
- دفتر مدیریت مصرف و خدمات مشترکین

مجموعه این دفاتر با راهبری معاونت هماهنگی توزیع وظیفه هدایت بخش توزیع در جهت کاهش عملیات اجرائی و تقویت نظام‌های مدیریتی با تکیه بر ابزار برون سپاری، عملیات اجرائی و به کارگیری مراکز ظرفیت‌های مشاوره‌ای و پیمانکاری بخش خصوصی را بر عهده دارند.

اهداف دفاتر مدیریت توزیع:

دفاتر مدیریت توزیع در سال ۱۳۸۲ با برنامه‌های مشخص به ویژه اصلاح زیر ساختارها، کاملاً هدفمند و هماهنگ حرکت سازمانی خود را به شرح زیر شروع نموده اند:

- هدف گذاری و کنترل خاموشی‌ها به منظور کاهش میزان انرژی‌های تامين نشده با استفاده از یکسان‌سازی دستورالعمل‌ها و نرم افزارهای ثبت اطلاعات.
- سنجش و اولویت بندی نیازها با شناسائی نقاط ضعف در بخش مهندسی توزیع و تشکیل کمیته‌های تخصصی به منظور یافتن راهکارهای عملیاتی و کاربرد فناوری‌های جدید در توزیع.
- بهبود نظام وصول درآمدها با رعایت طرح تکریم با استفاده از ارتقاء سیستم‌های سخت افزاری و نرم افزاری لوازم اندازه گیری، قرائت و وصول و ایجاد نمایندگی‌های خدمات مشترکین.
- گسترش فرهنگ ایمنی با اعمال سیاست‌های پیشگیری و آموزش با استفاده از ابزار مدیریتی و تجزیه و تحلیل حوادث، تدوین و یکسان‌سازی دستورالعمل‌های ایمنی و استانداردهای لوازم و ابزار در کنار بسترسازی برای پذیرش نظارت مستمر توسط کاربران.
- ارتقاء برنامه‌ریزی توزیع با دیدگاه فنی اقتصادی با استفاده از تدوین هدفمند بودجه نویسی در بخش جاری و سرمایه گذاری توزیع و ایجاد ابزار لازم برای کنترل برنامه و بودجه که این بخش از کاراز طریق تشکیل کمیته‌های تخصصی و برگزاری سمینارهای عمومی و انتقال تجربیات بین شرکت‌ها انجام گردید.

#### ۴-۲۸- دفتر امور تحقیقات برق (توانیر)

شرح وظایف دفتر امور تحقیقات برق :

- حمایت، هدایت، راهبری موسسات و مراکز علمی و پژوهشی به منظور انجام تحقیقات و پژوهش‌های کاربردی در صنعت برق
- کمک به توسعه و رشد مراکز تحقیقاتی
- ترغیب موسسات و مراکز علمی به تدوین طرح‌ها و پژوهش‌های کاربردی
- تدوین نظام‌های اصلاح و بهبود فرآیندها
- سیاستگذاری در بخش تحقیقات شرکت‌های زیرمجموعه
- ارتقاء دانش مدیریت تحقیق و توسعه در شرکت‌های زیرمجموعه
- استقرار طرح‌ها و پروژه‌های تحقیقاتی کاربردی انجام شده در شرکت‌های زیرمجموعه
- تدوین شاخص‌ها و معیارهای تحقیقات در زمینه مختلف ( ارزیابی - کنترل - استاندارد .... )
- نظارت عالی و راهبردی بر شرکت‌های زیرمجموعه
- تعامل با دستگاه‌ها و سازمان‌های برای پیشبرد امور تحقیقات ( سازمان مدیریت سابق - وزارت نیرو - شرکت‌ها و ... )
- شناسایی پتانسیل‌ها و ظرفیت‌های ارتقاء و بهبود فرایندهای پژوهش و تحقیقاتی در شرکت‌های موفق داخلی و خارجی ( bench mark )
- تعامل با مرکز پژوهش ملی و بین‌المللی
- ظرفیت‌سازی در شرکت‌ها برای مدیریت برانجام تحقیقات کاربردی ( پیشنهاد تقویت ساختار - توانمندسازی کارکنان و ... )
- توسعه و گسترش تبادلات علمی و تحقیقاتی ملی و بین‌المللی در صنعت برق
- توسعه و بکارگیری سرمایه انسانی کارآمد و دانشگرا در بخش تحقیقات صنعت برق
- تطبیق سیاست‌های صنعت برق با نیازهای آن
- ارزیابی نظام‌ها و فعالیت‌های تحقیقاتی و استاندارد به منظور اصلاح و بهبود فرآیندها

- ظرفیت‌سازی در ستاد و شرکت‌های زیر مجموعه به منظور استقرار مطلوب نظام‌ها (ایجاد دانش، مهارت، شرایط و قابلیت‌های مورد نیاز)
- مطالعات در زمینه تجارب گذشته و تحلیل وضع موجود جهت تنظیم فعالیت‌های آینده پژوهشی
- استقرار نظام یادگیری.

#### ۴-۲۹- صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور

هدف از تأسیس صندوق، شکوفایی امور تحقیقاتی در راستای تولید علم، فناوری و تجاری‌سازی و بهره‌مند شدن مردم از نتایج آن‌ها، از طریق ارائه کمک‌ها و خدمات حمایتی و مادی و معنوی به پژوهشگران و فناوران حوزوی و دانشگاهی ایرانی اعم از حقیقی و حقوقی می‌باشد.

در صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور پروژه‌های تحقیقاتی مورد حمایت قرار می‌گیرند که بر اساس نیازها و مزیت‌های کشور توصیف شده باشند.

انواع حمایت‌های مادی و معنوی از پژوهشگران و فناوران به صورت زیر می‌باشد:

- کمک به اجرای طرح‌های تحقیقاتی
- حمایت از دوره‌های پسادکتر
- حمایت از طرح‌های تحقیق و توسعه
- اعطای کرسی پژوهشی
- کمک به ثبت بین‌المللی اختراعات
- حمایت از ایجاد و توسعه زیرساخت‌های پژوهشی
- ثبت ایده‌ها و طرح‌ها (برخورداری صاحبان ایده‌ها و طرح‌ها از منافع حقوقی آنها)
- گرنت
- کمک برای به ثمر رساندن نوآوری‌ها و خلاقیت‌های منجر به تولید

## ۴-۳۰- صندوق مالی توسعه تکنولوژی ایران

صندوق مالی توسعه تکنولوژی ایران در سال ۱۳۷۴ از تغییر نام صندوق مالی حمایت از محققان و مخترعان شکل گرفت. هدف اصلی صندوق عبارت است از تأمین منابع مالی مورد نیاز طرح‌های مبتنی بر دانش و فناوری و کارآفرینان فناور، محققان و مخترعان نوآور (اعم از حقیقی و حقوقی) به منظور نیل به خودکفایی و استقلال اقتصادی کشور و رهایی از وابستگی و توسعه بازار داخلی و خارجی خدمات و محصولات مبتنی بر دانش و فناوری کشور.

اولویت‌های صندوق در حوزه‌های زیر می‌باشد:

۱. بیوتکنولوژی
  ۲. صنایع پایین‌دستی پتروشیمی مبتنی بر فناوری
  ۳. مواد پیشرفته
  ۴. نانو تکنولوژی
  ۵. تجهیزات و سیستم‌های پیشرفته الکترونیکی و مخابراتی
  ۶. تجهیزات پیشرفته پزشکی
- صنایع شیمیایی و فرآیندی پیشرفته

## ۴-۳۱- صندوق حمایت از تحقیقات و توسعه صنایع الکترونیک

صندوق حمایت از تحقیقات و توسعه صنایع الکترونیک (شرکت مادر تخصصی-سهامی خاص) وابسته به وزارت صنعت، معدن و تجارت، شرکتی کاملاً دولتی است که قانون آن در سال ۱۳۷۵ تصویب و اساسنامه آن در سال ۱۳۷۶ به تصویب هیئت محترم وزیران رسید.

اولویت‌های صندوق در حوزه‌های زیر می‌باشد:

۱. صنایع ارتباطی
۲. صنایع اتوماسیون

۳. صنایع رایانه‌ای

۴. صنایع الکترونیک نوری

۵. صنایع قطعات الکترونیک

۶. صنایع الکترونیک مصرفی

۷. صنایع الکترونیک کاربردی

## ۴-۳۲- پارک‌های علم و فناوری

یک "پارک علمی" سازمانی است که به وسیله متخصصان حرفه‌ای مدیریت می‌شود و هدف اصلی آن افزایش ثروت در جامعه از طریق ارتقاء فرهنگ نوآوری و رقابت در میان شرکت‌های حاضر در پارک و مؤسسه‌های متکی بر علم و دانش است.

اهداف پارک‌های علم و فناوری در ذیل تشریح شده است.

۱. گسترش و تقویت روح پژوهش و تفکر علمی در جامعه

۲. تلاش منظم و مستمر به منظور رویارویی با نیازهای حال و آینده

۳. کمک به توسعه هماهنگ بخش‌های مختلف از جمله دانشگاه‌ها و صنایع از طریق برقراری ارتباط سازمان یافته

۴. رشد و پرورش خلاقیت‌ها و ایجاد روحیه کارآفرینی در فارغ‌التحصیلان

۵. زمینه‌سازی مناسب جهت تجاری نمودن تحقیقات

وظایف آن نیز به شرح ذیل می‌باشد:

۱. سازماندهی امکانات تحقیق و توسعه برای ایجاد پیوند بین منابع و مهارت‌های دانشگاه‌ها و مراکز علمی و فناوری و

صنعتی

۲. جهت دادن مؤثر جامعه علمی کشور به سوی تحقیق در رشته‌های مورد نیاز

۳. برنامه‌ریزی و ایجاد زمینه مناسب به منظور کاربردی و تجاری کردن نتایج تحقیقات

۴. ایجاد فضای مناسب علمی و پژوهشی برای جذب دانشمندان و متخصصان داخل و خارج از کشور

۵. ارتقاء دانش فنی متخصصان برای بروز خلاقیت‌ها و نوآوری‌ها در زمینه فناوری

۶. دستیابی به آخرین اطلاعات و دانش فنی مورد نیاز به منظور کسب و ایجاد فناوری برتر به منظور رقابت در جامعه

جهانی

۷. اشاعه فرهنگ و سازماندهی فعالیت‌های جمعی تحقیقاتی و فناوری و استفاده از امکانات پارک‌ها

ایجاد بستر مناسب برای فعالیت واحدها و مؤسسه‌های علمی و فناوری غیردولتی و دولتی در پارک.

#### ۴-۳۳- صندوق غیردولتی پژوهش و فناوری صنعت برق

این صندوق در تاریخ ۱۳۸۳/۱۱/۴ بر اساس مجوز ماده ۱۰۰ قانون برنامه سوم توسعه بصورت موسسه غیر تجاری تاسیس و

تحت شماره ۱۷۷۱۳ به ثبت رسیده است. سرمایه صندوق توسط واحدهای فعال در زمینه های مختلف صنعت برق به شرح زیر

تامین شده است:

- شرکت مادر تخصصی مدیریت تولید، انتقال و توزیع نیروی برق ایران (توانیر)
- شرکت مادر تخصصی مدیریت تهیه و ساخت کالای آب و برق (ساتکاب)
- شرکت مدیریت پروژه‌های نیروگاهی ایران (مپنا)
- شرکت سرمایه گذاری صنایع برق و آب (صبا)
- شرکت ایران ترانسفو

هدف از تشکیل:

هدف صندوق عبارتست از حمایت از فعالیت‌های محققان و طرح‌های تحقیقاتی بخش غیردولتی صنعت برق به منظور:

- تولید و توسعه دانش فنی.
- ارتقاء سطح فناوری.
- جذب، انتقال و بومی‌سازی فناوری‌های نوین جهان.



#### انواع حمایت‌ها:

- اعطای تسهیلات اعتباری (بصورت عقود اسلامی) جهت اجرای طرح‌های تحقیقاتی.
- اعطای یارانه سود برای طرح‌های تحقیقاتی که از سایر منابع مالی و اعتباری کشور تسهیلات دریافت داشته اند.
- صدور ضمانت‌نامه و تضمین برای بازپرداخت تسهیلات دریافتی طرح‌های تحقیقاتی از سایر منابع مالی و اعتباری کشور.
- مشارکت، سرمایه گذاری و تامین سرمایه خطرپذیر به منظور اجرای طرح‌های تحقیقاتی.

#### شروط کلی:

- برخورداری از حمایت‌های صندوق مشروط به رعایت اولویت‌های بخش برق کشور و احراز صلاحیت‌های لازم از جمله اثبات توجیه پذیری طرح و توانایی مجریان می باشد.

#### اولویت‌های اصلی در پذیرش طرح‌ها:

- طرح‌های پژوهشی کاربردی.
- طرح‌های تدوین دانش فنی.
- طرح‌های تولید نمونه آزمایشگاهی.
- طرح‌های تولید نمونه نیمه صنعتی.
- طرح‌های پژوهشی توسعه‌ای.

توسعه و بومی‌سازی فناوری‌های نوین.

#### ۴-۳۴- ارائه دهندگان خدمات آموزشی و پژوهشی

از جمله ارائه کنندگان خدمات آموزشی و پژوهشی در حوزه تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق می‌توان به کلیه دانشگاه‌ها و موسسات آموزشی اشاره کرد.

#### ۴-۳۵- ارائه دهندگان خدمات صنعتی

از جمله ارائه کنندگان خدمات صنعتی در حوزه تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق می‌توان به وزارت نیرو، مجتمع‌های فولاد، صنایع کوچک و بارهای حساس، صنایع نظامی، خودروسازان، شرکت‌های دانش‌بنیان فعال در این حوزه، نیروگاه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، شهرک‌های صنعتی، شرکت‌های توزیع برق و شرکت‌های برق منطقه‌ای اشاره کرد.

#### ۴-۳۶- ترسیم نگاشت نهادی

باتوجه به اطلاعات جمع‌آوری شده در مراحل قبل می‌توان ماتریس نهاد-کارکرد فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق را تهیه کرد. در این ماتریس همانطور که از نامش پیداست دو عامل، نهادهای مختلف در توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق و کارکردهای شناسایی شده بر اساس ادبیات نظام نوآوری در کنار هم آمده‌اند.

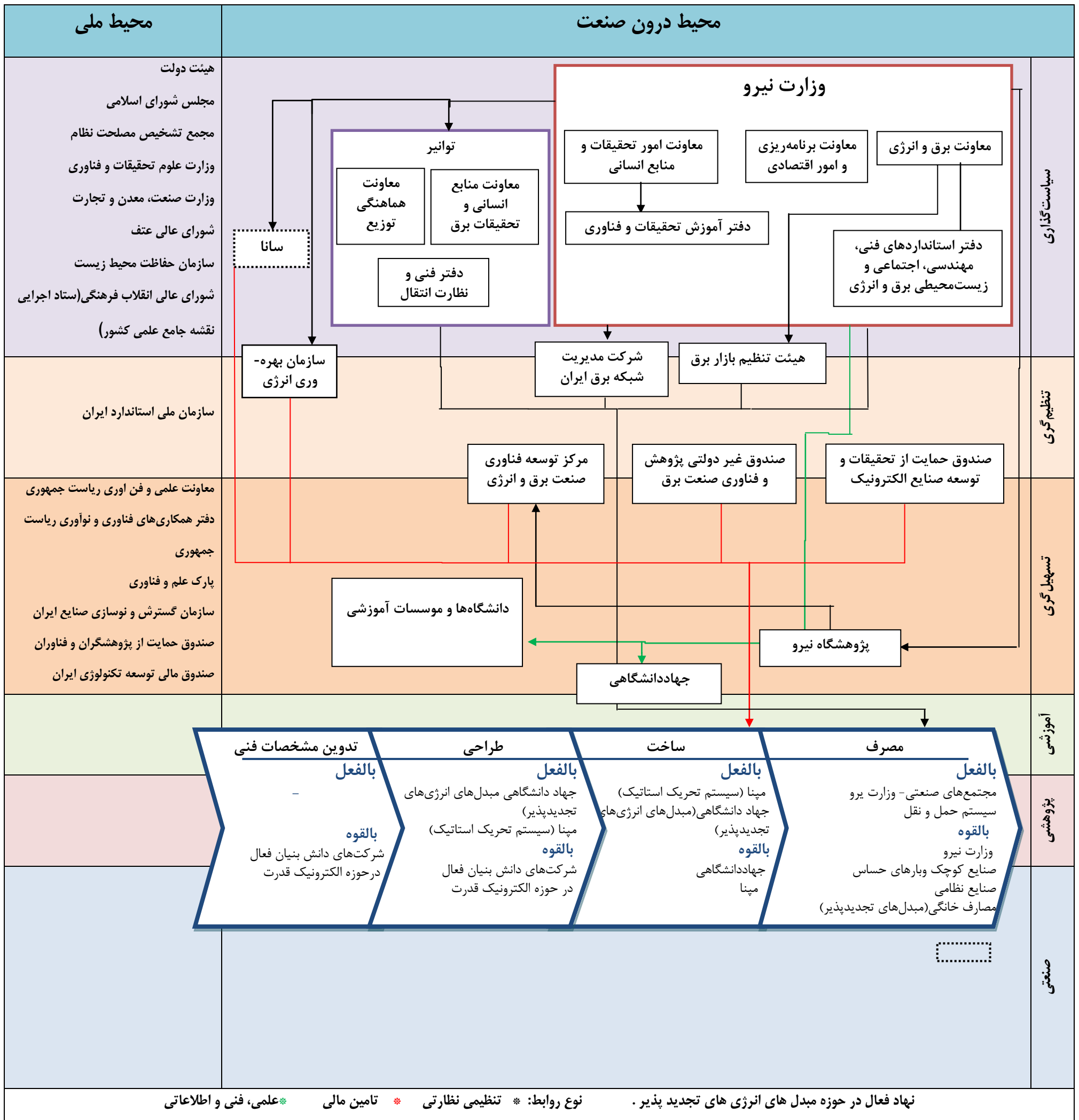
جدول ۴-۱: ماتریس نهاد کارکرد صنعت تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق

ارائه کالا و خدمات			تسهیل‌گری	تنظیم‌گری	سیاست‌گذاری	کارکرد	نهاد
صنعتی	پژوهشی	آموزشی					
					*		وزارت نیرو
					*		معاونت برق و انرژی (وزارت نیرو)
				*			دفتر استانداردهای فنی، مهندسی، اجتماعی و زیست‌محیطی برق و انرژی (معاونت برق و انرژی وزارت نیرو)
					*		معاونت برنامه‌ریزی و امور اقتصادی (وزارت نیرو)
					*		معاونت امور تحقیقات و منابع انسانی (وزارت نیرو)
					*		دفتر آموزش تحقیقات و فناوری (معاونت امور تحقیقات و منابع انسانی وزارت نیرو)
				*			هیئت تنظیم بازار برق (وزارت نیرو)
				*			شرکت مدیریت شبکه برق ایران
				*			سازمان بهره‌وری انرژی (وزارت نیرو)
					*		سازمان انرژی‌های نو (وزارت نیرو)
					*		شرکت مادر تخصصی تولید، انتقال و توزیع نیروی



ارائه کالا و خدمات			تسهیل‌گری	تنظیم‌گری	سیاست‌گذاری	کارکرد نهاد
صنعتی	پژوهشی	آموزشی				
*						شرکت‌های توزیع برق (توانیر)
*						شرکت‌های برق منطقه‌ای (توانیر)
*						شرکت‌های دانش بنیان فعال در حوزه الکترونیک قدرت

شکل (۴-۱): روابط بین نهادها در صنعت تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق



#### ۴-۳۷- جمع بندی

همان‌طور که اشاره شد، تعدد سازمان‌ها و نهادهای خصوصی و دولتی که هر یک به نوعی در توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق نقش‌آفرینی می‌کنند از یک سو و تنوع نقش‌هایی که باید در توسعه این فناوری متولی داشته باشد از سوی دیگر نیاز به بررسی و تحلیل دقیق توسعه این فناوری را از منظر نهادی (ساختاری) را نمایان‌تر می‌کند. برای تحلیل وضعیت این فناوری می‌توان از روش‌های مختلفی نظیر نگاشت نهادی استفاده کرد، به کمک نگاشت نهادی می‌توان بخوبی وضعیت بازیگران مختلف موجود در یک صنعت و وضعیت ایفای نقش آنها را بررسی و تحلیل نمود. نگاشت نهادی، ماتریسی است که در یک بعد سازمانها و نهادهای درگیر در این حوزه و در بعد دیگر انواع نقش‌هایی که این سازمانها به عهده می‌گیرند را نمایش می‌دهد. در واقع تکمیل نگاشت نهادی بدین معناست که هر یک از این سازمانها و نهادها چگونه در این حوزه نقش‌آفرینی می‌کنند. بنابراین با تحلیل نگاشت نهادی موارد زیر را می‌توان دریافت:

- آیا نقشی وجود دارد که متولی نداشته باشد؟
- در یک نقش مشخص چه سازمان‌ها یا نهادهایی فعالیت دارد؟ تعدد سازمان‌ها و نهادها چگونه است؟ در صورت کثرت نهادها آیا نیازی به مدیریت یکپارچه نهادهای فعال وجود دارد؟
- میزان درگیر بودن نهادهای مرتبط و غیرمرتبط در نقش چگونه است؟ آیا نقشی وجود دارد که هیچ نهاد مرتبطی در آن فعالیت ندارد؟
- آیا در نقش مورد نظر، نیاز به وجود نهادی متمرکز احساس می‌شود؟
- آیا نهادهای غیردولتی در نقش مورد نظر می‌توانند جایگزین نهادهای دولتی شوند؟

## نتیجه گیری

در این گزارش به عنوان یکی از گزارشات مرحله اول و دوم پروژه تدوین سند راهبردی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق، به منظور بررسی ساختار صنعت به تبیین ابعاد فنی مرزبندی و استخراج الزامات مندرج در اسناد بالادستی و همچنین شناسایی نهادها و بازیگران مرتبط با پروژه و شرح وظایف آنها و ترسیم نگاهت نهادی پرداخته شد. لذا پس از ارائه مرور ادبیات ساختار توسعه فناوری در فصل اول، به منظور شناخت سیستم مورد بررسی، در فصل دوم محدوده شمول پروژه به لحاظ فنی مشخص شده و در فصل سوم به بررسی اسناد و قوانین بالادستی به منظور شناسایی و در نظر گرفتن الزامات مرتبط با پروژه در سایر مراحل، پرداخته شد همچنین به منظور شناخت بازیگران و نهادهای موثر در پروژه، در فصل چهارم نهادهای مرتبط و تاثیرگذار به طور مستقیم و غیر مستقیم در حیطه پروژه شناسایی شده و شرح مختصری از وظایف آنها ارائه شد.

## مراجع

- [1].Kaufmann, A., Tödting, F., 2001, Science-industry interaction in the process of innovation: the importance of boundary-crossing between systems. *Research Policy* 30, 791-804.
- [2].Markard, J., Truffer, B., 2008. Actor-oriented analysis of innovation systems: exploring micro-meso level linkages in the case of stationary fuel cells. *Technology Analysis & Strategic Management* 20, 443 - 464.
- Markard
- [3] Asheim, B.T., Coenen, L., 2005. Knowledge bases and regional innovation systems: Comparing Nordic clusters. *Res. Pol.* 34, 1173-1190.
- [4] Markard, J., Worch, H., 2009. Technological innovation systems and the resource based view-Resources at the firm, network and system level.
- [5] Holmén, M., Jacobsson, S., 2000. A method for identifying actors in a knowledge based cluster. *Economics of Innovation and New Technology* 9, 331-352.
- [6] Edquist, C., 2005. Systems of innovation. *The Oxford handbook of innovation*, 181-208.
- [7] Coenen, L., Díaz López, F.J., 2010. Comparing systems approaches to innovation and technological change for sustainable and competitive economies: an explorative study into conceptual commonalities, differences and complementarities. *Journal of Cleaner Production* 18, 1149-1160.
- [8] Hollingsworth, J.R., 2000. Doing institutional analysis: implications for the study of innovations. *Rev. Int. Polit. Economy* 7.595-644.
- [9] Granstrand, O., Jacobsson, S., 1991. When are technological changes disruptive?—a preliminary analysis of intervening variables between technological and economic changes, the Marstrand Symposium on Economics of Technology, Marstrand.
- [10] Powell, W.W., Grodal, S., 2004. Networks of Innovators, in: J., F., D.C., M., R.R., N. (Eds.), *The Oxford Handbook of Innovation*. Oxford University Press.
- [11] Musiolik, J., Markard, J., 2011. Creating and shaping innovation systems: Formal networks in the innovation system for stationary fuel cells in Germany. *Energy Policy* 39, 1909-1922.



## فهرست مطالب

۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- توجیه پذیری توسعه	۲
۳-۱- تحلیل علایق ملی-امکان پذیری	۳
۴-۱- تحلیل های مالی-اقتصادی	۴
۵-۱- مقدمه	۶
۵-۱- ابعاد زیست محیطی	۶
۱-۵-۱- تغییرات آب و هوایی	۶
۲-۵-۱- تأثیر الکترونیک قدرت بر کاهش تغییرات آب و هوایی	۷
۳-۵-۱- افزایش بازده	۷
۴-۵-۱- کاربرد الکترونیک قدرت در سیستم های تجدیدپذیر	۸
۵-۵-۱- استفاده از انرژی باد	۹
۶-۵-۱- استفاده از فتوولتائیک (PV)	۱۰
۷-۵-۱- سایر موارد	۱۰
۸-۵-۱- آلودگی صوتی	۱۱
۶-۱- ابعاد اجتماعی	۱۱
۱-۶-۱- منظر کیفیت توان و رضایت مندی اجتماع	۱۲
۲-۶-۱- منظر اشتغال زایی	۱۴
۳-۶-۱- منظر فرهنگ استفاده از انرژی های نو	۱۵
۷-۱- ابعاد سیاسی	۱۶
۸-۱- ابعاد اقتصادی	۱۸
۱-۸-۱- بهبود سلامت و کیفیت محیط و کاهش هزینه های درمان	۱۸
۲-۸-۱- ایجاد اشتغال	۱۹
۳-۸-۱- مزایای اقتصادی تولید پراکنده و شبکه های هوشمند	۲۰
۴-۸-۱- مزایای ذخیره سازها	۲۱
۵-۸-۱- مزایای ادوات FACTS	۲۱
۶-۸-۱- کیفیت توان	۲۲
۷-۸-۱- خودروهای هایبرید	۲۳
۹-۱- ابعاد فناوری	۲۵

- ۱-۹-۱- تولید پراکنده و شبکه هوشمند ..... ۲۵
- ۲-۹-۱- ادوات Custom Power ..... ۲۵
- ۳-۹-۱- ادوات FACTS ..... ۲۶
- ۱۰-۱- رقابت پذیری ادوات الکترونیک قدرت ..... ۲۷
- ۲- نتیجه گیری ..... ۳۲
- ۳- مراجع ..... ۳۳

## فهرست اشکال

شکل ۱-۲- اثرات کیفیت توان بد بر اساس اظهارات مشتریان ..... ۱۴

شکل ۲-۲- چرخه‌ی عمر منابع انرژی جهان ..... ۱۷

## فهرست جداول

- جدول ۱-۲- شکایت عمده مصرف‌کنندگان برق در ۸ کشور اروپایی ..... ۱۲
- جدول ۲-۲- آمار فروش خودروهای هایبرید در آمریکا بر اساس آمار وزارت راه آمریکا ..... ۲۴

## فصل اول

### مرور ادبیات توجیه پذیری توسعه فناوری

## ۱-۱- مقدمه

برای درک مناسب و تدوین بهتر توجیه پذیری توسعه فناوری الکترونیک قدرت، آشنایی با برخی از مفاهیم و تعاریف توجیه پذیری و روش های تحلیل آن (که از شاخه های مهندسی صنایع می باشند) ضروری است. در این فصل به صورت مختصر به این مفاهیم پرداخته شده است.

## ۱-۲- توجیه پذیری توسعه

توسعه ی هر فناوری در گرو داشتن یک دلیل موجه، که بیان کننده ی چرایی توسعه است، می باشد. در کنار مزایای مختلفی که گسترش یک فناوری به همراه می آورد، هزینه هایی نیز بر هر سیستم توسعه دهنده فناوری تحمیل می شود. در این راستا، لازم است تا با سنجش تناسب مزایای حاصل از توسعه در برابر هزینه های آن، فناوری منتخب برای توسعه برگزیده شوند. این تحلیل هزینه-مزایا بیان کننده دلیلی موجه برای گسترش فناوری است. اگر موضوع این توجیه پذیری بررسی یک فناوری نوظهور باشد، فرصت های پدیدآمده از توسعه این فناوری در آینده ی نزدیک بیانگر مزایای آن است. اگر هم فناوری های بالغ موضوع تحلیل باشد، به دلیل مشاهده ی اثرات آن در زمان حاضر، منظور از مزایا فایده های حاصل از آن خواهد بود. بنابراین، در فناوری های نوظهور تحلیل هزینه-فرصت و در فناوری های بالغ تحلیل هزینه-فایده محور توجیه پذیری است.

در تحلیل، هزینه ها و مزایا (فرصت یا فایده) حاصل می تواند دارای ابعاد مختلف اقتصادی (مانند نرخ بازگشت سرمایه)، اجتماعی (اشتغال زایی)، زیست محیطی (میزان پایداری)، و سیاسی (همراستایی با سیاست های کلان کشور) باشد. در انتخاب میان هر دسته از فناوری ها، این ابعاد ممکن است از درجه ی اهمیت متفاوتی برخوردار شوند. در میان گونه هایی از فناوری ها، مانند فناوری های انرژی تجدیدپذیر و نانو، مزایای اقتصادی اجتماعی و زیست محیطی آن پررنگتر بوده، و در مورد فناوری های دفاعی و نیز انرژی هسته ای، مزایای سیاسی آن.

گنجاندن مولفه ی توجیه پذیری در یک سند ملی علاوه بر این که دلیل محکمی برای درست بودن توسعه فناوری ارائه می نماید، بر اجرایی شدن آن در بین ذینفعان نیز تاثیر می گذارد. فرایند توسعه یک فناوری جدید نیازمند مشارکت تمام ذینفعان در کلیه سطوح جامعه (خصوصا سطوح پایین جامعه یعنی اجرا کنندگان) هستند. اتخاذ تصمیمات توسط سیاست گذاران و ابلاغ

مستقیم آن‌ها به سایر کنش‌گران دخیل در توسعه، الزامی برای توسعه فناوری در میان کنش‌گران به‌وجود نمی‌آورد. به‌عبارت دیگر، توسعه موفق یک فناوری را نمی‌توان در یک فرایند دستوری غیرموجه به انجام رساند. توجیه‌پذیر بودن فناوری در کنار وجود برنامه‌ها و سیاست‌های تسهیل‌کننده می‌تواند به توسعه پایدار فناوری‌های راهبردی منجر شود. این موضوع به‌خصوص در کشورهای کمتر توسعه یافته که به توجیه‌پذیری توسعه فناوری‌ها در اسناد بالادستی پرداخته نشده، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. انجام توجیه‌پذیری باید در مقایسه با گزینه‌های رقیب فناوری باشد. به‌عبارت دیگر، توجیه‌پذیری از مطالعه‌ی محیط خارج حاصل می‌شود و جدا از بررسی محیط داخلی است. با استفاده از تکنیک‌های مختلفی مانند تحلیل علایق ملی-امکان‌پذیری، روش‌های ریاضی تصمیم‌گیری، و تحلیل‌های مالی-اقتصادی می‌توان موجه بودن یک فناوری راهبردی را نسبت به سایر رقبا به‌اثبات رساند. نکته‌ای که باید به آن توجه نمود این است که لزوماً همه روش‌های پیشنهادی در همه انواع گونه‌های فناورانه به‌کار نمی‌رود. به‌عنوان مثال تحلیل‌های مالی-اقتصادی بیشتر در مورد فناوری‌هایی که به بازار نزدیک بوده و توانایی تولید سود اقتصادی برای کشور را دارند به‌کار می‌روند، اما در حوزه‌های فناورانه‌ای که هنوز در ابتدای مسیر توسعه هستند یا توسعه آن‌ها صرفاً به‌منظور کسب مزیت‌های اقتصادی صورت نمی‌گیرد تحلیل علایق ملی-امکان‌پذیری به‌کار می‌رود. در این قسمت به ارائه‌ی این روش‌های توجیه‌پذیری فناوری به‌شکل مختصر پرداخته می‌شود.

### ۱-۳- تحلیل علایق ملی-امکان‌پذیری

در این روش، آنچه موجب توجیه‌پذیری توسعه یک فناوری می‌گردد، حداکثرسازی منافع ملی در برابر داشتن قابلیت اجرا (امکان‌پذیری) است. منافع ملی دارای ابعاد مختلفی است از جمله معیارهای اشتغال‌زایی، جلوگیری از خروج ارز، صرفه‌جویی در هزینه نیروی کار و ایجاد بازار برای مواد اولیه تولید داخل. در طرف مقابل، امکان‌پذیری نیز دارای سطوحی مانند محدودیت توانمندی طراحی اجزاء، محدودیت در توانمندی ساخت اجزاء، و نیز محدودیت مزیت رقابتی نسبت به سایر رقبا است. برحسب فناوری، معیارهای ارائه شده برای علایق ملی و امکان‌پذیری می‌تواند دارای تفاوت باشد.

## ۱-۴- تحلیل‌های مالی-اقتصادی

تحلیل‌های مالی-اقتصادی را می‌توان به در قالب سه روش زیر تبیین نمود. روش اول، روش ارزش حال<sup>۱</sup> است. یکی از ساده‌ترین روش‌ها برای ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها، استفاده از روش ارزش حال است. محاسبه ارزش حال در یک فرآیند مالی، تبدیل ارزش آینده کلیه دریافت‌ها به ارزش فعلی در زمان حال یا مبدأ پروژه است. در مقایسه اقتصادی چند پروژه به طریق ارزش فعلی، پروژه‌ای که دارای ارزش فعلی خالص بیشتری باشد اقتصادی‌ترین پروژه خواهد بود. اگر مبنای مقایسه ارزش فعلی هزینه‌ها باشد، یعنی فقط هزینه‌های مختلف پروژه‌ها در اختیار باشد، اقتصادی‌ترین پروژه، پروژه‌ای است که دارای کمترین ارزش فعلی هزینه‌ها باشد.

روش دوم تحلیل نرخ بازگشت سرمایه است. در این روش ضابطه قبول و یا رد یک پروژه بر اساس معیاری (نرخ) به نام نرخ بازگشت سرمایه محاسبه می‌گردد. در حقیقت تعادل درآمدها (درآمدهای سالیانه، ارزش اسقاطی،...) و هزینه‌ها (سرمایه اولیه، هزینه‌های سالیانه و...)، تحت یک نرخ (البته نه همیشه یک نرخ) امکان‌پذیر است و آن نرخ (نرخ‌ها)، نرخ بازگشت سرمایه است.

روش سوم، روش ارزش یکنواخت سالیانه است. در روش هزینه‌های سالیانه، رویکرد مشابه روش ارزش حال استفاده می‌شود. در این روش درآمدها و یا هزینه‌ها به دریافت و یا پرداخت سالیانه یکنواخت تبدیل می‌شوند. با این تکنیک و با توجه به اطلاعات طرح، هزینه یکنواخت سالیانه و یا درآمد یکنواخت سالیانه شناخته می‌شود. یکی از مزایای این روش بر خلاف روش ارزش فعلی، این است که عمر پروژه‌ها تغییری در محاسبات نمی‌دهد و در حقیقت نیازی به تعیین عمر مشترک برای زمانی که پروژه‌ها دارای عمر نابرابرند نیست.

<sup>1</sup> Present worth



## فصل دوم

# ضرورت توسعه فناوری های تجهیزات الکترونیک

## قدرت

## ۱-۵- مقدمه

هدف از تدوین گزارش توجیه پذیری بررسی محیط پیرامون فناوری و تحلیل محیط حقوقی و اسناد ملی و بخشی مرتبط با توسعه فناوری است. تحلیل محیط پیرامون فناوری یک ابزار مناسب جهت شناخت و ایجاد تصویری مطلوب از محیطی است که فناوری مورد نظر در آن اجرا می شود. این ابزار می تواند در راستای بهره برداری از فرصت ها و حداقل نمودن تهدیدهایی که فناوری با آن مواجه است مورد استفاده قرار گیرد. در راستای تحلیل محیط خارجی می توان آینده فناوری را در افق طولانی تری از زمان مشاهده کرد و تا حدودی فرصت ها و تهدید های پیش روی فناوری را مشخص نمود. در این بخش مولفه های زیست محیطی، سیاسی، اقتصادی، اجتماعی، فناوریکی و قانونی اثر گذار بر روند توسعه فناوری مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۱-۵- ابعاد زیست محیطی

امروزه مسائل زیست محیطی به عنوان چالشی جدی در جهان مطرح است. تجهیزات الکترونیک به عنوان تجهیزاتی مناسب می تواند در کلیه بخشهای تولید، انتقال، توزیع و مصرف انرژی الکتریکی نقش آفرینی کرده و در حل مشکلات زیست محیطی کمک نماید.

## ۱-۵-۱- تغییرات آب و هوایی

استفاده از سوخت های فسیلی مانند زغال سنگ، نفت و گاز طبیعی گازهای آلوده کننده ی ( $CO_2$ ،  $SO_2$ ،  $NO_x$  و  $HC$  و  $CO$ ) را ایجاد می کنند که سبب آلودگی زیست محیطی می شوند. به عنوان مثال باران اسیدی که سبب از بین رفتن بناها و گیاهان می شود توسط گازهای  $NO_x$  و  $SO_2$  تولید می شود. بیشترین اثر سوء سوخت های فسیلی مسائل مرتبط با تغییرات آب و هوایی است که گاز  $CO_2$  بیشترین اثر را در این زمینه دارد. این گازها سبب به دام افتادن گرمای ناشی از نور خورشید شده و بدین طریق باعث افزایش دمای کره ی زمین می شوند. این افزایش دما سبب افزایش سطح آب اقیانوس ها و ایجاد سیلاب ها می شود. پژوهش ها نشان می دهد که افزایش ۳ فوتی ارتفاع سطح آب دریاها سبب بی خانمان شدن ۱۰۰ میلیون نفر خواهد شد. همچنین نتایج بررسی دیگری نشان می دهد که در صورت ذوب شدن یخ موجود در نواحی  $Greenland$  و  $Arctic$  سطح آب

دریا ۲۰۰ فوت افزایش می‌یابد که این امر می‌تواند شهر منهتن نیویورک را نیز در آب فرو ببرد. تحقیقات دیگری در این زمینه انجام شده که اثر تغییرات آب و هوایی (به خصوص افزایش دما) را به عنوان تهدیدی جدی برای محیط زیست و بشریت بیان می‌کند. با توجه به این تهدیدات پروتکل کیوتو در سال ۱۹۹۷ تنظیم شده، که براساس آن هر یک از کشورهای عضو موظف به محدود کردن انتشار گازهای آلاینده هستند [۱].

### ۱-۵-۲- تأثیر الکترونیک قدرت بر کاهش تغییرات آب و هوایی

از آنجا که نقش و وظیفه‌ی ادوات الکترونیک قدرت، تبدیل انرژی الکتریکی به فرم مطلوب است، این تجهیزات می‌توانند بازده و راندمان فرآیندها را افزایش دهند. علاوه بر آن ادوات الکترونیک قدرت در سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر، ذخیره انرژی با حجم بالا، خودروهای هیبریدی، انتقال توان در حجم زیاد و اتصال شبکه‌های مختلف نقش موثری بر عهده دارند و کمک شایانی به کاهش مصرف و هدر رفت انرژی و تولید انرژی از منابع پاک‌تر می‌کنند.

### ۱-۵-۳- افزایش بازده

کاهش مصرف انرژی الکتریکی، سبب کاهش نیاز به تولید انرژی می‌شود که به صورت غیرمستقیم سبب کاهش آلودگی محیط زیست و مسائل مربوط به تغییرات آب و هوایی می‌شود.

افزایش بازدهی فرآیندهای صنعتی و افزایش بازدهی عملکرد ماشین‌های الکتریکی توسط محرکه‌های الکترونیک قدرت از مواردی است که الکترونیک قدرت نقش مهمی در آن دارد که البته از موضوع بحث سند حاضر خارج است.

استفاده از شبکه‌های هوشمند ایده‌ای جدید در جهت بهینه شدن مصرف انرژی الکتریکی است. اساس این ایده بر بکارگیری ادوات الکترونیک قدرت، سیستم‌های مخابراتی و کامپیوتری در شبکه‌های برق است که منجر به افزایش بازده و افزایش قابلیت اطمینان و امنیت سیستم می‌شود. از طرف دیگر، یکی از اهداف مهم پیاده سازی شبکه‌های هوشمند ایجاد ریزشبکه‌ها است که در آنها انرژی از منابع پاک تولید می‌شود.

استفاده از ادوات FACTS امکان بهره‌برداری بهینه از شبکه انتقال را فراهم می‌آورد که از جمله می‌تواند باعث افزایش بازده سیستم انتقال و کاهش تلفات شود. همچنین اتصال شبکه‌های برق این امکان را فراهم می‌کند که بتوان انرژی پاک را در

مکنه‌های دور دست تولید و سپس توسط خطوط HVDC و ادوات FACTS آن را به محل مصرف منتقل نمود. ادوات جبران کننده‌ی توان راکتیو و حذف هارمونیک می‌توانند به کاهش تلفات خطوط انتقال و توزیع کمک نمایند. گسترش استفاده از منابع تولید پراکنده و ریزشبکه‌ها، سبب کاهش حجم توان انتقالی شده و در نتیجه منجر به کاهش تلفات خطوط انتقال می‌گردد.

در بحث افزایش بازده می‌توان بر اهمیت استفاده از سیستم تولید همزمان برق و حرارت (CHP) اشاره کرد. این فرآیند از جمله می‌تواند توسط میکروتوربین‌ها صورت گیرد که ادوات الکترونیک قدرت در آنها نقش واسط بین شبکه و آن را ایفا می‌کنند. از پیل سوختی نیز می‌توان در این جهت استفاده کرد. با توجه به مسائل بیان شده تجهیزات الکترونیک قدرت می‌توانند در جهت افزایش بازده سیستم برق کشورمان عمل نمایند.

#### ۱-۵-۴- کاربرد الکترونیک قدرت در سیستم‌های تجدیدپذیر

منابع انرژی تجدیدپذیر مانند منابع آب، باد، خورشید، زیست توده، زمین‌گرمایی، موج و جزر و مد، منابع سازگار با محیط‌زیست هستند که بر استفاده از آنها در سراسر جهان تأکید اساسی می‌شود. بر اساس تحقیقی که توسط یکی از محققین دانشگاه استنفورد انجام شده است، منابع تجدیدپذیر با ذخیره‌سازی مناسب می‌توانند به راحتی تمام نیازمندی‌های انرژی جهان را برآورده نمایند. همچنین براساس بررسی دیگر انجام شده توسط هیئت بین‌المللی تغییرات آب و هوایی سازمان ملل متحد تا سال ۲۰۵۰ میزان ۵۰ درصد انرژی کلی جهان توسط این منابع تأمین خواهد شد [۲].

بعد از حادثه‌ی هسته‌ای اخیر در ژاپن کشورهای ژاپن و آلمان قصد پایان دادن به استفاده از انرژی هسته‌ای برای تولید برق تا سال ۲۰۲۲ را دارند و بر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر تأکید فراوان دارند. استفاده از انرژی‌های خورشیدی و بادی به منظور فراهم آوردن نیازمندی‌های در حال افزایش انرژی مصرفی و کاهش مسائل مرتبط با تغییرات آب و هوایی اهمیت بسزایی دارند. دستیابی به هدف به کارگیری گسترده منابع بادی و خورشیدی بدون استفاده از تجهیزات الکترونیک قدرت امری محال و دور از دسترس است.

### ۱-۵-۵- استفاده از انرژی باد

در یک سیستم مولد بادی مدرن، انرژی باد از طریق ژنراتوری که به یک توربین با سرعت متغیر متصل است به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. توان تولید شده از طریق ادوات الکترونیک قدرت به ولتاژ و فرکانس مناسب تبدیل شده و به مصرف‌کننده محلی یا شبکه برق تحویل داده می‌شوند.

جهان دارای منبع عظیم انرژی بادی است و این انرژی اقتصادی‌ترین منبع انرژی سبز است. براساس تحقیقات انجام شده توسط انجمن انرژی باد اروپا تنها استفاده از ۱۰ درصد (این میزان در تحقیقات دانشگاه استنفورد ۲۰ درصد است) از انرژی باد می‌تواند انرژی مورد نیاز جهان را تأمین نماید.

پیشرفت‌های انجام شده در زمینه توربین‌های سرعت متغیر و ادوات الکترونیک قدرت انرژی بادی را در عرصه تولید برق رقابت‌پذیر کرده است. انرژی بادی و خورشیدی می‌تواند به منظور تأمین انرژی الکتریکی یک سوم از جمعیت جهان که از شبکه‌ی برق تغذیه نمی‌شوند (مناطق دور افتاده) نیز استفاده شده و انرژی مورد نیاز آنها را تأمین کند. در بین کشورهای در حال توسعه چین و هند برنامه‌ی وسیعی برای توسعه‌ی انرژی بادی دارند. براساس شاخص درصد مصرف انرژی الکتریکی تولیدی از انرژی بادی به کل مصرف، کشور دانمارک با سهم ۲۵ درصدی پیشرو است و سیاست‌گذاری این کشور دست‌یابی به سهم ۴۰ درصدی تا سال ۲۰۳۰ است.

از لحاظ شاخص ظرفیت نصب شده، چین پیشرو است و ایالات متحده‌ی آمریکا (با فاصله‌ی اندک نسبت به آلمان و اسپانیا) در رتبه‌ی دوم قرار دارد. هدف ایالات متحده این است که تا سال ۲۰۳۰، درصد تولید انرژی الکتریکی از باد به کل انرژی تولیدی را به ۲۰ درصد برساند. ظرفیت قابل استحصال ایالات متحده در تولید توان از باد بسیار زیاد است و برآورد می‌شود که دو برابر نیاز کنونی برق توسط مولدهای بادی قابل تأمین باشد. یکی از مشکلات سیستم‌های بادی ماهیت متغیر آن است که استفاده از منبع هسته‌ای و یا سوخت فسیلی به عنوان پشتیبان آنها ضروری است.

در کشور ایران می‌توان از انرژی باد جهت تولید انرژی الکتریکی استفاده کرد. با استفاده از انرژی باد در جهت تأمین برق می‌توان از آلودگی‌های زیست‌محیطی و مصرف سوخت‌های فسیلی کاست. مناطق زیادی از ایران دارای حداقل سرعت باد  $6m/s$  هستند که سرعت بسیار مناسبی برای تولید برق بادی است. پتانسیل برق بادی کشور در حدود ۴۰ هزار مگاوات و در

حالت قطعی و اقتصادی حدود ۱۵ هزار مگاوات برآورد شده است. پیش‌بینی شده در افق ۱۴۰۴ هشت هزار مگاوات برق بادی در کشور تولید شود.

براساس یکی از تحقیقات انجام شده که نتایج آن در فصل نامه‌ی مطالعات اقتصاد انرژی در سال ۱۳۸۸ انتشار یافت، تولید برق بادی در طول سال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۴ سبب صرفه‌جویی در مصرف نفت به میزان ۴۵۲۰۰۰ بشکه شده است که در کاهش یک میلیون تن از آلاینده‌های زیست‌محیطی نقش داشته است [۳].

### ۱-۵-۶- استفاده از فتوولتائیک (PV)

ادوات فتوولتائیک نور خورشید را مستقیماً به برق DC تبدیل می‌کند. برق DC تولیدی به شکل مناسب تبدیل شده و به شبکه متصل می‌شود و یا بارهای مستقل محلی را تغذیه می‌کند. تجهیزات بکار رفته برای این تبدیل ادوات الکترونیک قدرت هستند که دارای ایمنی و قابلیت اطمینان بالا و سازگار با محیط زیست هستند و نیاز به تعمیر و نگهداری کمی دارند.

ظرفیت نصب شده‌ی فتوولتائیک در جهان بالغ بر ۱۳۵ گیگاوات است و پیش‌بینی می‌شود که تا پایان سال ۲۰۲۵ این تولید به ۱۱ درصد مصرف برق جهان برسد. این میزان می‌تواند سهم زیادی در کاهش آلودگی محیط زیست داشته باشد.

ایران مطابق پژوهش‌های سانا، وضعیت بسیار مناسبی از لحاظ پتانسیل استفاده از انرژی‌های خورشیدی دارد. متوسط تابش خورشید در ایران،  $5 \frac{kWh}{m^2}$  در روز است و بیش از ۳۰۰ روز آفتابی در کشور وجود دارد.

### ۱-۵-۷- سایر موارد

با استفاده از ذخیره‌سازی انرژی، می‌توان توان بیشتری از واحدهای انرژی تجدیدپذیر دریافت کرد. با این کار ضریب مشارکت واحدهای تجدیدپذیر افزایش یافته و سبب افزایش بازده مولدهای تجدیدپذیر می‌شود. این تجهیزات ذخیره‌ساز جهت عملکرد مناسب نیاز به ادوات الکترونیک قدرت دارند.

یکی از راه‌حل‌های مناسب جهت کاهش آلودگی هوا در شهرها، استفاده از خودروهای هیبریدی است. در این خودروها از ذخیره‌ساز انرژی الکتریکی استفاده می‌شود. اتصال ذخیره‌سازهای به کار رفته در خودروهای هیبریدی به شبکه برق بدون

استفاده از ادوات الکترونیک قدرت میسر نیست. از طرف دیگر اتصال این خودروها به شبکه برق انرژی الکتریکی مصرفی در شهرها را به شدت افزایش می‌دهد که نیاز به انتقال حجم توان زیادی خواهد داشت که تنها راه اقتصادی مواجهه با آن به کارگیری شبکه هوشمند است.

استفاده از ساختار شبکه‌ی هوشمند بدلیل مدیریت مناسب انرژی در آن نیاز به ذخیره‌سازها را کاهش می‌دهد، و مدیریت مصرف مناسبی را فراهم می‌کند که ادوات الکترونیک قدرت از تجهیزات اصلی این ساختار هستند.

خطوط انتقال HVDC در رنج توان یکسان به حریم کمتری نسبت به خطوط انتقال AC نیاز دارند، لذا در صورت گذر از جنگلها نیاز به قطع درختان کمتری است. همچنین امکان انتقال منابع عظیم انرژی‌های تجدیدپذیر را فراهم می‌کند. به عنوان مثال می‌توان به پروژه‌ی تولید برق خورشیدی در صحرای آفریقا و انتقال آن از طریق خطوط انتقال HVDC به اروپا اشاره نمود [۴].

### ۱-۵-۸- آلودگی صوتی

از آنجا که ادوات الکترونیک قدرت، تجهیزات ایستا (ساکن) هستند لذا آلودگی صوتی کمتری ایجاد می‌کنند. کلیدزنی مبدل‌ها نیز بصورتی است که فرکانس ایجاد شده در محدوده‌ی شنوایی انسان قرار نگیرد. استفاده از ادوات الکترونیک قدرت امکان استفاده از تجهیزات بدون آلاینده‌ی صوتی و یا با آلودگی صوتی کم را فراهم می‌آورد. به عنوان مثال می‌توان به سلول‌های فتوولتائیک و یا پیل سوختی که تقریباً بدون آلودگی صوتی هستند و همچنین میکروتوربین‌ها که نسبت به سایر مولدها آلودگی کمتری دارند اشاره کرد.

### ۱-۶- ابعاد اجتماعی

فناوری ادوات الکترونیک قدرت می‌تواند بر عوامل اجتماعی از جمله رفاه انسان‌ها از طریق فراهم آوردن شکل مطلوب و مورد نیاز انرژی الکتریکی تأثیر گذار باشد، در ادامه تأثیر فن‌آوری الکترونیک قدرت بر این عوامل بررسی خواهد شد. اثرات

اجتماعی ادوات الکترونیک قدرت را می‌توان به کیفیت توان و رضایت‌مندی اجتماع، اشتغال‌زایی و فرهنگ استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر تقسیم‌بندی نمود.

### ۱-۶-۱- منظر کیفیت توان و رضایت‌مندی اجتماع

گرچه واژه کیفیت توان، واژه‌ای بسیار عمومی است، اما آن را می‌توان به ولتاژ و جریان سینوسی ایده‌آل نسبت داد. در این صورت، شبکه‌ای در سطح توزیع دارای کیفیت توان عالی است که حاوی جریان و ولتاژهای نزدیک به سینوسی ایده‌آل باشند. کیفیت توان شبکه ارتباط تنگاتنگی با رضایت جامعه از صنعت برق دارد. مطابق تعریف IEEE، کیفیت توان به تغذیه و زمین کردن مناسب ادوات الکترونیکی اطلاق می‌شود به گونه‌ای که شرایط برای بهره‌برداری آن تجهیز مناسب بوده و منطبق با سیم‌بندی سیستم و نیازهای سایر تجهیزات سیستم باشد.

کیفیت توان شبکه عموماً با استاندارد IEEE519 سنجیده می‌شود. این استاندارد محدودیت‌هایی را برای هارمونیک‌های جریان و ولتاژ در نقطه اتصال مشترک<sup>۱</sup> (PCC) اعمال می‌کند. این استاندارد به دنبال تامین توان پاک برای همه مصرف‌کنندگان است. همچنین این استاندارد به دنبال محافظت تجهیزات شبکه در برابر اضافه حرارت، کاهش عمر (ناشی از هارمونیک‌های جریان) و جلوگیری از وارد آمدن استرس ولتاژی (ناشی از هارمونیک‌های ولتاژی) به تجهیزات است.

پژوهش‌های گوناگونی در مورد اثرات اجتماعی کیفیت توان نامناسب انجام شده است. سازمان (Leonardio Power Quality Initiative) در سال ۲۰۰۳ گزارشی را منتشر کرد که ناظر بر شکایت‌های مصرف‌کنندگان برق در ۸ کشور اتحادیه اروپایی بوده است. نتایج این گزارش در جدول ۲-۲۱-۱ نشان داده شده است [۵].

#### جدول ۲-۱- شکایت عمده مصرف‌کنندگان برق در ۸ کشور اروپایی

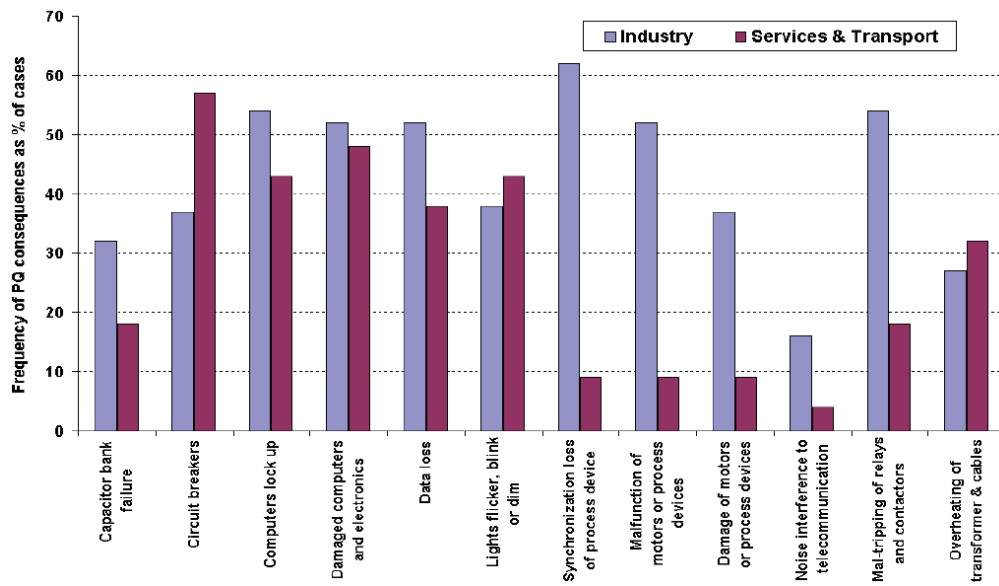
گزارش خرابی کیفیت توان	تجهیزات تحت تاثیر	ناخشنودی کاربر
وجود جریان نشتی زمین که منجر به افت ولتاژ در هادی‌ها می‌شود.	تجهیزات IT (انواعی که به تغییرات سیگنال ولتاژ حساس هستند)	هنگ کردن کامپیوتر و از دست رفتن اطلاعات

<sup>۱</sup> -Point of common coupling



ناخشنودی کاربر	تجهیزات تحت تاثیر	گزارش خرابی کیفیت توان
از دست رفتن سنکرونیسم در تجهیزات پردازش	سنسورهای حساس در کنترل پروسه	اعوجاجات هارمونیک شدید که منجر به ایجاد نقاط گذر از صفر بیشتر در یک سیکل موج سینوسی می شود.
خرابی کامپیوتر و تجهیزات الکترونیکی	وسایل الکترونیکی نظیر کامپیوتر	ضربه کلیدزنی
فلیکر چراغ‌ها، چشمک‌زنی و تیره شدن	فلیکر زدن، چشمک زدن و تیره شدن چراغ‌ها و سایر تجهیزات روشنایی	تغییرات سریع ولتاژ که منجر به سوسو زدن (فلیکر) قابل رؤیت می شود.
عملکرد نامناسب موتورها و سایر تجهیزات برقی، اضافه حرارت، بازده کاهش یافته و پیری زودرس تجهیزات	موتور و سایر تجهیزات فرایند	حضور هارمونیک‌های جریان و ولتاژ در منبع تغذیه
قطع و وصل آزار دهنده تجهیزات حفاظتی	رله‌ها، قطع کننده‌ها و کنتاکتورها	اعوجاج ولتاژ در اثر افت ولتاژ
تداخل نویز با خطوط انتقال	سیستم مخابراتی	نویز الکتریکی تولید کننده سیگنال تداخل

همچنین در سال ۲۰۰۸، گزارش دیگری توسط سازمان LPQZ منتشر شد که مباحث کیفیت توان را در ۲۵ کشور اتحادیه اروپا بررسی کرده است [۶]. بنابراین گزارش، بیشترین شکایات مشتریان، درباره از دست رفتن سنکرونیسم تجهیزات (عمدتاً سنسورهای حساس) با شبکه بوده است. نارضایتی دوم کاربران نیز مربوط به هنگ کردن کامپیوتر و قطع و وصل تجهیزات حفاظتی بوده است. از دید مصرف‌کنندگان بخش خدمات و حمل و نقل، از دست رفتن داده‌ها و قطع و وصل نابهنگام مدار شکن‌ها از مهمترین مشکلات است. بر مبنای این تحقیق، مهم‌ترین منشاء اختلال کیفیت توان در صنایع، عملکرد موتورها و مبدل‌های استاتیکی است. در حالی که مهم‌ترین منشاء اغتشاش در مصرف‌کنندگان از وسایل الکترونیکی ناشی می‌شود. شکل ۱-۲ اثرات کیفیت توان پایین بر صنایع، مصرف‌کنندگان بخش خدمات و حمل و نقل را بر حسب تکرار وقوع آنها نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱- اثرات کیفیت توان بد بر اساس اظهارات مشتریان

با توجه به موارد ذکر شده، کاربرد ادوات الکترونیک قدرت در شبکه می‌تواند ضمن برطرف کردن مشکلات کیفیت توان در شبکه، باعث افزایش رضایتمندی اجتماعی از صنعت برق گردد [۷]. البته قطع برق برای مصرف‌کنندگان در اثر وقوع خطاها در سیستم قدرت در هر صورت محتمل است و برای بارهای حساس مانند بانک‌ها، صنایع IT و... می‌توان از UPS استفاده کرد.

### ۱-۶-۲- منظر اشتغال زایی

الکترونیک قدرت را می‌توان با توجه به استفاده و کاربرد در صنایع گوناگون از جمله فناوری‌های سرزنده دانست. بازار الکترونیک قدرت با توجه به کاربرد این تجهیزات، افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است. کمپانی‌های گوناگون در دنیا بودجه‌های فراوانی را در بخش تحقیق و توسعه به منظور ارتقاء محصولات خود صرف کرده‌اند.

از طرفی با توجه به الزام کاهش مصرف انرژی و صرفه‌جویی اقتصادی، ادوات الکترونیک قدرت مورد توجه بیشتری قرار گرفته‌اند و در ایران نیز با توجه به مطرح شدن استفاده گسترده از انرژی‌های تجدیدپذیر ادوات الکترونیک قدرت مورد توجه هستند. صنعت و بازار الکترونیک قدرت را می‌توان به فن‌آوری قرصهای نیمه هادی، دستگاه‌های الکترونیک قدرت و کاربردها تقسیم‌بندی کرد.

صنعت قرص‌های نیمه‌هادی بر مبنای مواد گوناگونی که در آن بکار می‌روند نظیر SiC، GaN و سیلیکون تقسیم‌بندی می‌شوند. صنعت تجهیزات الکترونیک قدرت شامل مدارهای مجتمع الکترونیک قدرت، ماژول‌های قدرت IGBT، ترانزیستورها و تایریستورها می‌شود. صنعت کاربرد تجهیزات الکترونیک قدرت شامل کاربردهای ICT، صنعتی، قدرت، دفاعی، فضایی، کاربردهای پزشکی و غیره می‌شود.

مطابق پیش‌بینی‌ها، بازار الکترونیک قدرت از ۲۱/۶۶ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۳ به ۳۶ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۰ خواهد رسید [۸]. ناحیه APAC<sup>۱</sup> بزرگ‌ترین بازار را در الکترونیک قدرت در اختیار دارد زیرا قسمت عمده‌ای از ادوات الکترونیکی و نیمه‌هادی در چین، ژاپن، کره جنوبی، تایوان و... تولید می‌شود. بیش‌ترین سهم مربوط به بازار الکترونیک قدرت مربوط به ناحیه APAC (۴۲٪ در سال ۲۰۱۳) است. این حجم افزایش بازار می‌تواند منجر به اشتغال‌زایی فراوان شود. به نظر می‌رسد بازار مربوط به صنعت کاربردهای تجهیزات الکترونیک قدرت، کاندیدای اصلی گسترش در ایران است و می‌تواند اشتغال‌زایی مناسبی فراهم کند.

### ۱-۶-۳- منظر فرهنگ استفاده از انرژی‌های نو

ادوات الکترونیک قدرت ارتباط تنگاتنگی با انرژی‌های تجدیدپذیر دارند. به طور کلی اتصال انرژی‌های نو (اعم از تجدیدناپذیر) به شبکه یا بارها به صورت گسترده‌ای توسط ادوات الکترونیک قدرت صورت می‌پذیرد. همانطور که قبلاً بیان شد میکروتوربین‌ها، پیل سوختی، توربین بادی (سرعت متغیر)، سلول خورشیدی و ادوات ذخیره‌ساز انرژی جملگی به کمک ادوات الکترونیک قدرت به شبکه متصل می‌شوند. انتظار می‌رود ظرفیت نصب شده پیل سوختی با نرخ رشد ۲۲/۶٪ در دنیا تا سال ۲۰۲۰ به ۴۶۶/۵ گیگاوات برسند. همچنین انتظار می‌رود که ظرفیت نصب شده توربین بادی از میزان ۳۱۹/۶ گیگاوات در سال ۲۰۱۳ به میزان ۶۷۸/۵ گیگاوات در سال ۲۰۲۰ برسد. در خصوص سلولهای خورشیدی انتظار می‌رود که ظرفیت نصب شده آنها از میزان ۹۷ گیگاوات در سال ۲۰۱۲ به میزان ۳۲۹/۸ گیگاوات در سال ۲۰۲۰ برسد [۹].

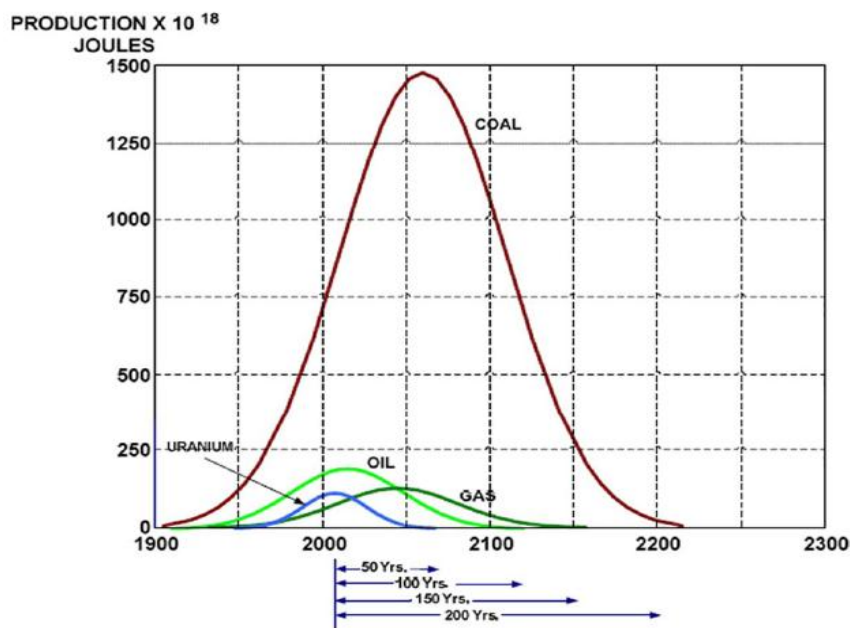
در زمینه میکروتوربین‌ها انتظار می‌رود که کشورهای عضو گروه G8 میزان توان تولیدی از Microturbine-CHP خود را از ۴۳۰ گیگاوات در سال ۲۰۱۵ به ۸۳۰ گیگاوات در سال ۲۰۳۰ برسانند. بنابر تخمین‌های فوق با گسترش بسیار سریع انرژی‌ها نو (تولیدات پراکنده) استفاده از ادوات الکترونیک قدرت به شدت فراگیر خواهد شد و واحدهای مسکونی به صورت گسترده‌ای به کمک ادوات الکترونیک قدرت اقدام به تامین انرژی خود از منابع انرژی ذکر شده خواهند کرد.

## ۱-۷- ابعاد سیاسی

در تحلیل سیاسی، اجرای فناوری مورد نظر از دیدگاه مسائل و محدودیت‌های سیاسی مورد بررسی قرار می‌گیرد و چالش‌ها و یا فرصت‌های سیاسی ایجاد شده پس از دستیابی به فناوری مورد نظر بررسی می‌شود.

استفاده از فناوری الکترونیک قدرت و دستیابی به دانش آن که کاربردهای وسیعی از تجهیزات مربوط به مشترکین تا مباحث انرژی، نظامی و انتقال انرژی بین کشورها دارد، می‌تواند نقش مهمی در تعاملات بین‌المللی، حفظ سیادت جهانی و منطقه‌ای و به چالش کشیدن رقبا در عرصه‌ی بین‌المللی ایفا نماید.

همانطور که بیان شد، یکی از کاربردهای مهم این ادوات در زمینه‌ی بهره‌برداری از واحدهای تجدیدپذیر و انرژی‌های پاک است. استفاده از این ادوات می‌تواند باعث تولید انرژی از سبد انرژی متنوعی شود که سبب افزایش قدرت سیاسی کشور و عدم وابستگی به یک یا چند منبع محدود می‌شود. با توجه به پایان‌پذیر بودن سوخت‌های فسیلی استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر می‌تواند در امنیت انرژی کشور نقش مهمی ایفا کند. به خصوص آنکه با توجه به وابستگی کشور به نفت و گاز می‌توان در جهت کاهش این وابستگی و رقابت با کشورهای صاحب فناوری گام برداشت. شکل ۲-۲ عمر منابع فسیلی را نشان می‌دهد که می‌تواند تهدیدی برای آینده‌ی کشورهای وابسته به نفت و گاز مانند کشور ما باشد [۱۰].



شکل ۲-۲- چرخه‌ی عمر منابع انرژی جهان

با توجه به تنوع اقلیمی و امکان تولید برق از منابع تجدیدپذیر و صادرات آن و در نظر گرفتن موقعیت منحصر به فرد ژئوپلیتیکی کشور، می‌توان در جهت افزایش صادرات انرژی که سهم زیادی در مناسبات سیاسی دارد از طریق سیستم الکتریکی بر آمد. این امر می‌تواند سبب افزایش در تنوع صادرات شود.

همچنین از آنجا که کشورمان در دو ناحیه‌ی سرشار از انرژی خلیج فارس و دریای مازندران قرار دارد و منابع عظیم نفتی و گازی را در بر دارد، می‌توان حجم زیادی از انرژی را از طریق تبدیل به انرژی الکتریکی به سایر کشورها انتقال داد. در این حالت نیاز به سیستمی است تا امکان انتقال و کنترل حجم زیادی از توان را فراهم نماید. در این صورت کاربرد ادوات FACTS و خطوط HVDC اهمیت می‌یابد. قرار گرفتن ایران به عنوان پلی بین غرب و شرق نیز بر اهمیت این امر می‌افزاید. بحث اتصال شبکه به کشورهای دیگر مانند اروپا نیازمند این است که اغتشاش بین شبکه‌ها گسترش پیدا نکند و این امر بدون استفاده از فناوری الکترونیک قدرت ادوات FACTS و با HVDC امکان‌پذیر نیست.

همانطور که بیان شد، یکی از اهداف شبکه‌های هوشمند افزایش امنیت شبکه است، بدین صورت که با ایجاد ریزشبکه‌ها و کنترل مناسب آنها می‌توان در مواقع اضطراری از فروپاشی شبکه و حذف وسیع بارها جلوگیری کرد. با این کار امنیت انرژی که

نقش زیادی در ثبات سیاسی دارد تأمین می‌شود. شایان ذکر است که امنیت شبکه به کمک ادوات FACTS نیز که امکان کنترل مناسب شبکه را فراهم می‌آورند، افزایش می‌یابد.

با توجه به کاربردهای فراوان فناوری الکترونیک قدرت در صورت بومی‌سازی و خودکفایی در این زمینه، می‌توان با صادرات این فناوری به کشورهای دیگر، سیادت سیاسی کشور را در مقابل رقبای منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای تقویت کرد و از خروج نخبگان از کشور جلوگیری کرد.

پرداختن به فناوری الکترونیک قدرت در تطابق کامل با سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی است. در این سند وظیفه صادرات انرژی به کشورهای همسایه به وزارت نیرو محول شده است. برخی از نکات این سند عبارتند از:

- پیشتازی اقتصاد دانش‌بنیان، پیاده‌سازی و اجرای نقشه جامع علمی کشور و ساماندهی نظام ملی نوآوری به منظور ارتقاء جایگاه جهانی کشور و افزایش سهم تولید و صادرات محصولات و خدمات دانش‌بنیان و دستیابی به رتبه اول اقتصاد دانش‌بنیان در منطقه.
- مقابله با ضربه‌پذیری درآمد حاصل از صادرات نفت و گاز که یکی از راهکارهای آن استفاده از ادوات الکترونیک قدرت در کاربردهای HVDC، FACTS و منابع تجدیدپذیر و فروش فناوری است.

## ۱-۸- ابعاد اقتصادی

### ۱-۸-۱- بهبود سلامت و کیفیت محیط و کاهش هزینه‌های درمان

تولید انرژی الکتریکی از منابع تجدیدپذیر سبب افزایش سلامت جامعه می‌شود. آلودگی آب و هوا که یکی از عوامل آن؛ مصرف سوخت‌های فسیلی و زغال سنگ است، سبب ایجاد و تشدید مشکلات تنفسی، آسیب‌های عصبی، حمله‌های قلبی و سرطان می‌شود. جایگزینی منابع تجدیدپذیر با سوخت‌های فسیلی سبب کاهش میزان مرگ و میر و کاهش هزینه‌های درمان می‌شود. هزینه‌های اقتصادی مرتبط با اثر سوء سوخت‌های فسیلی بر سلامت در جهان بین ۳۶۱/۷ و ۸۸۶/۵ میلیارد دلار برآورد می‌شود که در حدود ۲/۵ تا شش درصد تولید ناخالص ملی کشورها است. همان‌طور که بیان شد انرژی‌های تجدیدپذیر که غالباً از

طریق مبدل‌های الکترونیک قدرت امکان بهره‌برداری آنها فراهم می‌شود، آلودگی هوای کم یا ناچیزی دارند که استفاده از آنها، سبب افزایش سلامتی جامعه و کاهش هزینه‌های درمان می‌شود.

منابعی مانند انرژی‌های بادی و خورشیدی جهت بهره‌برداری نیاز به آب ندارند، استفاده از آنها باعث آزادسازی بخشی از منابع آب جهت استفاده در سایر کاربردها مانند کشاورزی، آشامیدن و صنایع دیگر می‌شود. این موضوع به دلیل آنکه کشور ما از مشکل کم‌آبی رنج می‌برد و در ناحیه‌ی خشک جهان قرار دارد، اهمیت شایان توجهی دارد. در طرف مقابل، سوخت‌های فسیلی تاثیر زیادی بر منابع آبی دارند. به عنوان مثال نیروگاهها، حجم زیادی از آب را برای خنک‌سازی نیاز دارند.

استفاده از خودروهای هیبریدی و الکتریکی به عنوان راه‌حلی جهت کاهش آلودگی شهرهای بزرگ و صنعتی مطرح است. بدین صورت که با استفاده از این خودروها که تمام یا بخشی از انرژی آنها توسط سیستم الکتریکی تغذیه می‌شود، آلودگی ایجاد شده توسط سوخت‌های فسیلی در شهرها کاهش می‌یابد. ادوات الکترونیک قدرت جهت شارژ و تغذیه این تجهیزات به کار می‌روند.

### ۱-۸-۲- ایجاد اشتغال

با ورود هر فناوری و به تبع آن ایجاد فضای کسب و کار در زمینه‌ی آن فناوری فرصت‌های جدید شغلی ایجاد می‌شود. ضمن اینکه می‌تواند برخی از فرصت‌های شغلی موجود در زمینه‌های دیگر را از بازار کار حذف نماید. در این بخش اثر فناوری الکترونیک قدرت در کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر مورد توجه قرار گرفته و دو کشور آلمان و ایالات متحده‌ی آمریکا مورد بررسی قرار می‌گیرند.

در مقایسه با تولید برق از سوخت فسیلی که معمولاً به صورت مکانیزه و سرمایه‌بر است، استفاده از انرژی‌های نو بیشتر نیرو بر است. به عبارت دیگر، به طور متوسط ظرفیت‌های شغلی بیشتری برای هر واحد انرژی الکتریکی تولید شده توسط انرژی‌های تجدیدپذیر نسبت به سوخت‌های فسیلی تولید می‌شود.

انرژی‌های تجدیدپذیر هم‌اکنون در ایالات متحده آمریکا فرصت‌های شغلی زیادی را ایجاد می‌کنند. به عنوان مثال، در سال ۲۰۱۱ صنعت انرژی بادی هفتاد و پنج هزار نفر را به طور مستقیم جذب بازار کار در زمینه‌های مختلف از جمله احداث زیر ساخت‌ها و نصب توربین، بهره‌برداری، تعمیرات، انتقال و سرویس‌های اقتصادی، حقوقی و مشاوره‌ای کرده است. در بخش انرژی خورشیدی نیز، تقریباً صد هزار نفر در این سال به صورت تمام وقت و یا پاره وقت استخدام شده‌اند.

بر اساس تحقیق دیگر که در دانشگاه ماساچوست در دانشکده اقتصاد و انستیتوی تحقیقات اقتصادی و سیاسی در سال ۲۰۰۹ انجام شده است، با سرمایه‌گذاری ۱۵۰ میلیارد دلاری در بخش انرژی تجدیدپذیر در هر سال حدود ۲/۷ میلیون فرصت شغلی جدید ایجاد می‌شود و از طرفی با کاهش ظرفیت تولید انرژی از سوخت‌های فسیلی (ناشی از جایگزینی انرژی تجدیدپذیر با آن) در حدود ۸۰۰ هزار نفر شغل خود را از دست می‌دهند که در مجموع (برآیند نیروی کار جدید ایجاد شده توسط انرژی تجدیدپذیر و فرصت‌های شغلی از دست رفته در عدم استفاده از سوخت‌های فسیلی) حدود ۱/۷ میلیون نفر اشتغال جدید ایجاد می‌شود [۱۱].

بر اساس تحقیقی دیگر، وزارت محیط زیست آلمان از انرژی‌های تجدیدپذیر به عنوان موتور ایجاد شغل نام برده است و عنوان نموده است که از سال ۲۰۰۴ تا سال ۲۰۰۷ میلادی حدود ۵۵ درصد به شغل‌های سبز افزوده شده است و به ۲۴۹۳۰۰ نفر رسیده است. در گزارش دیگری در این کشور تصریح شده است که نرخ رشد اشتغال در صنعت خورشیدی که شامل فتوولتائیک و خورشیدی-حرارتی است قابل ملاحظه بوده است. به طوریکه از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸ میزان فرصت شغلی دوبرابر شده و به عدد ۷۴۰۰۰ فرصت شغلی رسیده است. بر اساس سیاست‌گذاری کشور آلمان میزان شغل ایجاد شده تا سال ۲۰۲۰ باید بیش از ۴۰۰ هزار فرصت شغلی در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر باشد [۱۲].

مطالب فوق اهمیت رشد انرژی‌های تجدیدپذیر در ایجاد رونق اقتصادی و ایجاد فضای مناسب جهت کسب و کار را نشان می‌دهد. با توجه به مشکل و معضل بزرگ بیکاری در کشور که بالاخص قشر تحصیل کرده را رنج می‌دهد، استفاده از فناوری بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر و ادوات الکترونیک قدرت مرتبط با آن می‌تواند سبب ایجاد فرصت‌های اشتغال در کشور شود و خروج نخبگان تحصیل کرده و زیان اقتصادی کشور از این مسئله را کاهش دهد.

### ۱-۸-۳- مزایای اقتصادی تولید پراکنده و شبکه‌های هوشمند

ایده‌ی استفاده از تولید پراکنده در جهت تولید در محل مصرف مطرح شده است. به این طریق، از تلفات انتقال کاسته شده و سبب کاهش هزینه‌ی بهره‌برداری شبکه می‌شود. تولید پراکنده همچنین باعث به تعویق افتادن و یا حذف نیاز به توسعه فیزیکی شبکه می‌شود، این امر می‌تواند هزینه‌ی توسعه یا احداث شبکه جدید را کاهش دهد.



همانطور که پیشتر بیان شد از انگیزه‌های استفاده از شبکه‌های هوشمند، مصرف بهینه انرژی بین منابع محلی و یا شبکه است. در این صورت علاوه بر کاهش هزینه‌ی مصرف انرژی منجر به کاهش هزینه‌ی تولید به دلیل تصحیح منحنی بار شبکه نیز می‌شود. مشترکین نیز از مزیت مصرف کم‌تر و هزینه‌ی کم‌تر انرژی منتفع می‌شوند و در حالت کلی هم مصرف‌کننده و هم شبکه‌ی برق از منافع ساختار هوشمند بهره‌مند می‌شوند. ادوات الکترونیک قدرت جزء لاینفک و بسیار مهم در شبکه‌های هوشمند هستند و اصولاً بدون این تجهیزات شبکه هوشمند قابل تحقق نیست.

### ۱-۸-۴- مزایای ذخیره سازها

از دیگر مزایای اقتصادی ادوات الکترونیک قدرت، استفاده از آنها به عنوان واسط ذخیره سازهای انرژی است. ذخیره‌سازهای الکتریکی می‌توانند در بهره‌برداری اقتصادی از سیستم کمک نمایند. به عبارت دیگر از طریق ذخیره‌سازی انرژی در زمان مصرف کم (با هزینه‌ی تولید کم)، توان از شبکه دریافت می‌شود و در زمانی که با پیک بار روبرو هستیم (مصرف بالا) می‌توان توان را به شبکه تزریق کرد.

### ۱-۸-۵- مزایای ادوات FACTS

ادوات FACTS امکان کنترل مناسب توان بین نواحی را فراهم می‌نمایند، با اتصال نواحی مختلف امکان تولید و پخش بار بهینه از لحاظ زیست محیطی و اقتصادی فراهم می‌شود، هم‌چنین ذخیره‌ی گردان برای نواحی مختلف بدون نیاز به ایجاد واحد نیروگاهی جدید، ایجاد می‌شود. اتصال شرق به غرب منحنی بار روزانه را تصحیح می‌نماید و اتصال شمال به جنوب منحنی فصلی را اصلاح می‌نماید، با این کار منحنی پروفایل بار هموارتر می‌شود و هزینه‌ی اضافی جهت پاسخ‌گویی به بار بیشینه کاهش می‌یابد.

جریان اتصال کوتاه در شبکه از جمله پارامترهایی است که امکان محدود نمودن آن توسط ادوات FACTS فراهم می‌شود. در این صورت با محدودسازی جریان اتصال کوتاه، امکان استفاده از بریکرها با اندازه‌ی کوچکتر فراهم می‌شود در مواردی نیز ضرورت تعویض بریکر موجود به تعویق می‌افتد. بدین طریق از هزینه‌های اضافی لازم برای نصب مدار شکن جدید و یا ارتقای آن کاسته می‌شود. با استفاده از این تجهیزات، امکان بهره‌برداری بهتر از منابع انرژی تجدیدپذیر با ماهیت متغیر و تصادفی

فراهم می‌شود. برای مثال استفاده از STATCOM و یا SVC جهت فراهم نمودن توان راکتیو ژنراتور القایی و همچنین کاهش فلیکر و یا کاهش ولتاژ ناشی از آن می‌تواند به توسعه‌ی توربین‌های بادی کمک کند.

با کنترل مناسب توان اکتیو و راکتیو، می‌توان بارپذیری خط انتقال را افزایش داد و پایداری مناسبی را برای آن ایجاد کرد. به عبارت دیگر بارپذیری خط بدون تغییر فیزیکی در خط انتقال موجود و یا احداث خط جدید افزایش می‌یابد. با کنترل مناسب توان اکتیو و راکتیو شبکه، از بروز شرایط اضافه بار خطوط و ترانسفورماتورها جلوگیری شده و طول عمر آنها افزایش می‌یابد که بالتبع از زیان ناشی از کاهش عمر مفید این تجهیزات جلوگیری می‌شود [۱۳].

### ۱-۸-۶- کیفیت توان

نقش اقتصادی ادوات الکترونیک قدرت را می‌توان از دیدگاه تاثیر مثبت آنان در ارتقای کیفیت توان نیز بررسی کرد. مبحث شکایات متداول مصرف‌کنندگان از بابت کیفیت توان، در قسمت ابعاد اجتماعی بررسی شد. به صورت کلی ادوات Custom power (CUPS) توانمندی منحصر به فردی در برطرف کردن تمامی مشکلات کیفیت توان دارند.

کیفیت توان پایین سیستم توزیع می‌تواند باعث افزایش تلفات اهمی به دلیل حضور جریان‌های هارمونیک در خطوط توزیع و تجهیزات شوند. همچنین ولتاژهای هارمونیک باعث ایجاد تلفات عایق بیشتر در تجهیزات موازی و ایجاد جریان‌های هارمونیک در این تجهیزات خواهد شد. این جریان اضافی باعث اشغال ظرفیت خطوط توزیع و تجهیزات موازی می‌گردد که در نتیجه امکان عبور توان از این خطوط و استفاده موثر از حداکثر ظرفیت آنها کاهش می‌یابد. از سوی دیگر عبور جریان‌های هارمونیک از خطوط توزیع و تجهیزات موازی باعث ایجاد اضافه حرارت می‌شود که در دراز مدت باعث کاهش عمر خطوط و تجهیزات می‌شود و حتی ممکن است باعث خرابی آنها شود. به عنوان نمونه در یک ترانس با ظرفیت 3MVA، ولتاژ با THD در حدود ۱۰٪ می‌تواند تلفات ترانس را در حدود ۱/۲۱٪ نسبت به حالت تغذیه با ولتاژ ایده‌آل افزایش دهد. که این امر باعث افزایش دمای سیم‌پیچی‌ها و در نتیجه پیری زودرس آن می‌شود.

در تجهیزات حساس مجهز به سنسورهای دقیق، کیفیت توان پایین، ممکن است باعث عملکرد نامناسب و حتی عدم عملکرد آنها شود. اغلب این سنسورها بر مبنای تشخیص نقطه گذر از صفر عمل می‌کنند و اعوجاج ولتاژ شبکه می‌تواند باعث اختلال

در عملکرد آنها شود. کیفیت توان پایین می‌تواند منجر به ایجاد اختلال در تجهیزات حفاظتی شده و احتمال خرابی تجهیزات در اثر خطا را بالا ببرد. این اختلال نقش مهمی در کاهش امنیت شبکه بازی می‌کند.

کیفیت توان پایین در صنایع نیز ضررهای اقتصادی فراوانی تحمیل می‌کند. عموماً صنایع به دلیل حضور بارهای موتوری و سلفی توان راکتیو بسیاری از شبکه جذب می‌کنند. به همین دلیل می‌بایستی به شرکت توزیع جریمه بپردازند. از طرف دیگر این شرکت‌ها به دلیل سیاست‌های شرکت توزیع (که ناظر بر الزام حفظ کیفیت توان در نقطه اتصال صنایع به شبکه هستند) با مشکل عدم امکان افزایش تولید مواجه هستند که ضررهای اقتصادی برای آنان در پی دارد. این موضوع به علت حضور بارهای غیرخطی، سوئیچ‌شونده و موتوری در کارخانجات است که باعث تزریق اغتشاش به شبکه می‌شوند. ادوات CUPS می‌توانند ضمن برطرف کردن مشکلات فوق، باعث عدم انتشار اغتشاش از صنایع به شبکه گردند. در مواردی نیز ممکن است منشاء مشکلات کیفیت توان، شبکه برق باشد، که در این صورت نیز ادوات CUPS موثر هستند.

مشکلات کیفیت توان تاثیر بسیار مخربی بر کارخانجات دارد. به طور مثال در یک کارخانه تولید کاغذ یک کمبود ولتاژ می‌تواند منجر به ایجاد اختلال در فرایند تولید و تحمیل هزینه‌هایی ناشی از پاره شدن کاغذ تولیدی، خارج کردن محموله کاغذ از دستگاه‌ها، تعمیر آسیب احتمالی دستگاه، نیروی انسانی تعمیرکار و راه‌اندازی مجدد گردد. استفاده مناسب از ادوات الکترونیک قدرت می‌تواند هزینه‌های فوق را برطرف کند [۱۴].

### ۱-۸-۷- خودروهای هیبرید

خودروهای هیبرید، از دو یا چند منبع انرژی برای حرکت استفاده می‌کنند. معروف‌ترین این خودروها از دو موتور احتراق داخلی و الکتریکی استفاده می‌کنند. مکانیزم ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی نیز در خودروهای هیبرید پیش‌بینی شده است. در سال ۲۰۱۱، ۶٫۱٪ از بازار خودرو نروژ، ۵٫۵۵٪ از بازار خودرو هلند، ۵٫۹۴٪ از بازار خودرو ایسلند را کاملاً برقی تشکیل می‌دهند. در حالی که، خودروهای هیبرید، ۱۷٫۱٪ از بازار برق ژاپن را در سال ۲۰۱۱ در اختیار دارند.

خودروهای هیبرید بسته به نوع منبع اولیه برق خود، می‌توانند در کاهش انتشار گاز CO<sub>2</sub> موثر باشند. به صورت مثال، در صورتی که برق ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی از انرژی‌های پاک مانند توربین بادی، فتوولتائیک، یا پیل سوختی بدست آمده باشد، خودروی هیبرید نقش موثری در کاهش انتشار گاز CO<sub>2</sub> خواهد داشت. نکته دیگر اینکه انرژی تلف شده در هنگام

ترمز ماشین را می‌توان به صورت الکتریکی در سیستم ذخیره‌ساز انرژی الکتریکی ماشین ذخیره کرد. این موضوع به خصوص در نقاط داخل شهری که فرآیند ترمزگیری به کرات انجام می‌پذیرد مهم است. از سوی دیگر، با اضافه شدن موتور الکتریکی می‌توان موتور احتراق داخلی با ظرفیت کم‌تری نصب کرد که تلفات داخلی و آلودگی کم‌تری خواهد داشت و سبک‌تر خواهد بود. مجموع عوامل ذکر شده نشان دهنده اثر مثبت خودروهای هیبرید بر مباحث مصرف سوخت، آلودگی هوا و گرمایش جهانی است. از دیدگاه شبکه برق ذخیره‌سازهای انرژی موجود در خودروهای هیبرید به دید یک فرصت نگریسته می‌شود. با در نظر گرفتن تعداد احتمالی بسیار زیاد خودروهای برقی، می‌توان از آنها به عنوان ظرفیت رزرو چرخان شبکه استفاده کرد و هزینه‌های سرمایه‌گذاری شبکه را کاهش داد. به صورت مشابه، با اتخاذ سیاست کنترل مناسب می‌توان از حجم عظیم ذخیره‌سازهای انرژی خودروهای هیبرید برای کاهش پیک بار شبکه (و در نتیجه کاهش هزینه سرمایه‌گذاری احداث نیروگاههای جدید) استفاده کرد. از دید مصرف کننده نیز خودرو برقی می‌تواند میزان هزینه مصرف برق را کاهش دهد به گونه‌ای که می‌توان برق را در ساعات ارزان ذخیره کرد و در ساعات گران استفاده کرد. از آنجایی که خودروهای برقی عمدتاً به خطوط توزیع متصل خواهند شد، می‌توانند ضمن تزریق توان راکتیو به شبکه و کاهش هارمونیک، باعث حفظ پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات توزیع شوند. تخمین زده می‌شود که هر خودرو متداول (احتراق داخلی) با مصرف یک لیتر سوخت، قادر به طی ۱۶/۵km است. این در حالی است که هر خودرو هیبرید با مصرف یک لیتر سوخت، قادر به طی ۱۱/۴ km است. میزان فروش خودروهای هیبرید در ایالات متحده آمریکا در ده سال اخیر در جدول نشان داده شده است [۴].

جدول ۲-۲- آمار فروش خودروهای هیبرید در آمریکا بر اساس آمار وزارت راه آمریکا

سال	۲۰۱۲	۲۰۱۱	۲۰۱۰	۲۰۰۹	۲۰۰۸	۲۰۰۷	۲۰۰۶	۲۰۰۵
تعداد	۴۳۱/۷۹۸	۲۶۱/۵۰۷	۲۷۴/۱۰۵	۲۹۰/۷۴۰	۳۱۵/۶۸۸	۳۵۲/۸۶۲	۲۵۳/۵۱۸	۲۰۵/۸۲۸

این جدول نشان‌دهنده آن است که میزان فروش خودروهای هیبرید در آمریکا در فاصله ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۲، حدوداً ۲ برابر شده است. هر چند که همچنان در سال ۲۰۱۲ نسبت خودروهای هیبرید فروخته شده به کل بازار برابر ۲/۵٪ بوده است. مطابق تخمین وزارت راه ایالات متحده، یک خودروی با سیستم متداول احتراق داخلی در هر ۱۰۰ مایل، ۸۷ پوند گاز CO<sub>2</sub> تولید می‌کند. در حالیکه یک خودروی با سیستم هیبرید در هر ۱۰۰ مایل تنها ۵۷ پوند CO<sub>2</sub> تولید می‌کند.

خودروهای هایبرید به صورت گسترده‌ای از ادوات الکترونیک قدرت استفاده می‌کنند. از تجهیزات الکترونیک قدرت در خودروهای هایبرید برای شارژ باتری، محرکه موتور ماشین، راه‌اندازی سیستم تهویه هوا و تامین برق ۱۴ ولت داخلی ماشین استفاده می‌شود. به بیانی دیگر اساساً بدون استفاده از تجهیزات الکترونیک قدرت، تحقق خودروهای هایبرید ممکن نیست.

## ۱-۹-۱- ابعاد فناوری

در این تحلیل به بررسی فرصت‌های فناوری که توسعه‌ی این فناوری در اختیار کشور قرار خواهد داد و ظرفیت‌های فنی که با دستیابی به این فناوری در کشور به وجود خواهد آمد، اشاره خواهد شد.

### ۱-۹-۱-۱- تولید پراکنده و شبکه هوشمند

کشور ایران از حیث انرژی‌های تجدیدپذیر و انرژی‌های نو دارای پتانسیل بسیار خوبی است. توربین‌های بادی برای عملکرد مناسب در سرعت‌های مختلف و همچنین کنترل‌پذیر بودن به ادوات و فناوری الکترونیک قدرت نیازمندند. ایران از حیث تابش انرژی خورشیدی نیز در حد خوبی قرار داشته و تعداد ساعات آفتابی در ایران زیاد است، لذا فناوری فتوولتائیک می‌تواند جهت تولید انرژی الکتریکی بسیار مناسب باشد که بهره‌برداری از این فناوری نیازمند فناوری الکترونیک قدرت است. در سایر انرژی‌های تجدیدپذیر و منابع تولید پراکنده از جمله پیل سوختی (با توجه به داشتن منابع غنی هیدروژن در کشور)، استفاده از فناوری الکترونیک قدرت جهت تبدیل انرژی الکتریکی تولیدی به شکل مناسب مورد نیاز است. استفاده از این منابع می‌تواند علاوه بر افزایش تولید سبب برق‌رسانی به روستاهای دور افتاده به صورت ریز شبکه‌های جدا از شبکه شود.

### ۱-۹-۲- ادوات Custom Power

پدیده‌ی هارمونیک در سیستم‌های قدرت به عنوان تهدیدی جهت کاهش کیفیت توان مطرح است. بدین صورت که با جاری شدن جریان‌های هارمونیک در امپدانس شبکه ولتاژهای هارمونیک ایجاد می‌شود. بارهای الکترونیکی و جدید نیازمند کیفیت ولتاژ (توان) بالاتری نسبت به بارهای قدیمی هستند و این ولتاژ هارمونیک، می‌تواند عملکرد آنها را تحت تأثیر قرار

دهد. در این صورت استفاده از فیلترهای فعال به عنوان یکی از ادوات CUPS سبب افزایش کیفیت جریان و ولتاژ می‌شود. سایر تجهیزات در گروه CUPS نیز در جهت افزایش کیفیت توان در سمت مشتری عمل می‌نمایند. به عنوان مثال استفاده از سیستم برق بدون وقفه (UPS) می‌تواند از ضرر و زیان ناشی از قطع برق حتی در بازه‌ی زمانی بسیار کوتاه که در آن تجهیزات حساس کامپیوتری و مخابراتی در بانک‌ها، سیستم‌های مخابراتی، مراکز نظامی، بیمارستان‌ها و ادارات دچار مشکل می‌شوند، جلوگیری نماید.

استفاده از DVR، می‌تواند کیفیت ولتاژ مناسب را با حذف اثر فلیکر، کمبود ولتاژ (Sag) و یا بیشبود ولتاژ (swell) فراهم نماید. استفاده از این تجهیز می‌تواند بهره‌برداری از نیروگاه‌های بادی ژنراتور القایی را که ایجاد نوسان ولتاژ می‌کنند را نیز تسهیل نماید.

بعضی از صنایع دارای آلودگی هارمونیک و فلیکر بالا نه تنها کیفیت ولتاژ خودشان را کاهش می‌دهند، بلکه سبب پایین آمدن کیفیت توان سایر مصرف‌کنندگان شبکه نیز می‌شوند. استانداردهایی جهت تخصیص سهم هارمونیک و فلیکر به مصرف‌کنندگان بزرگ و صنعتی مطرح است. این مصرف‌کنندگان جهت رعایت این استانداردها نیاز به ادوات CUPS دارند. در صنایعی که کیفیت توان نقش مهمی دارد، مانند صنعت نساجی و کوره‌های القایی که کاهش کیفیت توان می‌تواند هزینه‌های زیادی را تحمل نماید، استفاده از این تجهیزات می‌تواند این هزینه‌ها را کاهش دهد [۱۵].

### ۱-۹-۳- ادوات FACTS

ایران به دلیل پهنه جغرافیایی وسیع، دارای خطوط انتقال طولی است. حضور نیروگاه‌های نسبتاً دور از مراکز مصرف و اتصال آنها به کمک خطوط انتقال طولی پایداری گذرای شبکه را تهدید می‌کند. امپدانس نسبتاً بالای خطوط، اختلاف زاویه زیادی در دو سر خط انتقال (زاویه نیروگاه نسبت به شبکه) نیاز دارد تا انتقال توان از سمت نیروگاه به شبکه صورت پذیرد. این اختلاف زاویه زیاد عامل خطرناکی برای ناپایداری گذرا محسوب می‌شود.

ادوات جبران‌سازی سری FACTS همانند TSSC, TCSC, TSSR, TCSR و SSSC می‌توانند با جبران‌سازی بخش سلفی امپدانس خط، طول الکتریکی خط را کاهش دهند به گونه‌ای که می‌توان با اختلاف زاویه اندک توانی بالایی را در این

خطوط جاری کرد. ادوات جبران‌ساز موازی FACTS مانند SVC و STATCOM نیز قابلیت کاهش طول الکتریکی خط را (هرچند به میزان محدودتر) دارند [۱۳].

به دلیل برخی محدودیت‌ها نظیر پایداری گذرا و دینامیکی به صورت معمول نمی‌توان از ظرفیت نامی خطوط نصب شده استفاده حداکثری کرد. با نصب ادوات FACTS می‌توان ضمن جبران‌سازی امپدانس سلفی خطوط انتقال از حداکثر ظرفیت آنها استفاده کرد و نوسانات احتمالی آنها را میرا نمود.

در سیستم قدرت شرایط تولید و مصرف باید به گونه‌ای باشد که متغیرهای شبکه نظیر ولتاژ باس‌ها و توان عبوری از خطوط در حالت دائم استاتیکی در محدوده مجاز خود قرار گیرند. ادوات موازی و سری می‌توانند در ارتقای پایداری استاتیکی ولتاژ و توان مؤثر باشند.

در ایران جبران‌سازی سری خطوط انتقال (با خازن‌های ثابت) انجام نشده است، اما این تکنیک به صورت گسترده‌ای در ترکیه انجام شده است. در اثر جبران‌سازی با خازن سری، امکان ایجاد نوسانات زیرسنکرون وجود دارد. نوسانات زیر سنکرون در ایجاد رزونانس میان قسمت‌های الکتریکی و مکانیکی در خطوط انتقال جبران‌سازی شده با خازن‌های سری به وقوع می‌پیوندند. این نوسانات با فرکانس کم در نیروگاه بخار ممکن است منجر به شکسته شدن شفت گردند.

برای آنکه ضمن رسیدن به اهداف جبران‌سازی، از نوسانات زیر سنکرون اجتناب شود، می‌توان از ادوات جبران‌سازی سری قابل کنترل استفاده کرد. این تجهیزات به محض تشخیص وقوع نوسانات زیرسنکرون، درصد جبران‌سازی را تغییر می‌دهند.

## ۱-۱۰- رقابت پذیری ادوات الکترونیک قدرت

تجهیزات الکترونیک قدرت می‌توانند فرم مناسب و مطلوب کمیت‌های الکتریکی را با سرعت بسیار مناسب فراهم نمایند و قابلیت کنترلی بسیار خوبی به سیستم‌های الکتریکی می‌دهند. امروزه با تجاری شدن تولید کلیدهای الکترونیک قدرت با ظرفیتهای بالا، افزایش سرعت پردازشگرهای دیجیتال و اقتصادی شدن آنها و همچنین افزایش نیروی کار ماهر در زمینه تجهیزات الکترونیک قدرت، استفاده از تجهیزات الکترونیک قدرت در مقایسه با رقبای خود از لحاظ اقتصادی نیز قابل رقابت شده است.

در برخی از زمینه‌ها تجهیزات الکترونیک قدرت بدون رقیب می‌باشند. اتصال منابع تولید پراکنده با ولتاژ DC مانند فتوولتائیک و پیل سوختی به شبکه بدون مبدل‌های DC/AC مقدور نیست. غالب ذخیره‌سازهای انرژی مانند باتری‌ها، ابر خازن‌ها، ذخیره‌سازهای مغناطیسی ابر رسانا در ولتاژ یا جریان DC عمل کرده و نیاز به تجهیزات الکترونیک قدرت جهت اتصال به شبکه دارند. بزرگترین ظرفیت نصب شده‌ی ذخیره‌سازهای انرژی مربوط به گروه ذخیره‌سازهای نیروگاه‌های آبی تلمبه‌ذخیره‌ای است. در صورتیکه نیروگاه در سرعت ثابتی بر اساس سرعت بهینه در یکی از حالت‌های موتوری و یا ژنراتوری طراحی شود در صورت تغییر وضعیت به حالت دیگر، بازده فرآیند کاهش می‌یابد. امروزه از نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای با قابلیت عملکرد در سرعت‌های متغیر استفاده می‌شود. در این نیروگاه‌ها سیستم تحریک AC جایگزین سیستم تحریک DC شده است و از طریق یک مبدل فرکانس استاتیکی، فرکانس متغیر به سیم‌پیچی روتور اعمال شده و امکان عملکرد در سرعت متغیر را فراهم می‌شود. اخیراً در کشور ژاپن و سوئد از این نمونه‌ها استفاده شده است.

یکی از روش‌های حل معضل آلودگی هوای شهرها استفاده از خودروهای هیبریدی است. در این نوع از خودروها از ذخیره‌سازهای الکتریکی به منظور فراهم آوردن انرژی لازم برای حرکت اتومبیل‌ها استفاده می‌شود. استفاده از ذخیره‌سازهای به کار رفته در این نوع از خودروها و تغذیه و شارژ آنها از شبکه‌ی برق، بدون استفاده از ادوات الکترونیک قدرت ممکن نیست.

در حوزه‌ی ادوات CUPS تجهیزات معرفی شده نسبت به رقبای سنتی خود برتری قابل توجهی دارند و بعضی از تجهیزات قرار گرفته در این دسته بدون رقیبند. جهت حذف و یا کاهش هارمونیک دو گزینه‌ی استفاده از فیلترهای پسیو و فیلترهای اکتیو مطرح شده است. فیلترهای غیر فعال که در آنها از عناصر غیر فعالی مانند خازن، سلف و مقاومت استفاده شده است، معایبی چون اندازه و حجم بالا، عدم تطبیق‌پذیری نسبت به تغییرات بار و تغییرات پارامترهای شبکه، امکان ایجاد رزونانس و تشدید با المان‌های شبکه و غیره هستند، که فیلترهای فعال به خوبی این مشکلات را بر طرف کرده‌اند. در پژوهشی که بین UPS و ذخیره‌کننده‌های مکانیکی مقایسه‌ای صورت گرفته است، استفاده از UPS را به دلیل نیاز به تعمیر کمتر، تنظیم فرکانس بهتر (مستقل بودن نسبت به فرکانس ورودی)، پاسخ دینامیکی بهتر، انعطاف‌پذیری بیشتر و جریان هجومی کمتر پیشنهاد شده است. پاسخ به تقاضای مشترکین حساس به کیفیت توان و نیازمند قابلیت اطمینان بالا بدون استفاده از این تجهیزات نیازمند توسعه‌ی فیزیکی شبکه است که نیاز به سرمایه‌گذاری بالایی از سوی شرکت برق خواهد داشت.



تجهیزات دیگر این گروه مانند ترانسفورماتورهای الکترونیک قدرت، DVR، DSTATCOM، UPQC در جبرانسازی پارامترهای کیفیت توان تقریباً بدون رقیبند. جبرانسازی پارامترهای کیفیت توان نیاز به جبرانسازی در بازه‌ی زمانی کمی دارند، به طوری که این جبرانسازی بدون استفاده از تجهیزاتی که در آن‌ها مان‌های با سرعت بالا (کلیدهای الکترونیک قدرت) استفاده شده باشد، میسر نیست.

امروزه استفاده از توربین‌های سرعت متغیر نسبت به توربین‌های با سرعت ثابت بسیار رایج تر و رقابتی‌تر شده است. در ابتدا فناوری به کار رفته در توربین‌های بادی، اتصال مستقیم توربین بادی از طریق ژنراتور القایی قفسه سنجابی به شبکه بود. در این فناوری اعوجاجات توان در توربین بادی به طور مستقیم به شبکه انتقال پیدا کرده و همچنین ادامه کار توربین تنها در تغییرات بسیار کم سرعت باد امکان پذیر بود. همچنین هیچگونه کنترل دینامیکی‌ای بر توان اکتیو و راکتیو وجود نداشت. با افزایش توان توربین‌های بادی تنظیم فرکانس و ولتاژ توسط این نوع از توربین‌ها اهمیت زیادی پیدا کرده است و ضرورت استفاده از ادوات الکترونیک قدرت جهت بهبود مشخصه دینامیکی مولد بادی و مشارکت در تنظیم ولتاژ و فرکانس شبکه روشن است. امروزه توربین‌های بادی مجهز به مبدل‌های الکترونیک قدرت با قابلیت عملکرد در سرعت صفر تا سرعت نامی ساخته شده‌اند. از مزایای این سرعت متغیر امکان ردیابی نقطه حداکثر توان است. با توجه به این موضوع، در شرایط یکسان توربین‌هایی که با استفاده از ادوات الکترونیک قدرت امکان تغییر سرعت را دارند بازده به مراتب بالاتری نسبت به توربین‌های بادی بدون استفاده از ادوات الکترونیک قدرت دارند. امروزه پر فروش‌ترین توربین‌های بادی در رنج توانی ۱,۵ تا ۳ مگاوات توسط مبدل‌های الکترونیک قدرت با ظرفیت کامل مورد بهره برداری قرار می‌گیرند [۱۵].

در سیستم‌های AC امکان اتصال دو ناحیه با فرکانس متفاوت وجود ندارد، با استفاده از خطوط HVDC امکان اتصال دو ناحیه با فرکانس متفاوت ایجاد می‌شود. همچنین با استفاده از خطوط HVDC امکان اتصال دو ناحیه جدا از هم بدون ایجاد مشکل نوسان توان انتقالی بین این دو شبکه فراهم می‌شود. HVDC تنها راه ممکن و به صرفه جهت انتقال توان از زیر آب است، زیرا این انتقال بصورت AC در مسافت‌های بالای ۵۰ کیلومتر نیاز به جبران‌سازیهایی توان راکتیو سری و موازی داشته و توجیه فنی و اقتصادی ندارد. انتقال توان در حجم زیاد نیز توسط این سیستم‌ها امکان‌پذیر است، زیرا در مقایسه با سیستم‌های AC مشکل پایداری زاویه در آنها مطرح نیست [۱۶].

سیستم های تحریک نقش بسیار مهمی بر عملکرد دینامیکی ژنراتور دارند و ولتاژ خروجی ژنراتور و توان راکتیو خروجی آن را تنظیم می کنند. سیستم های تحریک نسل اول شامل سیستم های تحریک DC و AC بوده اند. در سیستم های تحریک DC یک ماشین DC به محور ماشین سنکرون کوپل می شود و از خروجی ژنراتور DC از طریق جاروبک ها، سیم پیچی تحریک ژنراتور سنکرون را تغذیه می کند. این سیستم تحریک سایز بسیار بزرگی دارد که از نقاط ضعف آن است. این عیب در سیستم های تحریک AC بهبود یافته است. در این سیستم تحریک عموماً ماشین سنکرون بسیار کوچک تر دیگری به محور ماشین سنکرون اصلی کوپل می شود و برق خروجی آن توسط یکسوکننده های دیودی یکسو شده و به ژنراتور سنکرون تزریق می گردد. برای تنظیم جریان تحریک می توان تحریک اعمالی به ماشین سنکرون کوچک را به کمک ادوات الکترونیک قدرت (عمدتاً تریستوری) کنترل کرد.

در مقایسه با انواع قبلی، سیستم تحریک استاتیک اساساً قسمت گردان ندارد و برق DC را مستقیماً به سیم بندی میدان ماشین سنکرون منتقل می کند. تغذیه اصلی یکسوکننده تریستوری از برق تولیدی ژنراتور اصلی یا از باس دیگری فراهم می شود. این سیستم تحریک در مقایسه با سیستم های تحریک نسل قبل پاسخ دینامیکی بسیار سریع و بازدهی بالاتری دارند. با توجه به پاسخ دینامیکی سریع تر با استفاده از این سیستم تحریک می توان به صورت موثری در کمک به پایداری دینامیکی و گذرای شبکه مشارکت کرد. بهره برداری آسان تر نیز از دیگر ویژگی های این سیستم تحریک است. با استفاده از این سیستم تحریک طول ماشین سنکرون اصلی نیز کاهش می یابد.

ادوات FACTS نقش مهمی در ایجاد انعطاف پذیری در سیستم های انتقال AC دارند. با در نظر داشتن ادوات موازی، در گذشته از راکتور (به طور مثال برای جبران اثر فرانتی در انتهای خط انتقال) یا خازن های ثابت موازی در خطوط انتقال برای ایجاد اندکی بهبود در مشخصه های خطوط استفاده می شد. این تجهیزات عمدتاً به صورت سویچ شونده مکانیکی بودند و هر بار قطع/وصل آنها موجب ایجاد استرس فراوان روی خود تجهیز (و در نتیجه کاهش عمر آن) و ایجاد حالت گذرا در کل خط و سیستم قدرت می گردید. خطر احتمال ایجاد رزونانس و عدم انعطاف پذیری کنترلی نیز از دیگر معایب آنها بود. این در حالی است که ادوات FACTS ضمن آنکه می تواند تمامی معایب برشمرده شده را برطرف کند، با توجه به دینامیک بهتر می تواند در حذف هارمونیک شبکه، فلیکر، بهبود پایداری دینامیکی و گذرا نیز نقش ایفا کند.

همچنین با در نظر داشتن ادوات سری جبران سازی در گذشته از خازن های ثابت سری (برای افزایش ظرفیت انتقال و بهبود پایداری گذرا)، راکتورهای سری (محدودسازی جریان خطا و محدود سازی عبور توان از خطوط دارای اضافه بار) و ترانسفورماتورهای جابجاگر فاز (جهت تنظیم توان حقیقی عبوری از خطوط انتقال) استفاده می شد. خازن های ثابت سری ممکن است منجر به ایجاد نوسانات زیر سنکرون گردند و برای شفت ژنراتور خطرناک باشند. همچنین راکتورهای سری موجب به خطر افتادن پایداری ولتاژ می گردند و نیاز به مصرف توان راکتیو دارند. از سوی دیگر با توجه به سرعت نسبتا کند ترانسفورماتورهای جابجاگر فاز از این تجهیز برای ارتقا پایداری نمی توان استفاده کرد. این در حالی است که ادوات FACTS ضمن آنکه می تواند تمامی معایب برشمرده شده را برطرف کنند، با توجه به دینامیک سریع تر می تواند در حذف نوسانات زیر سنکرون، بهبود پایداری ولتاژ در عین جلوگیری از اضافه بار، ارتقا پایداری دینامیکی و گذرا و محدود سازی جریان خطا نیز نقش ایفا کند.

با توجه به موارد ذکر شده به صورت کلی ادوات الکترونیک قدرت در ایجاد کارایی بالاتر (از طریق افزایش راندمان، بهره برداری حداکثری و بهینه از سیستم قدرت فعلی)، قابلیت اطمینان بالاتر، افزایش کیفیت توان شبکه، بهره برداری آسان تر، امکان ایجاد کنترل سریع (و احتمالا مجزای) توان حقیقی و موهومی، امکان احداث خطوط انتقال در فواصل بسیار طولانی (حتی در زیر دریا)، امکان اتصال شبکه های آسنکرون به هم، امکان گسترش دامنه مانور نیروگاه ها در برابر شبکه و بهبود شاخص های شبکه قدرت نسبت به رقبای خود برتری قابل ملاحظه ای دارند.

## ۲- نتیجه گیری

در این گزارش ابتدا مروری بر پایه‌ای‌ترین مفاهیم توجیه پذیری و تحلیل‌های رایج آن ارایه شد. در ادامه گزارش توجیه پذیری توسعه فناوری الکترونیک قدرت از منظر گوناگون در ایران مورد بررسی قرار گرفت. از منظر محیط زیست تجهیزات الکترونیک قدرت با تسهیل اتصال انرژی‌های تجدیدپذیر به شبکه می‌توانند موجب کاهش مصرف انرژی‌های فسیلی گردند. از منظر اجتماعی، توسعه فناوری الکترونیک قدرت می‌تواند با افزایش کیفیت توان فراهم شده برای مشترکین، میزان رضایت آن‌ها را افزایش دهد. اشتغال‌زایی از دیگر مزایای اجتماعی توسعه فناوری الکترونیک قدرت می‌باشد. از منظر سیاسی، توسعه فناوری الکترونیک قدرت می‌تواند به عنوان پایه‌ای برای اتصال شبکه‌های برق ایران و کشورهای همجوار و بستر تبادل توان میان آنها باشد. از سویی دیگر، حرکت در مسیر اقتصاد دانش بنیان از دیگر آثار جانبی توسعه این فناوری است. با توجه به جنبه‌های گوناگون توسعه فناوری الکترونیک قدرت، توسعه این فناوری برای کشور مزایای مهمی در پی خواهد داشت.

### ۳- مراجع

- [۱] B. K. Bose, "Global Warming: Energy, Environmental Pollution, and the Impact of Power Electronics," *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 4, pp. 6-17, March 2010.
- [۲] M. Z. J. a. M. A. Delucch, "A path to sustainable energy by2030 " *Scientific American* vol. 282, pp. 58-65, Nov. 2009.
- [۳] نیلوفر شعرافیان، برآورد پتانسیل برق بادی و اثر بهره گیری از آن در صرفه جویی سوخت فسیلی در ایران، فصل نامه مطالعات اقتصاد انرژی، ۱۷، ۱۳۸۷.
- [۴] Available: <http://www.desertec.org> .
- [۵] S. Bhattacharyya and S. Cobben, "Consequences of Poor Power Quality – An Overview," Technical University of Eindhoven The Netherlands2011.
- [۶] J. Manson and R. Targosz, "European power quality survey report," Leonardo Energy2008.
- [۷] J. K. Piel and D. J. Carnovale, "Economic And Electrical Benefits Of Harmonic Reduction Methods In Commercial Facilities," Eaton Electrical Inc2004.
- [۸] m. P. MP, "Power Electronics: A Strategy for Success," D. f. B. I. Skills, Ed., ed, 2011.
- [۹] د. ف. امیر، ز. ش. اسفندآبادی و آ. عباسی، "بررسی علل عدم تحقق اهداف کشور در بخش انرژی های تجدیدپذیر در برنامه چهارم توسعه،" نشریه انرژی ایران، جلد سوم، صفحه ۲۳-۲۵، ۱۳۸۹.
- [۱۰] B. K. Bose, "Global Energy Scenario and Impact of Power Electronics in 21st Century," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 60, pp. 2638-2651, July 2013.
- [۱۱] "The Economic Benefits of Investing in Clean Energy," Center For American Progress2009.
- [۱۲] "Green Jobs and related policy frameworks. An overview of the European Union " Sustainlabour, 2013.

- [۱۳] B. Singh, K. S. Verma, P. Mishra, R. Maheshwari, U. Srivastava, and A. Baranwal, "Introduction to FACTS Controllers: A Technological Literature Survey," *International Journal of Automation and Power Engineering*, vol. 1, 2012.
- [۱۴] S.Khalid and B. Dwivedi, "Power Quality Issues, Problems, Standards & Their Effects In Industry With Corrective Means," *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, vol. 1, pp. 1-11, 2011.
- [۱۵] C. K. B. Kekezoğlu, R. Yumurtaci, O. Arıkan, M. Baysal, A. Bozkurt and E.Özdemirci, "Investigation of harmonic effect in Turkey's iron - steel industry," presented at the Power Quality and Supply Reliability Conference,, Parnu, 2008.
- [۱۶] V. K. Sood, *HVDC and FACTS Controllers*: Kluwer Academic

### ● فهرست مطالب

۱- فصل اول مرزبندی فنی و درخت فناوری	۲
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- مرزبندی فنی	۳
۳-۱- درخت فناوری	۹
۲- فصل دوم اجزاء درخت فناوری	۱۴
۱-۲- ادوات FACTS	۱۴
۱-۱-۲- جبران‌ساز استاتیک توان راکتیو (SVC)	۱۴
۲-۱-۲- راکتور سری کنترل شده‌ی تریستوری (TCSR)	۱۸
۳-۱-۲- راکتور سری قابل کلیدزنی تریستوری (TSSR)	۱۸
۴-۱-۲- خازن سری قابل کلیدزنی تریستوری (TSSC)	۱۹
۵-۱-۲- خازن سری کنترل‌شده‌ی تریستوری (TCSC)	۱۹
۶-۱-۲- امپدانس سری توزیع شده (DSI)	۲۰
۷-۱-۲- جبران‌ساز استاتیکی (StatCom)	۲۲
۸-۱-۲- جبران‌کننده سری سنکرون استاتیک (SSSC)	۲۳
۹-۱-۲- جبران‌کننده سری بین فاز (IPC)	۲۶
۱۰-۱-۲- جبران‌کننده سری استاتیکی توزیع شده (DSSC)	۲۹
۱۱-۱-۲- جبران‌ساز استاتیکی پشت به پشت (BTB StatCom)	۳۰
۱۲-۱-۲- کنترل‌کننده پخش توان بین خطوط (IPFC)	۳۱
۱۳-۱-۲- کنترل‌کننده یکپارچه پخش توان (UPFC)	۳۳

- ۱۴-۱-۲- ترانسفورماتور جابجاگر فاز قابل کنترل تریستوری (TCPST) ..... ۳۴
- ۱۵-۱-۲- جابجاگر فاز استاتیک (SPS) ..... ۳۴
- ۱۶-۱-۲- کنترل کننده دینامیک توان (DFC) ..... ۳۶
- ۱۷-۱-۲- کنترل کننده‌ی پخش توان توزیع شده (DPFC) ..... ۳۷
- ۱۸-۱-۲- محدودساز جریان خطا (FCL) ..... ۳۸
- ۱۹-۱-۲- تنظیم کننده‌ی ولتاژ کنترل شده‌ی تریستوری (TCVR) ..... ۴۰
- ۲۰-۱-۲- محدود کننده‌ی ولتاژ کنترل شده‌ی تریستوری (TCVL) ..... ۴۲
- ۲۱-۱-۲- مقاومت ترمزی کنترل شده‌ی تریستوری (TCBR) ..... ۴۳
- ۲-۲- سیستم انتقال HVDC/MVDC ..... ۴۳
- ۳-۲- ادوات بهساز توان (CUPS) ..... ۴۶
- ۱-۳-۲- جبران‌ساز استاتیکی سیستم توزیع (DStatCom) ..... ۴۶
- ۲-۳-۲- بازیاب دینامیک ولتاژ (DVR) ..... ۴۸
- ۳-۳-۲- فیلترهای فعال (AF) ..... ۵۱
- ۴-۳-۲- سیستم یکپارچه بهساز توان (UPQC) ..... ۵۳
- ۵-۳-۲- سیستم تغذیه توان بدون وقفه (UPS) ..... ۵۴
- ۶-۳-۲- ترانسفورماتور الکترونیکی (PET) ..... ۵۵
- ۷-۳-۲- کلید انتقال بار استاتیک (STS) ..... ۵۸
- ۸-۳-۲- مدار شکن استاتیکی (SCB) ..... ۶۱
- ۹-۳-۲- محدودساز جریان خطای استاتیک (SCL) ..... ۶۳
- ۴-۲- مبدل الکترونیک قدرت منابع انرژی پراکنده ..... ۶۵
- ۱-۴-۲- میکروتوربین ..... ۶۵



- ۶۸..... ۲-۴-۲- توربین بادی
- ۷۳..... ۲-۴-۳- پیل سوختی
- ۷۸..... ۲-۴-۴- فتوولتائیک
- ۸۴..... ۲-۴-۵- مبدل فرکانس استاتیک توربین‌های آبی کوچک
- ۸۵..... ۲-۴-۶- سیستم ذخیره ساز انرژی باطری (BESS)
- ۸۵..... ۲-۴-۷- معرفی BESS
- ۹۰..... ۲-۴-۸- سیستم ذخیره ساز انرژی مغناطیسی ابر رسانا (SMES)
- ۹۳..... ۲-۴-۹- سیستم ذخیره ساز انرژی چرخ طیار
- ۹۶..... ۲-۴-۱۰- سیستم ذخیره ساز انرژی ابر خازن‌ها
- ۹۷..... ۲-۴-۱۱- مبدل فرکانس استاتیک نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای
- ۹۹..... ۲-۵-۵- سامانه حمل و نقل برقی
- ۹۹..... ۲-۵-۱- مبدل‌های تامین تغذیه سامانه‌های حمل و نقل
- ۱۰۵..... ۲-۵-۲- بهساز توان ریلی (RPC)
- ۱۰۷..... ۲-۶-۶- مبدلهای استاتیک نیروگاهی
- ۱۰۷..... ۲-۶-۱- سیستم تحریک استاتیکی
- ۱۱۲..... ۲-۶-۲- سیستم‌های SFC نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای دور ثابت
- ۱۱۳..... ۲-۶-۳- سیستم‌های SFC توربین‌های گازی
- ۱۱۳..... ۲-۶-۴- مبدلهای کنترل دور نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای دور متغیر
- ۱۱۵..... ۳- نتیجه گیری
- ۱۱۶..... ۴- مراجع

## فهرست اشکال

- شکل (۱-۱): درخت فناوری ..... ۱۲
- شکل (۱-۲): شمای ساده از یک SVC ..... ۱۴
- شکل (۲-۲): مقایسه ساختار SVC با TCR و MCR ..... ۱۶
- شکل (۳-۲): شمای مداری TSC ..... ۱۷
- شکل (۴-۲): شمای مداری یک TCSR ..... ۱۸
- شکل (۵-۲): شمای مداری یک TSSC ..... ۱۹
- شکل (۶-۲): شمای مداری یک مازول DSI ..... ۲۱
- شکل (۷-۲): شمای ساده از یک STATCOM ..... ۲۳
- شکل (۸-۲): شمای ساده از یک  $S^3C$  ..... ۲۵
- شکل (۹-۲): مدار معادل یک IPC ..... ۲۶
- شکل (۱۰-۲): شمای مداری یک IPC240 ..... ۲۷
- شکل (۱۱-۲): ساختار مداری یک IPC120 ..... ۲۸
- شکل (۱۲-۲): تزریق ولتاژ با استفاده از ترانسفورماتور تغییر دهنده‌ی فاز ..... ۲۸
- شکل (۱۳-۲): شمای مداری یک واحد از DSSC ..... ۳۰
- شکل (۱۴-۲): شمای مداری یک BTB-STATCOM ..... ۳۱
- شکل (۱۵-۲): دیاگرام تک خطی IPFC ..... ۳۲
- شکل (۱۶-۲): ساختار یک UPFC ..... ۳۳
- شکل (۱۷-۲): شمای ساده از یک TCPST ..... ۳۵
- شکل (۱۸-۲): شمای مداری یک SPS ..... ۳۵
- شکل (۱۹-۲): شمای ساده از یک DFC ..... ۳۶
- شکل (۲۰-۲): پیکربندی DPFC ..... ۳۷

- شکل (۲-۲۱): شمای مداری از یک FCL..... ۳۸
- شکل (۲-۲۲): یک نمونه FCL نصب شده در پست Kayenta..... ۴۰
- شکل (۲-۲۳): نوعی از FCL مجهز به کلیدهای IGBT..... ۴۱
- شکل (۲-۲۴): شمای مداری TCVR بر اساس تزریق ولتاژ..... ۴۱
- شکل (۲-۲۵): شمای مداری TCVR بر اساس تپ متغیر..... ۴۱
- شکل (۲-۲۶): محدود کننده ولتاژ تریستوری (TCVL)..... ۴۲
- شکل (۲-۲۷): شمای مداری یک TCBR..... ۴۳
- شکل (۲-۲۸): دیاگرام مداری نسل دوم HVDC برای یکی از قطبهای لینک HVDC..... ۴۵
- شکل (۲-۲۹): دیاگرام مداری نسل سوم HVDC برای یکی از قطبهای لینک HVDC..... ۴۶
- شکل (۲-۳۰): ساختار DSTATCOM و نحوه اتصال آن..... ۴۷
- شکل (۲-۳۱): ساختار DVR..... ۴۹
- شکل (۲-۳۲): ساختار مداری DVR..... ۵۰
- شکل (۲-۳۳): شمای سیستم اکتیو سه فاز سه سیمه..... ۵۱
- شکل (۲-۳۴): فیلتر شنت منبع ولتاژ سه فاز..... ۵۲
- شکل (۲-۳۵): شمای مداری فیلتر اکتیو سری..... ۵۳
- شکل (۲-۳۶): ساختار UPQC..... ۵۴
- شکل (۲-۳۷): استفاده از دو مبدل AC/AC..... ۵۶
- شکل (۲-۳۸): استفاده از چندین تبدیل AC/DC و DC/AC در PET..... ۵۷
- شکل (۲-۳۹): ساختار PET به همراه مبدل ماتریسی و مبدل پشت به پشت..... ۵۷
- شکل (۲-۴۰): دیاگرام STS..... ۵۸
- شکل (۲-۴۱): یک STS متداول..... ۵۹
- شکل (۲-۴۲): توپولوژی Bus Coupler..... ۶۰

- شکل (۲-۴۳): توپولوژی Bus Transfer ..... ۶۰
- شکل (۲-۴۴): مدار یک نوع از SCB ..... ۶۲
- شکل (۲-۴۵): ساختار دیگری از SCB ..... ۶۲
- شکل (۲-۴۶): توپولوژی موازی مدار رزونانسی ..... ۶۳
- شکل (۲-۴۷): توپولوژی موازی مدار رزونانسی نوع ۲ ..... ۶۴
- شکل (۲-۴۸): مدار SCC سری رزونانسی ..... ۶۴
- شکل (۲-۴۹): یک میکروتوربین نمونه (NREL 2008) ..... ۶۶
- شکل (۲-۵۰): ساختار میکروتوربین با ادوات الکترونیک قدرت ..... ۶۶
- شکل (۲-۵۱): بهره برداری از میکروتوربین با ساختار مبدل فرکانس بالا ..... ۶۷
- شکل (۲-۵۲): ساختار میکروتوربین با مبدل مستقیم AC-AC ..... ۶۷
- شکل (۲-۵۳): مبدل AC-DC-AC (الف) با یکسوساز کنترل شده ب) با یکسوساز غیر قابل کنترل ..... ۶۸
- شکل (۲-۵۴): مبدل AC-AC ماتریسی متصل به میکروتوربین [۲۲] ..... ۶۹
- شکل (۲-۵۵): اجزاء اصلی توربین بادی ..... ۶۹
- شکل (۲-۵۶): ژنراتور القایی با اتصال مستقیم ..... ۷۰
- شکل (۲-۵۷): توربین بادی متصل به DFIG ..... ۷۱
- شکل (۲-۵۸): توپولوژی مبدل الکترونیک قدرت مورد استفاده در DFIG ..... ۷۱
- شکل (۲-۵۹): سیستم توربین بادی متصل به ژنراتور سنکرون و مبدل تمام ظرفیت ..... ۷۲
- شکل (۲-۶۰): توپولوژی سیستم توربین بادی متصل به ژنراتور سنکرون و مبدل تمام ظرفیت ..... ۷۳
- شکل (۲-۶۱): پیل سوختی و اینورتر مربوطه ..... ۷۴
- شکل (۲-۶۲): ساختار اتصال پیل سوختی به کمک یک اینورتر به شبکه ..... ۷۴
- شکل (۲-۶۳): ساختار پیل سوختی با مبدل های سری شده DC-DC و DC-AC ..... ۷۵
- شکل (۲-۶۴): ساختار اتصال پیل سوختی از طریق لینک فرکانس بالا ..... ۷۵

- شکل (۶۵-۲): مبدل‌های ایزوله DC-DC ..... ۷۶
- شکل (۶۶-۲): اینورترهای سه فاز ..... ۷۷
- شکل (۶۷-۲): شمای مداری استفاده از مبدل DC/DC از نوع Forward و یک مبدل DC/AC با سوئیچینگ سخت به صورت سری ..... ۷۷
- شکل (۶۸-۲): مبدل سری شده‌ی DC-AC و AC-AC ..... ۷۸
- شکل (۶۹-۲): ساختار فتوولتائیک متمرکز ..... ۷۹
- شکل (۷۰-۲): ساختار اتصال آرایه‌ی سیستم‌های فتوولتائیک ..... ۸۰
- شکل (۷۱-۲): ساختار شامل تجهیز الکترونیک قدرت مجزا برای هر ماژول فتوولتائیک ..... ۸۱
- شکل (۷۲-۲): مبدل DC-AC تک فاز- تک طبقه برای مجموعه فتوولتائیک مجتمع ..... ۸۲
- شکل (۷۳-۲): مبدل DC-DC و DC-AC تک فاز چند طبقه ..... ۸۳
- شکل (۷۴-۲): توپولوژی سه فاز مبدل DC-AC متصل به مجموعه PV و ترانس ۵۰Hz ..... ۸۳
- شکل (۷۵-۲): توپولوژی چند رشته‌ای PV با ایزولاسیون به کمک ترانس فرکانس بالا ..... ۸۴
- شکل (۷۶-۲): بهره برداری از توربین آبی با سرعت متغیر توسط مبدل‌های AC/DC/AC ..... ۸۵
- شکل (۷۷-۲): استفاده از ژنراتور دو سو تغذیه در توربین آبی با سرعت متغیر ..... ۸۵
- شکل (۷۸-۲): ساختار BESS با اینورتر تنها ..... ۸۶
- شکل (۷۹-۲): ساختار BESS با مبدل‌های کاسکد DC-DC و dc-ac ..... ۸۷
- شکل (۸۰-۲): سیستم هایبرید BESS و سیستم توان بادی ..... ۸۷
- شکل (۸۱-۲): توپولوژی‌های تک طبقه الکترونیک قدرت (الف) تک فاز (ب) سه فاز ..... ۸۸
- شکل (۸۲-۲): توپولوژی‌های کاسکد DC-DC و AC-AC ..... ۸۹
- شکل (۸۳-۲): توپولوژی DC-DC دارای ایزولاسیون ..... ۸۹
- شکل (۸۴-۲): SMES به شبکه به کمک مبدل تریستوری ..... ۹۰
- شکل (۸۵-۲): اتصال SMES به شبکه به کمک مبدل منبع ولتاژ ..... ۹۱

- شکل (۲-۸۶): کنترل مبدل VSC ..... ۹۲
- شکل (۲-۸۷): اتصال SMES به شبکه با کمک مبدل CSC ..... ۹۲
- شکل (۲-۸۸): اتصال چرخ طیار به کمک مبدل‌های پشت به پشت (الف) تک سیستم ب) چند سیستم ..... ۹۴
- شکل (۲-۸۹): سیستم هایبرید BESS ..... ۹۵
- شکل (۲-۹۰): مبدل AC-DC و DC-AC با مبدل DC-DC واسط ..... ۹۵
- شکل (۲-۹۱): استفاده از ابر خازن به صورت ترکیبی با ژنراتور توربین بادی و مبدل‌های آن ..... ۹۶
- شکل (۲-۹۲): مبدل DC/DC دوجبهته و غیر ایزوله به کار رفته در ابر خازن ..... ۹۷
- شکل (۲-۹۳): سیستم تحریک یک نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای با سرعت متغیر ..... ۹۸
- شکل (۲-۹۴): مبدل به کار رفته در سایت Grimsel ..... ۹۹
- شکل (۲-۹۵): ایستگاه یکسو ساز به کار رفته در سیستم حمل و نقل dc ..... ۱۰۰
- شکل (۲-۹۶): شمای مداری یکسوساز کنترل شده‌ی تریستوری دوازده پالسه ..... ۱۰۰
- شکل (۲-۹۷): سیستم بازیافت انرژی حمل و نقل الکتریکی با ولتاژ DC ساخته شرکت ALSTOM ..... ۱۰۱
- شکل (۲-۹۸): نمای بیرونی سیستم بازیافت انرژی شرکت ALSTOM ..... ۱۰۱
- شکل (۲-۹۹): شمای مداری سیستم به کار رفته در بهره برداری وسایل حمل و نقل الکتریکی Online Electric Vehicle ..... ۱۰۲
- شکل (۲-۱۰۰): شمای دیگری از مدار به کار رفته در وسایل حمل و نقل الکتریکی Online Electric Vehicle ..... ۱۰۳
- شکل (۲-۱۰۱): شمای مداری شارژر دو جهته‌ی سه سطحی دیود ..... ۱۰۴
- شکل (۲-۱۰۲): استفاده از شبکه‌ی dc جهت تغذیه خودروهای هیبریدی ..... ۱۰۵
- شکل (۲-۱۰۳): یک نمونه RPC با ترانسفورماتور V/V ..... ۱۰۶
- شکل (۲-۱۰۴): استفاده از ترانسفورماتور اسکات و مبدل پشت به پشت تمام پل به عنوان RPC ..... ۱۰۷
- شکل (۲-۱۰۵): نمای کلی از یکسوسازی ولتاژ ac و اتصال به سیم پیچ تحریک ..... ۱۰۸
- شکل (۲-۱۰۶): ساختار تامین توان در یکی از محصولات ABB ..... ۱۰۸

- شکل (۱۰۷-۲): پل یکسو ساز با اسنابر کمکی ..... ۱۱۰
- شکل (۱۰۸-۲): مدار جانبی سمت ac در محصولات Siemens ..... ۱۱۱
- شکل (۱۰۹-۲): شماتیک سیستم راه انداز SFC نیروگاه تلمبه ذخیره ای ..... ۱۱۲
- شکل (۱۱۰-۲): ساختارهای مورد استفاده برای راه اندازی توربین گازی ..... ۱۱۳
- شکل (۱۱۱-۲): ساختار درایوهای مورد استفاده برای کنترل دور ماشین ..... ۱۱۴

## مقدمه

کلیدهای نیمه هادی الکترونیک قدرت نقش بسزایی در تغییر چهره شبکه برق ایفا کرده‌اند. تغییرات دو دهه اخیر در شبکه برق باعث توجه روزافزون به تجهیزات الکترونیک قدرت شده است. یکی از این تغییرات تغییر ساختار در شبکه برق است که برای اجرایی نمودن کامل آن نیاز به ایجاد انعطاف پذیری در شبکه برق وجود دارد. این نیاز منجر به معرفی ادوات FACTS گردیده است. تغییر دیگر روی داده در سالهای اخیر، توجه به مساله شبکه‌های هوشمند است که به عنوان راهکار اصلی مواجهه با پدیده گرم شدن زمین مطرح شده و در حال پی‌گیری است. بدون شک تصور شبکه هوشمند بدون تجهیزات الکترونیک قدرت محال است و اساس این شبکه‌ها بر بکارگیری تجهیزاتی با قابلیت کنترل پذیری است.

تجهیزات الکترونیک قدرت بطور کلی دارای نقشهای زیر در شبکه هستند.

- تبدیل انرژی الکتریکی از شکل AC به DC و بر عکس

- تغییر شکل موج ولتاژ یا جریان

- تغییر آرایش شبکه برق

- فراهم نمودن امپدانس مجازی قابل کنترل

تمرکز این سند بر کلیه تجهیزات الکترونیک قدرتی است که کاربرد آنها در شبکه برق مطرح است. تجهیزاتی همچون درایوهای ASD که نقشی در شبکه برق ایفا نمی‌کنند خارج از حیطه این سند هستند. ادوات متعددی نیز وجود دارند که علاوه بر کاربرد در شبکه برق، کاربردهای دیگری نیز دارند که از جمله می‌توان به فیلترهای اکتیو، SVC و ... اشاره نمود. این ادوات در این سند همگی تنها با تاکید بر کاربرد در شبکه برق مورد بررسی قرار خواهند گرفت اگر چه در مطالعات وجود سایر کاربردها برای این تجهیزات همواره مد نظر خواهد بود.

با توجه به اهداف و وظائف کلی وزارت نیرو در این سند کلیه تجهیزات الکترونیک قدرت که نتوان به آنها بار یا مصرف کننده اطلاق نمود در حیطه این سند قرار دارند.

تجهیزات الکترونیک قدرت دارای کاربردهای متعددی در شبکه برق هستند که این کاربردها با توجه به چشم‌انداز شبکه‌های برق هوشمند بسیار فراگیرتر خواهد شد و در زمینه‌های مختلف گسترش خواهد یافت. دسته‌بندی این کاربردها در شبکه برق



می‌تواند با توجه به نوع نگرش متفاوت باشد. در این گزارش با بررسی برخی مراجع معتبر در این زمینه سعی خواهد شد دسته‌بندی جامعی ارائه شود. پس از دسته‌بندی کلی تجهیزات درخت فناوری شامل کلیه زیرشاخه‌ها ترسیم خواهد شد. زیرشاخه‌های درخت هر یک معرف یکی از تجهیزات الکترونیک قدرت هستند که در ادامه گزارش تک تک این تجهیزات به شکل مختصر معرفی خواهند و بدین طریق ابعاد سند بطور کامل مشخص خواهد شد.

## فصل اول

### مرزبندی فنی و درخت فناوری

## ۱-۱- مقدمه

کلیدهای نیمه هادی الکترونیک قدرت نقش بسزایی در تغییر چهره شبکه برق ایفا کرده‌اند. به کمک تجهیزات الکترونیک قدرت این امکان فراهم شده که فرامین کنترلی مختلف را در شبکه بتوان با سرعتی بسیار زیاد اجرا نمود. تغییرات دو دهه اخیر در شبکه برق باعث توجه روزافزون به تجهیزات الکترونیک قدرت شده است. یکی از این تغییرات ساختار در شبکه برق است که برای اجرایی نمودن کامل آن نیاز به ایجاد انعطاف‌پذیری در شبکه برق وجود دارد. این نیاز منجر به معرفی ادوات FACTS گردیده است. تغییر دیگر روی داده در سالهای اخیر، توجه به مساله شبکه‌های هوشمند است که به عنوان راهکار اصلی مواجهه با پدیده گرم شدن زمین مطرح شده و در حال پی‌گیری است. بدون شک تصور شبکه هوشمند بدون تجهیزات الکترونیک قدرت محال است و اساس این شبکه‌ها بر بکارگیری تجهیزاتی با قابلیت کنترل‌پذیری است. شبکه‌های برق در آینده برای اینکه بتوانند نیازهایی از جمله بار مصرفی، قابلیت اطمینان امنیت و اقتصادی بودن را برآورده سازند باید دارای ویژگی تعاملی و خودکار بودن باشند. این تصویر نیازمند تکنولوژیهای متعددی است که از جمله مهمترین آن الکترونیک قدرت است.

تجهیزات الکترونیک قدرت بطور کلی دارای نقشهای زیر در شبکه هستند.

- تبدیل انرژی الکتریکی از شکل AC به DC و بر عکس

- تغییر شکل موج ولتاژ یا جریان

- تغییر آرایش شبکه برق

- فراهم نمودن امپدانس مجازی قابل کنترل

تجهیزات الکترونیک قدرت علاوه بر نقش مهمی که در شبکه برق ایفا می‌کنند دارای کاربردهای بسیار متنوعی هستند که از آن جمله می‌توان به منابع تغذیه تجهیزات IT، انواع شارژرها (از شارژ موبایل تا شارژ خودروهای برقی)، لامپهای کم مصرفی و LED، درایو موتورهای الکتریکی و... اشاره نمود.

## ۱-۲- مرزبندی فنی

تمرکز این سند بر کلیه تجهیزات الکترونیک قدرتی است که کاربرد آنها در شبکه برق مطرح است. تجهیزاتی همچون درایوهای ASD که نقشی در شبکه برق ایفا نمی کنند خارج از حیطه این سند هستند. ادوات متعددی نیز وجود دارند که علاوه بر کاربرد در شبکه برق، کاربردهای دیگری نیز دارند که از جمله می توان به فیلترهای اکتیو، SVC و ... اشاره نمود. این ادوات در این سند همگی تنها با تاکید بر کاربرد در شبکه برق مورد بررسی قرار خواهند گرفت اگر چه در مطالعات وجود سایر کاربردها برای این تجهیزات همواره مد نظر خواهد بود.

برای تکمیل بحث فوق نیازمند تعریف عبارت "شبکه برق" بکار رفته در عنوان سند هستیم. شبکه برق در مفهوم سنتی می تواند به کلیه تجهیزات تولید، انتقال و توزیع اطلاق گردد که در مالکیت وزارت نیرو قرار دارد. این تعریف با توجه به تجدید ساختار شبکه برق و معرفی مفاهیمی چون ریز شبکه و شبکه های هوشمند نمی تواند بوضوح حیطه سند را مشخص کند. ابهام دیگری که این تعریف ایجاد خواهد کرد تلاقی آن با مفاهیم مشابهی همچون شبکه برق یک مجتمع صنعتی و... است. برای حل این مساله می توان تقسیم بندی را از این منظر انجام داد که هر تجهیز الکترونیک قدرت یا به عنوان بار و مصرف کننده در شبکه برق نقش ایفا می کند یا نقش دیگری دارد. بر این اساس و با توجه به اهداف و وظائف کلی وزارت نیرو در این سند کلیه تجهیزات الکترونیک قدرت که نتوان به آنها بار یا مصرف کننده اطلاق نمود در حیطه این سند قرار دارند. همانطور که اشاره گردید تجهیزات الکترونیک قدرت دارای کاربردهای متعددی در شبکه برق هستند. این کاربردها با توجه به چشم انداز شبکه های برق هوشمند بسیار فراگیرتر خواهد شد و در زمینه های مختلف گسترش خواهد یافت. دسته بندی این کاربردها در شبکه برق می تواند با توجه به نوع نگرش متفاوت باشد. در ادامه با بررسی برخی مراجع معتبر در این زمینه سعی خواهیم نمود دسته بندی جامعی ارائه شود.

در مرجع [۱] کاربردهای تجهیزات الکترونیک قدرت بطور کلی به صورت زیر بیان شده است:

- بکارگیری انرژی های تجدیدپذیر مثل باد و خورشید
- ذخیره سازی انرژی الکتریکی برای هماهنگ نمودن تغییرات مصرف و تولید از منابع تجدیدپذیر
- افزایش راندمان شبکه انتقال
- بهبود راندمان مصرف کننده هایی همچون موتورها و لامپهای روشنایی

اشاره گردیده که الکترونیک قدرت یکی از تکنولوژیهای کلیدی برای فراهم نمودن انرژی الکتریکی پایدار ... است. این مسأله با توجه به سهم انرژی الکتریکی در سبد انرژی جهان بسیار مهم خواهد بود. در حال حاضر در آمریکا حدود ۴۰٪ انرژی مصرفی بصورت انرژی الکتریکی است که با توجه به برنامه ریزی بکارگیری گسترده خودروهای برقی و هیبریدی و قطارهای برقی این میزان به حدود ۶۰٪ خواهد رسید. از طرف دیگر برای کاهش گازهای گلخانه‌ای باید سهم تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر به شدت افزایش یابد. این میزان در حال حاضر حدود ۴٪ است. بدون شک دو رکن اساسی دستیابی به انرژی‌های پایدار، تولید برق از منابع انرژی تجدیدپذیر و افزایش راندمان مصرف انرژی الکتریکی است که الکترونیک قدرت تکنولوژی کلیدی برای دستیابی به این دور کن است.

مصرف انرژی الکتریکی در آمریکا به میزان ۵۱٪ توسط موتورهای الکتریکی، ۱۹٪ مصارف روشنایی، ۱۶٪ مصارف تهویه مطبوع و ۱۴٪ توسط تجهیزات IT است. با توجه به موارد مطرح شده فوق نویسندگان [۱] به این مسأله اشاره دارند که نقش تجهیزات الکترونیک قدرت بصورت فراهم نمودن امکان صرفه‌جویی و افزایش راندمان در مصارف چهارگانه فوق، فراهم نمودن امکان افزایش سهم تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر، افزایش کارایی شبکه برق و نهایتاً کاربردهای خاص دفاعی و فضایی است.

در این مرجع فصل مشخصی به کاربردهای الکترونیک قدرت در شبکه برق اختصاص دارد که در ادامه به خلاصه‌ای از آنها اشاره می‌شود. دسته‌بندی کاربرد تجهیزات الکترونیک قدرت بصورت زیر ارائه شده است:

• تولید پراکنده شامل

✓ منابع تجدیدپذیر از جمله باد و خورشید

✓ میکروتوربین و پیل سوختی

✓ ذخیره‌ساز انرژی باطری، چرخ طیار و SMES

• بارهای الکترونیک قدرت شامل درایوهای تنظیم سرعت

• اصلاح کیفیت توان شامل

✓ فیدرهای دوگانه

✓ منابع تغذیه بدون وقفه

✓ DVR

• سیستمهای HVDC , FACTS شبکه انتقال و توزیع شامل

✓ سیستمهای HVDC کلاسیک و Light

✓ ادوات FACTS شامل: جبران سری، جبران موازی، جابجاگر فاز استایک و UPFC

از دیگر مراجع مورد بررسی در این قسمت مرجع [۲] است. در [۲] نیز مشابه [۱] تجهیزات الکترونیک قدرت بصورت واسطی بین منبع و بار در نظر گرفته شده است که وظیفه آن مدیریت جریان انرژی الکتریکی از منبع به بار است. کاربردهای مطرح شده برای تجهیزات الکترونیک قدرت در این مرجع به قرار زیر است:

- شارژر خازنهای منابع تغذیه
- بالاستهای الکترونیکی
- منابع تغذیه
- منابع تغذیه بدون وقفه
- کاربرد از خودروها
- تولید پالسهای توان
- مبدل سیستمهای فتوولتائیک
- مبدل سیستمهای توربین بادی
- سیستمهای انتقال DC
- سیستمهای FACTS
- سیستمهای درایو الکتریکی
- ذخیره‌ساز انرژی الکتریکی در باطری
- ذخیره‌ساز انرژی الکتریکی در ابر خازن‌ها
- ذخیره‌ساز انرژی الکتریکی در باطری‌های جاری
- ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی چرخ‌طیار
- ذخیره‌ساز انرژی الکتریکی SMES

- کاربردهای کیفیت توان

کاربردهای مطرح شده برای تجهیزات الکترونیک قدرت در مرجع [۳] به شرح زیر است:

- کاربرد در صنایع مخابراتی و IT
- کاربرد در تبدیل انرژی‌های تجدیدپذیر
- کاربرد در پیل‌های سوختی
- کاربرد در خودروهای برقی
- کاربرد در نمایشگرهای الکترونیکی
- کاربرد در آمپلی‌فایرهای صوتی
- کاربرد در تجهیزات الکترونیکی قابل حمل
- کاربرد در شتاب دهنده‌ها
- کاربرد در سیستم‌های روشنایی
- کاربردهای فضایی
- مبدل‌های حالت دهنده شبکه برق
- بازیافت انرژی در صنایع
- کاربرد در تجهیزات دفاعی
- کاربرد در درایوها

در مرجع [۴] کاربردهای اشاره شده برای تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق بصورت زیر است:

- کنترل موتورهای الکتریکی
- منابع تغذیه بدون وقفه
- کاربردهای کیفیت توان شامل فیلترهای اکتیو و جبران‌کننده‌های ضریب توان
- کاربرد در سیستم‌های مولد خورشیدی
- کاربرد سیستم‌های انرژی الکتریکی انعطاف‌پذیر، هوشمند و قابل اطمینان

• خودروهای برقی

از دیگر مراجع مورد بررسی می‌توان به [۵] اشاره نمود. کاربردهای تجهیزات الکترونیک قدرت در این مرجع بصورت زیر است:

- درایو موتورهای الکتریکی

- سیستم تحریک ژنراتور

- سیستم تنظیم سرعت واحد موتور - ژنراتور تلمبه ذخیره‌ای

- مولدهای بادی

- مولدهای آبی کوچک

- مولدهای خورشیدی

- جبران کننده استاتیک توان راکتیو (SVC)

- Statcom

- فیلترهای اکتیو

- انتقال DC

- سیستمهای FACTS

- کاربرد در حمل و نقل ریلی شامل سیستم تغذیه و موتور

- منابع تغذیه بدون وقفه

در گزارش تهیه شده توسط وزارت اقتصاد و تجارت انگلیس تحت عنوان "استراتژی تجهیزات الکترونیک قدرت برای موفقیت"

[۶] یکی از محورهای چهارگانه مورد تمرکز حیطه تولید، انتقال و توزیع برق است (سایر محورها عبارتند از حمل و نقل،

تجهیزات الکترونیکی و روشنایی، درایوهای صنعتی). کاربردهای در نظر گرفته شده در این محور عبارتند از:

• مبدل‌های الکترونیک قدرت مگاواتی برای اتصال مولدهای بادی، خورشیدی و جزر و مدی

• مبدل‌های الکترونیک قدرت مگاواتی سیستم‌های HVDC برای افزایش ولتاژ به سطح ۸۰۰ کیلوولت و انتقال توان در

فواصل طولانی این مبدل‌ها نقش اساسی در بکارگیری توربین‌های بادی فراساحل و پیادسازی ابر شبکه اروپا خواهند

شد.



• مبدل‌های الکترونیک قدرت مورد نیاز شبکه توزیع برای حصول اطمینان از امکان اتصال مولدها به شبکه توزیع با هر

میزان رشد و تکنولوژی‌های نوظهور همچون ذخیره‌ساز انرژی و شارژ خودروهای برقی

وزارت انرژی آمریکا در سال ۲۰۱۱ گزارشی تحت عنوان "تحقیق و توسعه الکترونیک قدرت" [۷] منتشر کرده است که در آن

کاربرد تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه بصورت زیر ذکر شده است:

- کنترل جریان توان شامل

✓ تجهیزات سیستم‌های FACTS

✓ ایستگاه‌های مبدل HVDC

✓ جبران کننده‌های استاتیک توان اکتیو

✓ تجهیزات محدودساز جریان خطا

✓ ترانسفورماتورهای توزیع استاتیک

✓ بریکرهای استاتیک شامل STS-SCB

✓ فیلترهای اکتیو

- واسط شبکه شامل

✓ خودروهای برقی هیبرید

✓ منابع انرژی تجدیدپذیر پراکنده

✓ ادوات ذخیره‌ساز انرژی الکتریکی

وزارت انرژی آمریکا در گزارش دیگری تحت عنوان "کاربردهای الکترونیک قدرت در سیستم‌های انرژی پراکنده انتقال و

توزیع" به تفصیل کاربرد تجهیزات الکترونیک قدرت پرداخته است. کاربردهای مورد اشاره در این گزارش عبارتند از:

• ایستگاه‌های مبدل HVDC

• تجهیزات FACTS

• درایو موتورها

• واسط سیستم‌های ذخیره انرژی

- واسط منابع انرژی پراکنده (DER)
  - درایوهای الکتریکی سیستم حمل و نقل
  - ادوات محدودساز جریان خطا
  - ترانسفورماتورهای توزیع استاتیک
  - کلیدهای استاتیک STS
- مزایای حاصل از کاربرد این تجهیزات در شبکه نیز بصورت زیر لحاظ شده است.

- افزایش ظرفیت انتقال و استفاده بهینه از ظرفیت کریدورهای انتقال
- ایجاد قابلیت کنترل جریان توان
- بهبود پایداری سیستم قدرت
- افزایش امنیت شبکه
- افزایش قابلیت اطمینان شبکه
- انعطاف‌پذیری در محل احداث نیروگاه‌های جدید
- حذف با تعویق نیاز به احداث تأسیسات انتقال جدید

### ۱-۳- درخت فناوری

به منظور ایجاد تصویری روشن از حیطه فناوری مورد بررسی اغلب از نمایش گرافیکی حوزه‌های فناوری به صورت درخت فناوری استفاده می‌شود. این درخت را می‌توان با توجه به دسته‌بندی‌های مختلف ارائه شده از تجهیزات الکترونیک قدرت ترسیم نمود. با در نظر گرفتن معیارهای ترسیم درخت فناوری و هدف مورد نظر این سند دسته‌بندی درخت فناوری به صورت زیر انجام گرفته است:

- ادوات FACTS
- ادوات بهبود کیفیت توان یا Custom power
- مبدل پستهای HVDC-MVDC
- مبدلهای منابع تولید پراکنده

- مبدل‌های مورد نیاز در سیستم سامانه حمل و نقل برق

- مبدل‌های استاتیک نیروگاهی

در سطح بعدی درخت بر اساس کاربرد هر یک از تقسیم‌بندی‌های فوق شاخه‌های جدید ایجاد شده است. در بخش ادوات کیفیت توان دو دسته کاربرد مشخص شده است: کاربردهای جبران سازی و کاربردهای تغییر ساختار شبکه. در کاربرد جبران‌سازی ادوات ذکر شده عبارتند از:

Dstatcom,DVR,UPQC,UPS, PET,APF

در کاربرد تغییر ساختار شبکه ادوات عبارتند از:

SCL,SCB,STS

در بخش ادوات FACTS بر خلاف سایر بخشها، دسته‌بندی بر اساس نوع اتصال به شبکه انجام شده است. علت این مساله ایجاد تشابه با متون فنی است که اغلب دسته‌بندی ادوات FACTS را به این شکل انجام داده‌اند.

ادوات FACTS در نظر گرفته شده در دسته ادوات موازی عبارتند از:

SVC (TSR-TCR-TSC,TCT,MCR),TCVL,TCBR,STATCOM

در شاخه بعدی به ادوات FACTS با اتصال سری در شبکه پرداخته شده که عبارتند از

TSIC (TCSC-TCSR-TSSR-TSSC),FCL,SSSC,IPC,TCVR,TCPST,DSSSC

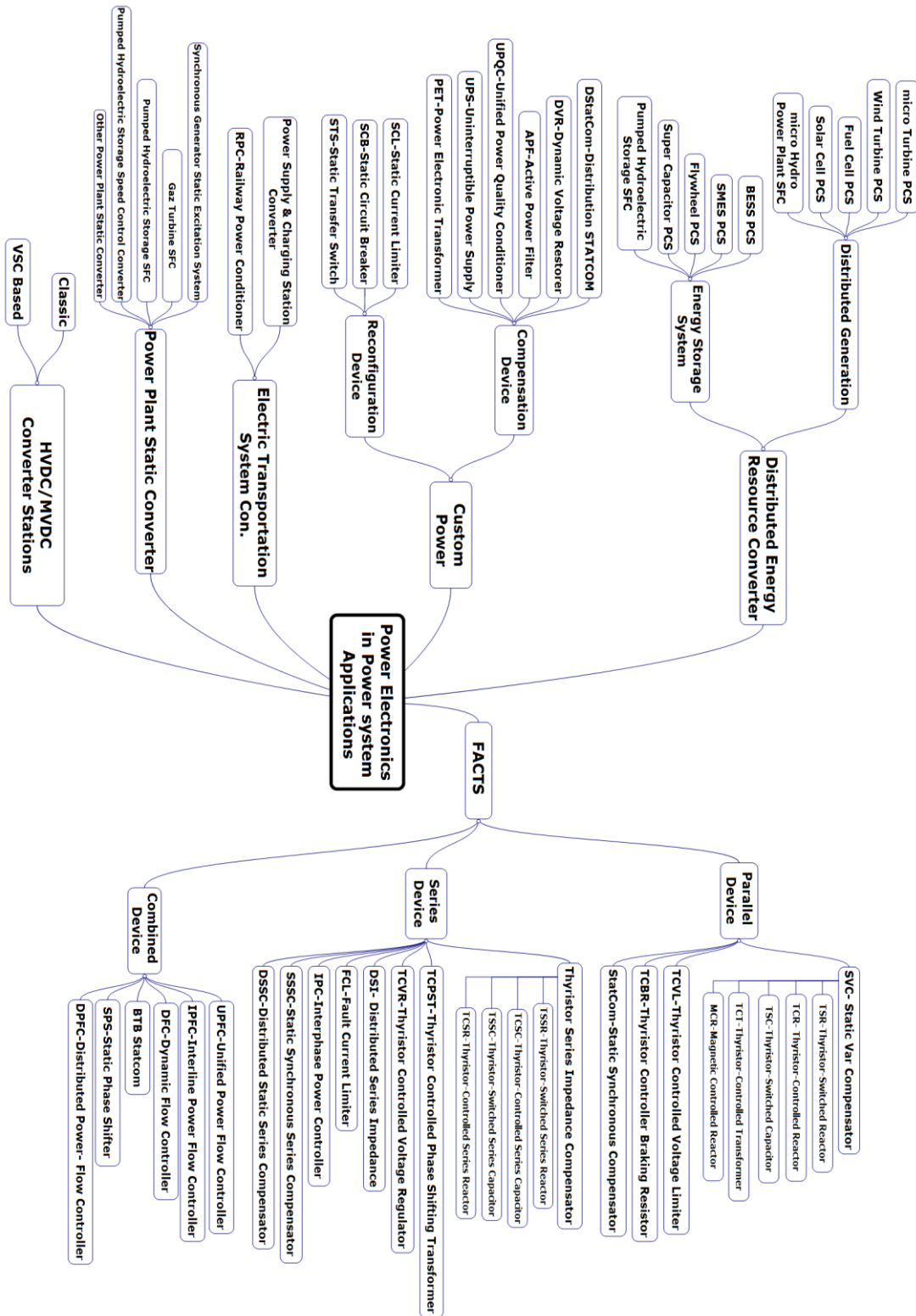
آخرین دسته‌بندی ادوات FACTS مربوط به ادواتی است که دارای بیش از یک نقطه اتصال سه فاز شبکه هستند. ادوات این دسته عبارتند از

UPFC-IPFC-DFC-SPS-BTB Statcom-DPFC

در بخش مبدل‌های منابع تولید پراکنده تقسیم‌بندی شامل دو شاخه است که عبارتند از مبدل‌های مربوط به مولدهای تولید پراکنده و مبدل سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی. در بخش تولید پراکنده به مبدل پنل‌های خورشیدی، توربین بادی، میکروتوربین و توربین‌های آبی کوچک اشاره شده است و نهایتاً در بخش ذخیره‌سازی انرژی سیستم شکل‌دهنده توان برای باتریها، چرخ‌طیارها، ابرخازنها، ذخیره‌سازهای ابر رسانای مغناطیسی و مبدل فرکانسی سیستم تلمه ذخیره ای اشاره شده است.

در خصوص شاخه مربوط به انتقال DC به دو تکنولوژی ساخت مبدل آن شامل مبدل‌های تریستوری و مبدل‌های منبع ولتاژ اشاره شده است.

شاخه‌ی دیگر مربوط به مبدل‌های مورد نیاز در سیستم سامانه حمل و نقل برق می‌شود که تقسیم بندی شامل مبدل‌های مورد نیاز سیستم تغذیه و تجهیزات به‌ساز توان شبکه برق سامانه ریلی است. شاخه‌ی آخر مربوط به مبدل‌های استاتیکی نیروگاهی است. در فصل بعد کلیه تجهیزات معرفی شده در درخت فناوری به اختصار مورد بررسی قرار خواهند گرفت.



شکل (۱-۱): درخت فناوری

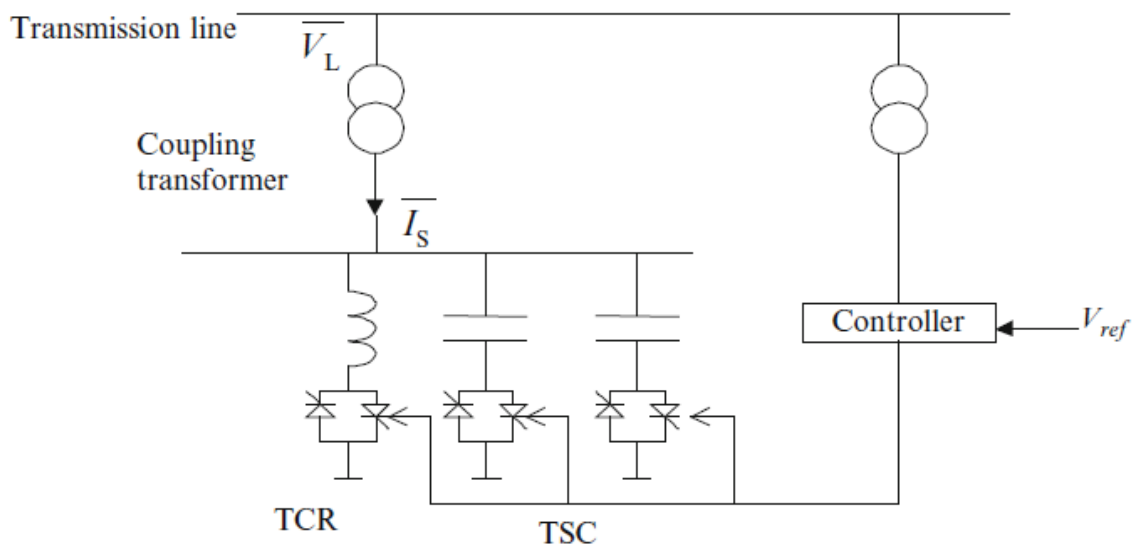
## فصل دوم

### اجزاء درخت فناوری

## ۱-۲- ادوات FACTS

### ۱-۱-۲- جبران‌ساز استاتیک توان راکتیو<sup>۱</sup> (SVC)

کاربرد اصلی SVC تنظیم و جبران توان راکتیو است که در کنار آن کنترل ولتاژ نیز صورت می‌گیرد. اولین نمونه SVC در آمریکا و در دهه ۷۰ میلادی ساخته شد. میزان کاربرد SVC در جهان همواره شیب افزایشی داشته است. شکل (۱-۲) شمای کلی و ساده یک SVC را نشان می‌دهد.



شکل (۱-۲): شمای ساده از یک SVC

SVC تجهیزاتی است که بصورت موازی به شبکه متصل می‌شود. این تجهیز قابلیت جذب و تزریق توان راکتیو را دارد. ادوات FACTS موازی از جمله SVC وقتی در میانه یک خط انتقال نصب می‌شوند، نقش بسیار مهمی در کنترل توان راکتیو شبکه قدرت و بالا بردن پایداری ولتاژ و پایداری حالت گذرا ایفا می‌کنند.

<sup>1</sup> - Static Var Compensator

یک SVC معمولاً متشکل از چندین شاخه است که ساختارهای متداول این شاخه ها عبارتند از:

۱- راکتور کنترل شده با تریستور (TCR)

۲- خازن سوئیچ شونده با تریستور (TSC)

۳- فیلترهای استاتیک

۴- بانکهای خازنی

SVC در صنعت امروز دنیا، دوره بلوغ را در چرخه عمر خود طی می کند و بسیاری از سازندگان معتبر فناوری ساخت آن را در اختیار دارند. نصب SVC در اروپا به خصوص با نفوذ مولدهای تجدیدپذیر در حال افزایش است.

از جمله پیشرفتهای اخیر در ساخت SVC ساخت نمونه های قابل جابجایی (RSVC) است. RSVC حائز ویژگی های SVC بوده و با تغییرات سطح ولتاژ و... شبکه هماهنگ می شود. در حال حاضر نیازی که در طراحی SVC حس می شود این است که تا حد امکان کوچک سازی و فشرده سازی انجام شود که به صورت عملی قابلیت جابجایی آنها فراهم شود. تخمین زده می شود که RSVC ها در ۴۰ سال ۵ بار جابجا شوند.

- ترانسفورماتور کنترل شونده با تریستور (TCT)

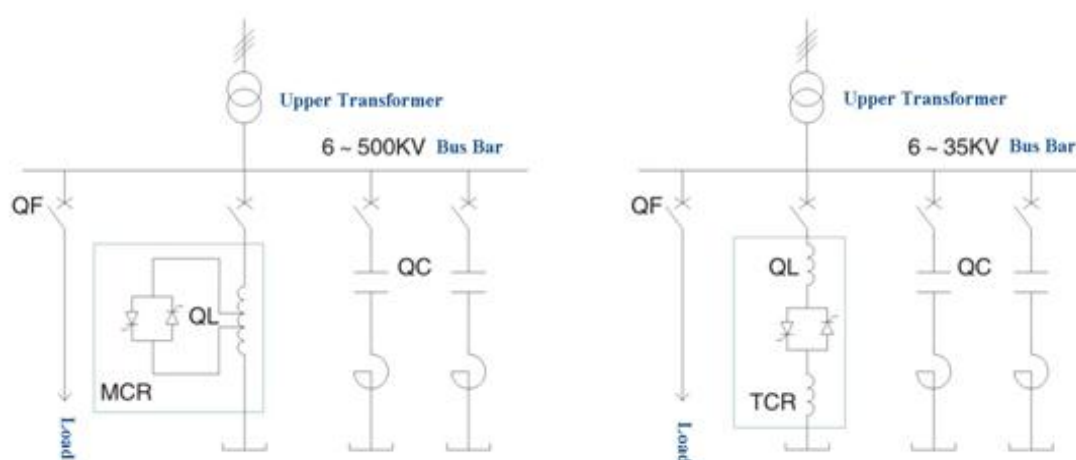
TCT نوع خاصی از ترانسفورماتور است که به گونه ای طراحی می شود که راکتانس نشتی زیادی داشته باشد. سیم پیچهای ثانویه این ترانسفورماتور به کمک جفت سوئیچهای تریستوری کنترل می شوند. زوایای آتش مختلف تریستورها می تواند توان راکتیو متغیری را تولید کند. ساخت SVC با ساختار TCT صرفه جویی در هزینه ترانسفورماتور و راکتور را به همراه دارد چرا که هر دو را در یک تجهیز خلاصه می کند. در ضمن هسته آهنی TCT می تواند حجم بیشتری از توان راکتیو را جذب نماید که در TCR با هسته هوا امکانپذیر نیست.

عیب اساسی SVC بر اساس TCT سرمایه اولیه زیادی است که برای ساخت یک ترانسفورماتور خاص لازم است. علاوه بر این، از آنجا که خازنها و فیلترها باید مستقیماً روی باس ولتاژ بالا نصب شوند، مقادیر نامی این عناصر نیز باید در سطح فشار قوی باشد که باعث افزایش قیمت می شود.



- راکتور کنترل شونده مغناطیسی (MCR)

راکتور کنترل شونده مغناطیسی تکنولوژیی است که در روسیه متولد شده و تا کنون در سایتهای مختلف تست شده است. این تکنولوژی در روسیه، اوکراین، چین و برزیل در سطوح ولتاژ از 20kV تا 1150kV نصب شده است. SVC با شاخه MCR در واقع یک راکتور هسته آهنی با امکان کنترل توان راکتیو سلفی است. شکل (۲-۲) ساختار SVC با شاخه TCR و MCR را نشان می دهد.



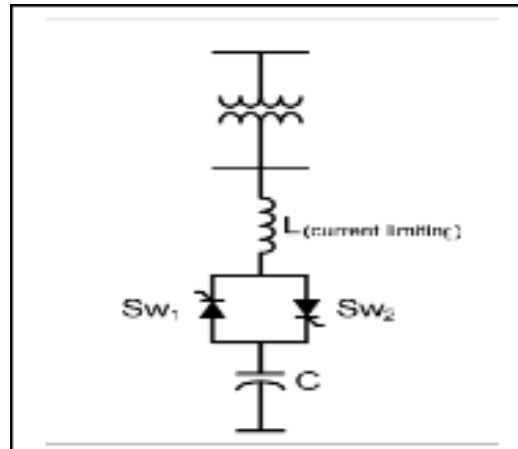
شکل (۲-۲): مقایسه ساختار SVC با TCR و MCR

### خازن قابل کلیدزنی تریستوری<sup>۱</sup> (TSC):

در TSC یک جفت ولو تریستوری موازی-معکوس<sup>۲</sup>، به صورت سری با خازن و یک راکتور کوچک قرار گرفته اند. راکتور کوچک به منظور محدود کردن جریان و حفاظت خازن از تغییرات ناگهانی ولتاژ مورد استفاده قرار می گیرد. بر خلاف TCR کنترل پیوسته زاویه ی آتش صورت نمی گیرد بلکه جفت ولو تریستوری در حالت قطع و یا وصل کامل قرار می گیرند. ادمیتانس خروجی TSC به صورت خازنی است. از آنجا که زاویه ی آتش تریستورها در ۹۰ و ۱۸۰ درجه قرار می گیرد لذا هیچگونه هارمونیککی توسط این تجهیز ایجاد نمی شود. دلیل اصلی استفاده از این تجهیز جبران سازی ولتاژ است و یکی از تجهیزات پر کاربرد است. TCR ساختار کنترلی ساده ای مانند سایر تجهیزات سوئیچ شونده ی دیگر دارد. شکل (۲-۳) شمای مداری این تجهیز را نشان می دهد.

1 - Thyristor Switched Capacitor

2 - Anti parallel



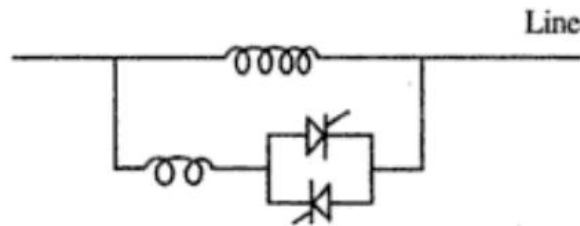
شکل (۲-۳): شمای مداری TSC

تجهیز SVC به صورت وسیعی در دنیا کاربرد دارد. شبکه برق فنلاند بعد از سال ۲۰۰۰ با توجه به افزایش شدید تولید، احداث خطوط HVDC در شبکه و حضور خازن‌های سری از یک SVC برای ارتقای پایداری دینامیکی شبکه استفاده کرده است. وظیفه تعریف شده برای این SVC، میراسازی نوسانات میان ناحیه‌ای الکترومکانیکی است. SVC نصب شده شامل دو واحد TSC، دو واحد TCR و سه بانک فیلتری در باس SVC Kangasala با ظرفیت  $240/+200$  MVAR است.

به عنوان مثالی دیگر از کاربرد عملی ادوات FACTS می‌توان به نصب یک SVC با ظرفیت خازنی ۲۰ MVAR و بانک‌های خازنی ۱۰ MVAR (با پله‌های ۵/۲ MVAR) در نزدیکی یک مزرعه باد (بنام Starfish Hill) در استرالیا اشاره کرد که برای تعادل با انرژی‌های تجدید پذیر نصب شده است. مطابق استانداردهای شبکه در استرالیا، در صورت وقوع اتصال کوتاه سه فاز در نزدیک توربین‌های باد، این توربین‌ها باید تا زمان رفع عیب (توسط ادوات حفاظتی شبکه) در مدار بمانند. شبکه برق استرالیا، از یک SVC برای کنترل ولتاژ (و تزریق توان راکتیو) در هنگام وقوع خطا استفاده کرده است. البته این SVC در حالت دائمی نیز می‌تواند در کنترل ولتاژ مشارکت داشته باشد، اما همواره بایستی توان راکتیو ذخیره برای حالت گذرا در اختیار داشته باشد. البته باید در نظر داشت که تغییرات سرعت باد، منجر به تغییرات توان اکتیو و راکتیو خروجی ماشین‌های القایی متصل به توربین‌های بادی خواهد شد. این موضوع ممکن است به نوسانات ولتاژ منجر شود که SVC مورد نظر در کنار بانک‌های خازنی سوئیچ شونده مکانیکی (MSC) سعی در کاهش این نوسانات خواهد داشت.

## ۲-۱-۲- راکتور سری کنترل شده‌ی تریستوری<sup>۱</sup> (TCSR)

این تجهیز یک جبران‌کننده راکتانس سلفی است و از یک سلف سری که به صورت موازی با سلف کنترل شده‌ی تریستوری قرار گرفته تشکیل شده‌است. شمای مداری TCSR در شکل (۲-۴) آمده است.



شکل (۲-۴): شمای مداری یک TCSR

یک TCSR می‌تواند راکتانس سلفی با تغییرات پیوسته و آرام را به وجود آورد. به عبارت دیگر با تغییر زاویه‌ی آتش به صورت پیوسته از زاویه ۹۰ تا ۱۸۰ درجه و کنترل آن می‌توان راکتور کنترل شده‌ای را ایجاد نمود. هنگامی که زاویه‌ی آتش راکتور کنترل شده، برابر با ۱۸۰ درجه است، در این حالت راکتور در حالت قطع قرار گرفته و راکتور غیر قابل کنترل می‌تواند به عنوان محدود کننده‌ی خطا در نظر گرفته شود. زمانیکه زاویه به کمتر از ۱۸۰ درجه می‌رسد، اندوکتانس معادل، حاصل موازی شده‌ی دو راکتور است و هرچه میزان زاویه به ۹۰ درجه نزدیکتر شود راکتانس معادل کمتر می‌شود و در زاویه‌ی ۹۰ درجه مقدار راکتور سری معادل کمترین مقدار خواهد بود [۸].

## ۲-۱-۳- راکتور سری قابل کلیدزنی تریستوری<sup>۲</sup> (TSSR)

TSSR یک جبران‌کننده سری راکتانس سلفی است. این تجهیز یک راکتور موازی شده با راکتور قابل کلیدزنی تریستوری است. با استفاده از تعدادی از این تجهیز امکان ایجاد پله‌های سلفی مختلف فراهم می‌شود. ساختار و مدار معادل این تجهیز مشابه با TCSR است با این تفاوت که کلیدهای تریستوری دو جهته یا در حالت روشن و یا در حالت خاموش قرار می‌گیرند. به

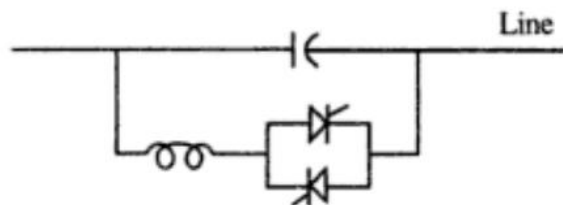
1 - Thyristor controlled series reactor

2 - Thyristor switched series reactor

عبارت دیگر TSSR حالتی خاص از حالت‌های عملکردی TCSR در زاویای ۱۸۰ و یا ۹۰ درجه است. با کاهش پیچیدگی سیستم کنترل و سیستم ایجاد زاویه‌ی آتش پیوسته قیمت تمام شده‌ی این تجهیز به نسبت TCSR کمتر است [۸].

## ۲-۱-۴- خازن سری قابل کلیدزنی تریستوری<sup>۱</sup> (TSSC)

TSSC یک جبران کننده‌ی راکتانس سری خازنی است و از یک بانک خازنی موازی شده با شاخه‌ی راکتور قابل کلیدزنی تریستوری تشکیل شده است. با استفاده از این تجهیز امکان ایجاد پله‌های مختلفی از امپدانس خازنی فراهم می‌شود. کنترل پیوسته‌ی امپدانس سری صورت نمی‌گیرد، بلکه زاویه‌ی آتش تریستورها تنها می‌تواند در حالت ۹۰ و یا ۱۸۰ درجه قرار گیرد. این امر سبب کاهش پیچیدگی و هزینه‌ی کنترل پیوسته‌ی زاویه‌ی آتش می‌شود. در زاویه‌ی ۹۰ درجه سلف به طور کامل در مدار بوده و در زاویه‌ی ۱۸۰ درجه سلف در حالت قطع قرار می‌گیرد. شمای مداری یک TSSC در شکل (۲-۵) نشان داده شده است.



شکل (۲-۵): شمای مداری یک TSSC

## ۲-۱-۵- خازن سری کنترل شده‌ی تریستوری<sup>۲</sup> (TCSC)

در این تجهیز مانند TSSC خازن با سلف کنترل شده‌ی تریستوری موازی می‌شود. در این صورت امکان کنترل پیوسته‌ی راکتانس سری فراهم می‌شود. زاویه‌ی آتش سلف کنترل شده می‌تواند از ۹۰ تا ۱۸۰ درجه به صورت پیوسته کنترل شود. همانطور که پیشتر بیان شد، ساختار مداری TCSC مشابه TSSC است و تنها در سیستم کنترلی تفاوت دارند. به عبارت دیگر

1 - Thyristor Switched Series Capacitor

2 - Thyristor Controlled Series Capacitor

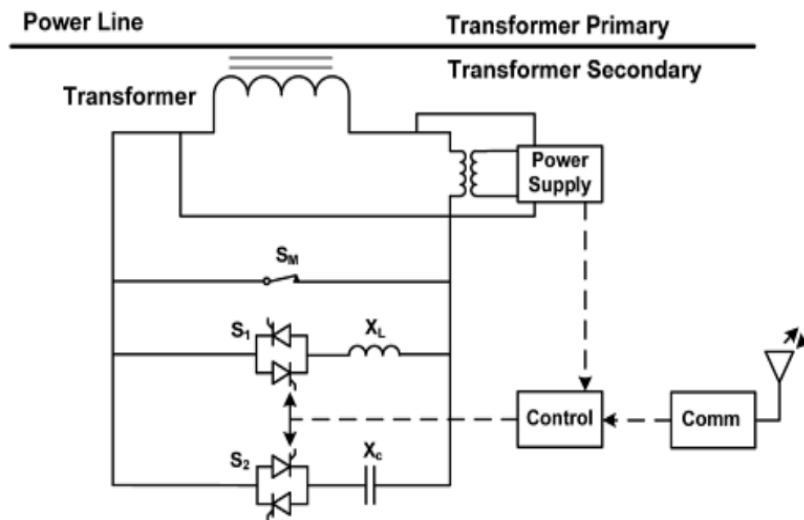
TSSC عملکرد TCSC در زاویه‌ی عملکردی ۹۰ و یا ۱۸۰ درجه است. البته می‌توان آرایش قرار دادن مازول‌ها را طوری در نظر گرفت که تعدادی از آنها به صورت کنترل شده (مانند TCSC) و مابقی مانند TSSC تنها قابلیت سوئیچ داشته باشند. به عنوان یکی از کاربردهای ادوات جبران سازی سری، به استفاده از آنها جهت محدود کردن جریان خطا می‌توان اشاره کرد. تجهیزات مختص این کار بر مبنای جبران سازی سری هستند و نمونه‌های آن (TPSC) در سه پروژه خط انتقال 500KV در کالیفرنیا جنوبی نصب شده‌اند.

## ۲-۱-۶- امپدانس سری توزیع شده (DSI)

امپدانس سری توزیع شده می‌تواند گذر توان اکتیو را با تغییر امپدانس خط کنترل نماید. این تجهیز می‌تواند از طریق انتقال توان عبوری از خطی که با اضافه بار روبرو است به خطی که در بار کمتری از ظرفیت خود قرار دارد عملکرد شبکه را بهبود دهد.

جبران سازی خازنی خطی که باری کمتر از ظرفیت نامی خود دارد سبب می‌شود جریان بیشتری از آن عبور نماید و جبران سازی سلفی در خطوطی که با اضافه بار مواجه هستند، باعث کاهش جریان آنها می‌شود. در هر دو حالت شرایط بهره‌برداری سیستم بهبود می‌یابد، زیرا توان از خطی که بیش از توان نامی خود مورد بهره‌برداری قرار گرفته است به خطی که باری کمتر از مقدار نامی خود دارد انتقال می‌یابد.

تزریق سری امپدانس در هر مازول سیستم DSI از طریق یک ترانسفورماتور تک سیم پیچه انجام می‌گیرد. هادی خط به عنوان سیم پیچی دیگر این ترانسفورماتور به حساب می‌آید. شکل (۲-۶) شمای مداری یک مازول امپدانس توزیع شده را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۶): شمای مداری یک ماژول DSI

مطابق این شکل، ترانسفورماتور تک سیم پیچه از طریق سوئیچ الکترومکانیکی  $S_M$  بایس شده و از مدار خارج می شود و در زمان مورد نیاز با باز شدن کلید  $S_M$ ، امکان تزریق امپدانس مورد نیاز فراهم می شود.

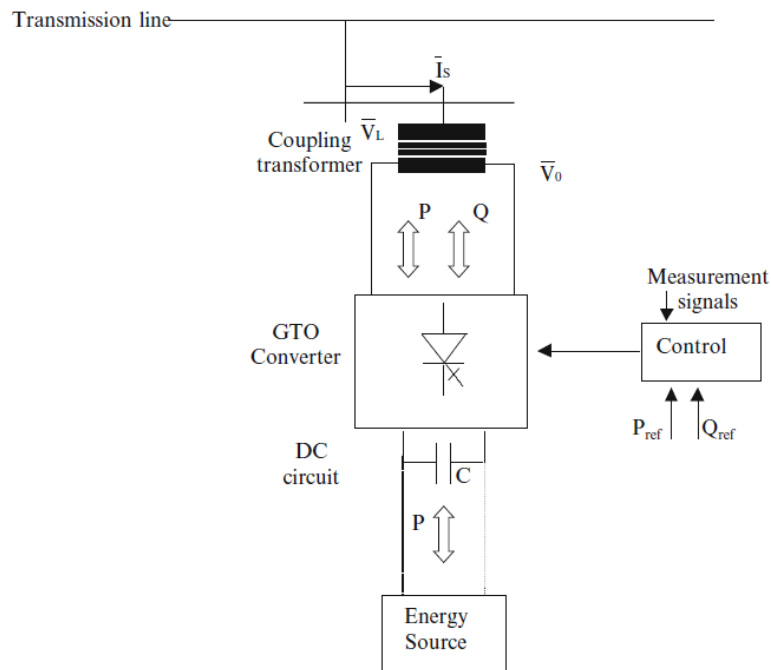
کلید دو جهته  $S_1$  جهت تزریق امپدانس سلفی و کلید  $S_2$  جهت تزریق امپدانس خازنی مورد استفاده قرار می گیرند.  $X_L$  امپدانس در حالت سلفی و  $X_C$  امپدانس در حالت خازنی را نشان می دهد. با نسبت تبدیل مناسب در طرف ثانویه ترانسفورماتور (مانند ۱:۲۵) مقدار جریان ثانویه می تواند به مقدار مناسبی کاهش یابد. با کاهش این جریان، امکان استفاده از کلیدهایی با نرخ جریانی کوچکتر فراهم می شود.

در DSI به کنترلی دو جهته نیاز است که تحقق آن از طریق واسط مخابراتی میسر می شود تا در زمان مورد نیاز جبران سازی توسط ماژول و یا ماژول های خاصی انجام شد. نیاز به سیستم های ارتباطی و مخابراتی سطح دیگری از پیچیدگی را به این تجهیز می افزاید.

## ۲-۱-۷- جبران ساز استاتیکی (StatCom)

جبران کننده سنکرون استاتیک (SSC یا Statcom) در واقع نمونه پیشرفته SVC است. در حال حاضر حدود ۲۰ عدد Statcom در دنیا نصب شده است. Statcom بر خلاف SVC برای تولید توان راکتیو از سلف یا خازن استفاده نمی کند بلکه تولید توان راکتیو در آن به صورت داخلی و توسط الگوی کلید زنی سوئیچهای GTO انجام می شود. این تجهیز، تجهیزاتی بر مبنای مبدل منبع ولتاژ است (VSC) و از کانورترهای GTO به همراه یک خازن ذخیره کننده انرژی DC برای تولید یک ولتاژ سنکرون استفاده می کند. توانمندی STATCOM با کاربرد سیستم ذخیره ساز انرژی مناسب بجای خازن توسعه می یابد. شکل (۲-۷) شمای ساده از یک STATCOM را نشان می دهد.

تجهیز STATCOM تاکنون به صورت وسیعی در دنیا مورد استفاده قرار گرفته است. شبکه برق ژاپن تجهیز STATCOM را برای ارتقای پایداری و رگولاسیون ولتاژ در انتهای خطوط انتقال در نظر گرفته است و با انجام مطالعاتی نظیر میزان توان موهومی انتظاری پیش فاز برای ارتقای پایداری و میزان توان موهومی انتظاری پس فاز برای ارتقای رگولاسیون ولتاژ، ظرفیت مناسب STATCOM را محاسبه کرده است و در باس Toshin قرار داده است. در واقع تجهیز FACTS مستقر شده در باس Toshin که از نوع جبران سازهای موازی STATCOM است، به صورت مجازی طول الکتریکی خط متصل کننده نیروگاه JPP ژاپن و سیستم قدرت آن را کاهش داده و باعث کاهش اختلاف زاویه میان نیروگاه JTPP و شبکه انتقال ژاپن می گردد و از این طریق حاشیه پایداری زاویه ای بیشتری را فراهم می کند.



شکل (۲-۷): شمای ساده از یک STATCOM

به عنوان کاربردی عملی از تجهیزات FACTS، می‌توان به نصب STATCOM در کارخانه فولاد EAF برای در بهبود کیفیت توان اشاره کرد. این کارخانه برای افزایش ظرفیت تولید خود، نیازمند تصحیح کیفیت توان مصرفی خود است به گونه‌ای که دارای فلیکر و کنترل ولتاژ مؤثری باشد. این شرکت به دلیل سطح اتصال کوتاه کم در باس PCC به عنوان منبع اغتشاشات در ناحیه محلی خود شناخته می‌شود. همچنین، این شرکت توان راکتیو زیادی نیز از شبکه ۱۱۰KV جذب می‌کند. برای برطرف کردن مشکلات فوق از یک STATCOM با ظرفیت ۱۶۴ مگاوار استفاده شده است.

## ۲-۱-۸- جبران کننده سری سنکرون استاتیک<sup>۱</sup> (SSSC)

TCSC توان راکتیو را با عناصر ذخیره کننده انرژی (سلف یا خازن) تولید یا مصرف می‌کند. روش دیگر برای تولید یا جذب توان راکتیو استفاده از سوئیچهای GTO بجای تریستور است. همان طور که Statcom نوع پیشرفته SVC محسوب می‌شود این تجهیز نیز نوع پیشرفته TCSC به حساب می‌آید.  $S^3C$  تا کنون به صورت مستقل و به طور عملی استفاده نشده است و تا

<sup>۱</sup> - Static Synchronous Series Compensator



این زمان فقط در ادوات ترکیبی مانند UPFC و IPFC به کار رفته است. یک ساختار خطی از  $S^3C$  در شکل (۲-۸) نشان داده شده است. بر خلاف خازن سری،  $S^3C$  می‌تواند در صورت ترکیب با ذخیره‌ساز انرژی حتی توان اکتیو نیز با سیستم مبادله کند. که این عمل را با کنترل زاویه ولتاژ تزریقی در مقایسه با زاویه خط انجام می‌دهد.

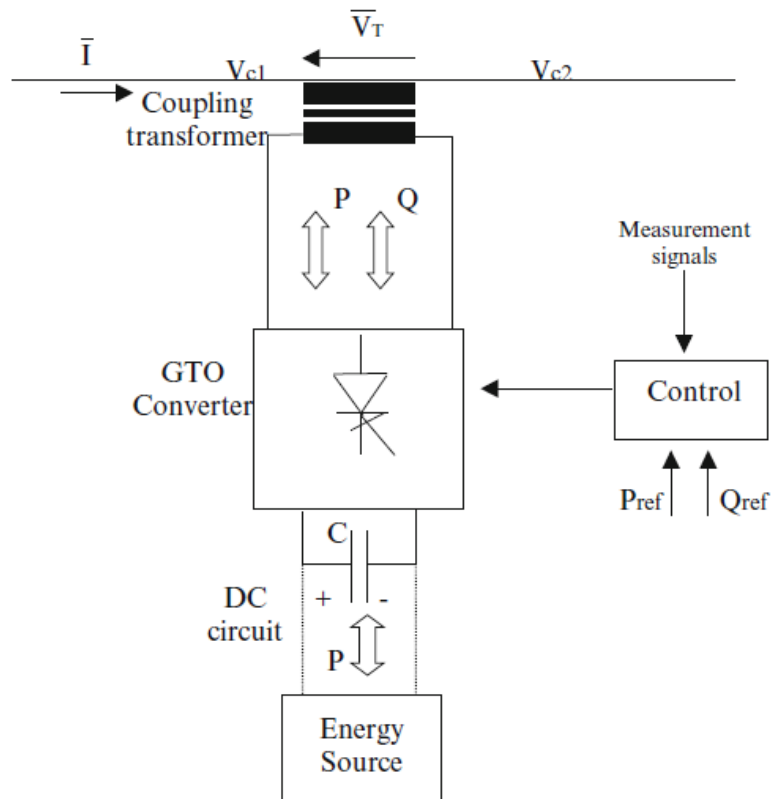
منحنی مشخصه امپدانس خروجی  $S^3C$  بر حسب امپدانس آن در تمام فرکانس‌ها بجز فرکانس اصلی کارش به صورت یک سلف کوچک است. بنابراین  $S^3C$  نمی‌تواند در هیچ فرکانسی با سلف خط انتقال تشکیل یک مدار رزونانسی سری را بدهد. از طرف دیگر سرعت پاسخ  $S^3C$  هم بسیار زیاد است و بنابراین می‌تواند در از بین بردن نوسان‌های زیر سنکرون سیستم موثر باشد.

در یک سیستم انتقال  $S^3C$  دو کارکرد را بر عهده دارد:

اول اینکه توان راکتیو را جبران‌سازی کند،

دوم اینکه پایداری گذرا را بهبود بخشد.

عملکرد دوم سیستم  $S^3C$  ناشی از قابلیت آن در افزایش حداکثر توان قابل انتقال خط است. برای افزایش حداکثر توان اکتیو قابل انتقال  $S^3C$  به طور مناسبی راکتانس خط را تغییر می‌دهد. چون کنترل سیستم قدرت یک مسئله غیرخطی است، بنابراین یک کنترل کننده غیرخطی برای  $S^3C$  نیاز است که در مقالات و مجلات متعدد در مورد آن بحث شده است. برخلاف کنترل کننده‌های خطی ناحیه عملکرد کنترل کننده‌های غیرخطی سیستم  $S^3C$  محصور به همسایگی نقطه کار ژنراتور نیست، بلکه شامل سراسر ناحیه عملکردی آن است.

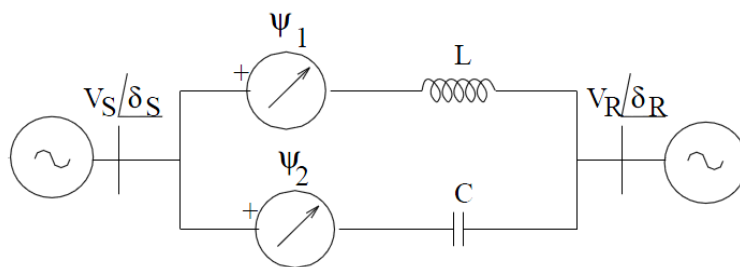
شکل (۲-۸): شمای ساده از یک  $S^3C$ 

به عنوان یکی از کاربردهای احتمالی ادوات SSSC به کنترل پخش بار شبکه می‌توان اشاره کرد. مطالعه صورت گرفته توسط شبکه انتقال 200 Kv اسپانیا نشان دهنده الزام نصب تجهیز SSC (Synchronous Series Compensator) برای کنترل پخش بار شبکه انتقال اسپانیا در آینده است. در شبکه برق پرتغال، به دلیل آنکه پیش‌بینی می‌شود منابع تجدیدپذیر فراوانی در آینده، نصب خواهند شد، برای جلوگیری از اضافه بارهای ناخواسته (در اثر عدم قطعیت تولید منابع بادی) از SSSC برای تثبیت میزان توان عبوری حالت دائم از خطوط انتقال استفاده خواهد شد.

## ۲-۱-۹- جبران کننده سری بین فاز<sup>۱</sup> (IPC)

ادوات FACTS قابلیت عملکرد سریع و انعطاف پذیر را به شبکه می بخشد. در بعضی از کاربردها قابلیت انعطاف از سریعتر بودن مهمتر است. به عنوان مثال در شبکه‌هایی که نسبت به تغییرات فصلی و روزانه‌ی بار حساس هستند، تنظیم گذر توان در حالت دائم بسیار با اهمیت است.

ایده‌ی کنترل کننده‌ی گذر توان بین فاز به منظور اتصال سری امپدانس، بین فازهای مختلف دو شبکه و یا زیر شبکه‌ی سنکرون مطرح شده است. یک IPC از راکتورها و خازن‌های سه فاز تشکیل شده است که هر یک از آنها به صورت سری با زیر شبکه‌های متصل قرار می گیرند. شکل (۲-۹)، مدار معادل یک IPC را نشان می دهد.



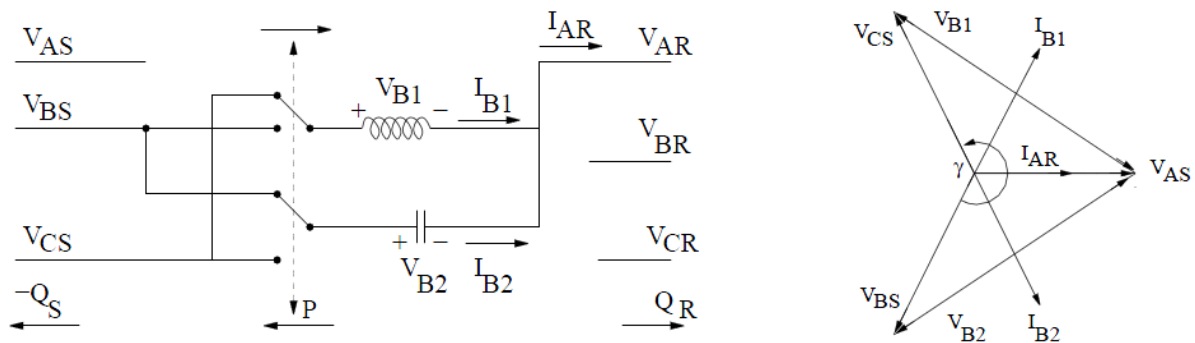
شکل (۲-۹): مدار معادل یک IPC

در این شکل  $\delta_S$  و  $\delta_R$  به ترتیب زوایای ولتاژ سمت فرستنده و دریافت کننده‌ی توان را نشان می دهند و  $\psi_1$  و  $\psi_2$  تغییر فاز ایجاد شده از عملکرد IPC را نشان می دهند. در IPC غیر متشابه با ادوات سری دیگر، یک فاز از یک شبکه می تواند به فازهای غیر متناظر شبکه‌ی دیگر اتصال یابد. به عنوان مثال فاز A شبکه‌ی فرستنده‌ی توان می تواند به فازهای B و C شبکه‌ی دریافت کننده‌ی توان متصل شود. این قابلیت منجر به انتقال توان حتی در زمانیکه اختلاف زاویه‌ی بین طرف فرستنده و گیرنده صفر است ( $\delta_S - \delta_R = 0$ ) نیز شود.

در ابتدا دو مدل از IPC به نام‌های IPC240 و IPC120 پیشنهاد شده اند. شکل (۲-۱۰)، شمای مداری IPC240 را نشان می دهد. در این شکل تنها چگونگی عملکرد یک راکتور و خازن نشان داده شده است. چگونگی اتصال دیگر راکتورها و خازن‌ها مشابه این دو راکتور و خازن است. سوسپتانس‌ها به مجموعه‌ای از کلیدها اتصال می یابند. این مجموعه از کلیدها باید

<sup>1</sup> - Interphase power controller

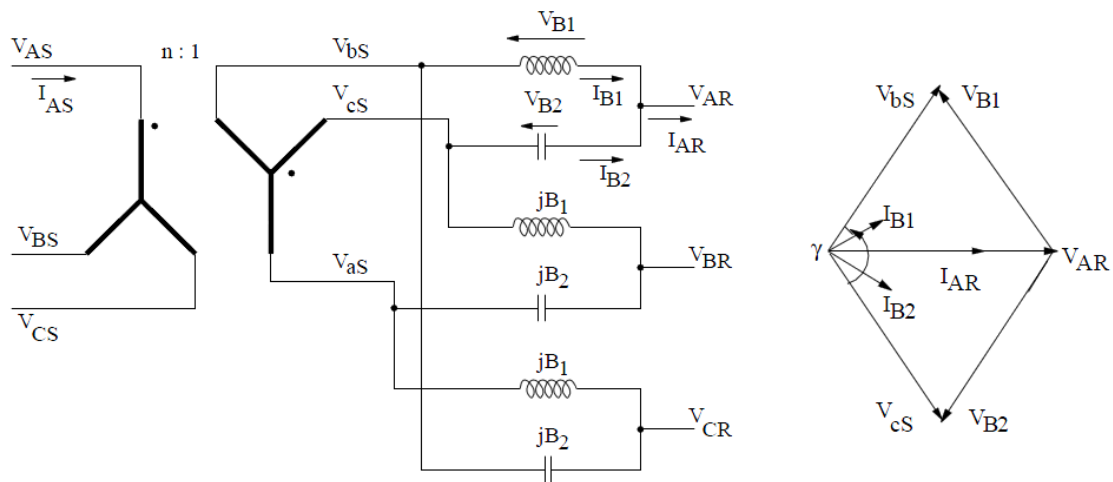
قابلیت عبور و کنترل توان در هر دو جهت را داشته باشند. گذر توان مثبت زمانیکه گذر توان از سمت فرستنده (S) به سمت دریافت کننده (R) است، تعریف می شود. در گذر توان مثبت سوسپتانس های  $B_1$  و  $B_2$  به ترتیب به  $V_{CS}$  و  $V_{BS}$  مطابق شکل (۲-۱۰)، متصل می شوند. هنگامیکه گذر توان معکوس مطلوب باشد، سوسپتانس های  $B_1$  و  $B_2$  به ترتیب به  $V_{BS}$  و  $V_{CS}$  اتصال می یابند. IPC نشان داده شده در شکل (۲-۱۰) به دلیل اینکه ولتاژهای اتصال سوسپتانس های  $B_1$  و  $B_2$  با یکدیگر اختلاف فاز  $۲۴۰$  درجه دارند، IPC240 نامیده می شود. جریان فازی  $I_{AR}$  مجموع جریان های  $I_{B1}$  و  $I_{B2}$  (جریان در دو سوسپتانس) است.



شکل (۲-۱۰): شمای مداری یک IPC240

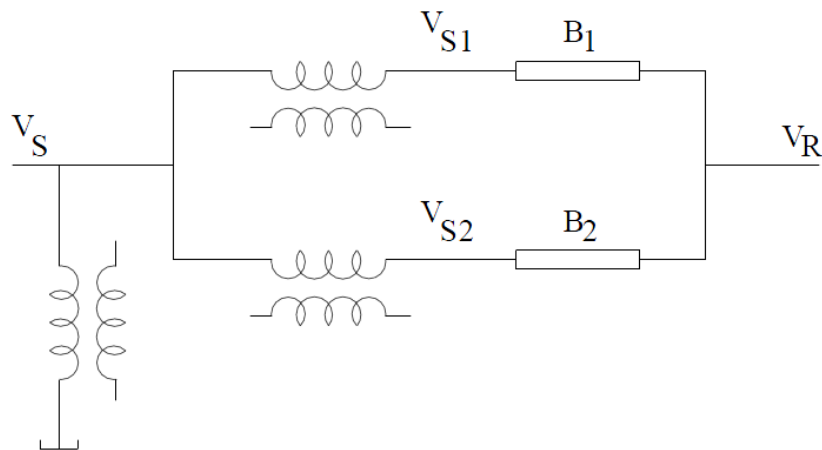
دیگرام فازوری برای حالت  $\delta_{SR} = \delta_S - \delta_R = 0$  نیز در شکل (۲-۱۰) نشان داده شده است که در آن  $I_{B1}$  از ولتاژ  $V_{AR}$  به اندازه  $۶۰$  درجه جلوتر و  $I_{B2}$  از آن  $۶۰$  درجه عقبتر است.

به منظور بهبود ضریب توان دو جریان  $I_{B1}$  و  $I_{B2}$  نوع دیگری از IPC به نام IPC120 پیشنهاد شده است که در آن از یک ترانسفورماتور تغییر دهنده فاز  $۱۸۰$  درجه Y-y6 استفاده شده است. ساختار مداری مدار این نوع از IPC در شکل (۲-۱۱) نشان داده شده است. امکان کنترل هر دو متغیر توان اکتیو و راکتیو از طریق تغییر سوسپتانس های  $B_1$  و  $B_2$  وجود دارد.



شکل (۲-۱۱): ساختار مداری یک IPC120

جهت کاهش نرخ توانی IPC که منجر به کاهش تلفات و هزینه‌ی آن می‌شود، اصلاحاتی بر IPC انجام شده‌است. از مهمترین تغییرات، استفاده از ترانسفورماتورهای تغییر دهنده‌ی فاز (PST) به منظور اعمال ولتاژهای تغییر فاز شده به سوسپتانس‌ها است. شکل (۲-۱۲)، شمای مداری این تزریق ولتاژ در IPC را نشان می‌دهد، که در آن ولتاژهایی به صورت سری با دو سوسپتانس تزریق می‌شوند. در این صورت نیاز به مقادیر کوچکتري از سوسپتانس است که منجر به کاهش تلفات، فضای مورد نیاز و هزینه می‌شود. این مسائل در خطوط با ولتاژ بالا اهمیت بیشتری می‌یابند [۹].



شکل (۲-۱۲): تزریق ولتاژ با استفاده از ترانسفورماتور تغییر دهنده‌ی فاز

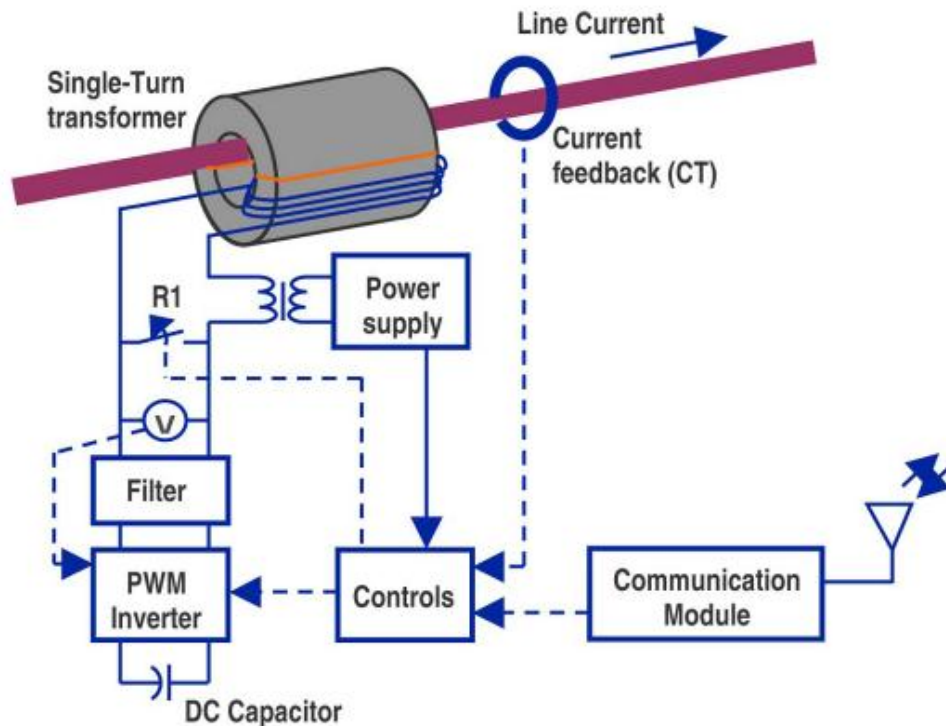
## ۲-۱-۱۰- جبران کننده‌ی سری استاتیکی توزیع شده<sup>۱</sup> (DSSC)

ایده‌ی استفاده از DSSC جهت تسریع در ادوات FACTS و D-FACTS توزیع شده مطرح شده است که باعث کنترل پذیری بهتر و افزایش قابلیت اطمینان سیستم می‌شود. شکل (۲-۱۳) شمای یک واحد DSSC را نشان می‌دهد. ساختار مدار از یک اینورتر تک فاز با نرخ توانی پایین (در حدود 10kVA)، یک ترانسفورماتور تک سیمه (STT)، سیستم کنترلی مرتبط با آن، مدارهای تغذیه‌ی توان و سیستم مخابراتی تشکیل شده است.

ترانسفورماتور STT جزء اصلی DSSC است. در این ترانسفورماتور هادی خط انتقال به عنوان سیم‌پیچی ثانویه است و همچنین تعداد سیم‌پیچ‌های بالای این ترانسفورماتور سبب عبور جریان پایین در این سیم پیچی شده و این جریان پایین استفاده از IGBTهای تجاری با نرخ توان کم را ممکن می‌سازد و در نتیجه باعث کاهش هزینه می‌شود.

هسته‌ی مغناطیسی می‌تواند خط انتقال را در بر بگیرد لذا نصب آن آسان است. مبدل از خط تغذیه شده و می‌تواند به طریقی کنترل شود تا ولتاژی عمود بر جریان خط، به خط تزریق کند. در هنگام بهره‌برداری عادی خط انتقال، ترانسفورماتور STT توسط ارتباط دهنده‌ی رله‌ای بایس می‌شود.

خط انتقال از دید اینورتر به عنوان منبع جریان القایی دیده می‌شود. مبدل تک فاز به کار رفته از چهار IGBT به همراه فیلتر LC خروجی و خازن باس DC تشکیل شده است. ولتاژ خروجی اینورتر از طریق روش PWM کنترل می‌شود و دارای دو جزء است. جزء متعامد با جریان، جهت جبران‌سازی و جزء هم فاز با جریان در جهت تأمین توان مبدل به کار می‌رود. دستورات کنترلی مربوطه از طریق خطوط مخابراتی PLC و یا به صورت بی سیم انتقال داده می‌شود [۱۰].



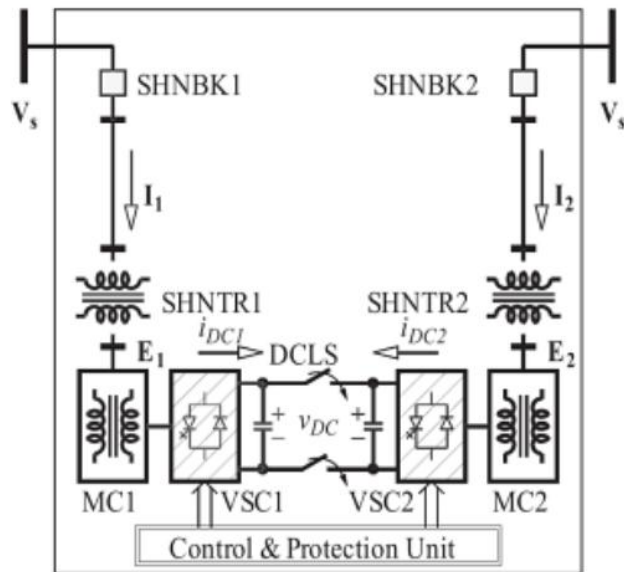
شکل (۲-۱۳): شمای مداری یک واحد از DSSC

## ۲-۱-۱۱- جبران ساز استاتیکی پشت به پشت (BTB StatCom)

جبران ساز استاتیکی پشت به پشت جهت انتقال نقطه به نقطه‌ی توان الکتریکی بین دو شبکه‌ی ایزوله و یا اتصال داخلی بین دو خط انتقال با ولتاژها و فرکانس‌های مختلف به کار می‌رود. همچنین دامنه و زاویه فاز ولتاژ خط انتقال می‌تواند از طریق جبران‌سازی موازی کنترل شود.

برای مبادله‌ی توان اکتیو توسط مبدل پشت به پشت حداقل به دو مبدل DC/AC منبع ولتاژ نیاز است. این دو مبدل به صورت پشت به پشت به یک خازن واسط DC، اتصال می‌یابند. BTB-Statcom می‌تواند جبران‌سازی توان راکتیو مستقل را در هر دو خط انجام دهد و لذا می‌تواند در تنظیم ولتاژ خط انتقال نیز مشارکت نماید.

شکل (۲-۱۴) یک BTB-STATCOM را شامل دو مبدل منبع ولتاژ که به یک لینک DC واحد اتصال داده شده‌اند نشان می‌دهد. هنگامیکه هر دو مبدل در این ساختار عمل می‌نمایند، توان مبادله شده بین آنها می‌تواند اکتیو و یا راکتیو باشد. به عبارت دیگر زاویه‌ی فاز جبران‌کننده می‌تواند در رنج‌های مختلف تغییر کند [۱۱].



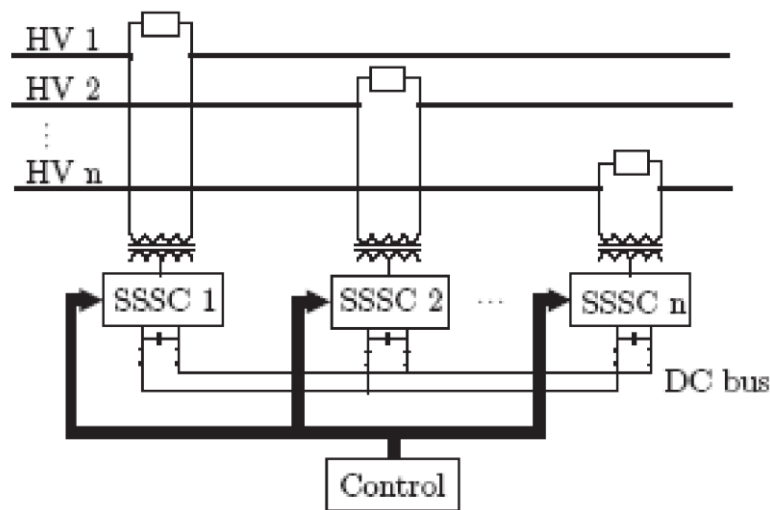
شکل (۲-۱۴): شمای مداری یک BTB-STATCOM

## ۲-۱-۱۲ - کنترل‌کننده پخش توان بین خطوط<sup>۱</sup> (IPFC)

کنترل‌کننده پخش توان بین خطوط از ترکیب حداقل دو جبران‌ساز سری حاصل می‌شود که تأثیر بسیار زیادی در کنترل پخش توان در خطوط انتقال دارد. IPFC و UPFC توسعه‌یافته دو ساختار ابتکاری و نو در جبران‌سازهای استاتیک ادوات FACTS هستند. دیاگرام تک خطی IPFC در شکل (۲-۱۵) نشان داده شده است. مطابق این شکل، IPFC از چند SSSC تشکیل شده که به طور همزمان کنترل شده و لینک DC آنها متصل به یکدیگر است.

<sup>۱</sup> - Interline Power Flow Controller





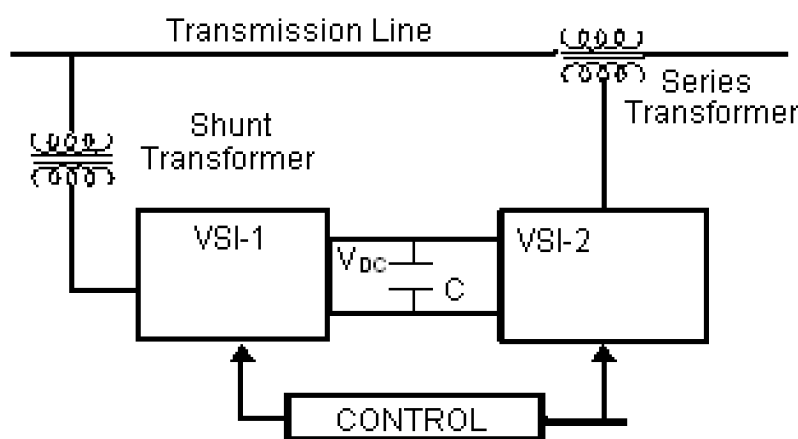
شکل (۲-۱۵): دیاگرام تک خطی IPFC

IPFC امکان کنترل توان اکتیو و راکتیو عبوری از خطوط را به طور همزمان و مستقل از هم فراهم می‌کند. فرآیند تزریق ولتاژ سری در هر یک از خطوط توسط IPFC یک قابلیت جبران‌ساز سری پیشرفته در خطوط منشعب از شینه مجهز به IPFC را فراهم می‌کند.

در واقع، IPFC به صورت تعدادی اینورتر با یک لینک DC عمل می‌کند که هر کدام به صورت یک جبران‌ساز سری عمل می‌کنند. از آنجائیکه هر اینورتر قادر است جبران‌سازی توان راکتیو را نیز انجام دهد، IPFC می‌تواند جبران‌سازی توان اکتیو و راکتیو در کل سیستم انتقال را کنترل و مدیریت کند. این قابلیت IPFC را قادر می‌سازد که توان اکتیو و راکتیو را بین خطوط تقسیم کرده و توان را از خط پربار به خط کم بار انتقال دهد و خطوط را در برابر افت ولتاژهای راکتیو جبران‌سازی نماید. همچنین سیستم را به طور مؤثری در برابر اختلالات دینامیکی پایدارتر می‌کند. در تأثیر IPFC روی پایداری حالت گذرا با استفاده از کنترل‌کننده‌های گوناگون پیشرفت زیادی به دست آمده است. اما همه این کنترل‌کننده‌ها مربوط به یک خط انتقال تنها است. IPFC معمولاً برای کنترل پخش بار در خطوط انتهایی استفاده می‌شود.

## ۲-۱-۱۳ - کنترل کننده یکپارچه پخش توان<sup>۱</sup> (UPFC)

کنترل کننده یکپارچه پخش توان یکی از ساختارهای همه‌کاره در خانواده FACTS است. محققان طرح‌های متفاوت و گوناگونی را برای UPFC در مقالات و نشریات مختلف ارائه داده‌اند. شکل (۲-۱۶) بلوک دیاگرام تک خطی UPFC را نشان می‌دهد که در یک شبکه سه فاز نصب شده است. UPFC شامل ۲ مبدل سه فاز بوده که طرف DC آن‌ها توسط یک خازن DC به هم متصل می‌شود. طرف AC مبدل موازی توسط ترانسفورماتور سه فاز به صورت موازی به شبکه قدرت متصل شده و طرف AC مبدل سری از طریق ترانسفورماتور سه فاز دیگری به صورت سری به خط متصل شده و ولتاژ سری را به خط تزریق می‌کند. با تغییر ولتاژ سری اعمالی توسط مبدل می‌توان توان‌های اکتیو و راکتیو عبوری از خط را تغییر و در مقادیر مشخصی تنظیم کرد. مبدل موازی نیز علاوه بر تأمین توان اکتیو مورد نیاز مبدل سری جهت تثبیت ولتاژ خازن لینک DC، قابلیت تولید یا مصرف توان راکتیو به طور مستقل از مبدل سری و به منظور تنظیم ولتاژ باس متصل شده به آن را دارد.



شکل (۲-۱۶): ساختار یک UPFC

با قرار گرفتن UPFC در مسیر یک خط، قسمتی از توان اکتیو عبوری توسط مبدل موازی دریافت و از طریق لینک DC به مبدل سری منتقل و توسط این مبدل به خط تزریق می‌گردد. البته جهت انتقال توان اکتیو با توجه به عملکرد کنترل کننده می‌تواند معکوس گردد. ولتاژ سری اعمال شده به خط توسط مبدل سری با تنظیم اندازه و زاویه خود می‌تواند باعث تغییر توان انتقالی و همچنین تنظیم ولتاژ خط در طرف مبدل سری شود.

<sup>۱</sup> - Unified Power Flow Controller

## ۲-۱-۱۴ - ترانسفورماتور جابجاگر فاز قابل کنترل تریستوری<sup>۱</sup> (TCPST)

ترانسفورماتور جابجاگر فاز قابل کنترل تریستوری تجهیزاتی است که بر اساس تکنولوژی تریستور و ترانسفورماتور جابجاگر فاز کار می‌کند. ترانسفورماتورهای جابجاگر فاز ترانسفورماتورهایی با نسبت تبدیل مختلط هستند. این ترانسفورماتورها مانند کنترلرهای جریان توان، برای گسترش ایمنی سیستم قدرت و کم کردن تلفات انتقال بکار گرفته شده‌اند. الکترونیک قدرت کاربرد جابجاگرهای فاز را در کنترل سیستم قدرت متحول ساخت زیرا جانشینی تپ‌چنجرهای معمولی با ولوهای تریستوری سرعت پاسخ در جابجاگر فاز را افزایش داده و این ساختار را برای پاسخ به اغتشاش‌های کوچک و افزایش پایداری حالت گذرا موثر ساخته است. اختلاف فاز بین ولتاژ ترمینال‌های TCPST به کمک یک ترانسفورماتور سری با خط<sup>۲</sup> ایجاد می‌شود. توان اکتیو و راکتیو که توسط این ترانسفورماتور با خط مبادله می‌شود باید از شبکه توسط یک ترانسفورماتور موازی<sup>۳</sup> جذب شود. شکل (۲-۱۹) شمای اصلی ساختار TCPST را نشان می‌دهد.

## ۲-۱-۱۵ - جابجاگر فاز استاتیک<sup>۴</sup> (SPS)

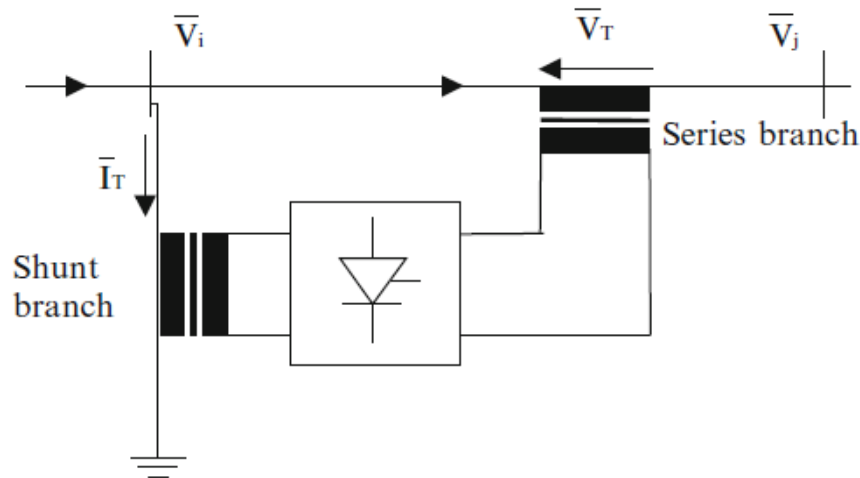
جابجاگر فاز استاتیک با کمک کلیدهای نیمه هادی با توان بالا، جایگزین‌های جذابی برای ترانسفورماتورهای جابجاگر فاز با کلیدهای مکانیکی هستند. این تجهیزات امکان تغییر فاز جهت کنترل گذر توان را فراهم می‌آورند. واژه‌ی "جابجاگر فاز" به تجهیزاتی اطلاق می‌شود که می‌تواند

<sup>۱</sup> - Thyristor Controlled Phase Shifting Transformer

<sup>۲</sup> - Boosting Transformer

<sup>۳</sup> - Excitation transformer

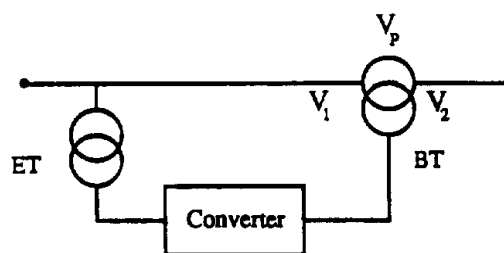
<sup>۴</sup> - Static phase shifter



شکل (۲-۱۷): شمای ساده از یک TCPST

ولتاژی با دامنه و یا فاز قابل کنترل در حالت‌های مختلف بهره‌برداری سیستم ایجاد نماید.

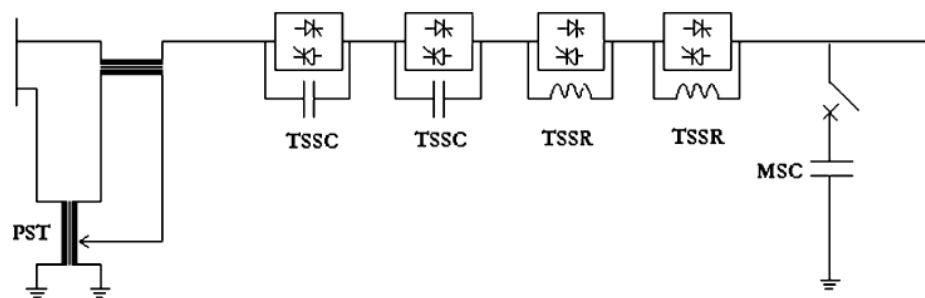
شکل (۲-۱۸) شمای مداری یک جابجاگر فاز استاتیک را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل دیده می‌شود، ورودی جابجاگر فاز استاتیک ولتاژی سه فاز است که از طریق ترانسفورماتور تحریک  $E_T$  فراهم می‌شود. خروجی جابجاگر فاز استاتیک ولتاژی سه فاز از طریق ترانسفورماتور افزایشدهنده  $BT$  به سیستم تزریق می‌کند. محدودیت‌ها و قابلیت‌های یک جابجاگر فاز استاتیک به مبدل آن و چگونگی آرایش آن وابسته است، ترکیب‌بندی‌های مداری مختلفی از جابجاگر فاز استاتیک پیشنهاد شده است که قابلیت‌های مختلفی دارند [۱۲].



شکل (۲-۱۸): شمای مداری یک SPS

## ۲-۱-۱۶ - کنترل کننده دینامیک توان<sup>۱</sup> (DFC)

کنترل کننده دینامیک توان (DFC) مانند TCPST بر اساس فناوری‌های کنترل تریستوری و ترانسفورماتور جابجاگر فاز (PST) طراحی شده است. در ساختار DFC یک PST استاندارد با یک خازن موازی قابل کلیدزنی مکانیکی، خازنهای سری قابل کلیدزنی تریستوری و راکتورهای سری قابل کلیدزنی تریستوری ترکیب شده است. هدف از خازن موازی قابل کلیدزنی مکانیکی این است که پشتیبانی ولتاژ لازم را در شرایط اضافه بار یا شرایط محتمل دیگر برآورده سازد و راکتانس راکتورها و خازن‌ها به گونه‌ای انتخاب می‌شود که گام‌های راکتانسی مورد نظر را فراهم آورد. شکل (۲-۱۹) ساختار DFC را نشان می‌دهد.

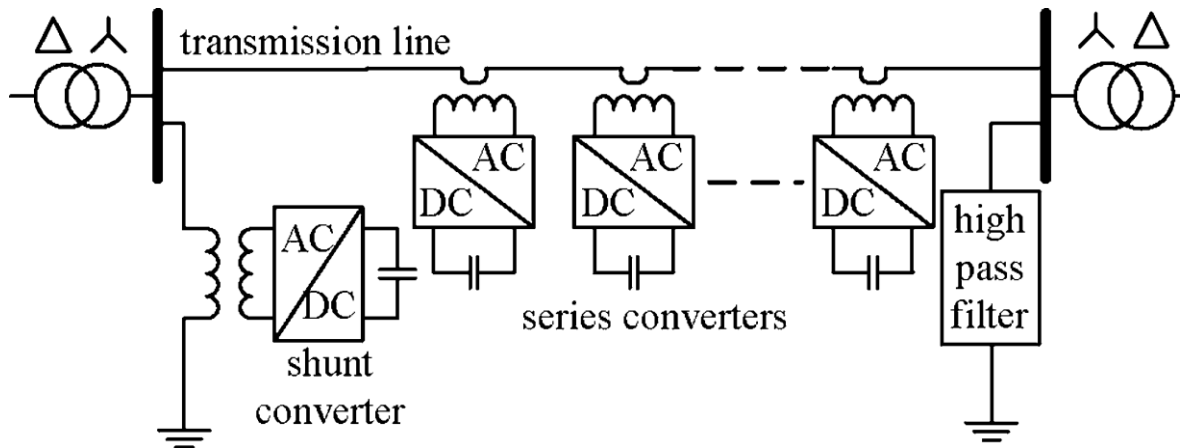


شکل (۲-۱۹): شمای ساده از یک DFC

عملکرد DFC بر قوانین زیر استوار است:

- TSSC/TSSR در زمانی که پاسخ سریع مورد نیاز است سوئیچ می‌شوند.
  - رفع اضافه بار و جبران سازی در شرایط بحرانی به کمک TSSC/TSSR انجام می‌شود.
  - PST باید حتی الامکان به خصوص در جریان‌های بالاتر از جریان نرمال کمتر سوئیچ شود.
  - عملکرد سیستم در جبران توان راکتیو با کمک خازن موازی قابل کلیدزنی مکانیکی، تپ چنجر و سوئیچ شدن خازن‌ها و راکتورها می‌تواند بهینه شود.
- این سیستم در کنترل جریان توان و جبران توان راکتیو می‌تواند موثر باشد در بعضی مقالات DFC از لحاظ صرفه اقتصادی (کارایی به نسبت هزینه) نیز مناسب و ارزنده تلقی شده است، با این وجود هنوز سیستمی تئوری است.

<sup>1</sup> -Dynamic flow controller



شکل (۲-۲۰): پیکربندی DPFC

## ۲-۱-۱۷- کنترل کننده‌ی پخش توان توزیع شده (DPFC)

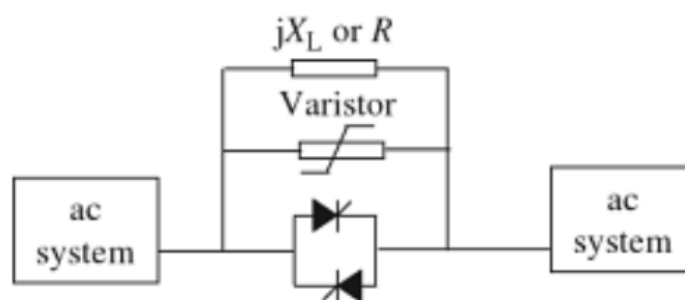
همانطور که پیشتر اشاره شده، UPFC تجهیزاتی است که دارای مشخصه‌ی Statcom و جبران کننده سری سنکرون استاتیکی است و لینک DC مشترک ارتباط بین این دو را انجام می‌دهد. در DPFC در مقایسه با UPFC لینک DC مشترک بین جبران کننده سری و جبران کننده موازی حذف شده است و مبدل‌های سری به صورت توزیع شده قرار گرفته‌اند. به عبارت دیگر این تجهیز از یک جبران کننده موازی و چندین جبران‌ساز سری تشکیل شده است. مبدل موازی مشابه STATCOM است، و این در حالیست که جبران کننده‌های سری از ایده‌ی DFACTS تبعیت می‌نمایند که در آن‌ها از چندین مبدل تک فاز کوچک توزیع شده در عوض یک مبدل بزرگ متمرکز استفاده شده است. هر یک از مبدل‌های سری بکار رفته نسبت به یکدیگر مستقل بوده و از خازن لینک DC خود به عنوان ولتاژ DC مبدل استفاده می‌نمایند. شکل (۲-۲۰) پیکربندی یک DPFC را نشان می‌دهد.

همانطور که در شکل دیده می‌شود، علاوه بر تجهیزات اصلی و کلیدی مانند جبران‌ساز موازی و جبران‌سازهای سری، یک فیلتر پسیو موازی نیز در طرف دیگر خط متصل می‌شود.

شایان ذکر است که ساختار جبران‌سازهای توزیع شده‌ی سری به کار رفته در DPFC مشابه با DSSC است که نیاز به سیستم مخابراتی و یا بیسیم جهت کنترل هماهنگ واحدها دارد. DPFC کنترل‌پذیری بالایی را ایجاد نموده و از طریق آن می‌توان به صورت همزمان زاویه‌ی انتقال و ولتاژ را کنترل نمود. از این تجهیز جهت افزایش پایداری مانند میرا کردن اعوجاج توان فرکانس پایین می‌توان استفاده کرد. بدلیل استفاده از چندین جبران‌ساز سری مستقل قابلیت اطمینان DPFC در مقایسه با UPFC بیشتر است.

## ۲-۱-۱۸- محدودساز جریان خطا (FCL)

این تجهیز یک عنصر حفاظتی محسوب شده و جهت محدود کردن جریان خطای سیستم استفاده می‌شود تا سیستم را از آسیب‌های جریان خطای زیاد مصون دارد. توپولوژی‌ها و ساختارهای مختلفی از این تجهیز وجود دارد. ساختارهایی که در آن از عناصر الکترونیک قدرت استفاده می‌شود، محدودسازهای جریان خطای استاتیک نامیده می‌شوند. شمای مداری یک نوع از محدودسازهای جریان خطا در شکل (۲-۲۱) نشان داده شده است. در این تجهیز از یک جفت کلید الکترونیک قدرت که به صورت موازی - معکوس با یکدیگر قرار گرفته‌اند استفاده شده است. جهت محدود کردن جریان خطا یک مقاومت یا سلف و یا مجموعه‌ای از آنها به صورت موازی با کلیدها قرار گرفته و مجموعه‌ی آنها یک محدود کننده‌ی جریان خطا را تشکیل می‌دهند که به صورت سری با شبکه قرار می‌گیرند.



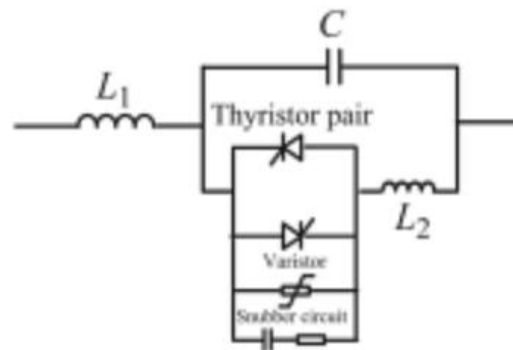
شکل (۲-۲۱): شمای مداری از یک FCL

در حالت عملکرد عادی سیستم (حالت بدون خطای سیستم قدرت) کلیدها هدایت کرده و جریان شبکه را از خود عبور می‌دهند و امپدانس محدود کننده‌ی خط اتصال کوتاه است. هنگامیکه خطای اتصال کوتاه در شبکه اتفاق می‌افتد، افزایش جریان تشخیص داده می‌شود و این کلیدها در حالت قطع قرار می‌گیرند. در این حالت مسیر عبور جریان از مسیر موازی آن صورت می‌گیرد و جریان خطا توسط مقاومت، سلف و یا به عبارت کلی‌تر امپدانس محدود کننده، کاهش می‌یابد. شایان ذکر است که محدود سازی جریان خطا در عرض چند میلی‌ثانیه انجام می‌شود. استفاده از مقاومت محدود کننده دارای این مزیت است که اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ را از بین می‌برد و به میرا شدن سریع مؤلفه‌ی DC جریان خطا کمک می‌نماید. یک مقاومت متغیر ممکن است به صورت موازی با کلید جهت محدودسازی ولتاژ گذرا استفاده شود.

کلیدهای بکار رفته ممکن است تریستورهای با قابلیت خاموش شدن (GTO) و یا کلیدهای جدیدتر باشند. از آنجا که کلیدها در حالت عادی سیستم هدایت می‌کنند به دلیل تلفات هدایتی آنها ۰/۱ تا ۰/۲ درصد توان عبوری از آنها، صرف این تلفات می‌شود.

ساختار دیگری از FCL که به صورت عملی در پست Kayenta در ایالات متحده‌ی آمریکا نصب شده است، در شکل (۲-۲۲) نشان داده می‌شود. در حالت عملکرد عادی، هر دو تریستور در حالت خاموش قرار دارند و جریان از سلف  $L_1$  و خازن C عبور می‌کند. مقدار امپدانس  $L_1$  و C طوری انتخاب می‌شود که در فرکانس ۵۰ یا ۶۰ هرتز  $WL_1 - \frac{1}{WC} = 0$  شود. به عبارت دیگر این تجهیز در فرکانس اصلی امپدانس معادل صفر را از خود نشان می‌دهد. هنگامیکه خطایی رخ می‌دهد، هر دو تریستور در حالت هدایت کامل قرار می‌گیرند و سلف  $L_2$  موازی با خازن C قرار می‌گیرد که سبب افزایش امپدانس معادل سری در خط انتقال می‌شود. یک مقاومت متغیر موازی با کلیدهای تریستوری جهت محدودسازی ولتاژ گذرا استفاده می‌شود، همچنین نرخ افزایش ولتاژ گذرا توسط مدار اسنابر محدود می‌شود.



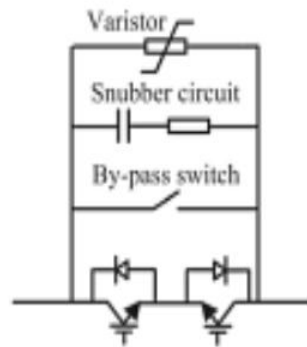


شکل (۲-۲۲): یک نمونه FCL نصب شده در پست Kayenta

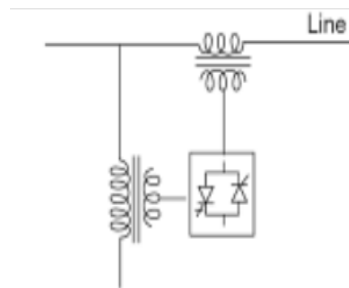
نوع دیگری از FCL مجهز به کلیدهای IGBT در شکل (۲-۲۳) نشان داده شده است، در حالت عملکرد نرمال، کلید By-pass عبور جریان را به عهده می‌گیرد. هنگامیکه خطایی رخ می‌دهد، کلید By-pass باز شده و IGBT عبور توان را به عهده می‌گیرد. هنگامیکه جریان خطا به مقدار از پیش تعیین شده می‌رسد، کلید IGBT خاموش می‌شود. در این حالت جریان از مقاومت متغیر عبور داده می‌شود. ولتاژ شکست مقاومت متغیر مقداری بیشتر از ولتاژ بیشینه‌ی منبع تنظیم می‌شود، بنابراین جریان خطا شروع به کاهش می‌کند. هنگامیکه جریان به مقدار کمینه‌ی خود می‌رسد IGBT دوباره روشن می‌شود با این کار جریان خطا در محدوده‌ی مناسب قرار می‌گیرد [۱۳].

## ۲-۱-۱۹- تنظیم کننده‌ی ولتاژ کنترل شده‌ی تریستوری (TCVR)

تنظیم کننده‌ی ولتاژ کنترل شده‌ی تریستوری در واقع یک ترانسفورماتور کنترل شده‌ی تریستوری است که می‌تواند ولتاژ فاز متغیری را توسط کنترل پیوسته فراهم نماید. این تجهیز ممکن است به صورت یک ترانسفورماتور قابل تنظیم با تپ چنجر تریستوری باشد که در شکل (۲-۲۴) نشان داده شده است. در این ساختار از طریق کنترل مناسب تپ چنجر ترانسفورماتور می‌توان به کنترل پیوسته‌ای از ولتاژ دست یافت.

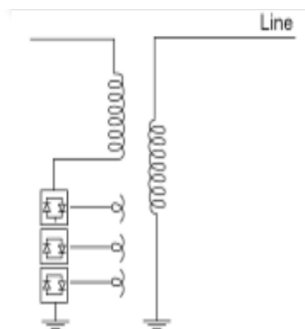


شکل (۲-۲۳): نوعی از FCL مجهز به کلیدهای IGBT



شکل (۲-۲۴): شمای مداری TCVR بر اساس تزریق ولتاژ

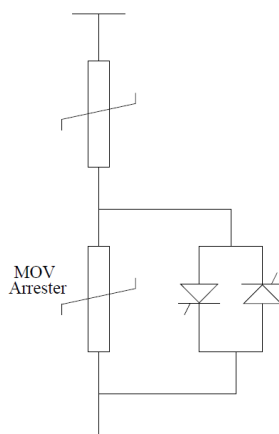
در ساختار دیگری از TCVR، از یک مبدلی ولتاژ AC/AC کنترل شده‌ی تریستوری جهت تزریق ولتاژ AC متغیر استفاده می‌شود. شمای مداری این نوع از TCVR را نشان می‌دهد [۱۴].



شکل (۲-۲۵): شمای مداری TCVR بر اساس تپ متغیر

## ۲-۱-۲- محدود کننده ولتاژ کنترل شده تریستوری<sup>۱</sup> (TCVL)

برقگیرهای مقاومت متغیر اکسید فلزی<sup>۲</sup> (MOV) تجهیزات جذابی جهت محدود سازی افزایش ولتاژ هستند. به کمک این تجهیزات سطح عایقی مورد نیاز پست‌ها و خطوط کاهش پیدا کرده که این امر باعث کاهش هزینه می‌شود. سطح ولتاژ شکست عایقی ۱/۷ برابر بیشه ولتاژ حالت عادی سیستم لحاظ می‌شود. از تجهیزات الکترونیک قدرت می‌توان جهت اصلاح مشخصه MOVها استفاده نمود که تجهیزاتی تحت عنوان محدود کننده ولتاژ کنترل شده تریستوری معرفی شده است. این تجهیز عنصری حفاظتی محسوب شده و در شرایط گذارا وظیفه محدود سازی ولتاژ در ترمینال خود را به عهده دارد. شکل (۲-۲۶) شمای مداری این تجهیز را نشان می‌دهد که در آن از دو مقاومت متغیر اکسید فلزی استفاده شده است. در حالت عادی شبکه کلیدهای تریستوری در حالت قطع قرار می‌گیرند، و با آتش شدن تریستورها در زمان مورد نیاز، قسمتی از مقاومت متغیر از مدار خارج می‌شود. در اینصورت سطح عایقی کاهش می‌یابد و از لحاظ دینامیکی قابلیت محدود کردن ولتاژ بهبود می‌یابد. از این تجهیز معمولاً جهت حفاظت بانک‌های خازنی استفاده می‌شود.



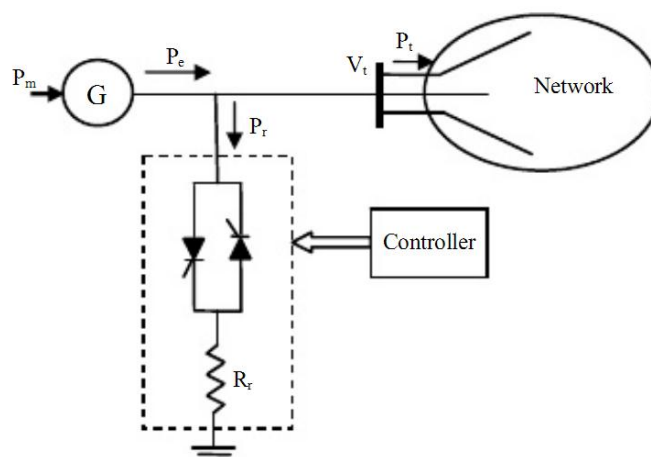
شکل (۲-۲۶): محدود کننده ولتاژ تریستوری (TCVL)

1 - Thyristor Controlled Voltage Limiter

2 - Metal Oxide Varistors

## ۲-۱-۲- مقاومت ترمزی کنترل شده‌ی تریستوری (TCBR)

در زمان وقوع اتصال کوتاه در شبکه که امکان انتقال بخشی از توان در سیستم وجود ندارد این تجهیز می‌تواند انرژی جنبشی روتور ژنراتور را جذب و مصرف نماید. این کار باعث افزایش پایداری سیستم می‌شود. با کنترل مناسب می‌توان این تجهیز ارزان قیمت و در عین حال موثر را در کاربردهایی چون میراسازی نوسان زیر سنکرون، حذف نوسانات بین ناحیه‌ای و ساده‌سازی سنکرون کردن ژنراتور توربین به کار برد. شکل (۲-۲۷) شمای مداری یک TCBR را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل دیده می‌شود، این تجهیز از مقاومت الکتریکی با توان بالا که توسط دو تریستور موازی معکوس توان عبوری از آن کنترل می‌شود، تشکیل شده است [۱۵].



شکل (۲-۲۷): شمای مداری یک TCBR

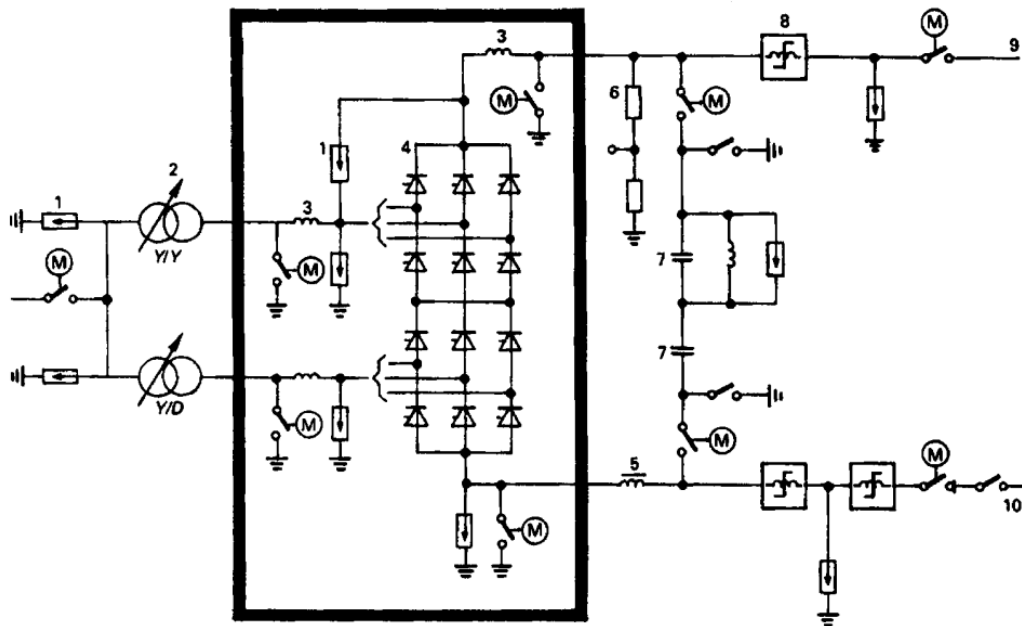
## ۲-۲- سیستم انتقال HVDC/MVDC

انتقال توان الکتریکی به صورت DC و در سطح ولتاژ بالا را سیستم انتقال High Voltage Direct Current (HVDC) می‌نامند. در این نحوه انتقال، ابتدا توان مورد نظر برای انتقال یکسو شده و سپس از طریق خط انتقال HVDC انتقال می‌یابد. در سال ۲۰۱۲ با توجه به ۵۰ سال سابقه نصب و نگهداری سیستم انتقال HVDC این تکنولوژی را می‌توان تکنولوژی بالغی

دانست. اولین خطوط نصب شده HVDC در سال‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ در دنیا نصب شده‌اند که برخی از آنان نظیر خط Wolgograd-Donbass همچنان در مدار هستند.

سیر تاریخی پیشرفت سیستم انتقال HVDC همبستگی زیادی با سیر تکامل مبدل‌های الکترونیک قدرت داشته است. در نسل اول خطوط انتقال HVDC، مبدل‌های قوس جیوه‌ای در سال ۱۹۵۴ جزیره Gotland را به سوئد متصل کردند. تلفات بسیار بالای مبدل‌های قوس جیوه‌ای و بهره‌برداری مشکل از آنها باعث شد که استفاده از این مبدل‌ها بسیار محدود گردد و تنها در کاربردهایی مورد استفاده قرار گیرد که تنها راه حل ممکن بود.

نسل دوم خطوط انتقال HVDC، با ورود ترستورها در سال ۱۹۷۰ (که دارای مزایایی نظیر بهره‌برداری آسان، تلفات کمتر و ظرفیت جریانی بیشتری بودند) به بازار معرفی شدند. در این نسل مبدل‌های منبع جریانی به صورت کامل جایگزین مبدل‌های قوس جیوه‌ای شدند. از نسل دوم خطوط انتقال HVDC به صورت گسترده‌ای برای انتقال توان زیاد در مسافت‌های طولانی، انتقال توان در کابل‌های زیر دریایی و اتصال شبکه‌های آسنکرون به یکدیگر استفاده شده است. امروزه بیش از صد خط انتقال CSC-HVDC در دنیا نصب شده است که وظیفه انتقال 60 GW توان را بر عهده دارند. به عنوان مثال خط انتقال Xiangjiba-Shanghai در چین با طول ۱۹۰۷ کیلومتر در سطح ولتاژ  $\pm 800$  کیلوولت وظیفه انتقال ۶/۷ گیگاوات توان را بر عهده دارد. نمونه ای از نسل دوم خطوط انتقال HVDC در شکل (۲-۲۸) نشان داده شده است.

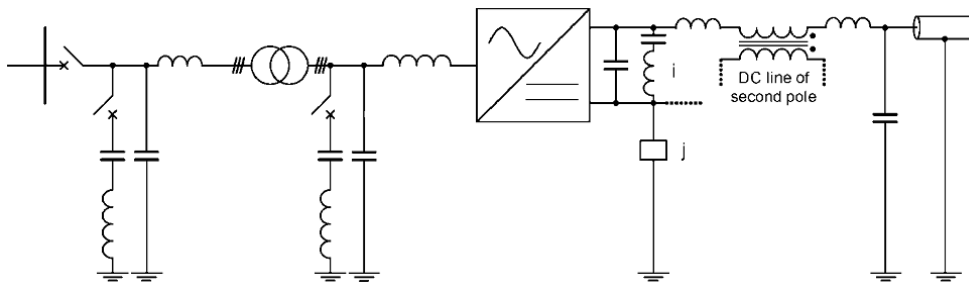


شکل (۲-۲۸): دیاگرام مداری نسل دوم HVDC برای یکی از قطب‌های لینک HVDC

نسل سوم سیستم‌های انتقال HVDC در سال ۱۹۹۰ و با معرفی و تجاری شدن کلیدهای کموتاسیون اجباری (نظیر GTO و IGBT) معرفی گردید. برای اولین بار خط VSC-HVDC (نسل سوم) در Helson سوئد با مشخصات  $(\pm 3 \text{ MW}, \pm 3 \text{ MVAR}, \pm 10 \text{ KV}, 10 \text{ Km})$  ساخته شد که منجر به تایید عملی قابلیت‌های VSC-HVDC گردید. امروزه نسل سوم خطوط انتقال HVDC به مرز ظرفیت ۱۲۰۰ مگاوات و ولتاژ  $\pm 500 \text{ Kv}$  رسیده‌اند. نسل سوم سیستم انتقال HVDC مزایایی نظیر

کنترل پذیری بیشتر، امکان اتصال به شبکه‌های ضعیف‌تر و امکان اتصال به مزارع بادی فرا ساحل را دارند.

نسل سوم سیستم انتقال HVDC به لحاظ چرخه عمر، در مرحله توسعه قرار دارد. در حالی که نسل اول و دوم این سیستم به ترتیب در مراحل انقراض و بلوغ قرار دارند. یک نمونه از نسل سوم خطوط انتقال HVDC در شکل (۲-۲۹) نشان داده شده است.



شکل (۲-۲۹): دیاگرام مداری نسل سوم HVDC برای یکی از قطب‌های لینک HVDC

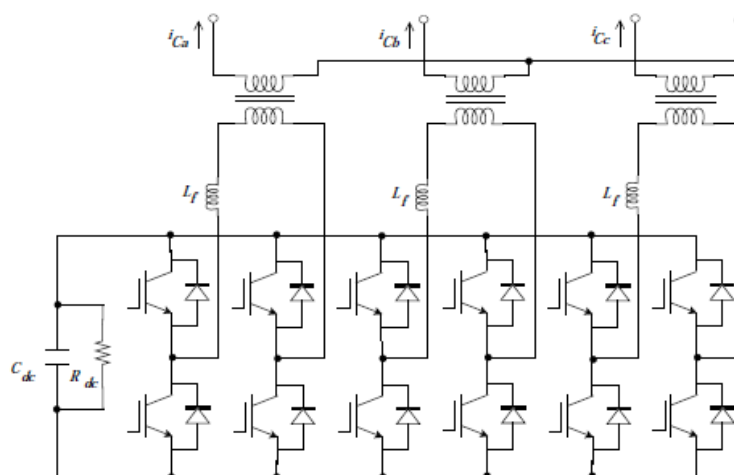
## ۳-۲- ادوات بهساز توان<sup>۱</sup> (CUPS)

### ۳-۲-۱- جبران‌ساز استاتیکی سیستم توزیع<sup>۲</sup> (DStatCom)

تجهیز DStatCom از این نظر که از مبدل‌های منبع ولتاژ (VSC) در آن استفاده می‌شود، ساختاری مشابه با StatCom دارد اما بر خلاف StatCom که در سیستم انتقال مورد استفاده قرار می‌گیرد، DStatCom در سطح سیستم توزیع بهره برداری می‌شود. شکل (۲-۳۰) شمای مداری یک DStatCom را نشان می‌دهد. در این شکل از سه مبدل تمام پل استفاده شده است و DStatCom از طریق ترانسفورماتور به شبکه‌ی توزیع اتصال داده شده است. به عبارت دیگر برای هر یک از فازها مبدل تمام پل و ترانسفورماتور مرتبط با آن استفاده شده است. تمامی مبدل‌ها به خازن لینک dc واحدی متصل هستند و سیستم کنترلی به طریقی عمل می‌کند که ولتاژ خازن dc در مقدار ثابتی باقی بماند.

1 - Custom power system

2 - Distribution StatCom



شکل (۲-۳۰): ساختار DSTATCOM و نحوه اتصال آن

در DSTATCOM به دلیل سطح ولتاژ پایین تر سیستم توزیع، امکان استفاده از کلیدهای سریعتر مانند IGBT و یا IGCT در عوض GTO فراهم می شود و بدین ترتیب امکان استفاده از سناریوهای کنترلی پیچیده تر در این تجهیز وجود دارد. این دستگاه در برقراری تعادل جریان، انجام وظایف فیلتر فعال موازی و از بین بردن فلیکر می تواند استفاده می شود. در واقع یک DStatCom یک منبع متغیر جریان قابل کنترل بحساب می آید. امکان نصب ذخیره سازهای انرژی مانند SMES در لینک dc یک DStatCom وجود دارد، در این صورت امکان تزریق توان اکتیو در زمانی محدود به شبکه فراهم می شود.

همانطور که اشاره شد از کاربردهای DStatCom می توان به استفاده از آن در جبران فلیکر اشاره نمود. در سیستمهای توزیع فشار ضعیف (با سطح اتصال کوتاه پایین) که در آنها وجود کوره های الکتریکی<sup>۱</sup> باعث مشکلات کیفیت توان زیادی می شود، استفاده از تجهیز مناسب، جهت جبران این مشکلات که مهمترین آن فلیکر است، لازم است. به عنوان یک راه حل برای جبران این اغتشاش کیفیت توان در بسیاری موارد تجهیز DStatCom استفاده شده است و نتیجه آن بسیار رضایت بخش بوده است.

تجهیز DTATCOM به صورت وسیعی در دنیا کاربرد پیدا کرده است. به عنوان مثال یک D-statcom با ظرفیت  $\pm 6 \text{ MVAR}$  در باس Dumeill جمهوری ایرلند برای تعامل با انرژی های تجدیدپذیر، نصب شده است. هدف از نصب



DTATCOM در باس Dunneill جمهوری ایرلند، تطبیق شرایط شبکه توزیع حاوی مزرعه‌های بادی با استانداردهای شبکه بوده است.

به عنوان کاربرد عملی دیگری از ادوات FACTS، به نصب SVC Light ۲۲ مگاواوری در کارخانه Tooling AB Uddeholm برای ارتقای کیفیت توان می‌توان اشاره کرد. این شرکت به دلیل مشکلات فلیکر، ضریب قدرت پایین و کیفیت توان بد قادر به افزایش تولید نیست که برای برطرف کردن این موضوع از یک SVC-Light استفاده کرده است.

به عنوان مثالی دیگر از کاربرد عملی ادوات FACTS در ارتقای کیفیت توان، می‌توان به نصب (5 D-STATCOM MVA) در یک شرکت فولاد در Seattle, Washington اشاره کرد (۱۹۹۹). موتور 4000hp این کارخانه فلیکرهای شدیدی به شبکه وارد می‌کند که برای جبران آن از یک D-STATCOM استفاده شده است.

## ۲-۳-۲- بازیاب دینامیک ولتاژ<sup>۱</sup> (DVR)

DVR یک تجهیز متصل شونده به صورت سری به شبکه است و مشابه  $S^3C$  عمل می‌کند. عملکرد اصلی DVR حذف کمبود ولتاژها<sup>۲</sup> برای بارهای حساس است. این تجهیزات قابلیت جبران افت ولتاژ سه فاز تا ۳۵٪ را برای زمانی کوتاه‌تر از ۵/۰ ثانیه دارند. اگر افت ولتاژ تنها در یک فاز اتفاق بی‌افتد، DVR می‌تواند تا حد ۵۰٪ افت ولتاژ را برای زمان ذکر شده جبران نماید.

DVR در ساختار خود از کلیدهای IGBT/IGCT استفاده می‌کند و بنابراین می‌تواند به صورت یک فیلتر فعال سری نیز استفاده شود و هارمونیک‌های ولتاژ منبع را برای بارهای حساس جبران نماید. DVR می‌تواند تعادل ولتاژ بار را نیز تأمین نماید.

اولین دستگاه DVR که به صورت تجاری مورد بهره‌برداری قرار گرفت در سال ۱۹۹۶ در Duke Power System آمریکا نصب شد. توان نامی این DVR دو مگاوات آمپر بوده است و با ذخیره انرژی در حد ۶۶۰ کیلو ژول توانایی جبران‌سازی کمبود ولتاژ تا ۵۰٪ را برای دوره ۵/۰ ثانیه (۳۰ سیکل) داشته‌است. این DVR برای پشتیبانی از یک کارخانه بافندگی بسیار مدرن نصب گردید. از آن زمان تاکنون دستگاه‌های DVR زیادی برای پشتیبانی و حفاظت از کارخانجات ساخت میکروپروسور،

1 - Dynamic voltage restorer

2 - Voltage sags

کاغذسازی و ... نصب شده‌اند. این دستگاه‌ها عمدتاً از ماژول‌های دو مگاولت آمپر یا پنج مگاولت آمپری تشکیل شده و در پستهای ۱۱ تا ۶۹ کیلوولت نصب شده‌اند.

پیکربندی DVR در شکل (۲-۳۱) نشان داده شده است. DVR می‌تواند علاوه بر جبران کمبود ولتاژ در حالت گذرا با کنترل مناسب به صورت فیلتر اکتیو سری نیز ایفای نقش نماید.

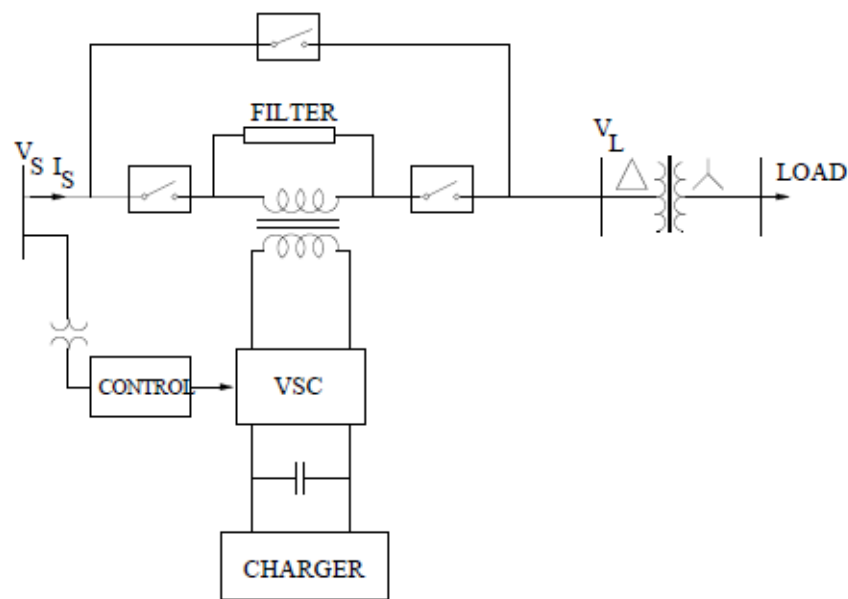
همانطور که در شکل (۲-۳۱) دیده می‌شود، مدار DVR چهار جز اصلی دارد که عبارتند از:

(۱) مبدل منبع ولتاژ (VSC)

(۲) ترانسفورماتورهای تزریق کننده‌ی افزایشنده<sup>۱</sup>

(۳) فیلترهای غیر فعال<sup>۲</sup>

(۴) ذخیره‌ساز انرژی

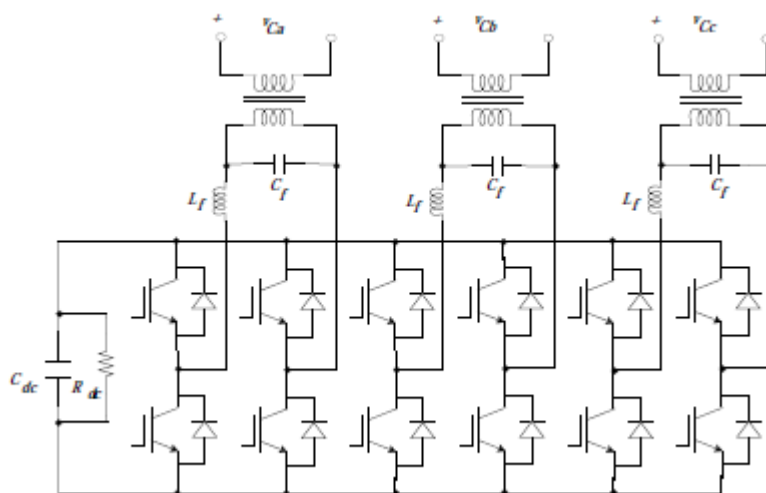


شکل (۲-۳۱): ساختار DVR

1 - Boost Injection Transformer

2 - Passive filter

ساختار مداری یک DVR در شکل (۲-۳۱) نشان داده شده است. قسمت VSC می‌تواند سه فاز سه سیمه یا سه فاز چهار سیمه باشد. در حالت چهار سیمه می‌توان ولتاژهای توالی صفر را نیز جبران‌سازی کرد. ترانسفورماتور افزایشده به صورت سه ترانسفورماتور تک فاز سری با فیدر توزیع نصب می‌شوند تا اتصال VSC به شبکه برق را برقرار نمایند.



شکل (۲-۳۲): ساختار مداری DVR

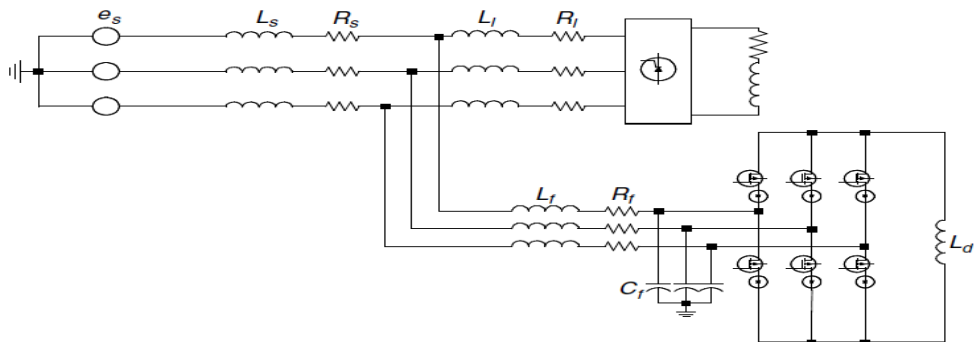
فیلترهای پسیو می‌توانند در طرف فشار قوی یا طرف مبدل ترانسفورماتور افزایشده نصب شوند. در قسمت ذخیره‌ساز انرژی می‌توان از باتریهای سرب-اسید، چرخ طیار یا SMES استفاده نمود و یا حتی این انرژی می‌تواند از طریق یکسو شدن ولتاژ منبع AC کمکی نیز فراهم شود.

همانطور که توضیح داده شد استفاده از کلیدهای با سرعت بالای IGBT/IGCT امکان کنترل عملیات DVR را به صورت سریعتر و با پیچیدگی بیشتر نسبت به  $S^3C$  ممکن می‌سازد، به گونه‌ای که می‌توان با اعمال استراتژیهای مختلف کنترلی به تزریق ولتاژ مطلوب و اجرای همزمان وظایف فیلتر اکتیو سری پرداخت.

## ۲-۳-۳- فیلترهای فعال (AF)

امروزه افزایش کاربرد عناصری با مشخصه غیر خطی باعث ایجاد جریان و به تبع آن ولتاژ هارمونیک در شبکه می‌شود. از طرف دیگر با توجه به افزایش حساسیت برخی بارها مانند بارهای الکترونیکی و کنترلی به اعوجاجات هارمونیک، حذف و کاهش هارمونیکها به یک بحث مهم در بین متخصصین صنعت برق تبدیل شده است. فیلترهای غیر فعال که در آنها از عناصر پسیو مانند سلف، مقاومت و خازن استفاده می‌شود دارای مشکلاتی چون وزن و حجم زیاد، غیر قابل انعطاف بودن نسبت به تغییرات بار و پارامترهای شبکه و امکان ایجاد تشدید هستند. در جهت رفع این مشکلات فیلترهای فعال که در آنها از ادوات الکترونیک قدرت استفاده می‌شود، مطرح شده‌اند. این فیلترها می‌توانند برای حذف هارمونیک‌های جریان و یا ولتاژ، کنترل توان راکتیو، تنظیم ولتاژ ترمینال، کم کردن فیلکر ولتاژ و بهبود نامتعادلی ولتاژ به کار روند.

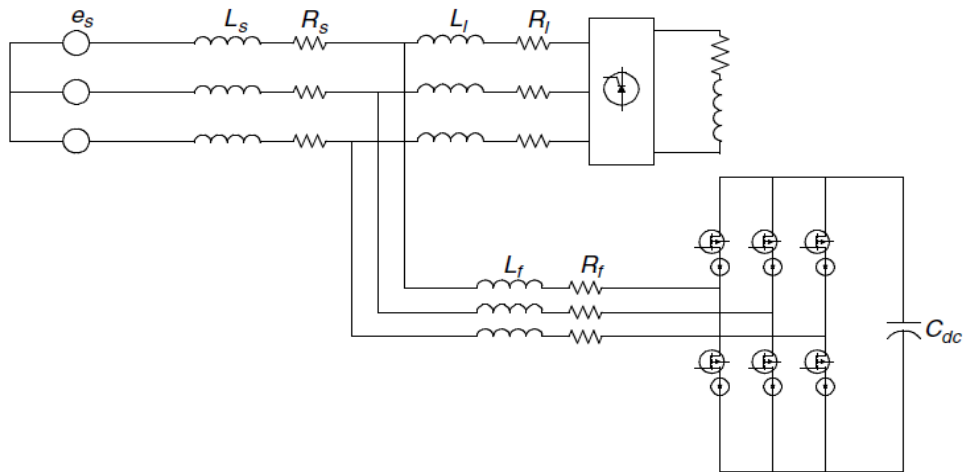
فیلترهای اکتیو بسته به استفاده از نوع مبدل، به دو نوع منبع جریان و منبع ولتاژ دسته بندی می‌شوند. در مبدل منبع جریان از یک سلف در طرف dc به عنوان ذخیره‌کننده انرژی بهره گرفته می‌شود. این فیلترها می‌توانند دارای توان بالا یا پایین، تک فاز، سه فاز سه و چهار سیمه باشند. شکل (۲-۳۳) پیکربندی یک فیلتر سه فاز سه سیمه منبع جریان را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۳۳): شمای سیستم اکتیو سه فاز سه سیمه

فیلترهای اکتیو از نوع منبع ولتاژ بیشتر مورد توجه و استفاده قرار گرفته‌اند. این فیلترها سبک‌تر، ارزان‌تر و کنترل آنها نسبت به فیلترهای منبع جریان آسان‌تر است. تلفات این فیلترها کم‌تر از تلفات فیلترهای منبع جریان است و می‌توانند در پیکربندی‌های

چندسطحی به کار روند. در فیلترهای اکتیو منبع ولتاژ از یک خازن به عنوان ذخیره کننده‌ی انرژی استفاده می‌شود. شکل (۲-۳۴) یک فیلتر سه فاز منبع ولتاژ را نشان می‌دهد.



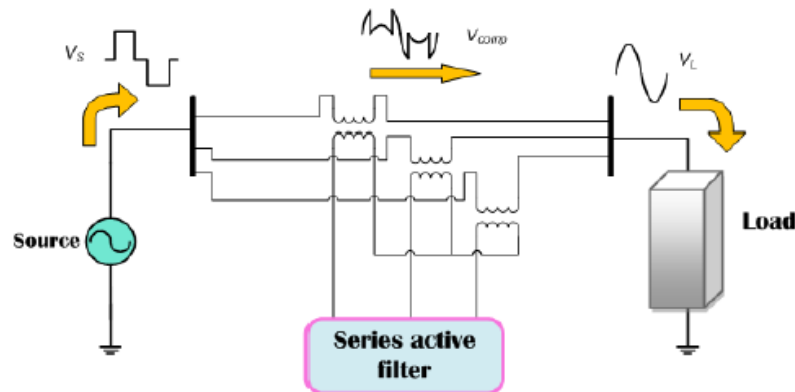
شکل (۲-۳۴): فیلتر شنت منبع ولتاژ سه فاز

رایج‌ترین فیلترهای اکتیو، فیلترهای اکتیو موازی هستند. فیلترهای اکتیو موازی می‌توانند در نوع سه فاز و تک فاز، منبع ولتاژ و یا منبع جریان باشند. فیلترهای اکتیو موازی می‌توانند هارمونیک جریان بار را جبران نمایند اما این فیلترها نمی‌توانند ولتاژهای هارمونیک بار را جبران نمایند.

فیلترهای اکتیو سری می‌توانند هم به صورت تک فاز و هم به صورت سه فاز باشند. در این فیلترها هم می‌توان از اینورترهای منبع ولتاژ و هم از اینورترهای منبع جریان استفاده کرد. غالباً این فیلترها از طریق یک ترانسفورماتور به شبکه متصل می‌شوند.

شکل (۲-۳۵) یک فیلتر اکتیو سه فاز سری را نشان می‌دهد. یک فیلتر اکتیو سری اغلب برای جبران‌سازی هارمونیک‌های ولتاژ، تنظیم ولتاژ و از بین بردن نامتعادلی ولتاژ به کار می‌رود. این فیلترها به عنوان ایزوله‌کننده‌ی هارمونیک بین بار و منبع

تغذیه عمل می‌کنند [۱۶].

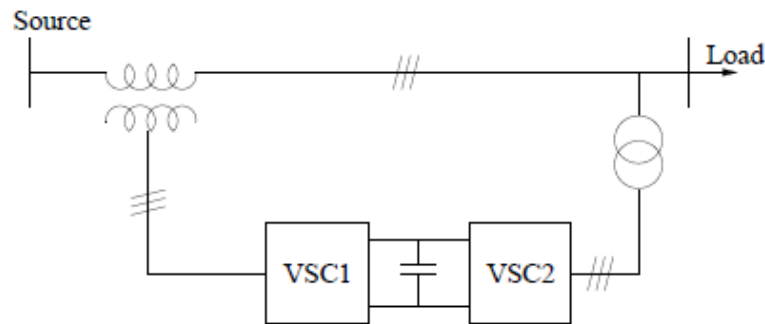


شکل (۲-۳۵): شمای مداری فیلتر اکتیو سری

## ۲-۳-۴- سیستم یکپارچه بهساز توان<sup>۱</sup> (UPQC)

همانطور که قبلاً اشاره شد یک تجهیز DVR می‌تواند افت ولتاژ را برای مدت زمانی کوتاه جبران‌سازی نماید. اگر لازم باشد تا DVR برای مدتی طولانی‌تر توان را تأمین نماید، بهتر است تا یک مبدل موازی نیز با آن ترکیب شود که در این صورت تجهیز به نام بهساز یکپارچه کیفیت توان (UPQC) ایجاد می‌شود. در UPQC شاخه‌ی موازی و سری در لینک DC مشترک هستند و مبدل موازی تنظیم ولتاژ لینک dc را انجام می‌دهد. در واقع ترکیب DVR و DStatcom امکان کنترل کیفیت توان را با تنظیم جریان منبع و ولتاژ بار فراهم می‌آورد. از منظری دیگر می‌توان به UPQC به عنوان ترکیب فیلتر فعال سری و فیلتر فعال موازی نگریست. در واقع UPQC ترکیبی از دو مبدل منبع ولتاژ (VSC) سری و موازی است که در لینک DC مشترک شده‌اند. شکل (۲-۳۶) ساختار مداری یک UPQC را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل دیده می‌شود، این پیکر بندی مداری مشابه UPFC در سیستم انتقال است.

<sup>۱</sup> - Unified Power Quality Conditioner



شکل (۲-۳۶): ساختار UPQC

## ۲-۳-۵- سیستم تغذیه توان بدون وقفه<sup>۱</sup> (UPS)

پیشتر اشاره شد که در هنگام قطع توان فقط تجهیزاتی که به نوعی ذخیره‌ساز انرژی مجهز باشند، قادر به جبران اغتشاش قطع توان هستند. محصول تجاری موجود در بازار برای جبران آنی قطع توان انواع مختلف UPS است. تفاوت اصلی این محصولات در نوع ذخیره‌ساز آنها، مدت زمان امکان تامین توان و مدکاری‌شان است. دستگاه‌های UPS علاوه بر کاربرد جبران آنی قطع توان، کاربردهای دیگری در تصحیح مشکلات شایع کیفیت توان نیز دارند. این مشکلات شامل موارد زیر است:

- اضافه ولتاژهای گذرا و یا اضافه ولتاژهای ورودی
- نویزهایی فرکانس بالا که توسط تجهیزات دیگر به خط تزریق می‌شوند.
- ناپایداری فرکانس
- اغتشاشات هارمونیکی

سه مد کاری اصلی دستگاه‌های UPS حالت‌های online , Line interactive و offline/standby است. یک online UPS روش تبدیل دوگانه<sup>۱</sup> را اجرا می‌کند. به این ترتیب که ورودی AC منبع یکسو شده و از باتری، جریان مورد نیاز برای

1 - Uninterruptable power Supply

عبور داده می‌شود، سپس ولتاژ dc از طریق اینورتر به ولتاژ خروجی با دامنه و فرکانس مطلوب تبدیل شده و به خط تزریق می‌شود.

یک سیستم UPS از نوع offline در حالت عادی در تامین توان بار مشارکت نمی‌کند و از مدار خارج است. امادر هنگام بروز اغتشاش یک سوئیچ استاتیکی و یا مکانیکی، تامین برق را از باتری و اینورتر فراهم می‌کند. در این روش معمولاً بازه‌ی زمانی کوتاهی در تامین توان بار وقفه ایجاد می‌شود اما در یک UPS با کلید استاتیکی این فاصله زمانی بسیار کوتاه است و تقریباً حس نمی‌شود.

در طراحی دستگاه‌های line interactive به نوعی تثبیت ولتاژ دیده می‌شود. ساختن این ساختار با استفاده از دستگاه‌هایی مانند SVR با منبع ذخیره‌ساز یا ترانسفورماتور تزریق کننده توان امکانپذیر است.

عموماً بر اساس مد کاری UPS و ویژگی‌های عملکردی آن انواع مختلفی از UPS ها ساخته می‌شوند. به منظور دستیابی به نیازهای گوناگون طراحی‌های دیگری هم وجود دارند، مانند توپولوژی هیبرید، که در حالت عادی در بازه‌ای که اندازه‌ی توان در مقدار نامی است به صورت offline عمل عملکردده و چنانچه سطح توان در بازه‌ی از پیش تعیین شده‌ای قرار گیرد به حالت online تغییر عملکرد می‌دهد.

UPS فرورزونانس از یک ترانسفورماتور فرورزونانس برای حفظ انرژی در زمان تغییر وضعیت از حالت تغذیه خط به تغذیه باتری استفاده می‌کنند. این دستگاهها در گذشته کاربرد زیادی داشتند و هم اکنون نیز در صنایع مختلف مانند نفت و گاز، پتروشیمی و صنایع سنگین بکار می‌روند و رنج نامی آنها در حدود ۱۵۰ kVA است.

## ۲-۳-۶- ترانسفورماتور الکترونیکی<sup>۲</sup> (PET)

یکی از تجهیزاتی که به طور گسترده در شبکه برق استفاده می‌شوند، ترانسفورماتورها هستند. وظیفه اصلی این تجهیزات مواردی چون تبدیل سطح ولتاژ و ایزولاسیون است. ترانسفورماتورها یکی از گرانتترین و سنگین‌ترین تجهیزات شبکه هستند و این به دلیل هسته آهنی بزرگ و سیم‌پیچی‌های مسی سنگین آنهاست. از طرفی نیازهای جدید شبکه می‌طلبد تا

1 - double conversation

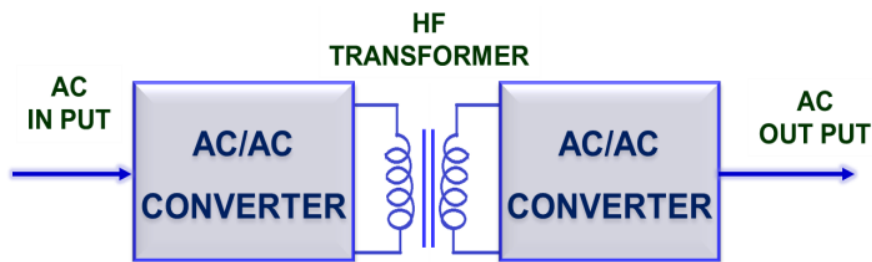
2 - Power Electronic Transformer



ترانسفورماتورها با رویکرد دیگری ساخته شوند. به عنوان مثال در کاربرد شبکه‌های هوشمند، به ترانسفورماتورهای با قابلیت انتقال، کنترل و تصحیح جریان برق به صورت دو سویه نیاز است. افزایش کیفیت توان توسط ترانسفورماتورها به عنوان خواسته‌ی جدید در برخی از کاربردها مطرح است، به عنوان مثال برای غلبه بر مشکلات کیفیت توان (افت ولتاژها، اضافه ولتاژها، فلیکر و هارمونیکها) لازم است تا تجهیزاتی کمکی برای جبران‌سازی نصب شوند و بنابراین برای بدست آوردن کیفیت توان مناسب در سطح ولتاژهای مورد نیاز به حجم زیادی از تجهیزات نیاز است و قرار دادن این حجم زیاد تجهیزات در کاربردهایی چون حمل و نقل ریلی، کشتیرانی، توربینهای بادی فرا ساحل و ... امکانپذیر نیست.

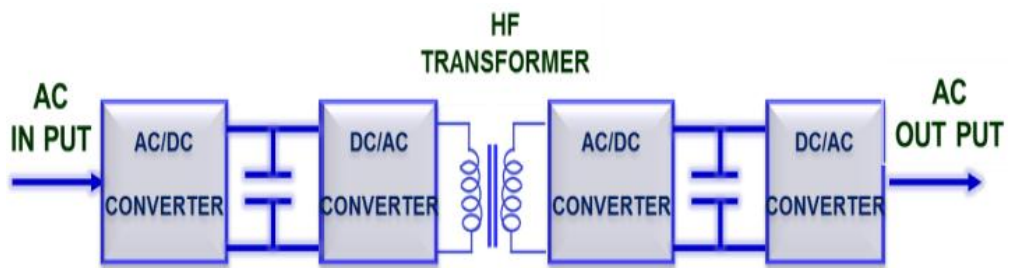
پیشرفت در الکترونیک قدرت و ساخت مواد مغناطیسی کاراتر این امکان را فراهم کرده است که بتوان به ساخت ترانسفورماتورها با رویکردی دیگر پرداخت. نوع جدید ترانسفورماتورها که بر پایه الکترونیک قدرت ساخته می‌شوند PET نام دارند. در این نوع ترانسفورماتورها با به کار بردن المانهای الکترونیک قدرت در طرف اولیه و ثانویه می‌توان به اهدافی چون تبدیل ولتاژ، ایزولاسیون، افزایش کیفیت توان و جبران افت ولتاژ دست یافت.

در سالهای اخیر توپولوژیهای گوناگونی برای ساخت PET پیشنهاد شده است. در یک توپولوژی جریان سینوسی در خط AC به یک موج با فرکانس زیاد یا متوسط مربعی تبدیل می‌شود و به اولیه ترانسفورماتور فرکانس بالا و یا متوسط HF/MF وارد می‌شود. در طرف ثانویه نیز دوباره عمل گفته شده به صورت معکوس انجام می‌شود. البته این روش ویژگیهایی چون تثبیت آنی ولتاژ و جبران افت ولتاژ را به دلیل عدم وجود لینک DC در آن ندارد. شکل (۲-۳۷) دیاگرام این ساختار را نشان می‌دهد. دلیل استفاده از ترانسفورماتور فرکانس بالا این است که حجم، وزن و اندازه‌ی ترانسفورماتور فرکانس بالا نسبت به ترانسفورماتور فرکانس پایین بسیار کمتر است. در این ساختار، می‌توان از مبدل ماتریسی در دو طرف استفاده کرد. مبدل ماتریسی یک مبدل قدرت فرکانسی است که قابلیت تغییر سطح ولتاژ و فرکانس موج سینوسی را دارد.



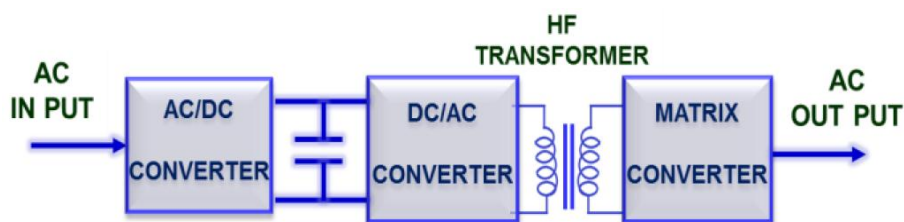
شکل (۲-۳۷): استفاده از دو مبدل AC/AC

در ساختار پیشنهادی دیگری ابتدا ولتاژ AC ورودی یکسو شده و دوباره ولتاژ DC توسط مبدل DC/AC به فرکانس بالا تبدیل می‌شود و به ترانسفورماتور فرکانس بالا وارد می‌شود، ولتاژ با فرکانس بالای القایی در ثانویه یکسو شده و توسط مبدل DC/AC به دامنه و فرکانس مطلوب می‌رسد. یکسوسازها می‌توانند کنترل شده و یا غیر کنترل شده باشند و همچنین از ساختارهای مختلفی از مبدل DC/AC می‌توان استفاده کرد. در این ساختار وجود لینک DC، انعطاف‌پذیری و قابلیت‌های زیادی را برای تجهیز ایجاد می‌کند. این طراحی می‌تواند عملکرد بهبود کیفیت توان و ایزولاسیون را به سیستم اضافه کند. شکل (۲-۳۸) این ساختار را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۳۸): استفاده از چندین تبدیل AC/DC و DC/AC در PET

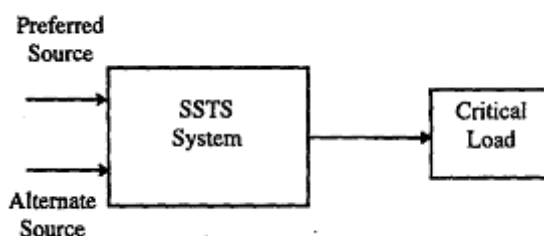
در ساختار دیگر در طرف اولیه ترانسفورماتور فرکانس بالا از تبدیل متوالی DC به AC و بالعکس استفاده شده است و در طرف بار و ثانویه ترانسفورماتور مبدل ماتریسی به کار رفته است. شکل (۲-۳۹) ساختار بلوکی این طراحی را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۳۹): ساختار PET به همراه مبدل ماتریسی و مبدل پشت به پشت

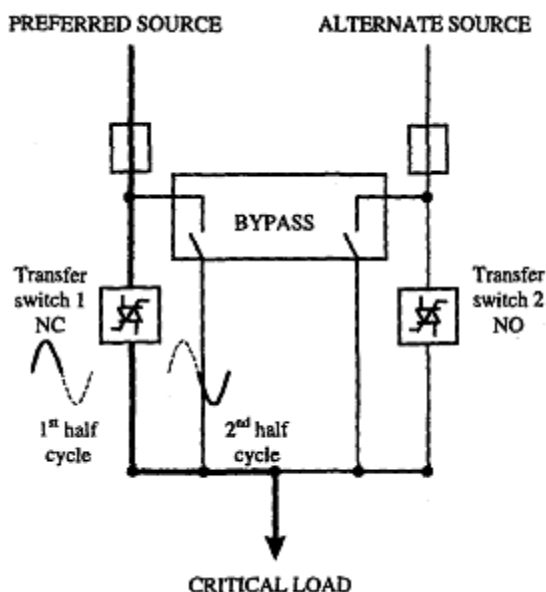
## ۲-۳-۷- کلید انتقال بار استاتیک<sup>۱</sup> (STS)

کلید STS تجهیز می‌تواند بر الکترونیک قدرت است که برای جایگزینی سوئیچ‌های منتقل کننده اتوماتیک مکانیکی استفاده می‌شود. تجهیزات مکانیکی متداول ظرف مدت ۰/۳ تا چند ثانیه می‌توانند تغذیه بار را از فیدری به فیدر دیگر جابجا نمایند و بدین ترتیب جایگزین مناسبی برای تجهیزات UPS در مواقع اضطراری باشند. اما برای تجهیزات الکترونیکی حساس این زمان عملکرد سوئیچ‌های مکانیکی طولانی بوده و لذا نیاز به استفاده از STS به وجود می‌آید که امر جابجائی را می‌تواند در بازه‌ی زمانی بسیار کوتاه در حدود چند میلی ثانیه انجام دهد. شکل (۲-۴۰) دیاگرام عملکردی این سیستم را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۴۰): دیاگرام STS

کلید STS قبل از اقدام به اتصال به فیدر دیگر، اتصال خود به فیدر قبلی را قطع می‌کند. بنابراین بار مورد نظر هرگز به دو منبع متصل نمی‌شود. نکته مهم دیگر آن است که با این روش هرگز اغتشاشات از فیدری به فیدر دیگر منتقل نمی‌شود. شکل (۲-۴۱)، ساختار یک STS متداول را نشان می‌دهد.

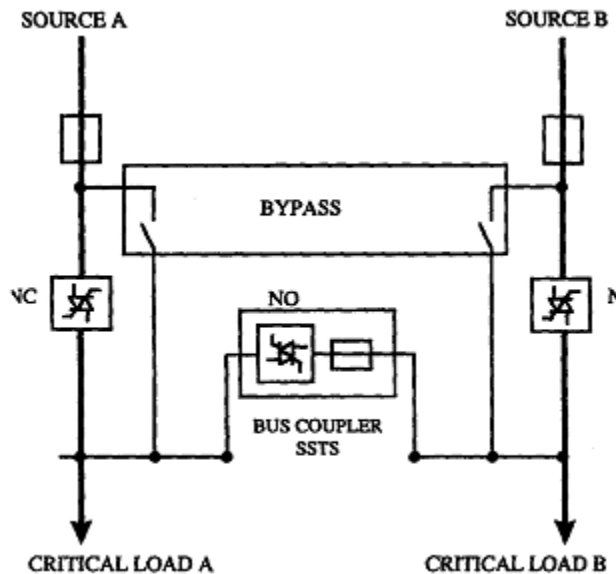


شکل (۲-۴۱): یک STS متداول

در ساختار شکل (۲-۴۱) از دو دسته سوئیچ موازی معکوس سه فاز ترისტوری استفاده شده است. ترستورها که تنها قابلیت هدایت یک طرفه را دارند، در هنگام هدایت یک مسیر امپدانس بسیار پایین را فراهم می‌سازند در حالی که در هنگام قطع امپدانس سری بسیار بزرگی از خود نشان می‌دهند. در هنگام هدایت عادی از فیدر اولیه، ترستورهای شماره ۱ (سری با فیدر اولیه) آتش می‌شوند در حالی که ترستورهای شماره ۲ (سری با فیدر ثانویه) در حالت قطع هستند. در هنگام از دست دادن فیدر اولیه (به دلیل وقوع اتصال کوتاه) و تشخیص آن توسط اندازه‌گیری‌ها و سیستم حفاظتی، سریعا پالس آتش ترستورهای شماره ۱ قطع شده و سپس ترستورهای شماره ۲ آتش می‌شوند تا بار به فیدر ثانویه متصل شود. در شکل (۲-۴۱) استفاده از سوئیچ‌های مکانیکی بایپس برای ایفای نقش کلیدهای مکانیکی منتقل کننده متداول است. این سوئیچ‌ها زمانی استفاده می‌شوند که کلید STS دچار اضافه بار یا خرابی شده باشد. در این ساختار در صورت وقوع هرگونه اغتشاش در یکی از فیدرها بار حساس به فیدر دیگر منتقل می‌شود.

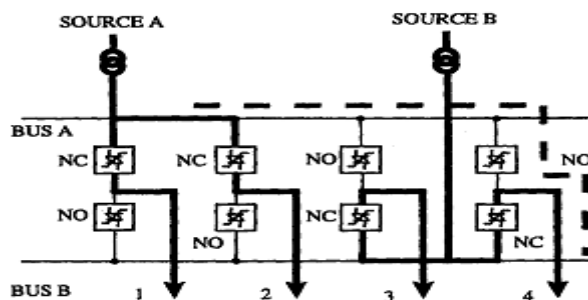
بسته به عواملی نظیر وجود منابع ثانویه، توان و تعداد بارهای حساس و مباحث اقتصادی و حفاظتی ساختارهای گوناگونی برای STS وجود دارد. شکل (۲-۴۲) توپولوژی باس کوپلر را نشان می‌دهد. در این ساختار دو بار حساس به صورت مستقل از

دو فیدر تغذیه می‌شوند. در هنگام وقوع خطا در یکی از فیدرها، کلید STS فیدر A باز شده و باس کوپلر بسته می‌شود و بدین طریق بارها محافظت می‌شوند. عیب این ساختار در این است که سویچ‌های در حال عادی بسته 'NC' نشان داده شده در شکل (۲-۴۲) باید برای ظرفیت نامی مجموع بارها طراحی شوند.



شکل (۲-۴۲): توپولوژی Bus Coupler

شکل (۲-۴۳) توپولوژی دیگری از STS را نشان می‌دهد که در آن برخلاف دو ساختار قبل امکان حفاظت در برابر خطاهای سمت بار نیز وجود دارد.



شکل (۲-۴۳): توپولوژی Bus Transfer

در شکل (۲-۴۳) ، نحوه تغذیه عادی شبکه با خطوط پرننگ نشان داده شده است. در هنگام وقوع خطا در یکی از فیدهای بالادست اصلی (به عنوان مثال فیدر متصل به باس A)، کلیدهای NC باز شده و با بسته شدن کلیدهای در حالت عادی باز<sup>۱</sup> NO مربوط به بارهای ۱ و ۲، این بارها از فیدر A به فیدر B منتقل می‌شوند.

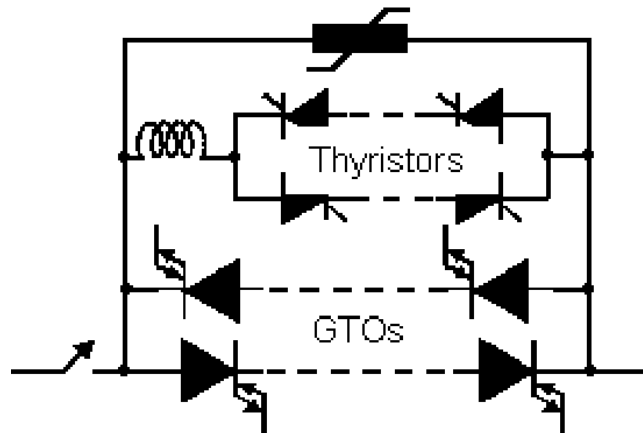
همچنین در هنگام وقوع خطا در یکی از بارها (مثلاً بار شماره ۳ تغذیه شونده از فیدر B)، بار فیدر مجاور (شماره ۴) نیز که مشترکاً به یک باس متصل هستند (باس B) به خطر می‌افتد. در این هنگام کلید NC مربوط به فیدر ۴ باز شده و با بسته شدن کلید NO، فیدر ۴ از باس B به باس A منتقل می‌گردد. نکته مثبت این ساختار در آن است که فیدر قطع نمیشود و با عملکرد سریع سیستم حفاظت موجود، این فیدر قادر به بازگشت سریع به شبکه است [۱۷].

### ۲-۳-۸- مدار شکن استاتیکی<sup>۲</sup> (SCB)

در مدارشکن‌ها یا بریکرهای استاتیکی وظیفه‌ی قطع مدار توسط المان‌های الکترونیک قدرت انجام می‌شود، شمای یک مدارشکن استاتیکی در شکل (۲-۴۴) نشان داده شده است. در این شکل، GTO در حالت عادی عبور دهنده‌ی جریان است و در هنگام تشخیص خطا در سیستم، از مدار خارج شده (در حالت قطع قرار می‌گیرد) و تریستورها وارد مدار می‌شوند. در این هنگام جریان از سلف محدود کننده‌ی جریان خطا عبور می‌نماید و در نهایت با گذر از صفر توسط تریستور قطع می‌شود. یک مقاومت متغیر نیز جهت حذف اضافه ولتاژ گذرا به صورت موازی با آن قرار می‌گیرد [۱۸].

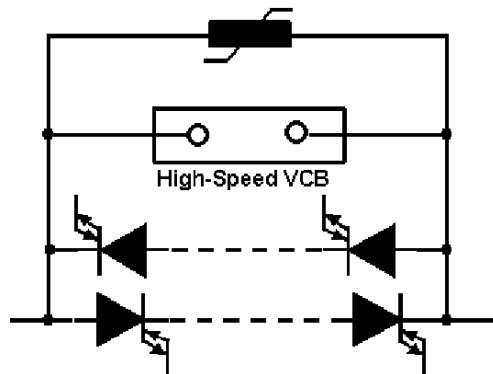
<sup>۱</sup> - Normally Open

<sup>۲</sup> -Static Circuit Breaker



شکل (۲-۴۴): مدار یک نوع از SCB

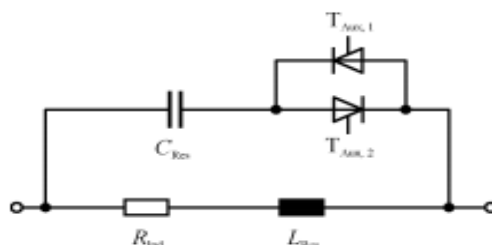
در شکل (۲-۴۵) ساختاری دیگری از SCB نشان داده شده است، در حالت عادی جریان از بریکر خلاً (VCB) عبور کرده و به محض تشخیص خطا به طور همزمان VCB باز شده و GTO روشن می‌شود و جریان از GTO می‌گذرد و کموتاسیون صورت می‌گیرد و با خاموش شدن GTO جریان قطع می‌شود.



شکل (۲-۴۵): ساختار دیگری از SCB

## ۲-۳-۹- محدودساز جریان خطای استاتیک<sup>۱</sup> (SCL)

گسترش اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه توزیع، موجب افزایش سطح اتصال کوتاه شبکه می‌شود که در نتیجه باید تجهیزات شبکه به خصوص تجهیزات قطع کننده بریکر را با تجهیزات دارای ظرفیت بالاتر جایگزین کرد. راهکار دیگر، استفاده از مدارات محدودگر جریان خطای استاتیکی است که بخش مهمی از آن‌ها بر پایه مدارات رزونانسی هستند. در این مدارها در هنگام خطا، با افزایش امپدانس از طریق تنظیم یا از تنظیم خارج کردن مدار رزونانسی سعی در کاهش جریان خطا می‌شود. شکل (۲-۴۶) توپولوژی موازی مدار رزونانسی را نشان می‌دهد که اندوکتانس سری در مسیر اصلی خط قرار می‌گیرد.



شکل (۲-۴۶): توپولوژی موازی مدار رزونانسی

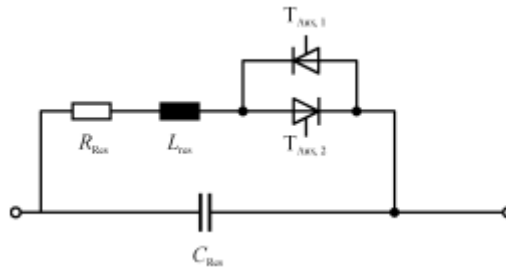
در حالت نرمال، جریان از مسیر سلف و مقاومت سری عبور داده می‌شود اما در صورت وقوع خطا، با تنظیم مناسب زاویه آتش تریستورهای موازی معکوس، مدار در حالت رزونانس قرار گرفته و موجب ایجاد امپدانس معادل بسیار زیادی می‌شود و در نتیجه جریان خطا کاهش می‌یابد.

در این توپولوژی مقدار سلف سری نباید اندازه‌ی بزرگی انتخاب شود تا منجر به افت ولتاژ شبکه و تلفات زیاد نشود. سلف بسیار کوچک نیاز به خازن بسیار بزرگی دارد که باعث افزایش هزینه‌ی ساخت آن می‌شود.

در توپولوژی موازی می‌توان از خازن سری در مسیر اصلی و از سلف موازی کنترل شده‌ی تریستوری موازی با آن استفاده کرد. مزیت مهم این طرح آن است که خازن سری مقاومت بسیار کمتری نسبت به سلف سری دارد، در نتیجه منجر به کاهش تلفات هدایتی خواهد شد. البته جبران‌سازی زیاد خازن در شبکه توزیع، منجر به اضافه ولتاژ دائمی خواهد شد. در صورت استفاده از

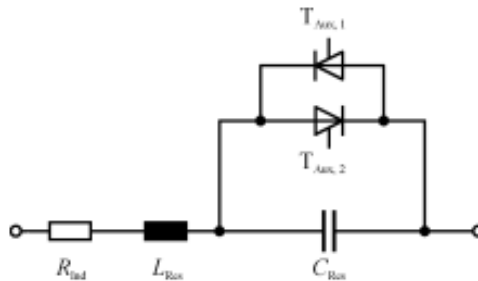


خازن کوچک به سلف بزرگی نیاز است که منجر به طولانی شدن فرآیند کموتاسیون در شرایط خطا خواهد شد. شکل (۲-۴۷) ساختار مداری این روش را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۴۷): توپولوژی موازی مدار رزونانسی نوع ۲

شکل (۲-۴۸) مدار رزونانسی سری را نشان می‌دهد. در این مدار در شرایط عادی بدون خطا سلف و خازن در فرکانس رزونانسی تنظیم شده و امپدانس بسیار کمی از خود نشان می‌دهند، اما در صورت وقوع خطا به کمک یک عامل خارجی از حالت تنظیم خارج می‌شوند و امپدانس سری بزرگی در مسیر خطا قرار می‌دهند که منجر به کاهش جریان خطا می‌شوند.



شکل (۲-۴۸): مدار SCC سری رزونانسی

در شکل (۲-۴۸) به محض وقوع خطا و تشخیص آن، تریستورهای موازی معکوس وارد مدار می‌شوند و جریان را از خود عبور می‌دهند. تغییر زاویه آتش تریستورها باید به گونه‌ای باشد که نرخ  $di/dt$  تریستورها کمتر از مقدار مشخصی باشد. پس از آتش شدن تریستورها، مدار از حالت تنظیم خارج می‌شود، و تنها سلف سری در مدار قرار می‌گیرد و جریان خطا را محدود می‌کند. این موضوع نشان‌دهنده آن است که سلف سری باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا به صورت موثر جریان را محدود کند. تلفات بالای هدایتی از معایب این توپولوژی است [۱۹].

## ۲-۴- مبدل الکترونیک قدرت منابع انرژی پراکنده<sup>۱</sup>

### ۲-۴-۱- میکروتوربین<sup>۲</sup>

میکروتوربین‌ها در ابتدا جهت تأمین توان الکتریکی مورد نیاز هواپیماها و هلی‌کوپترها ساخته شده‌اند. توان خروجی میکروتوربین‌های متداول بین ۳۰ تا ۴۰۰ کیلو وات است. میکروتوربین‌ها در کاربردهای تولید پراکنده و تولید همزمان توان و گرما<sup>۳</sup> نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. می‌توان از سوخت‌های متنوعی نظیر گاز طبیعی، گازوئیل، دیزل، الکل، پروپان و متان در میکروتوربین استفاده کرد. میکروتوربین‌های مدرن با ادوات الکترونیک قدرت، تبادل گر حرارتی، ادوات مخابراتی و سیستم‌های کنترلی ترکیب شده‌اند. یک میکروتوربین نمونه در شکل (۲-۴۹) نشان داده شده است.

در اکثر ساختارهای متداول، شفت میکروتوربین در سرعت‌های تا 120000 rpm یک ژنراتور را می‌چرخاند. خروجی فرکانس بالای ژنراتور در ابتدای یک سو شده و سپس به برق AC تبدیل می‌شود. با استفاده از باز گرمکن و انتقال انرژی حرارتی از اگزوز خروجی به هوای ورودی می‌توان به بازده‌های ۲۵ تا ۳۰٪ رسید.

<sup>1</sup> - Distributed Energy Resource Converter

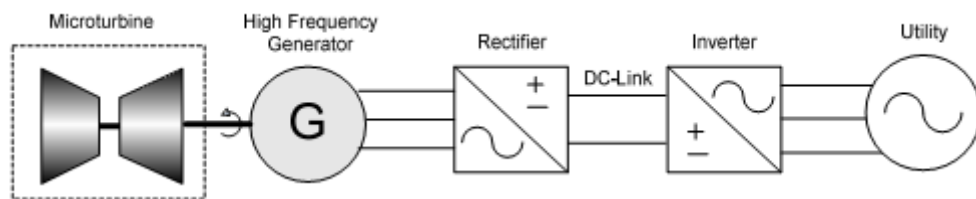
<sup>2</sup> - micro Turbine

<sup>3</sup> -Combine heat and power (CHP)



شکل (۲-۴۹): یک میکروتوربین نمونه (NREL 2008)

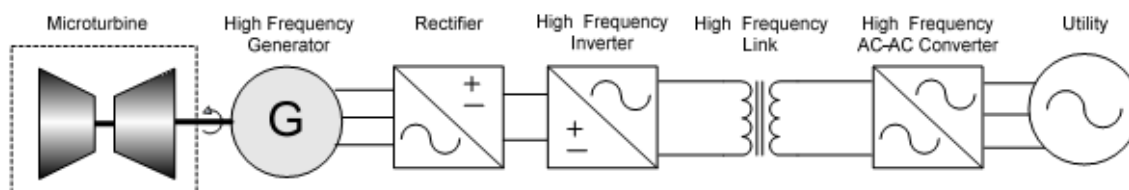
متداولترین شیوه انتقال توان از میکروتوربین به شبکه استفاده از مبدل DC-Link است. توان فرکانس بالای میکروتوربین توسط یک یکسوساز دیودی یا کموتاسیون اجباری به لینک DC منتقل می‌شود. سپس توان این لینک DC توسط یک اینورتر به برق ۵۰ هرتز تبدیل می‌شود. شکل (۲-۵۰) این ساختار را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۵۰): ساختار میکروتوربین با ادوات الکترونیک قدرت

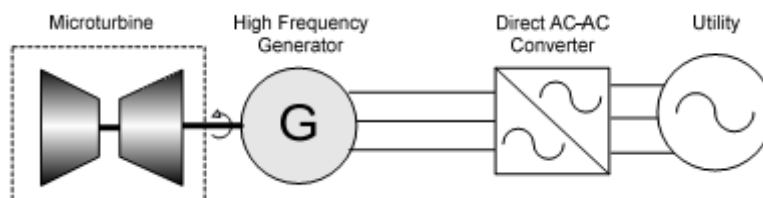
ساختار جذاب دیگری به نام مبدل فرکانس بالا برای میکروتوربین وجود دارد که البته تجاری نشده است. در این ساختار ابتدا ولتاژ فرکانس بالای میکروتوربین از طریق یکسوسازی به خازن لینک DC داده می‌شود. سپس ولتاژ لینک DC توسط اینورتر تک فاز به فرکانس بالا تبدیل می‌شود (به همین دلیل می‌توان از ترانس بسیار کوچک‌تری استفاده کرد) ثانویه ترانسفورماتور به یک مبدل سیکلو کانورتر متصل می‌شود تا برق سه فاز با فرکانس شبکه و سطح ولتاژ مناسب تولید گردد. به‌رغم تعداد قطعات بیشتر در این ساختار مزایایی نظیر استفاده از ترانس برای ایزولاسیون، استفاده از ترانس کوچک، امکان اضافه کردن بارهای

محل فرکانس بالا و امکان اتصال سایر میکروتوربینها به اولیه ترانس با اضافه کردن سیم پیچی های جدید وجود دارد. شکل (۲-۵۱) ساختار بلوکی این روش را نشان می دهد.



شکل (۲-۵۱): بهره برداری از میکروتوربین با ساختار مبدل فرکانس بالا

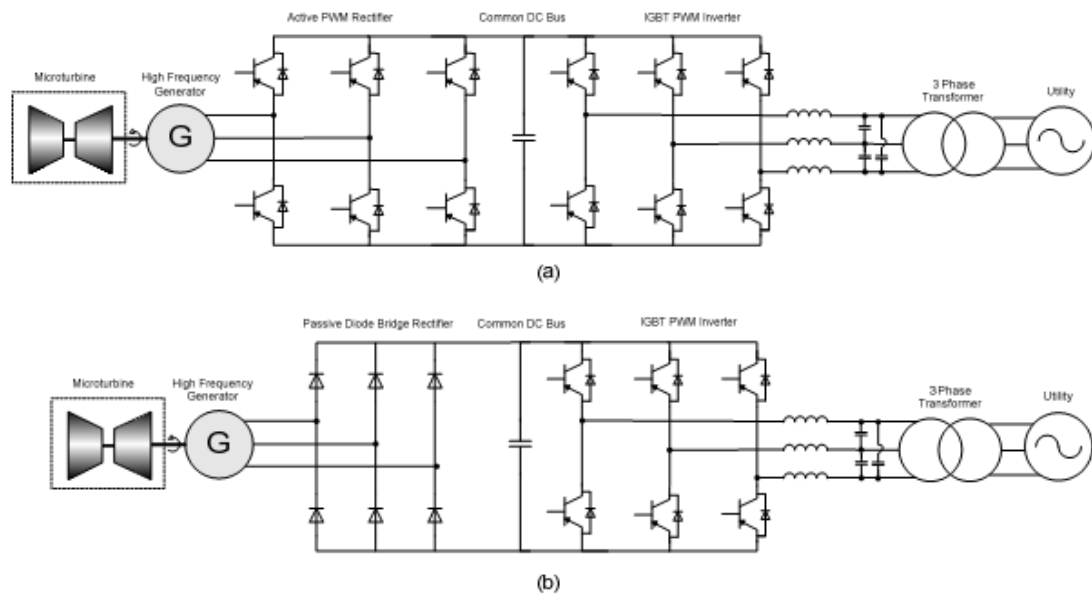
عیب های استراتژی (AC-DC-AC) که در دو ساختار قبلی بررسی شد نظیر ابعاد بزرگ فیزیکی، وزن سنگین، حجم نسبتاً بزرگ لینک DC و قابلیت اطمینان کم لینک DC منجر به بحث استفاده از استراتژی تبدیل AC-AC به کمک مبدل ماتریسی یا سیکلوکانورترها برای اتصال مستقیم میکروتوربین به شبکه شده است. این مبدل ها می توانند ولتاژی با دامنه و فرکانس مشخص را به ولتاژی با دامنه و فرکانس دیگری تبدیل کنند. این ساختار در شکل (۲-۵۲) نشان داده شده است.



شکل (۲-۵۲): ساختار میکروتوربین با مبدل مستقیم AC-AC

عیبی نظیر تعداد بالای سوئیچ ها و نبود لینک DC خازنی به عنوان ذخیره ساز انرژی از مشخصات مبدل های AC-AC هستند. نبود ذخیره ساز انرژی منجر به آن می شود که هرگونه اغتشاش در هر یک از دو طرف مبدل، به طرف دیگر منتقل گردد. همچنین برخلاف ساختار قبلی نمی توان منابع تولید دیگر از جمله میکروتوربین و بار محلی را به این ساختار متصل کرد. البته مبدل های AC-AC را می توان در ساختار قبل ترکیب کرد. به این منظور می توان یکسوساز و اینورتر تک فاز فرکانس بالا را با یک مبدل AC-AC جایگزین کرد.

دو توپولوژی مطرح برای ساختار اول در شکل (۲-۵۳) نمایش داده شده است.



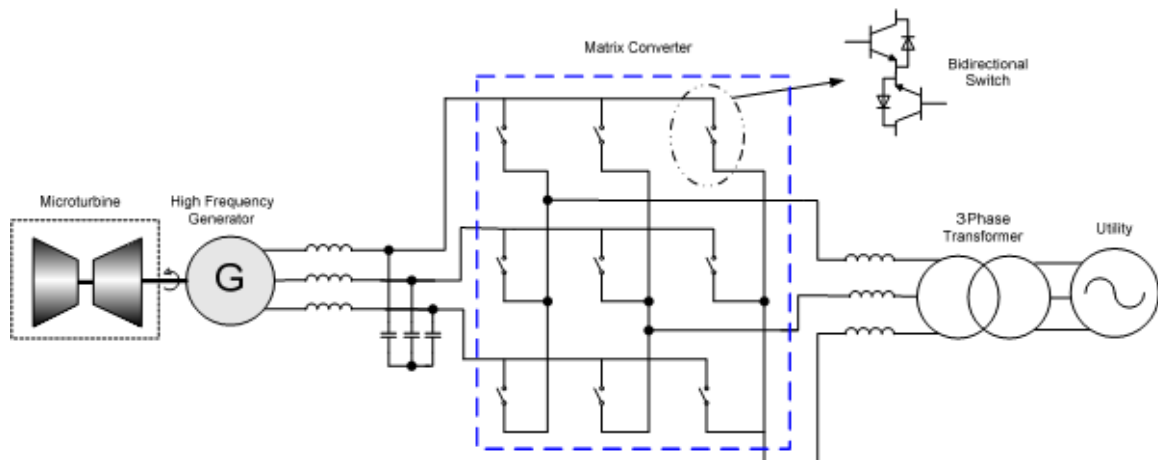
شکل (۲-۵۳): مبدل AC-DC-AC. الف) با یکسوساز کنترل شده ب) با یکسوساز غیر قابل کنترل

استفاده از توپولوژی شکل (۲-۵۳)-الف، امکان راهاندازی نرم میکروتوربین را فراهم می‌آورد اما در صورت استفاده از توپولوژی شکل (۲-۵۳)-ب، از راهاندازی مکانیکی باید استفاده شود. در صنعت عمدتاً از توپولوژی شکل (۲-۵۳)-ب استفاده می‌شود. شکل (۲-۵۴) استفاده از مبدل ماتریسی در تبدیل مستقیم AC-AC را نشان می‌دهد [۲۰] و [۲۱].

## ۲-۴-۲- توربین بادی<sup>۱</sup>

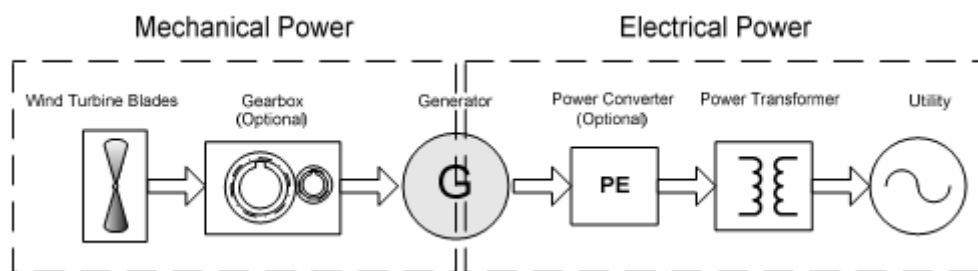
توربین‌های بادی انرژی جنبشی موجود در هوا را به انرژی مکانیکی و سپس از طریق ژنراتور کوپل شده به محور خود آنرا به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند. توان خروجی ژنراتور القایی یا سنکرون متصل به این توربین‌ها بین ۱۰ kW تا ۲/۵ MW است.

<sup>۱</sup> - Wind Turbine



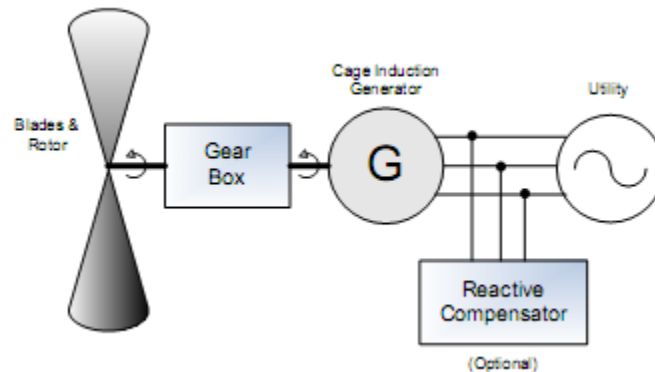
شکل (۲-۵۴): مبدل AC-AC ماتریسی متصل به میکروتوربین [۲۲].

اجزاء عمده سیستم توربین بادی در شکل (۲-۵۵) نشان داده شده است. این اجزاء شامل پره‌های توربین، گیربکس، ژنراتور، ترانسفورماتور و ادوات احتمالی الکترونیک قدرت است.



شکل (۲-۵۵): اجزاء اصلی توربین بادی

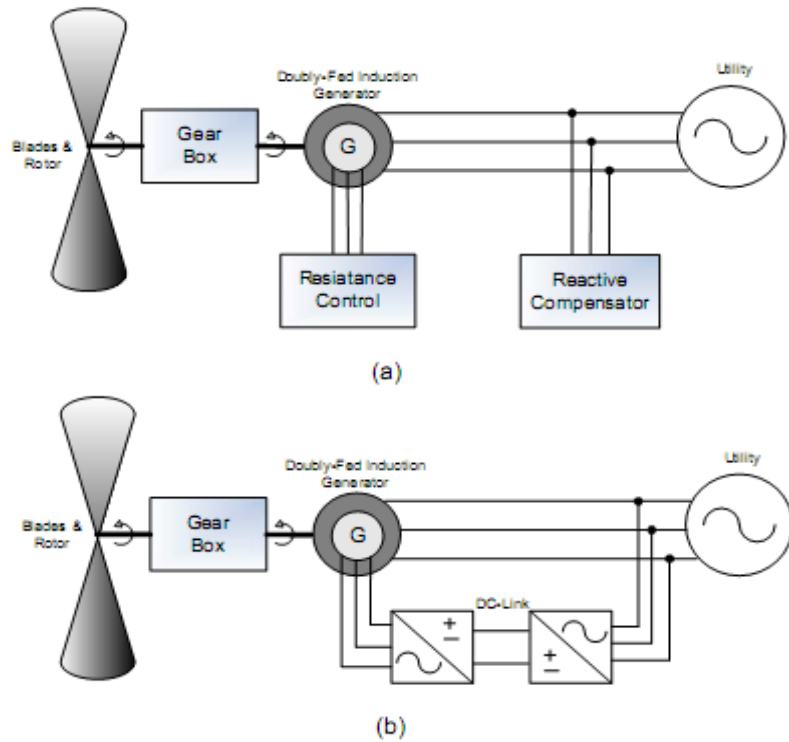
سیستم‌های توربین بادی را می‌توان با توجه به نوع تجهیز الکترونیک قدرت آنان به سه دسته بدون مبدل الکترونیک قدرت، با مبدل الکترونیک قدرت پاره ظرفیت و با مبدل الکترونیکی قدرت تمام ظرفیت تقسیم‌بندی کرد. سیستم‌های بدون مبدل الکترونیک قدرت از ژنراتورهای القائی استفاده می‌کنند. در این حالت توربین بادی و ژنراتور القایی کوپل شده به آن در سرعت ثابتی می‌چرخند و تنها در حدود ۱ الی ۲ درصد با توجه به لغزش ماشین القائی تغییرات سرعت دارند. با توجه به سرعت ثابت این نوع توربین بادی امکان ردیابی حداکثر توان وجود دارد. ژنراتور القائی برای کار نیاز به توان راکتیو دارد که می‌تواند از طریق شبکه یا از طریق بانک‌های خازنی نصب شده آنرا تامین کند. همچنین برای محدود کردن جریان راه‌اندازی زیاد ماشین القائی از راه‌انداز نرم استفاده می‌شود. این ساختار در شکل (۲-۵۶) نشان داده شده است.



شکل (۲-۵۶): ژنراتور القایی با اتصال مستقیم

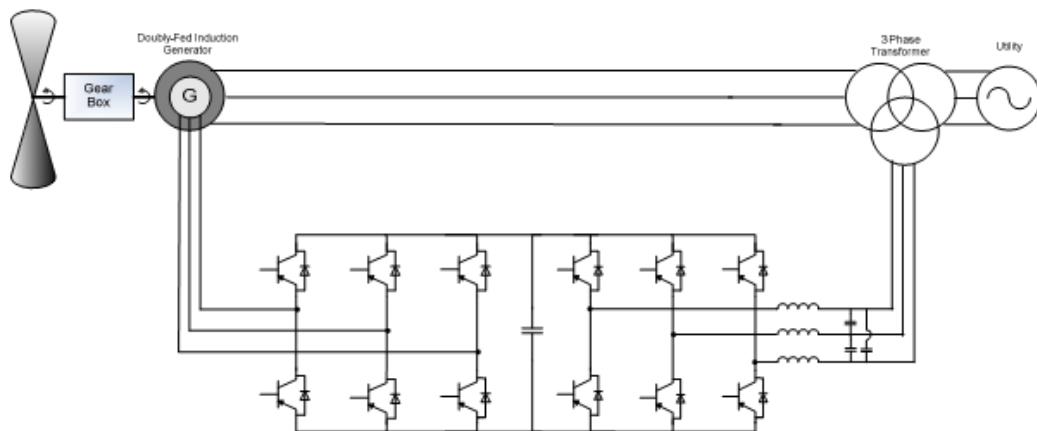
سیستم‌های بادی با مبدل‌های پاره ظرفیت از ماشین القایی با رتور سیم‌بندی شده استفاده می‌کنند که در آن سیم‌بندی‌های استاتور و رتور قابل دسترسی هستند. توان خروجی ژنراتور از طریق استاتور و مبدل الکترونیک قدرت متصل به رتور به شبکه تزریق می‌شود. تجهیز الکترونیک قدرت متصل به رتور ژنراتور القایی، توان AC با ولتاژ و فرکانس متغیر را به شبکه با فرکانس و ولتاژ ثابت تزریق می‌کنند و امکان بهره‌برداری در سرعت متغیر را فراهم می‌آورند. با توجه به کنترل‌پذیری توان عبوری از رتور ماشین القایی موسوم به DFIG می‌توان سرعت توربین بادی را حدود  $\pm 30\%$  کنترل کرد که این امر امکان دنبال کردن نسبی نقطه حداکثر توان برای توربین بادی را فراهم می‌کند.

جبران‌سازی توان راکتیو مورد نیاز ژنراتور القایی نیز از مزایای دیگر این روش است. همچنان با استفاده بخشی از توان توربین و ژنراتور به کمک مدار رتور می‌توان ظرفیت استاتور را در حدود ۲۵٪ در مرحله طراحی کاهش داد. این ساختار در شکل (۲-۵۷) نشان داده شده است [۲۳] و [۲۴].



شکل (۲-۵۷): توربین بادی متصل به DFIG

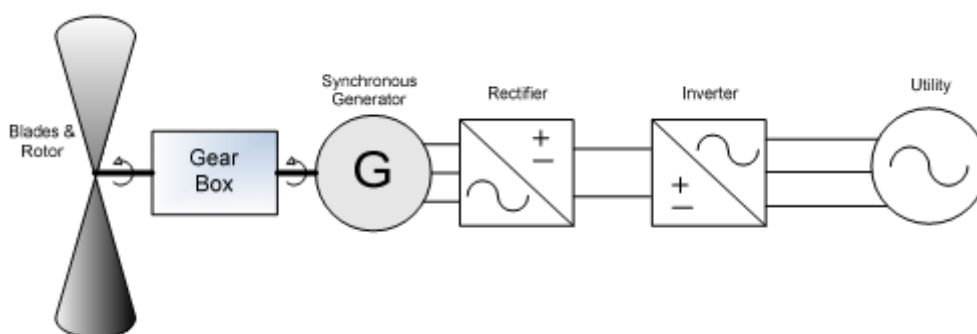
مبدل الکترونیک قدرت مورد استفاده در DFIG از نوع پست به پست AC-DC-AC مبتنی بر IGBT است. مبدل سمت ژنراتور توسط حلقه‌های لغزان به روتور متصل می‌شوند. ساختار DFIG عموماً در توربین‌های بالای یک مگاوات کاربرد دارد. شکل (۲-۵۸) توپولوژی مداری مبدل به کار رفته در DFIG را نشان می‌دهد [۲۵].



شکل (۲-۵۸): توپولوژی مبدل الکترونیک قدرت مورد استفاده در DFIG



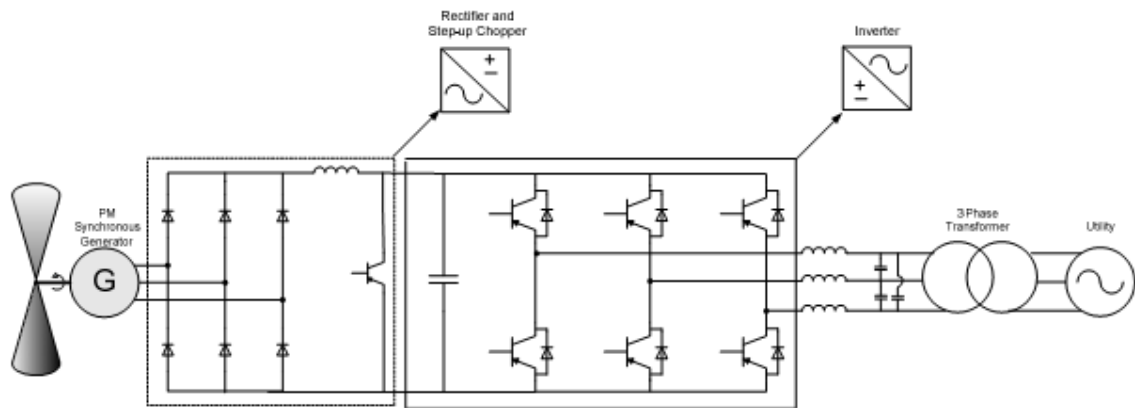
در نوع سوم توربین بادی از مبدل‌های تمام ظرفیت استفاده می‌شود و می‌توان از ژنراتورهای القایی و ژنراتورهای سنکرون (غالباً از نوع مغناطیس دائم) استفاده کرد. ابتدا توان در ولتاژ AC با ولتاژ و فرکانس متغیر به برق DC تبدیل شده و سپس مبدل DC-AC این توان را با کنترل مناسب به شبکه با ولتاژ و فرکانس ثابت منتقل می‌کند. در این ساختار با توجه به کنترل کامل توان تبدلی ژنراتور، می‌توان سرعت آن را در محدوده‌ی سرعت صفر تا سرعت نامی کنترل کرد، در نتیجه به صورت کامل می‌توان نقطه حداکثر توان را برای توربین بادی دنبال کرد. این ساختار در شکل (۲-۵۹) نشان داده شده است [۲۶].



شکل (۲-۵۹): سیستم توربین بادی متصل به ژنراتور سنکرون و مبدل تمام ظرفیت

می‌توان ساختار بلوکی نشان داده شده در شکل (۲-۵۹) را با ساختار مدار نشان داده شده در شکل (۲-۶۰) تحقق بخشید. در این ساختار ابتدا ولتاژ AC با دامنه و فرکانس متغیر ژنراتور توسط پل دیودی یکسو می‌شود. سطح ولتاژ DC یکسو شده با توجه به سرعت چرخش ژنراتور متغیر است. لذا از یک مبدل DC-DC و خازن بزرگ C برای تثبیت ولتاژ لینک DC استفاده می‌شود. ولتاژ DC از طریق مبدل DC/AC به ولتاژ AC کنترل شده‌ای تبدیل می‌شود و توان توربین بادی به شبکه منتقل می‌شود.

در برخی از مراجع، استفاده از مبدل‌های ماتریس AC-AC پیشنهاد شده است که مزایا و معایب آن در بخش قبلی بیان شده‌است.



شکل (۲-۶۰): توپولوژی سیستم توربین بادی متصل به ژنراتور سنکرون و مبدل تمام ظرفیت

## ۲-۴-۳- پیل سوختی<sup>۱</sup>

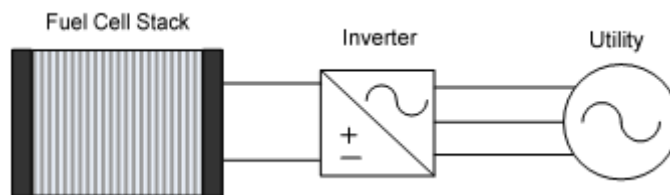
پیل‌های سوختی هم اکنون به عنوان گزینه‌ی جایگزین موتورهای احتراق داخلی در خودروها و گزینه‌ی جایگزین نیروگاه‌های متداول در سیستم قدرت مطرح شده‌اند. پیل سوختی تجهیزاتی الکتروشیمیایی است که با اثرات نائلوب محیط زیستی بسیار کم و چگالی توان بالا، الکتریسیته تولید می‌کند. راندمان پیل سوختی در حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد است که در صورت استفاده از انرژی حرارتی اتلافی آن در کاربردهای CHP، راندمان آن به ۸۰ درصد نیز می‌رسد. شکل (۲-۶۱) یک دستگاه پیل سوختی نصب شده را نشان می‌دهد.

<sup>۱</sup> - Fuel Cell



شکل (۲-۶۱): پیل سوختی و اینورتر مربوطه

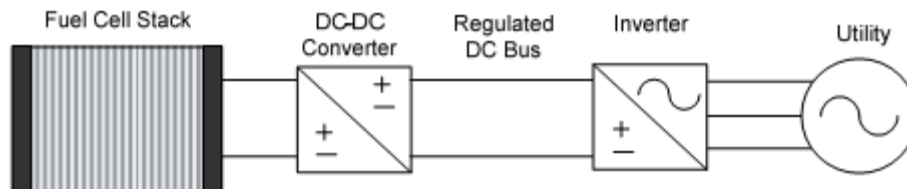
از آنجا که پیل‌های سوختی توان را به صورت ذاتی به فرم DC و در ولتاژ کم تولید می‌کنند، عموماً تجهیزات DC-DC و اینورترها برای انتقال توان پیل‌های سوختی به شبکه لازم است. ساده‌ترین ساختار اتصال پیل سوختی به شبکه در شکل (۲-۶۲) نشان داده می‌شود [۲۴].



شکل (۲-۶۲): ساختار اتصال پیل سوختی به کمک یک اینورتر به شبکه

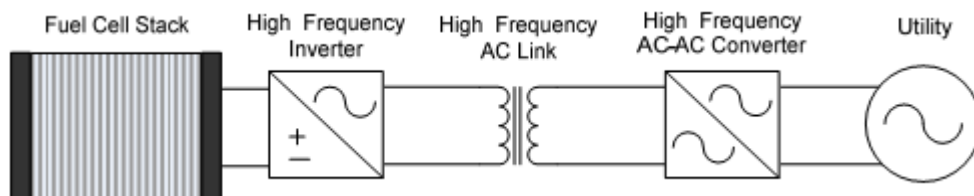
در این ساختار، در صورت نیاز به سطح ولتاژ بالا در شبکه باید از ترانس فرکانس پایین در سمت AC مبدل استفاده شود، که باعث افزایش حجم و هزینه خواهد شد. برای جهت رفع این عیب می‌توان از یک مبدل DC-DC مطابق با شکل (۲-۶۳)

بهره گرفت. در این شکل، مبدل DC-DC وظیفه ایزولاسیون DC اینورتر پیل سوختی و بالا بردن سطح ولتاژ DC تولیدی به مقدار مناسبی برای اینورتر را انجام می‌دهد [۲۷].



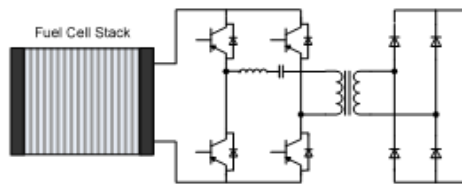
شکل (۲-۶۳): ساختار پیل سوختی با مبدل‌های سری شده DC-DC و DC-AC

در توپولوژی دیگر افزایش ولتاژ از طریق لینک فرکانس بالای AC انجام می‌شود. در این توپولوژی ابتدا ولتاژ DC تولیدی توسط پیل سوختی از طریق مبدل DC/AC به ولتاژ AC با فرکانس بالا تبدیل می‌شود. این ولتاژ فرکانس بالا سپس توسط یک ترانسفورماتور فرکانس بالای کوچک به سطح مناسب می‌رسد تا توسط مبدل فرکانسی AC-AC به شبکه قدرت متصل شود. شکل (۲-۶۴) ساختار بیان شده را نشان می‌دهد.

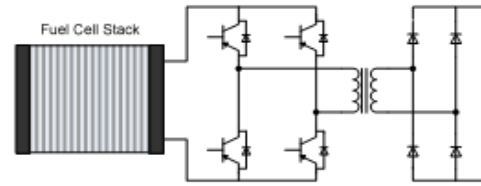


شکل (۲-۶۴): ساختار اتصال پیل سوختی از طریق لینک فرکانس بالا

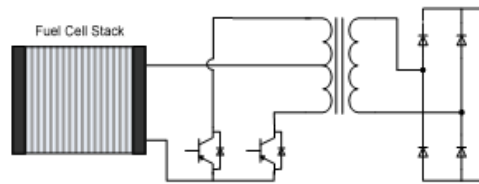
مبدل‌های DC-DC و DC-AC بکار برده شده در ساختارهای فوق را با توپولوژی‌های گوناگونی می‌توان تحقق بخشید. به عنوان مثال برای تحقق مبدل DC-DC می‌توان از توپولوژی‌های Forward، مبدل H-Bridge با کلیدزنی نرم رزونانس سری و پوش پول استفاده کرد. شکل (۲-۶۵)، شمای مداری سه نوع مبدل DC/DC را نشان می‌دهد [۲۸].



Series Resonant H-bridge (ب)



Forward H bridge (الف)



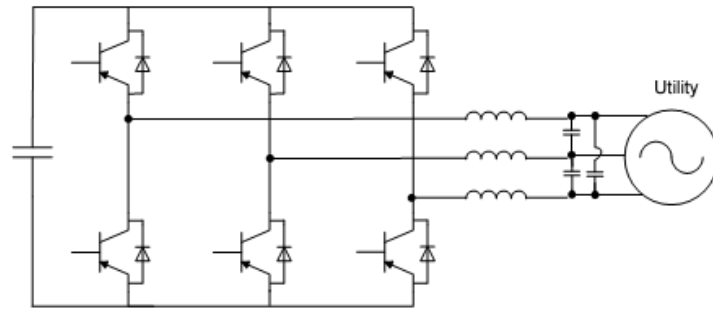
(ج) پوش پول

شکل (۲-۶۵): مبدل‌های ایزوله DC-DC

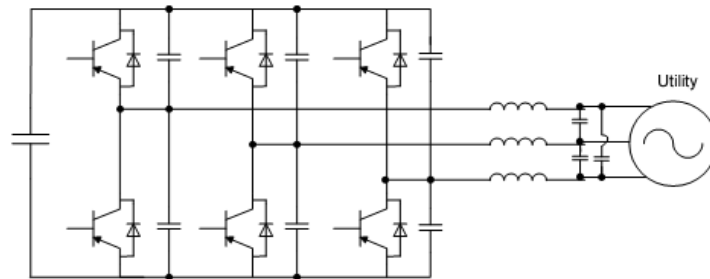
مبدل شکل (۲-۶۵)-ب برای کاهش تلفات سوئیچینگ مبدل Forward بکار می‌رود و از مزیت ذاتی حفاظت در برابر اتصال کوتاه برخوردار است. مبدل پوش پول (شکل (۲-۶۵)-ج) نیز نشان‌دهنده توپولوژی دیگری است که در آن از کلیدهای کمتری استفاده شده‌است. تمامی پل‌های دیودی شکل (۲-۶۵) را می‌توان با انواع نیم موج آن جایگزین نمود. اینورترهای سه فاز متنوعی را می‌توان برای اینورترهای DC-AC استفاده شده در ساختارهای مورد بحث استفاده کرد. شکل (۲-۶۶) دو نوع ساختار سوئیچینگ سخت و رزونانس پل سه فاز را نشان می‌دهد [۲۷].

اینورتر شکل (۲-۶۶)-الف به صورت گسترده در صنعت کاربرد دارد اما از تلفات سوئیچینگ بالایی دارد. به منظور کاهش تلفات سوئیچینگ می‌توان از اینورتر شکل (۲-۶۶)-ب استفاده کرد که از تکنیک کلید زنی در ولتاژ صفر<sup>۱</sup> (ZVS) در آن استفاده می‌شود.

1 - Zero Voltage Switching (ZVS)



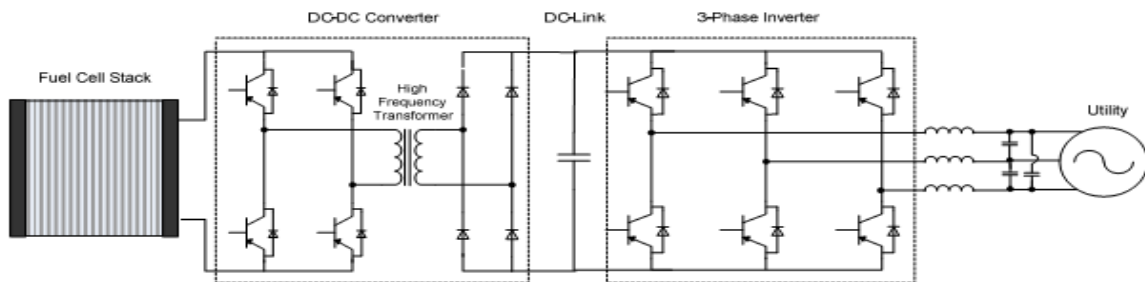
الف) سوئیچینگ سخت



ب) رزونانس پل

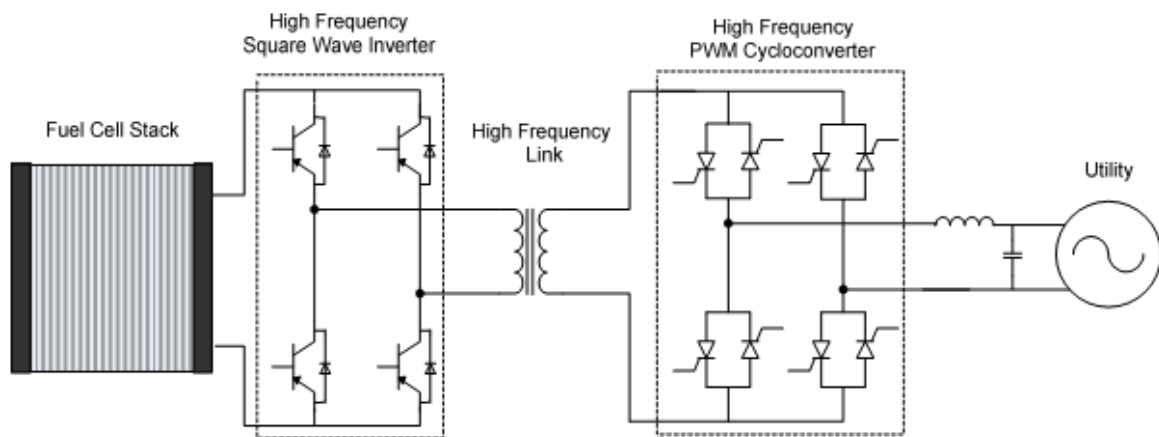
شکل (۲-۶۶): اینورترهای سه فاز

با ترکیب مبدل‌های DC/AC ، AC/DC و DC/DC مختلف در ساختارهای مختلف می‌توان به توپولوژی‌های مختلفی دست یافت به عنوان مثال با استفاده از یک مبدل DC/DC از نوع Forward و یک مبدل DC/AC با سوئیچینگ سخت در شکل (۲-۶۳) توپولوژی ایجاد می‌شود که شمای مداری آن در شکل (۲-۶۷) نشان داده شده است [۲۸].



شکل (۲-۶۷): شمای مداری استفاده از مبدل DC/DC از نوع Forward و یک مبدل DC/AC با سوئیچینگ سخت به

در کاربردهای خانگی از پیل سوختی با سطح توان متوسط استفاده می‌شود. ساختار نشان داده شده در شکل (۲-۶۴) که در آن از لینک ولتاژ فرکانس بالا استفاده می‌شود را می‌توان با اینورتر موج مربعی فرکانس بالا و یک سیکلوکانورتر و ترانسفورماتور فرکانس بالا تحقق بخشید و در کاربرد خانگی از آن استفاده کرد. ساختار مداری این توپولوژی در شکل (۲-۶۸) نشان داده شده است [۲۸].



شکل (۲-۶۸): مبدل سری شده DC-AC و AC-AC

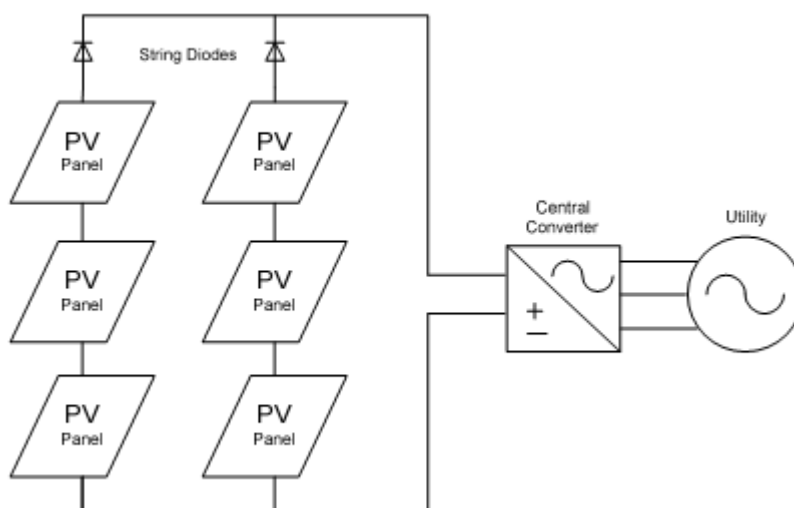
## ۲-۴-۴- فتوولتائیک<sup>۱</sup>

در تکنولوژی فتوولتائیک انرژی تابشی خورشید مستقیماً به الکتریسیته تبدیل می‌شود. در تجهیزات فتوولتائیک عمدتاً از ماده نیمه هادی سیلیکونی استفاده می‌شود و تابش خورشید با بازده ۱۰ تا ۱۵ درصد به توان الکتریکی با ولتاژ dc تبدیل می‌شود. با توجه به ولتاژ، جریان و توان کم تولیدی هر سلول، می‌توان تعداد زیادی از آنها را به صورت سری-موازی اتصال داد تا به میزان ولتاژ و جریان مطلوب رسید، در این صورت یک ماژول فتوولتائیک تشکیل می‌شود. با اتصال موازی و سری ماژول‌های فتوولتائیک یک آرایه‌ی فتوولتائیک ایجاد می‌شود. توان خروجی ماژول‌ها و آرایه‌های فتوولتائیک در ولتاژ DC است و باید توسط مبدل DC-AC و در صورت لزوم تجهیزات دیگر به شبکه متصل شود. عمدتاً ولتاژ خروجی DC ماژول‌ها و آرایه‌های فتوولتائیک سطح کمی دارد و باید توسط مبدل DC-DC افزایش سطح صورت گیرد، به گونه‌ای که مبدل DC-AC در ولتاژ

<sup>۱</sup> - Photovoltaic

مناسب به شبکه اتصال یابد. مبدل DC-DC همچنین وظیفه دنبال کردن نقطه حداکثر توان را نیز بر عهده دارد. ساختارهای سیستم‌های فتوولتائیک می‌توانند به گونه‌های مختلفی باشند که در تمامی ساختارها یک یا تعدادی از تجهیزات الکترونیک قدرت وظیفه‌ی اتصال آنها به شبکه را به عهده دارند.

شکل (۲-۶۹)، ساختار اتصال فتوولتائیک به صورت متمرکز را نشان می‌دهد که در آن ماژول‌های فتوولتائیک به صورت سری و موازی با یکدیگر قرار گرفته‌اند و سپس به یک مبدل متمرکز DC-AC متصل شده‌اند. مزیت این سیستم در آن است که به دلیل استفاده از تنها یک اینورتر صرفه‌جویی اقتصادی شده‌است. عیب این روش، قابلیت اطمینان پایین سیستم است زیرا در صورت خروج احتمالی و خرابی اینورتر متمرکز، تمام مجموعه از سرویس خارج می‌شود. همچنین در صورت عدم تعادل میان ماژول‌های فتوولتائیک تلفات توان زیادی ایجاد خواهد شد. همچنین تلفات توان روی ردیف دیودها نیز قابل توجه است.



شکل (۲-۶۹): ساختار فتوولتائیک متمرکز

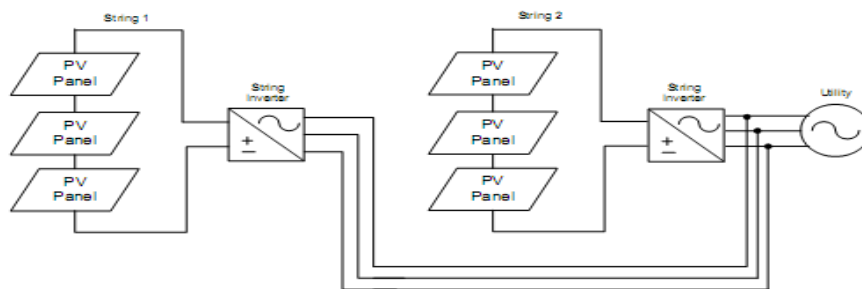
شکل (۲-۷۰) الف- یک ساختار اتصال سیستم‌های فتوولتائیک به صورت آرایه‌ی رشته‌ای را نشان می‌دهد. در این ساختار ماژول‌ها سری شده و با تشکیل دادن یک آرایه به صورت یک رشته، از طریق مبدل الکترونیک قدرت مختص خود به شبکه متصل می‌شوند. مزیت مهم این ساختار کاهش تلفات توان به دلیل نبود ردیف دیودها<sup>۱</sup> است. همچنین فرآیند دنبال کردن نقطه

<sup>۱</sup> - String Diode

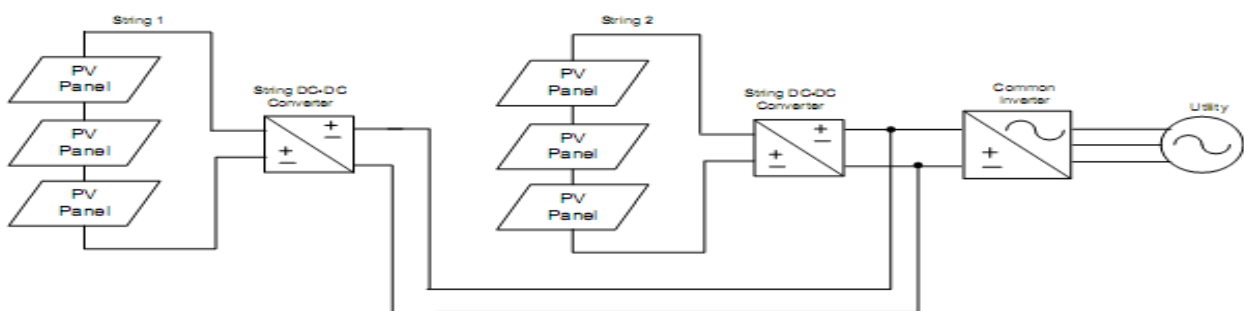


حداکثر توان بهتر صورت می‌پذیرد. این ساختار به دلیل استفاده از چندین اینورتر نسبت به ساختار قبلی گرانتر است، اما دارای قابلیت اطمینان بالاتری هم است.

ولتاژ تولیدی توسط رشته‌های فتوولتائیک ممکن است به اندازه کافی بزرگ باشد و نیازی به استفاده از مبدل DC-DC نباشد. اما به دلیل گران بودن ماژول‌های فتوولتائیک ممکن است تصمیم بر نصب تعدادی کمتر از ماژول‌ها در هر رشته گرفته شود. به این منظور لازم است که ولتاژ تولیدی هر رشته به کمک مبدل DC-DC افزایش یابد و تمامی رشته‌ها به یک باس DC مشترک متصل شوند. توان این باس DC مشترک، توسط یک مبدل DC-AC به شبکه تزریق خواهد شد. این ساختار در شکل (۲-۷۰) ب نشان داده شده‌است.



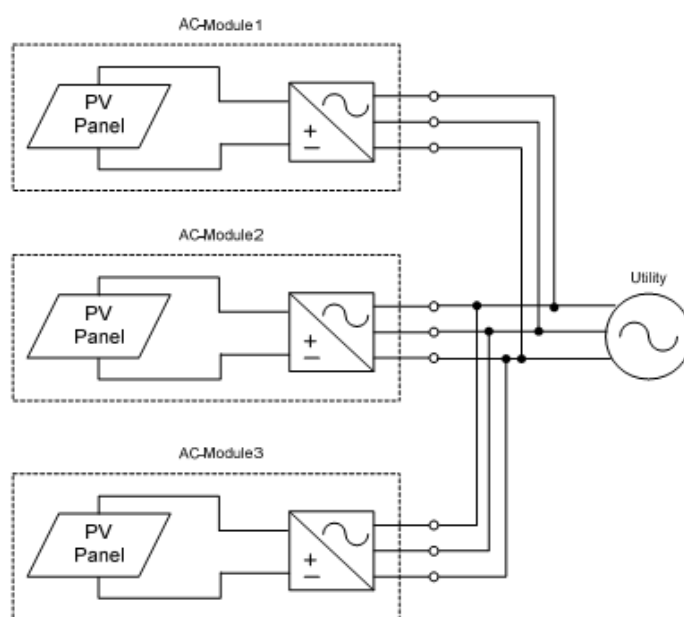
الف) ماژول‌های فتوولتائیک در رشته با اینورترهای مجزا



ب) ماژول‌های فتوولتائیک در رشته با مبدل‌های DC-DC مجزا

شکل (۲-۷۰): ساختار اتصال آرایه‌ی سیستم‌های فتوولتائیک

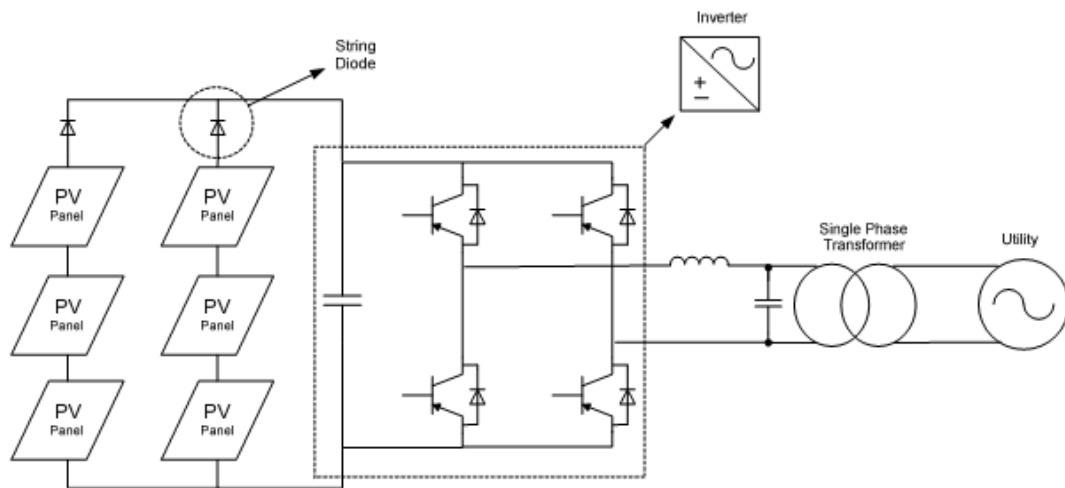
ساختار دیگری نیز وجود دارد که به دلیل نصب و بهره‌برداری آسان به‌رغم گران‌تر بودن از کاندیداهای آینده خواهد بود. در این ساختار هر ماژول توسط اینورتر مخصوص به خود به شبکه متصل می‌شود و بنابراین اتصال ماژول‌ها به سادگی و بدون آنکه بر تجهیزات دیگر اثرات جانبی بگذارد صورت می‌گیرد. شکل (۲-۷۱)، چگونگی اجرای این ساختار را نشان می‌دهد. توپولوژی‌های مختلف برای تحقق ساختارهای معرفی شده را با توجه به تعداد طبقات تبدیل توان، خازن واسط dc، ترانسفورماتو-رهای مورد استفاده و نوع شبکه می‌توان تقسیم بندی کرد. در این جا تقسیم بندی برحسب تعداد فازهای خروجی اینورتر ارائه شده است.



شکل (۲-۷۱): ساختار شامل تجهیز الکترونیک قدرت مجزا برای هر ماژول فتوولتائیک

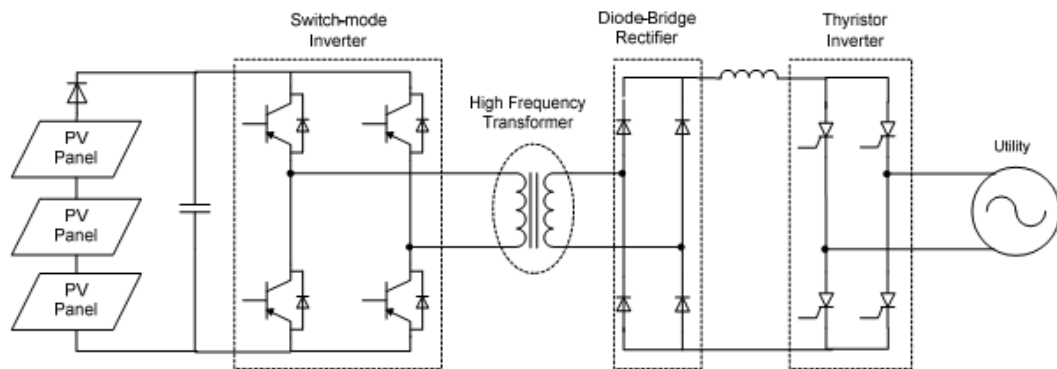
شکل (۲-۷۲)، متداول‌ترین توپولوژی اینورتر که تک فاز تک طبقه و با کموتاسیون خودی است را نشان می‌دهد. خروجی DC آرایه‌ی فتوولتائیک با خازنی موازی شده است تا اعوجاجات ولتاژ سمت آرایه‌ی فتوولتائیک حذف شود. اینورتر خروجی از نوع تمام پل است و با فیلتر LC سری شده است تا هارمونیک‌های فرکانس بالای کلیدزنی اینورتر را حذف نماید. به کمک اندازه‌گیری فاز شبکه و کنترل جریان‌های توالی مثبت و منفی، مبدل DC-AC ضمن تولید ولتاژ AC مناسب، توان مجموعه‌ی فتوولتائیک را به شبکه منتقل می‌کند.

برای ایزولاسیون و تطبیق ولتاژ نیز از یک ترانس در سمت AC مبدل استفاده می‌شود. این ساختار معیابی مانند اتلاف توان بالا به خصوص در سایه‌ی موقت و دنبال کردن نامناسب نقطه بهینه توان را دارد. حضور ترانسفورماتور در سمت خروجی مبدل DC-AC شکل (۲-۷۲) منجر به گران شدن و افزایش فضای مورد نیاز و وزن سیستم می‌شود. بنابراین برای هدف تطبیق ولتاژ می‌توان ترانسفورماتور را حذف کرد و از یک مبدل DC-DC استفاده کرد که وظیفه دنبال کردن نقطه حداکثر توان و افزایش سطح ولتاژ را بر عهده دارد. این ساختار در شکل (۲-۷۳) نشان داده شده است.



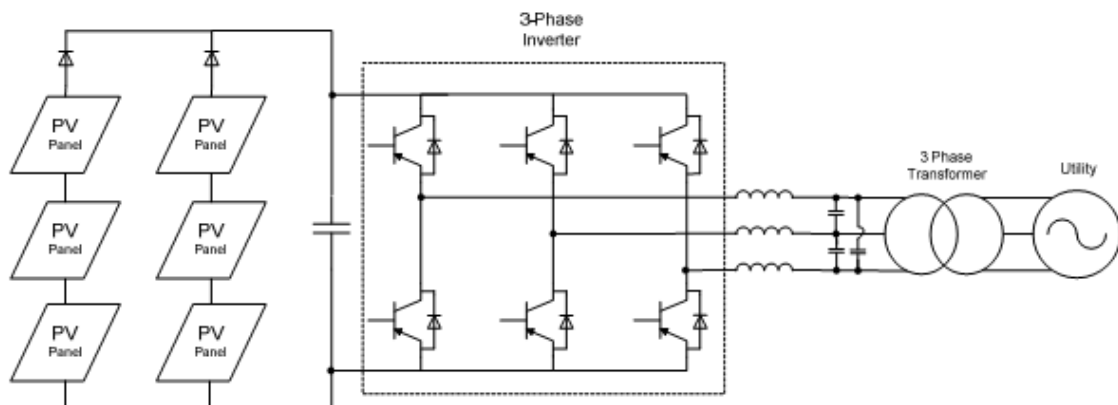
شکل (۲-۷۲): مبدل DC-AC تک فاز - تک طبقه برای مجموعه فتوولتائیک مجتمع

مبدل DC-DC از یک ترانس فرکانس بالا (که به دلیل فرکانس بالا حجم بسیار کمی دارد) برای افزایش سطح ولتاژ و ایزولاسیون استفاده می‌کند. خروجی DC مبدل DC-DC به کمک یک مبدل DC-AC منبع جریانی از نوع تمام پل تریستوری به شبکه منتقل می‌شود.



شکل (۲-۷۳): مبدل DC-AC و DC-DC تک فاز چند طبقه

برای کاربردهای بالاتر از 10kW از اینورترهای سه فاز برای اتصال مجموعه PV به شبکه استفاده می‌شود. مانند توپولوژی‌های قبل، عمل تطبیق ولتاژ و ایزولاسیون توسط ترانس ۵۰ هرتز و یا ترانس فرکانس بالا (در این حالت مبدل DC-DC نیز بایستی اضافه گردد) انجام می‌گیرد. شکل (۲-۷۴) شکل (۲-۷۱) یک توپولوژی اینورتر سه فاز با ترانس ایزولاسیون DC سمت شبکه را نشان می‌دهد. خازن DC سمت مجموعه PV، وظیفه جلوگیری از ورود هارمونیک‌های سمت مجموعه PV به مبدل را بر عهده دارد. خروجی اینورتر سه فاز نیز با فیلتر LC سری شده تا مانع از تزریق هارمونیک‌های فرکانس بالا به شبکه گردد.



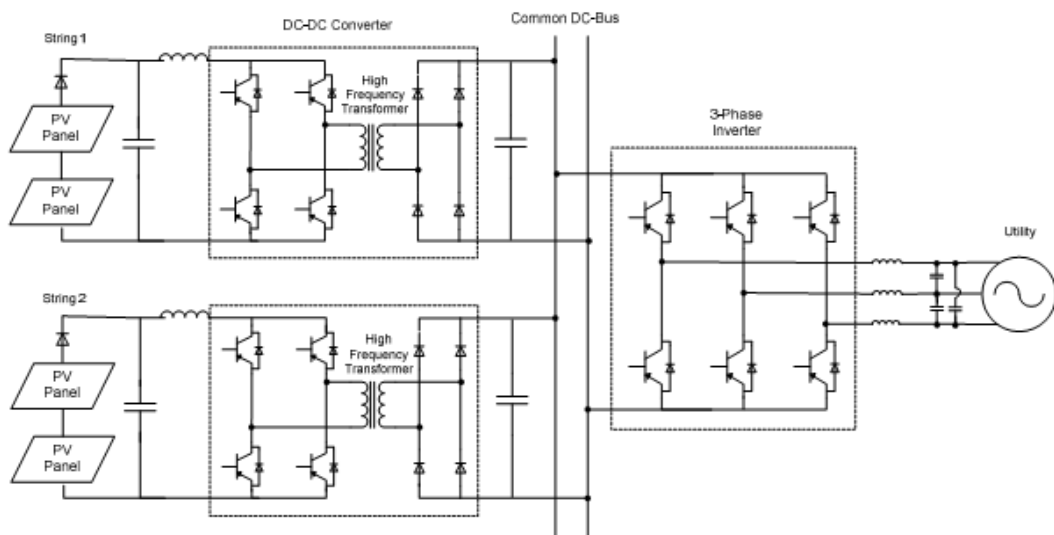
شکل (۲-۷۴): توپولوژی سه فاز مبدل DC-AC متصل به مجموعه PV و ترانس ۵۰Hz

ساختارهای گوناگونی برای حذف ترانس ۵۰ هرتز سمت شبکه وجود دارد. این ساختارها بیشتر مناسب کشورهای اروپایی و ژاپن هستند که زمین کردن برای اینورترهای PV اجباری نیست.

امروزه اینورترهای مدرن از ترانس‌های فرکانس بالا برای ایزولاسیون و تطبیق ولتاژ استفاده می‌کنند. شکل (۲-۷۵) یک نمونه از این ساختارها را نشان می‌دهد. در این ساختار، ترانس فرکانس بالا در سمت مبدل DC-DC قرار داده شده است. این توپولوژی برای ساختار چند رشته‌ای بسیار مناسب است چرا که هر رشته با مبدل DC-DC خود می‌تواند به باس DC مشترک متصل شوند و توسط یک اینورتر DC-AC به شبکه متصل گردند [۲۴]، [۲۶] و [۲۹].

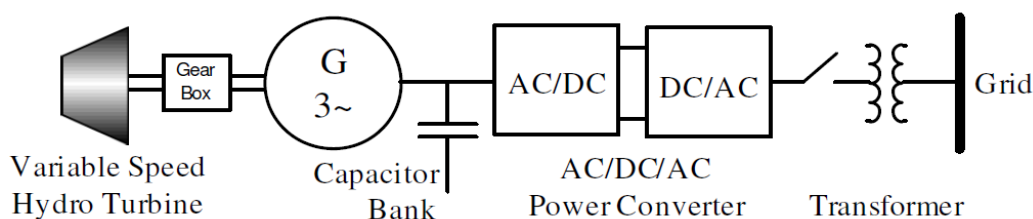
## ۲-۴-۵- مبدل فرکانس استاتیک توربین‌های آبی کوچک<sup>۱</sup>

مشابه با توربین‌های بادی در توربین‌های آبی نیز در صورت قابلیت عملکرد در سرعت‌های مختلف بازدهی نیروگاه آبی افزایش می‌یابد. توپولوژی‌های مختلف برای مبدل واسط واحدهای کوچک آبی وجود دارند. در سالهای اخیر، از مبدل‌های منبع ولتاژ (VSC) در این کاربرد استفاده می‌شود. به عبارت دیگر از ترکیب مبدل AC/DC/AC به عنوان واسطی بین ژنراتور و شبکه بهره گرفته می‌شود. این توپولوژی در شکل (۲-۷۶) نشان داده شده است. در این شکل، ژنراتور به کار رفته می‌تواند از نوع القایی و یا سنکرون باشد.



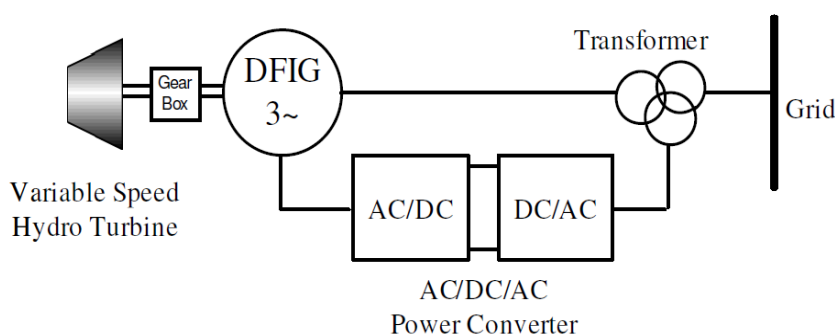
شکل (۲-۷۵): توپولوژی چند رشته‌ای PV با ایزولاسیون به کمک ترانس فرکانس بالا

<sup>۱</sup> - micro Hydro Power Plant



شکل (۲-۷۶): بهره برداری از توربین آبی با سرعت متغیر توسط مبدل‌های AC/DC/AC

روش دیگر جهت بهره برداری از توربین آبی با سرعت متغیر، استفاده از ژنراتور القایی دو سو تغذیه است؛ این توپولوژی در شکل (۲-۷۷) نشان داده شده است. استاتور ژنراتور دو سو تغذیه مستقیماً به شبکه اتصال داده می‌شود و روتور آن از طریق مبدل پشت به پشت AC/DC/AC به شبکه اتصال داده می‌شود [۳۰].



شکل (۲-۷۷): استفاده از ژنراتور دو سو تغذیه در توربین آبی با سرعت متغیر

## ۲-۴-۶- سیستم ذخیره ساز انرژی باطری (BESS)

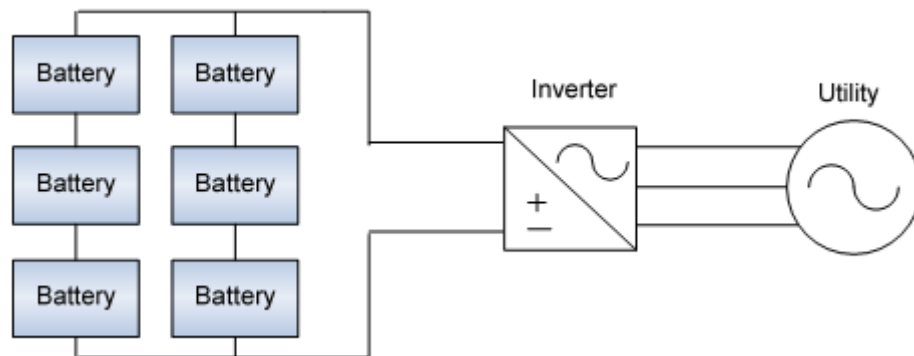
### ۲-۴-۷- معرفی BESS

برای بهینه کردن بازده سیستم قدرت، عموماً بزرگترین نیروگاه‌های سیستم قدرت (آبی، هسته‌ای و ذغال سنگ) در بار پایه بهره‌برداری می‌شوند. با توجه به آنکه بار مصرفی مشترکین در طول روز تغییر می‌کند، برای جبران افزایش بار نیروگاه‌های نفتی یا گازی وارد مدار می‌شوند که راندمان کم و سوخت گرانی دارند. بنابراین برای حل این موضوع ذخیره سازهای انرژی مد

نظر قرار گرفته‌اند که در طول کم‌باری توان نیروگاه‌های پایه را جذب و در پر باری تزریق می‌کنند. البته حضور ذخیره‌ساز در کنار DG‌هایی نظیر PV و باد نیز مطرح است.

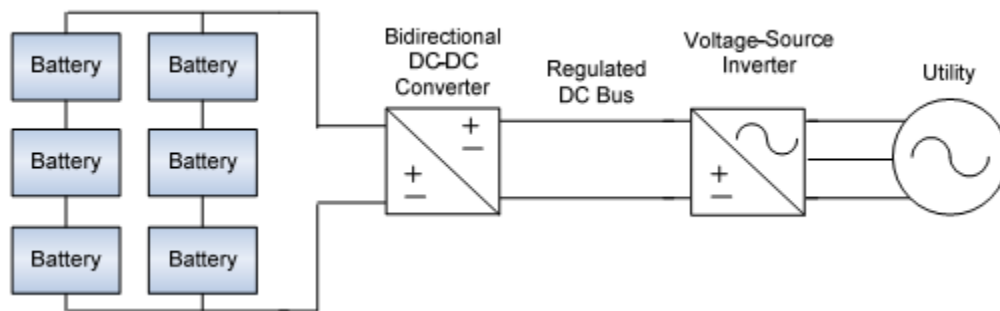
ادوات ذخیره‌ساز انرژی مناسب نظیر باتری‌های سرب-اسید، الکتروکد نیکلی و سدیم سولفور، ذخیره ساز مغناطیسی ابر رسانا، چرخ طیار و ابر خازن از کاندیداهای این شیوه هستند. البته از بین آن‌ها باتری سرب-اسید شایع‌ترین نوع است. تمامی انواع باتری‌ها، برق DC تولید می‌کنند و برای تامین سطح مطلوب ولتاژ و جریان با هم سری و موازی می‌گردند.

عموماً برای اتصال باتری‌ها به شبکه از تجهیزات الکترونیک قدرت شامل مبدل‌های DC-DC و AC-AC استفاده می‌شود. نکته مهم آن است که تمامی تجهیزات الکترونیک قدرت مذکور، بایستی دو طرفه باشند تا بتوانند توان را از شبکه جذب و به آن تزریق کنند. ساده‌ترین نوع اتصال BESS به شبکه در شکل (۲-۷۸) نشان داده شده است. اگر ایزولاسیون و یا نسبت بزرگتری از ولتاژ AC مورد نیاز باشد از ترانس در ترمینال‌های سمت AC اینورتر استفاده می‌شود. ظرفیت جریانی اینورتر مورد استفاده نیز توسط جریان باتری‌ها در شرایط بهره‌برداری  $P_{max}$  تعیین می‌شود. این جریان در ولتاژ نامی باتری حداقل و در ولتاژهای کم بسیار زیادتر است. نصب احتمالی ترانس در خروجی سیستم، آن را گران و حجیم می‌کند [۳۱].



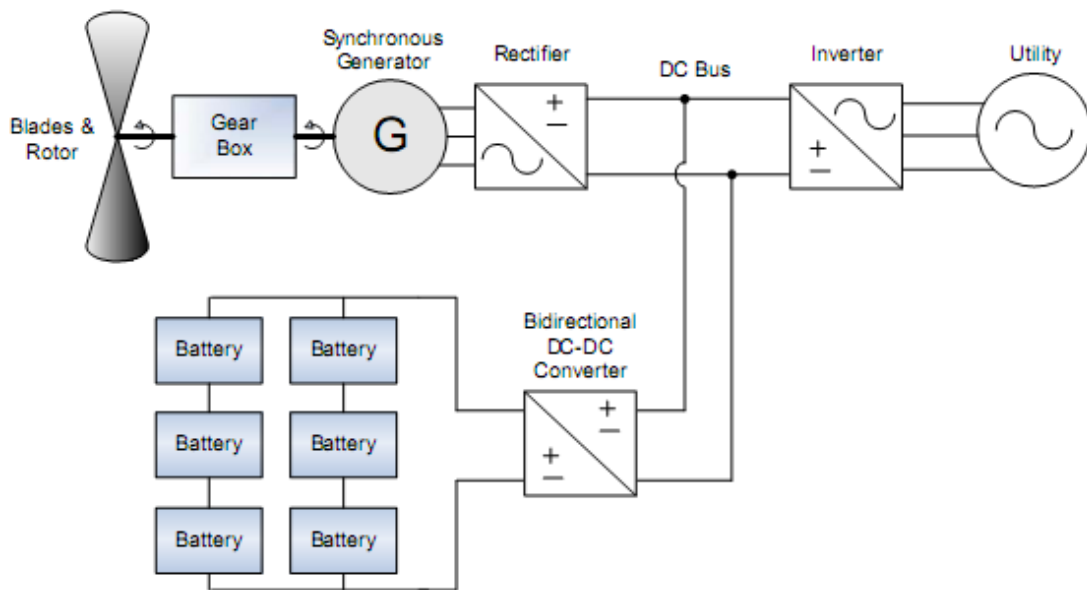
شکل (۲-۷۸): ساختار BESS با اینورتر تنها

در اکثر موارد، مبدل DC-DC نیز بین باطری و اینورتر قرار می‌گیرد تا ولتاژ DC مورد نیاز اینورتر را به گونه‌ای تامین کند که بتواند ولتاژ AC مطلوب را تولید کند. البته در برخی مبدل‌های DC-DC ترانس‌های فرکانس بالا برای مبحث ایزولاسیون در نظر گرفته می‌شود [۳۱].



شکل (۲-۷۹): ساختار BESS با مبدل‌های کاسکد DC-DC و dc-ac

مبحث مهم دیگر آن است که BESS باید بتواند ضمن ترکیب با دیگر تولیدکنندگان توان، تشکیل ساختار هیبرید بدهد. به طور مثال در صورت ترکیب BESS با توربین بادی، می‌توان خروجی آن را صاف کرد و از آن در برابر نوسانات شبکه محافظت کرد. شکل (۲-۸۰) سیستم‌ها هیبرید را نشان می‌دهد که BESS با یک توربین بادی و توسط لینک DC مشترک ترکیب شده است.

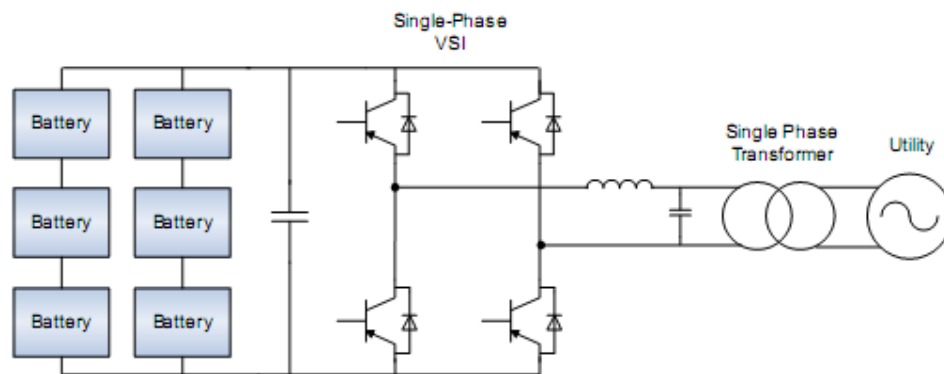


شکل (۲-۸۰): سیستم هیبرید BESS و سیستم توان بادی

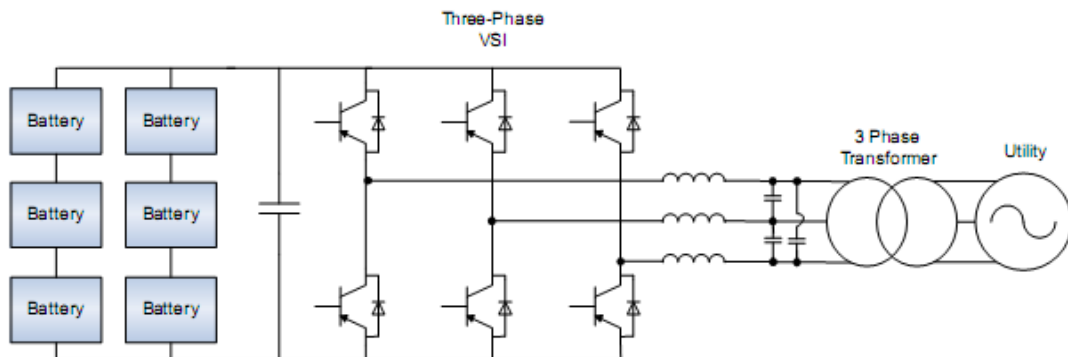
ساختار نشان داده شده در شکل (۲-۷۸)، شکل (۲-۷۹) و شکل (۲-۸۰) را با توپولوژی گوناگونی می‌توان تحقق بخشید. ساده‌ترین نوع تحقق شکل (۲-۷۸)، استفاده از یک اینورتر یک طبقه با کموتاسیون خودی منبع ولتاژ است [۳۲]. خازن لینک DC وظیفه‌ی کاهش اعوجاجات لینک DC را به عهده دارد. اینورتر مورد استفاده نیز بسته به شبکه و رنج توانی، ممکن است تک فاز و یا سه فاز باشد.



متداولترین نوع توپولوژی دو طبقه برای BESS، از یک مبدل DC-AC (منبع ولتاژ متصل به شبکه) و DC-DC دو طرفه تشکیل شده است. اینورتر DC-AC به کمک مدولاسیون PWM، جریان تزریقی به شبکه را تنظیم می‌کند. مبدل DC-DC نیز ولتاژ DC مورد نیاز برای اینورتر را به گونه‌ای تنظیم می‌کند که اینورتر در ناحیه خطی عمل کند. این توپولوژی در شکل (۲-۸۲) نشان داده شده است.

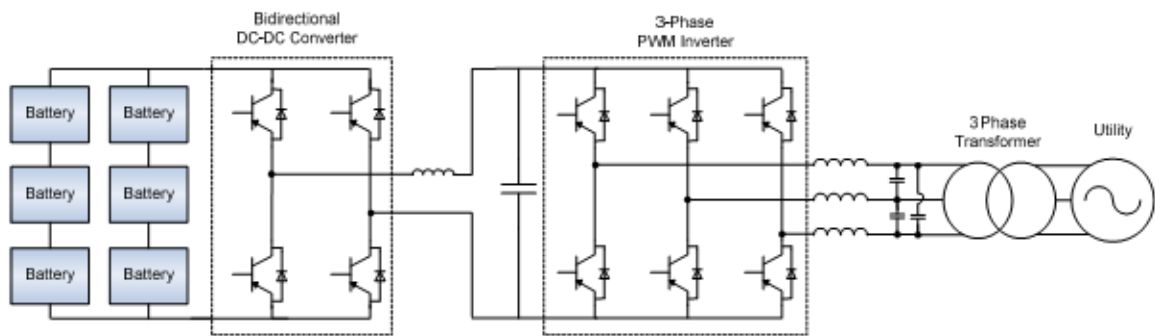


الف



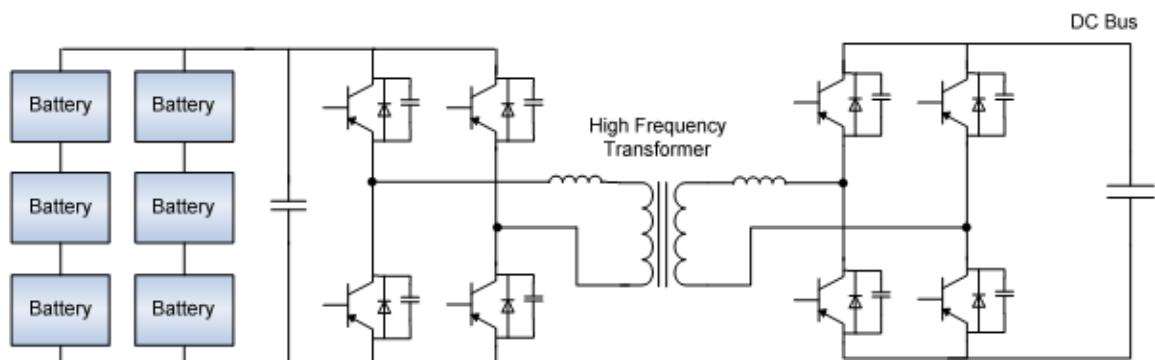
ب

شکل (۲-۸۱): توپولوژی‌های تک طبقه الکترونیک قدرت (الف) تک فاز (ب) سه فاز



شکل (۲-۸۲): توپولوژی‌های کاسکد DC-DC و AC-AC

توپولوژی‌هایی که تا کنون بحث شد، فاقد ایزولاسیون بوده‌اند. برای اتصال به شبکه می‌توان از ترانسفورماتور ۵۰ هرتز در ترمینال AC مبدل DC-AC استفاده کرد که بسیار حجیم و گران است. به عنوان گزینه‌ای دیگر می‌توان از مبدل‌های DC-DC دارای ایزولاسیون به کمک ترانسفورماتور فرکانس بالا استفاده کرد. این گزینه در شکل (۲-۸۳) نشان داده شده است [۲۸].



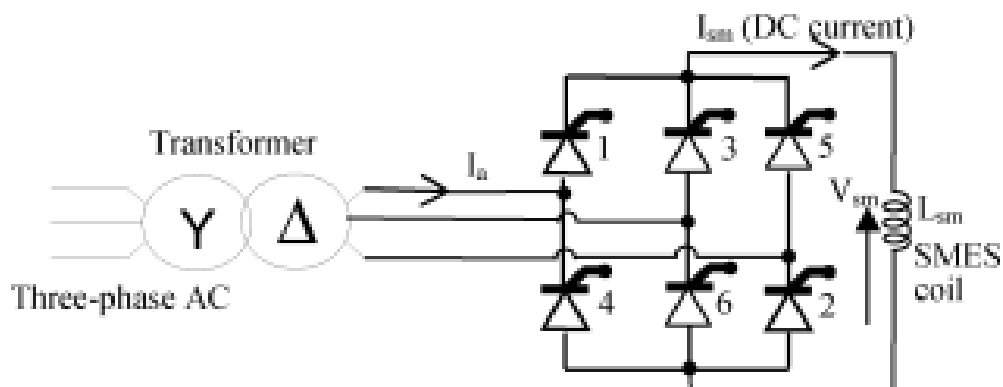
شکل (۲-۸۳): توپولوژی DC-DC دارای ایزولاسیون

## ۲-۴-۸- سیستم ذخیره ساز انرژی مغناطیسی ابر رسانا<sup>۱</sup> (SMES)

تجهیز SMES یک نوع از ادوات ذخیره ساز انرژی است که انرژی را در میدان مغناطیسی تولید شده توسط جریان DC ذخیره می کند. در این تجهیز از ادوات ابر رسانا استفاده شده و به دلیل سرعت پاسخ سریع و بازده بالا (حدود ۹۵٪) کاربردهایی در سیستم قدرت و صنایع نظامی یافته است. بر خلاف BESS این تجهیز محدودیت تعداد شارژ و دشارژ ندارد.

از کاربردهای احتمالی این تجهیز می توان ارتقای پایداری دینامیکی، پایداری گذرا، پایداری ولتاژ، رگولاسیون فرکانس، ارتقای کیفیت توان، UPS و غیره نامید. برای انتقال توان و اتصال SMES به شبکه عموماً از سه ساختار تریستوری، مبدل منبع ولتاژ و منبع جریان استفاده می شود.

شکل (۲-۸۴) اتصال یک SMES به شبکه با مبدل تریستوری را نشان می دهد که شامل یک ترانسفورماتور  $Y - \Delta$ ، یک پل کنترل شده تریستوری AC/DC و یک اندوکتانس ابر رسانا است.



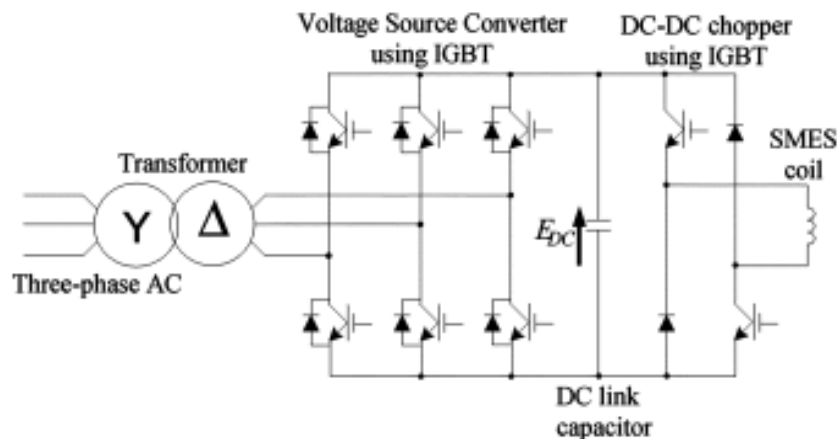
شکل (۲-۸۴): SMES به شبکه به کمک مبدل تریستوری

مبدل تریستوری ولتاژ مثبت یا منفی را به SMES اعمال کرده و از این طریق آن را شارژ و دشارژ می کند. تریستورها با تغییر زاویه آتش کنترل می شوند و در صورتی که زاویه آتش کمتر از ۹۰ درجه باشد، در حالت اینورتری (دشارژی) و در صورتی که زاویه آتش بالاتر از ۹۰ درجه باشد، در حالت یکسوسازی (شارژی) عمل می کند. بنابراین می توان تزریقی به شبکه را از

<sup>۱</sup> - Superconducting magnetic energy storage

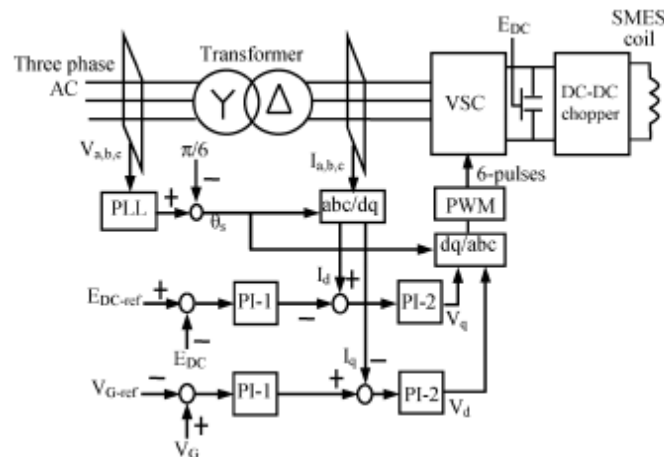
طریق کنترل زاویه‌ی آتش کنترل کرد. این مبدل قابلیت کنترل توان اکتیو را دارد و کنترل موثری بر توان راکتیو ندارد. در این مبدل، کنترل توان اکتیو و راکتیو از یکدیگر مستقل نیستند.

شکل (۲-۸۵) ساختار یک SMES مبتنی بر مبدل منبع ولتاژ را نشان می‌دهد که شامل یک ترانس  $Y - \Delta$ ، یک مبدل منبع ولتاژ با مدولاسیون شش پالسه با کلیدهای IGBT، برشگر DC-DC دو ربعی و یک اندوکتانس ابر رسانا است.



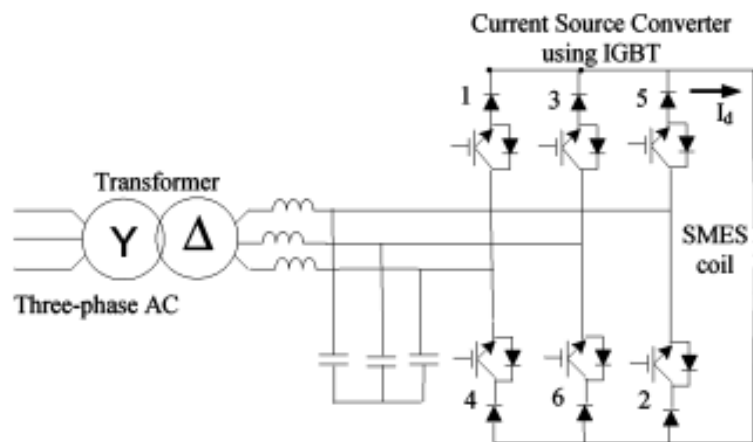
شکل (۲-۸۵): اتصال SMES به شبکه به کمک مبدل منبع ولتاژ

مبدل VSC به عنوان واسط الکترونیک قدرت بین SMES و شبکه عمل می‌کند. کنترل کننده‌های این تجهیز در شکل (۲-۸۶) نشان داده شده‌اند. به دلیل آنکه هر دو زمان روشن شدن و خاموش شدن کلیدهای IGBT در اختیار است، این مبدل، دو درجه آزادی کنترلی دارد. درجه آزادی اول، ولتاژ لینک DC را به کمک کنترل کننده‌های PI ثابت نگاه می‌دارد. درجه آزادی دوم، وظیفه کمک به حفظ ولتاژ شبکه را بر عهده دارد (از طریق تزریق احتمالی توان راکتیو).



شکل (۲-۸۶): کنترل مبدل VSC

شکل (۲-۸۷) ساختار پایه مبدل منبع جریان به کار رفته در کاربرد SMES را نشان می‌دهد. سمت DC مبدل CSC به SMES متصل است، در حالی که سمت AC آن به شبکه اتصال داده شده است.



شکل (۲-۸۷): اتصال SMES به شبکه با کمک مبدل CSC

بانک خازنی متصل به ترمینال‌های سمت AC مبدل CSC، برای جذب انرژی ذخیره شده در اندوکتانس‌های خط در فرآیند کموتاسیون به کار می‌روند. همچنین این خازن‌ها می‌توانند هارمونیک‌های فرکانس بالای خط را جذب کنند. در یک مبدل CSC که از کلیدهای کموتاسیون اجباری استفاده شده است، می‌توان با استفاده از تکنیک‌های مدولاسیون، میزان مولفه اصلی جریان تزریقی به شبکه و در نهایت توان مبادله شده با آن را کنترل کرد. با توجه به آن که SMES ذاتاً یک سیستم منبع جریان سریع است، سرعت کنترل توان‌های حقیقی و موهومی در این ساختار زیاد است. برای بهبود شاخص THD جریان

سمت AC می توان از مبدل ۱۲ پالسه و استراتژی سوئیچینگ برای حداقل کردن هارمونیک‌های ۱۱،۷،۵ و ۱۳ استفاده کرد [۳۳].

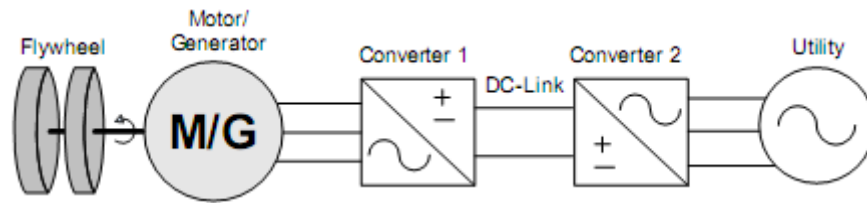
## ۲-۴-۹- سیستم ذخیره ساز انرژی چرخ طیار<sup>۱</sup>

چرخ طیار به دلیل سادگی ذخیره شدن انرژی جنبشی در آن از ادوات پرکاربرد ذخیره ساز انرژی است. در ۲۰ سال اخیر، چرخ طیار برای محدود کردن ضربات توان در سیستم‌های موتور و ژنراتور ( به عنوان مثال در کارخانجات فولاد) مورد استفاده قرار می‌گرفته است. تبدیل انرژی جنبشی به الکتریکی توسط ماشین‌های الکتریکی انجام می‌پذیرد. تاکنون انواع ماشین‌های الکتریکی نظیر القائی، مغناطیسی دائم و رلوکتانسی به چرخ طیار متصل شده‌اند.

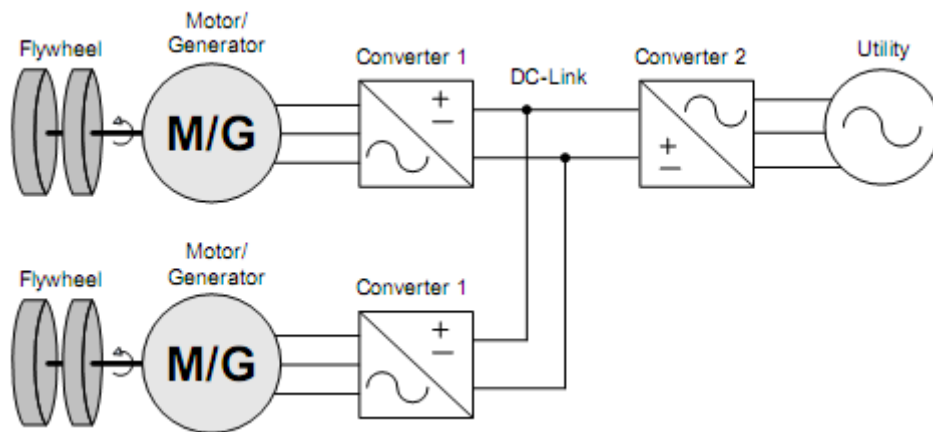
فلسفه عملکرد چرخ طیار آن است که در شرایطی که تولید توان بیشتر از سطح مورد نیاز است، توان اضافه به صورت انرژی جنبشی در چرخ طیار ذخیره می‌شود و در هنگام نیاز سیستم چرخ طیار به سیستم الکتریکی توان تحویل می‌دهد. چرخ طیار عموماً برای تنظیم توان خروجی خود از ادوات الکترونیک قدرت استفاده می‌کند تا فرکانس خود را با شبکه تنظیم کند. هنگامی که چرخ طیار توان تحویل می‌دهد، سرعت آن و در نتیجه فرکانس ژنراتور خروجی آن کاهش می‌یابد، به همین دلیل توان خروجی یکسو (DC) می‌شود و سپس توسط اینورتر به شبکه متصل می‌شود. سیستم‌های چرخ طیار متداول در سرعت‌های بالا (بیش از 10000rpm) عمل می‌کنند تا در حداکثر چگالی انرژی ممکن بهره برداری شوند. به طور کلی می‌توان سیستم چرخ طیار را به دو نوع کم سرعت در حدود 6000rpm و با رتور فولادی و پرسرعت که از مواد کامپوزیت برای افزایش مؤثر چگالی توان استفاده می‌کنند، تقسیم بندی کرد.

چرخ های طیار را می‌توان با باطری‌ها ترکیب کرد تا عمر مؤثر باتری‌ها در اثر کاهش دفعات دشارژ افزایش یابد. کاربرد عمده چرخ‌های طیار در سیستم‌های تولید پراکنده، کمک به کنترل ولتاژ و فرکانس است. اجزای اصلی یک ذخیره‌ساز چرخ گردان متشکل از اینورتر دو طرفه، محرکه‌ی سرعت متغیر و کنترل کننده آن است. متداولترین ساختار برای تغذیه انرژی چرخ طیار به شبکه، ساختار مبدل پشت به پشت است [۳۴].

<sup>1</sup> - Flywheel Energy Storage System



الف

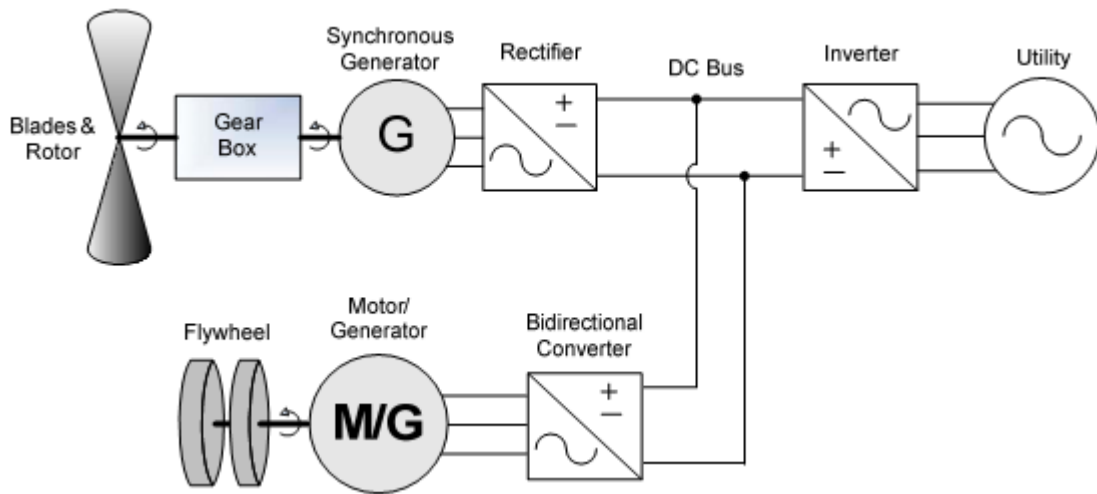


ب

شکل (۲-۸۸): اتصال چرخ طیار به کمک مبدل‌های پشت به پشت (الف) تک سیستم ب) چند سیستم

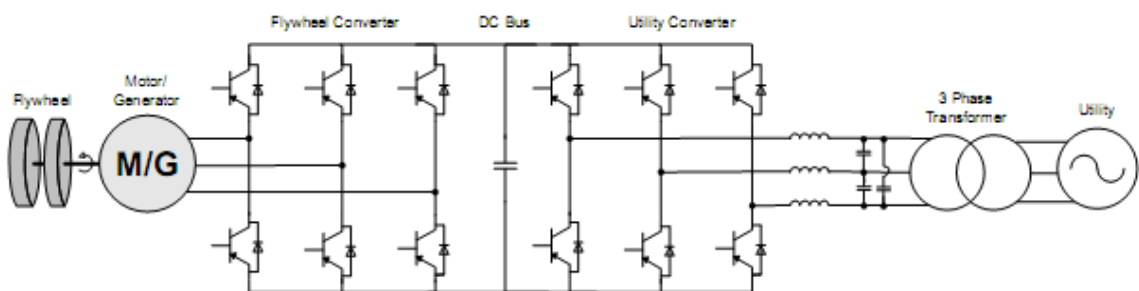
در این سیستم، برق فرکانس متغییر خروجی چرخ طیار ابتدا یکسو می‌شود و سپس با مبدل DC-AC به شبکه متصل می‌شود. در هنگام تحویل توان، مبدل سمت ژنراتور در نقش یکسوساز و مبدل سمت شبکه در نقش اینورتر عمل می‌کنند. در هنگام جذب توان توسط چرخ طیار از شبکه، مبدل سمت شبکه در نقش یکسوساز و مبدل سمت ژنراتور در نقش اینورتری ظاهر می‌شوند. در این ساختار چند چرخ طیار را می‌توان توسط مبدل AC-DC به یک لینک DC مشترک متصل کرد.

همانند سیستم BESS، سیستم چرخ طیار می‌تواند با واحدهای تولید پراکنده ترکیب شود تا در هموارسازی پروفایل توان تولیدی، میراسازی فرورفتگی ولتاژ و میراسازی نوسانات فرکانس کمک کند. برخلاف باتری‌ها، چرخ طیار می‌تواند ده‌ها هزار سیکل بدون نیاز به تعمیر و جایگزینی مورد بهره‌برداری قرار گیرد و در ترکیب با باتری‌ها با کاهش دفعات دشارژ باتری‌ها سبب افزایش عمر آنها شود. شکل (۲-۸۹) سیستم‌های برید چرخ طیار و توربین بادی را نشان می‌دهد. چرخ طیار به کمک مبدل AC-DC خود به لینک DC متصل گردیده است [۳۵].



شکل (۲-۸۹): سیستم هایبرید BESS

ساختار شکل (۲-۸۸) ب را می‌توان به فرم شکل (۲-۹۰) تحقق بخشید. در این شکل ترانسفورماتور سه فاز در سمت خروجی مبدل DC-AC برای ایزولاسیون و تطبیق با ولتاژ شبکه بکار رفته است. در صورتی که ایزولاسیون از درجه اهمیت کمتری برخوردار باشد، می‌توان از یک مبدل DC-DC در سمت DC استفاده کرد. این مبدل DC-DC سطح ولتاژ مبدل AC-DC را به گونه‌ای ارتقاء می‌دهد که مبدل DC-AC بتواند در ناحیه خطی عمل کرده و ولتاژ لازم را برای اتصال به شبکه تولید نماید. در فرآیند جذب توان توسط چرخ طیار، می‌توان مبدل DC-DC را توسط کلیدی بایپس کرد.



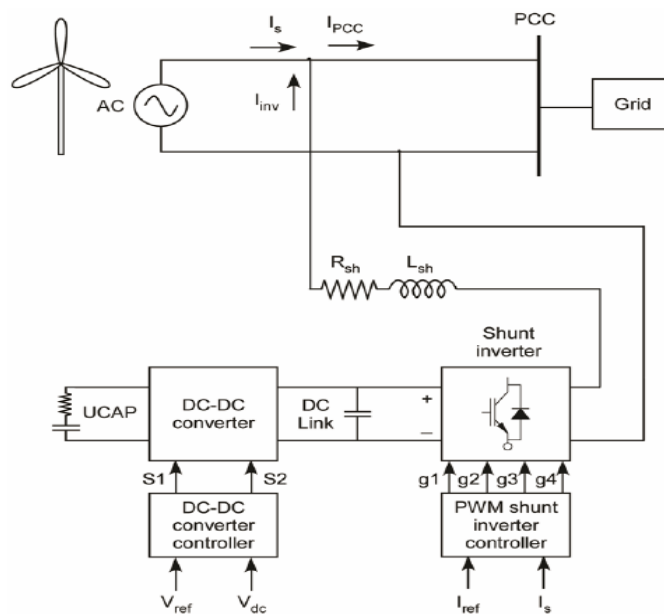
شکل (۲-۹۰): مبدل AC-DC و DC-AC با مبدل DC-DC واسط



## ۲-۴-۱۰ - سیستم ذخیره ساز انرژی ابر خازن ها<sup>۱</sup>

ابر خازن ها در مقایسه با باتری ها، دارای چگالی انرژی پایین تر و چگالی توان بسیار بالاتری هستند. به عبارت دیگر سرعت پاسخ آنها بسیار بیشتر از باتری است. به همین دلیل این تجهیز جهت بهبود پاسخ دینامیکی به صورت ترکیبی با سایر منابع به خصوص منابع تجدید پذیر با ماهیت توان متغیر به کار برده می شود.

از آنجاکه ابرخازن ها در ولتاژ DC کار می کنند اتصال آنها به شبکه باید از طریق مبدل DC/AC انجام شود. همچنین به دلیل دو طرف بودن گذر توان، این مبدل باید دو جهته باشد. در مواردی که نیاز به کنترل ولتاژ DC وجود دارد از یک مبدل DC/DC دو جهته نیز استفاده می شود. شکل (۲-۹۱) ساختار ترکیبی توربین بادی و ذخیره ساز انرژی ابرخازن را نشان می دهد.



شکل (۲-۹۱): استفاده از ابر خازن به صورت ترکیبی با ژنراتور توربین بادی و مبدل های آن

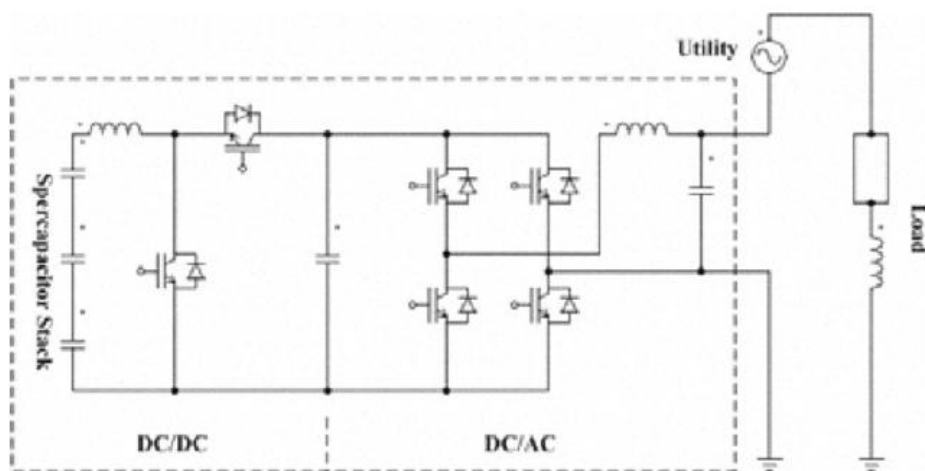
همچنین ممکن است ابر خازن به صورت مستقل به شبکه اتصال داده شود. شکل (۲-۹۲) شمای مداری تک فاز اتصال مجموعه ای ابرخازن به شبکه را نشان می دهد. مبدل به کار رفته ی DC/DC دو جهته بدون ایزولاسیون است و مبدل

<sup>۱</sup> - Super Capacitor Energy Storage System

DC/AC به کار رفته مبدل تمام پل است. مبدل‌های DC/DC ایزوله شده‌ی دوجهته نیز در کاربرد ابرخازن به کار می‌روند که در آنها از ترانسفورماتور استفاده می‌شود [۳۶].

## ۲-۴-۱۱- مبدل فرکانس استاتیک نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای<sup>۱</sup>

نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای به عنوان راه‌حلی جهت تصحیح منحنی بار شبکه به کار می‌رود. در هنگام مصرف کم شبکه، آب از مخزن پایینی به مخزن بالایی توسط موتورهای پمپ می‌شود و در هنگام پیک مصرف، آب از مخزن بالایی به مخزن پایینی انتقال داده شده و با چرخش توربین تولید توان الکتریکی در ژنراتور صورت می‌گیرد. در این کاربرد می‌توان تنها از یک ماشین الکتریکی استفاده کرد و بسته به نیاز، آن را در حالت موتوری و ژنراتوری مورد بهره‌برداری قرار داد.



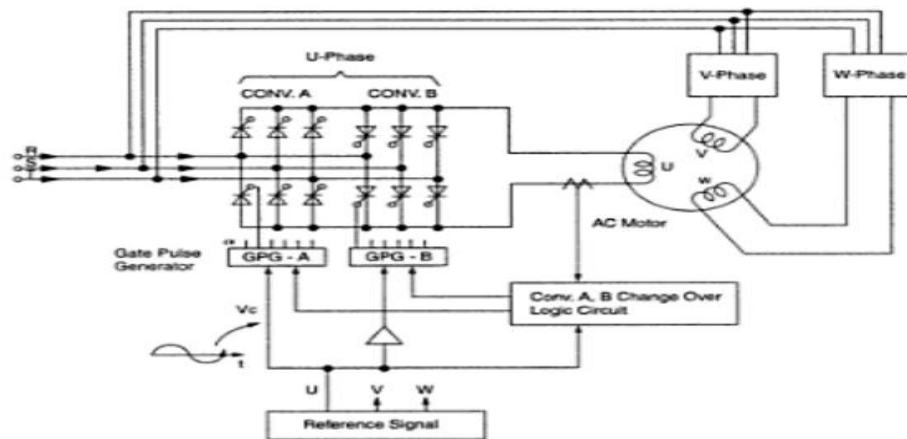
شکل (۲-۹۲): مبدل DC/DC دوجهته و غیر ایزوله به کار رفته در ابرخازن

در یک واحد تلمبه ذخیره‌ای با سرعت ثابت، سرعت موتور/ژنراتور سنکرون از طریق یک میدان تحریک در سرعت سنکرون ثابت شده است و سرعت نمی‌تواند کنترل شود. بازده عملکردی مجموعه به دلیل تغییر در بازده توربین‌های آب بین

<sup>۱</sup> - Pumped Hydroelectric Storage

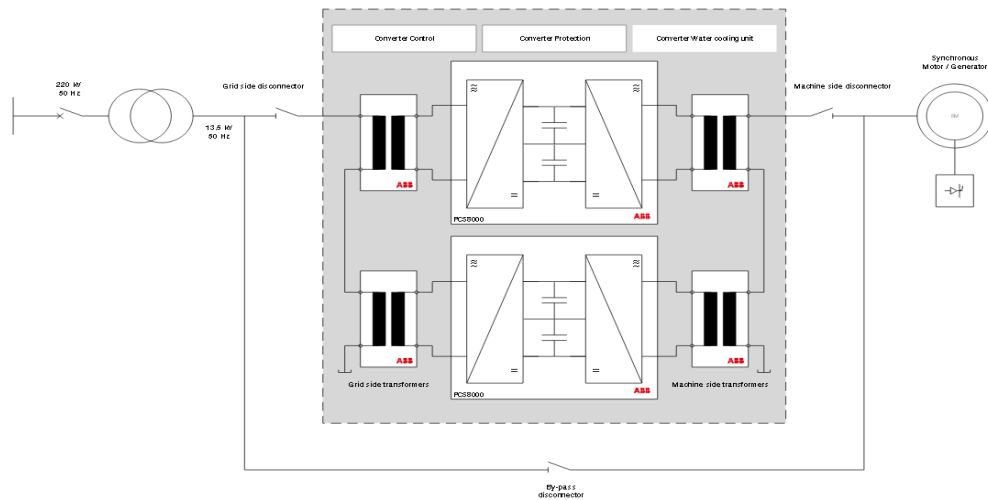
حالت پمپ آب به مخزن بالایی و یا انتقال آب از مخزن بالایی به مخزن پایینی کاهش می‌یابد. در صورت کنترل سرعت، بازده عملکرد موتور/ژنراتور افزایش می‌یابد.

شکل (۲-۹۳) سیستم تحریک یک موتور/ژنراتور را که از یک سیکلوکانورتر به عنوان تحریک AC استفاده شده است نشان می‌دهد. طرح‌های مشابهی جهت موتور/ژنراتور با ظرفیت 300MW در ژاپن ایجاد شده است [۳۷].



شکل (۲-۹۳): سیستم تحریک یک نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای با سرعت متغیر

اخیراً توسط شرکت ABB در سایت *Grimsel* کشور سوئد یک واحد ۱۰۰MW توسط مبدل با ظرفیت کامل نصب شده است که شمای مداری آن در شکل (۲-۹۴) نشان داده شده است. در شکل (۲-۹۴) از ساختار مبدل پشت به پشت استفاده شده است.



شکل (۲-۹۴): مبدل به کار رفته در سایت *Grimse*.

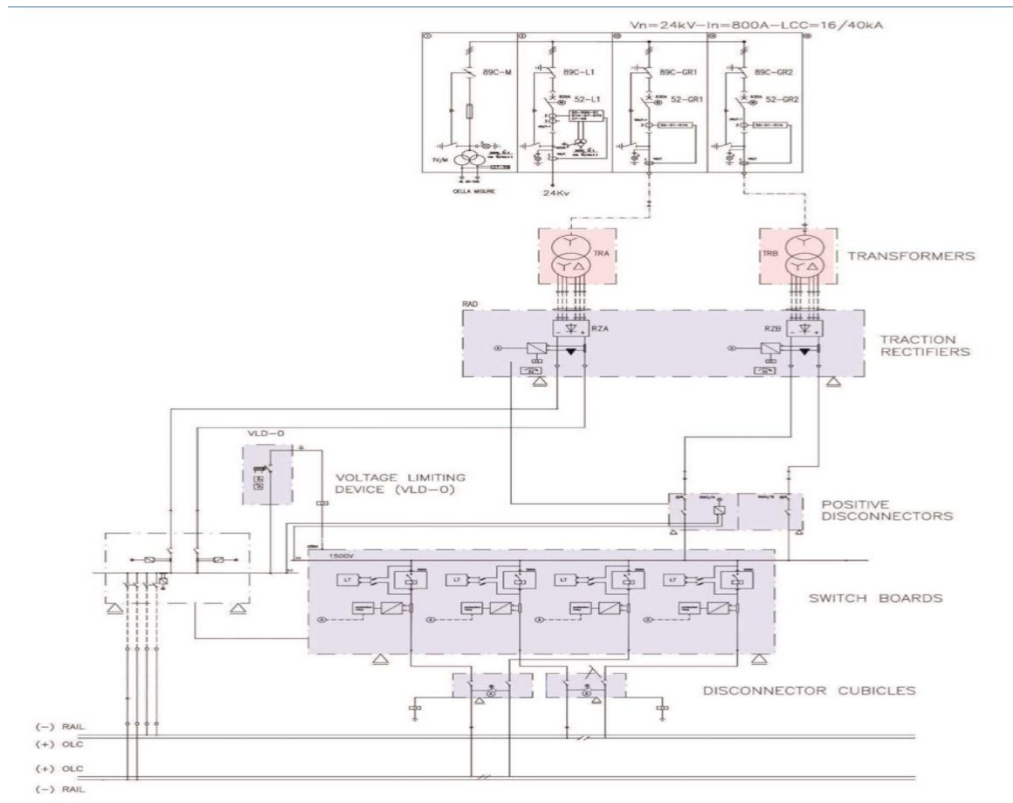
## ۲-۵- سامانه حمل و نقل برقی<sup>۱</sup>

### ۲-۵-۱- مبدل های تامین تغذیه سامانه های حمل و نقل

#### سیستم تغذیه ی DC

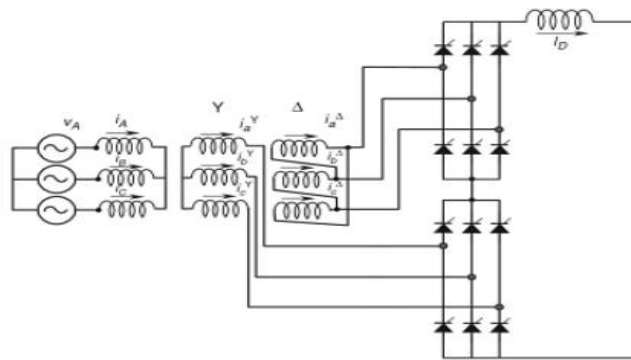
امروزه استفاده از سیستم تغذیه ی برق DC در قطارهای شهری و بین شهری هنوز وجود دارد. اتوبوس های برقی نیز که از برق dc تغذیه می کنند در سیستم حمل و نقل برخی از شهرها مورد استفاده قرار می گیرند. جهت تغذیه ی این وسایل حمل و نقل نیاز به ایستگاه هایی جهت یکسوسازی ولتاژ AC است.

<sup>۱</sup> - Electric Transportation System



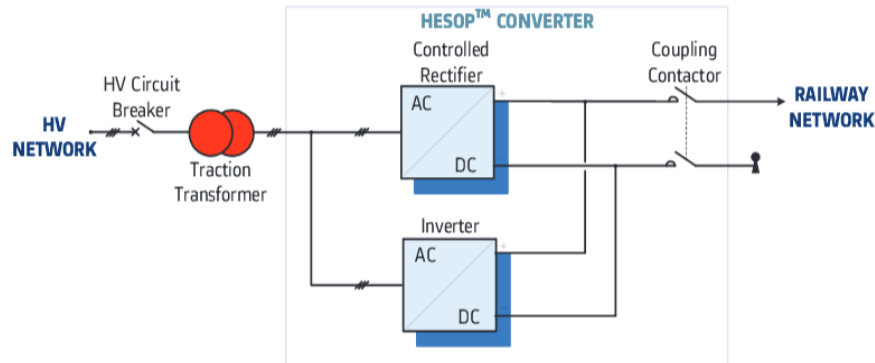
شکل (۲-۹۵): ایستگاه یکسو ساز به کار رفته در سیستم حمل و نقل dc

شکل (۲-۹۵) یک ایستگاه برق DC را نشان می‌دهد. در این شکل از یکسو ساز کنترل شده‌ی تریستوری دوازده پالسه استفاده شده است. ساختار مداری این یکسو ساز در شکل (۲-۹۶) نشان داده شده است.



شکل (۲-۹۶): شمای مداری یکسو ساز کنترل شده‌ی تریستوری دوازده پالسه

یکی از روش‌های بکار رفته جهت بازیافت انرژی در حالت ترمزی استفاده از ساختار شکل (۲-۹۷) است که توسط شرکت ALSTOM اجراء شده است.



شکل (۲-۹۷): سیستم بازیافت انرژی حمل و نقل الکتریکی با ولتاژ DC ساخته شرکت ALSTOM

شکل (۲-۹۸) نمای بیرونی سیستم نصب شده‌ی شکل (۲-۹۷) را نشان می‌دهد. در این ساختار، یکسوساز تریستوری در حالت تغذیه‌ی سیستم ریلی عمل می‌کند و مبدل مجهز به IGBT در جهت جبران‌سازی توان راکتیو و جریان هارمونیکی سیستم حمل و نقل ریلی مشارکت می‌نماید. در حالت ترمزی مبدل مجهز به IGBT می‌تواند توان ترمزی را به شبکه انتقال دهد.

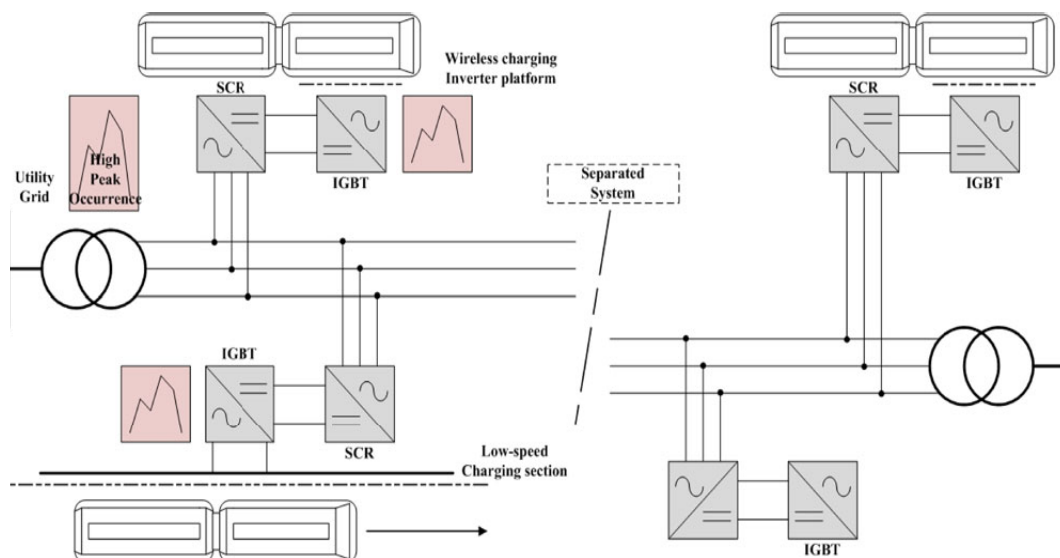


شکل (۲-۹۸): نمای بیرونی سیستم بازیافت انرژی شرکت ALSTOM

امکان ذخیره انرژی ترمزی در داخل پست و یا بر روی خود وسیله حمل و نقل ریلی نیز از طریق ذخیره سازهای باتری و ابرخازن می‌تواند فراهم شود [۳۸].

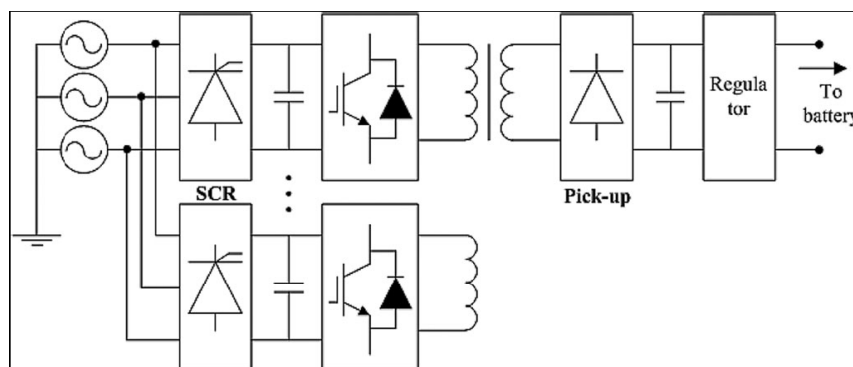
### سیستم حمل و نقل Online Electric Vehicle

در این سیستم انتقال توان از شبکه به وسیله نقلیه برقی، توسط القای الکترومغناطیسی و بدون سیم انجام می‌شود. اولین سیستم از این نوع در کشور کره جنوبی اجرا شده است. شکل (۲-۹۹) ساختار مداری به کار رفته در این روش را نشان می‌دهد. ابتدا ولتاژ سه فاز AC توسط یکسوسازهای تریستوری یکسو می‌شود و بعد از یکسوسازی توسط مبدل مجهز به IGBT ولتاژ DC به ولتاژ سه فاز AC با فرکانس دلخواه (فرکانس بالا) تبدیل می‌شود. در این نوع از سیستم‌ها خط در قسمت پایین قرار گرفته و هیچ‌گونه اتصالی بین خط و وسیله نقلیه وجود ندارد شمای دیگری از مدار به کار رفته در این سیستم در شکل (۲-۱۰۰) نشان داده شده است [۳۹].



شکل (۲-۹۹): شمای مداری سیستم به کار رفته در بهره برداری وسایل حمل و نقل الکتریکی Online

### Electric Vehicle



شکل (۲-۱۰): شمای دیگری از مدار به کار رفته در وسایل حمل و نقل الکتریکی Online Electric Vehicle

### ایستگاه‌های شارژ خودروهای هیبرید با قابلیت اتصال به شبکه

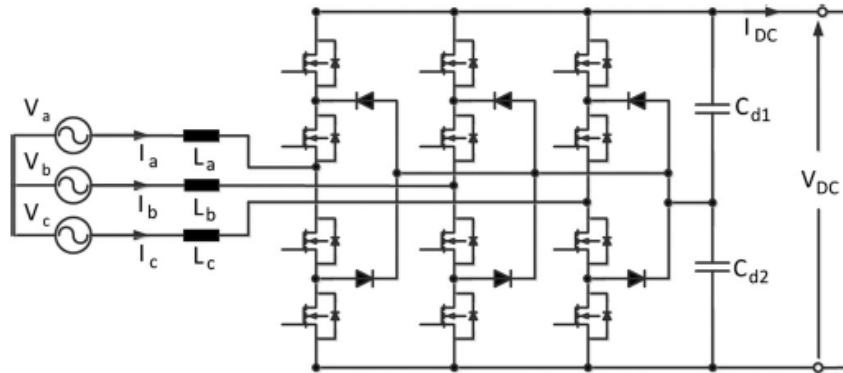
امروزه علاقه به استفاده از وسایل حمل و نقل الکتریکی و خودروهای الکتریکی هیبرید با قابلیت اتصال به شبکه به دلیل مصرف کم سوخت‌های فسیلی و انتشار کم گازهای گلخانه‌ای در حال افزایش است. بسیاری از وسایل نقلیه الکتریکی می‌توانند در خانه و در طول شب در سطح یک (سرعت آهسته) شارژ و از شبکه تغذیه شوند. در سطح دو که برای خودروهای عمومی و خودروهای خصوصی کاربرد دارد، به ولتاژ ۲۴۰ ولت AC نیاز است. استفاده از سطح شارژ دو، امکان شارژ بهینه و سریع را فراهم می‌آورد. معمولاً استفاده از سیستم تک فاز در سطوح یک و دو مورد نیاز است. سطح سه و یا شارژ سریع DC در کاربردهای تجاری و عمومی بکار می‌رود و مانند یک ایستگاه سوخت استفاده می‌شود و تغذیه آن از برق سه فاز است. ایستگاه‌های به کار رفته در کاربردهای عمومی معمولاً از سطوح شارژی دو و یا سه استفاده می‌کنند.

شارژرهای باتریهای اتومبیل‌های الکتریکی می‌توانند در دو دسته‌ی نصب بر روی اتومبیل و یا خارج آن قرار گیرند که نصب شده بر روی اتومبیل از مبحث این سند خارج است. هرچه سطح شارژ بیشتر باشد، به زمان کمتری جهت شارژ نیاز است. ایستگاه‌های شارژ در سطوح دو و یک در طرف شبکه نیاز به تجهیزات الکترونیک قدرت ندارند و از برق AC در مناطق مسکونی تغذیه می‌شوند. این در حالیست که شارژ وسایل حمل و نقل الکتریکی در سطح سه در محل مناسب در اتوبان‌ها، پارک‌ها و .. انجام شده و به تجهیزات الکترونیک قدرت نیاز دارد.

توپولوژی مداری مختلفی را می‌توان جهت مراکز شارژ در نظر گرفت. مبدل‌های چندسطحی دو طرفه در این‌گونه از ساختار بسیار مناسبند زیرا استفاده از آنها باعث کاهش اندازه، فرکانس کلیدزنی و استرس ولتاژی بر روی تجهیزات می‌شود و فیلتری



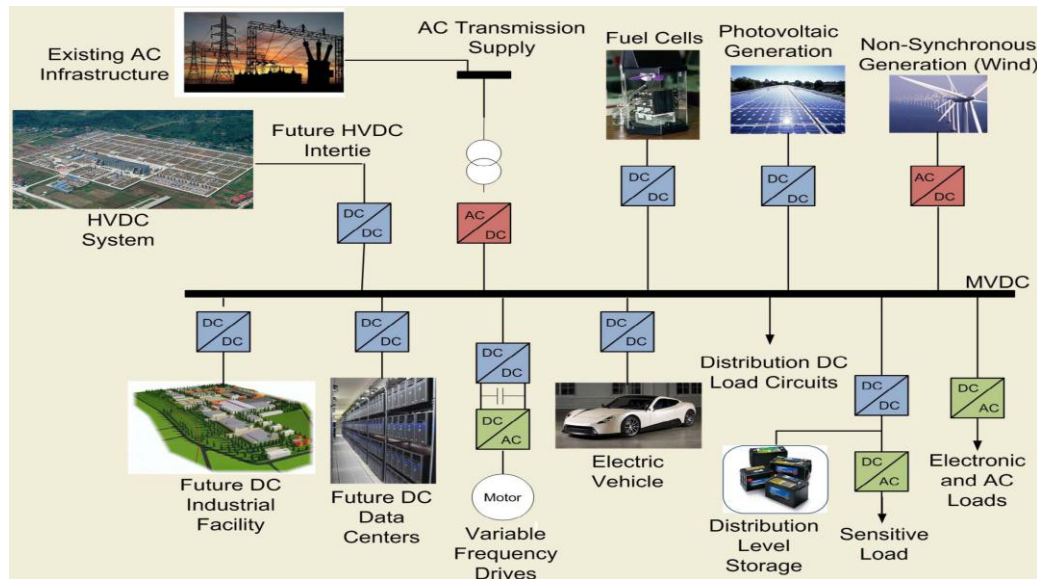
ارزان تر و کم حجم تر نیاز است. شکل (۲-۱۰۱) یک نمونه از مدار شارژر دو جهته‌ی سه‌سطحی دیود مهاد شده را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۱۰۱): شمای مداری شارژر دو جهته‌ی سه‌سطحی دیود

ساختارهای متنوع دیگری نیز برای شارژرها پیشنهاد شده‌اند، این شارژرها می‌توانند از توپولوژی‌های تمام پل و یا نیم‌پل استفاده نمایند. مبدل نیم‌پل به اجزای کمتری نیاز دارد و به تبع آن ساخت آن هزینه‌ی کمتری در بر دارد، اما استرس اجزای آن نسبت به ساختار تمام پل بیشتر است. در طرف مقابل، مبدل تمام پل به اجزاء بیشتری نیاز دارد و قیمت بالاتری دارد اما اجزای تشکیل دهنده‌ی آن تحت استرس کمتری قرار می‌گیرند [۴۰].

استفاده از شبکه‌ی DC که در آن واحدهای تولید پراکنده‌ی انرژی الکتریکی جهت تأمین انرژی مورد نیاز خودروهای هیبریدی به کار می‌روند، نیز یکی از ایده‌های پیشنهادی محققین در این زمینه است. در این ساختار، واحدهای ذخیره‌کننده‌ی انرژی، فتوولتائیک، ژنراتورهای بادی به باس DC مشترک جهت تغذیه‌ی خودروی هیبریدی متصل می‌شوند. شکل (۲-۱۰۲) یک نمونه از این ایستگاه را نشان می‌دهد [۴۱].



شکل (۲-۱۰۲): استفاده از شبکه‌ی dc جهت تغذیه خودروهای هیبریدی

## ۲-۵-۲- بهساز توان ریلی<sup>۱</sup> (RPC)

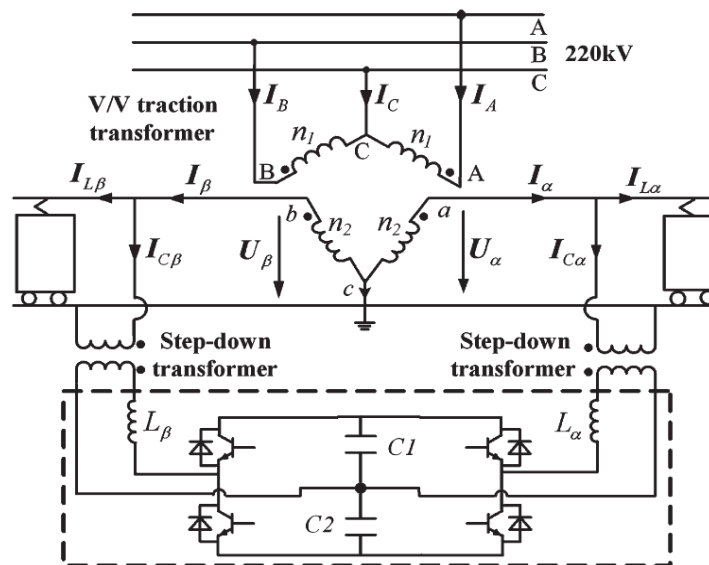
با توجه به ماهیت بارهای تک فاز و هارمونیکی حمل و نقل ریلی، جبرانسازی مولفه‌ی منفی و هارمونیک‌ی اهمیت زیادی دارد. در ابتدا جهت برطرف کردن این مشکل، استفاده از فیلترهای اکتیو، SVC، DStatCom و روش‌های دیگر جبرانسازی پیشنهاد گردید. در سال ۱۹۹۳ پژوهشگران ژاپنی تجهیزاتی که هم‌اکنون RPC نامیده می‌شود را پیشنهاد داده‌اند. این تجهیز که از کلیدهای الکترونیک قدرت در آن استفاده شده است بین دو فاز خروجی ثانویه ترانسفورماتور سیستم حمل و نقل ریلی قرار می‌گیرد. این تجهیز قابلیت کنترل توان راکتیو، توان اکتیو و جریانهای هارمونیک‌ی را در دو بازوی سیستم حمل و نقل ریلی دارد.

شکل (۲-۱۰۳) شمای یک سیستم حمل و نقل ریلی را نشان می‌دهد که در آن از یک ترانسفورماتور V/V استفاده شده است. این ترانسفورماتور به دلیل سادگی و استفاده حداکثری از ظرفیت آن، در سیستم حمل و نقل ریلی کاربرد زیادی دارد. RPC به کار رفته در این شکل از یک مبدل پشت به پشت با خازن مشترک جهت فراهم آوردن یک ولتاژ DC ثابت و پایدار

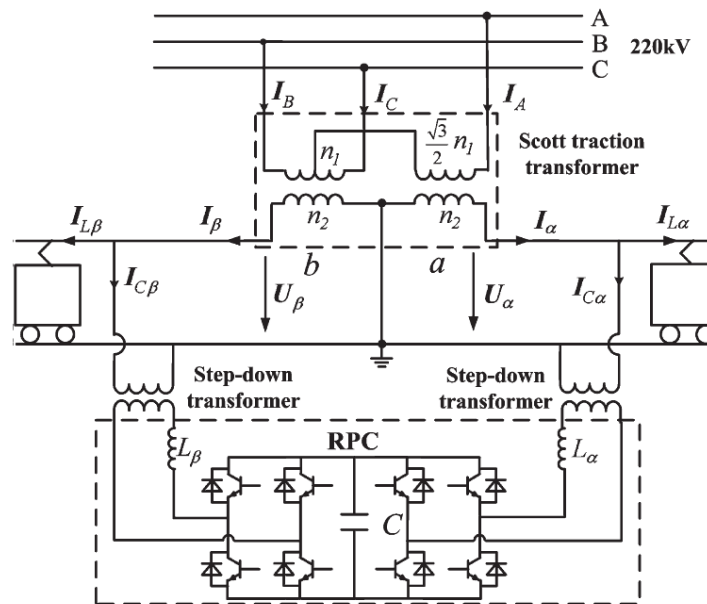
<sup>۱</sup> - Railway Power Conditioner

تشکیل شده است. دو مبدل به کار رفته از طریق یک سلف و یک ترانسفورماتور به ثانویه ترانسفورماتور  $V/V$  متصل شده اند. گذر توان اکتیو از یک پایه به پایه دیگر از طریق مبدل های پشت به پشت فراهم می شود. با اعمال کنترل مناسب به مبدل ها، مولفه های توانی منفی و هارمونیک جبران سازی می شوند [۴۲].

ساختارهای مختلفی از مبدل ها می تواند در مبدل پشت به پشت به کار رود. ترانسفورماتورهای مختلفی مانند ترانسفورماتور اسکات<sup>۱</sup> نیز در کاربرد حمل و نقل ریلی به کار می روند. شکل (۲-۱۰۴) مدار یک سیستم حمل و نقل ریلی دیگر که از ترانسفورماتور اسکات در آن استفاده شده است را نشان می دهد که مبدل به کار رفته در آن از نوع پشت به پشت تمام پل است [۴۳].



شکل (۲-۱۰۳): یک نمونه RPC با ترانسفورماتور  $V/V$



شکل (۲-۱۰۴): استفاده از ترانسفورماتور اسکات و مبدل پشت به پشت تمام پل به عنوان RPC

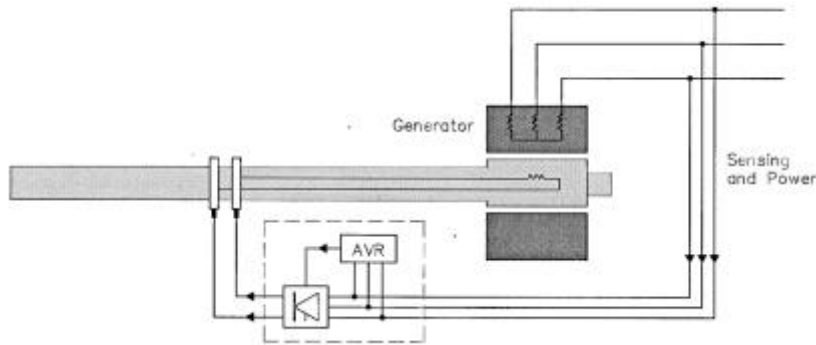
## ۲-۶- مبدل‌های استاتیک نیروگاهی

### ۲-۶-۱- سیستم تحریک استاتیکی<sup>۱</sup>

سیستم تحریک استاتیک وظیفه تأمین ولتاژ و جریان مورد نیاز برای سیم پیچی میدان ژنراتورهای سنکرون را برعهده دارند. سیستم تحریک استاتیک، ولتاژ ac را به کمک یکسوساز کنترل شده به ولتاژ dc تبدیل می کند که از این ولتاژ برای تغذیه سیم پیچ تحریک ژنراتور استفاده می شود. شکل (۲-۱۰۵) نمای کلی از نحوه یکسوسازی ولتاژ ac و اتصال آن به سیم پیچ تحریک را نشان می دهد. قابلیت کنترلی مجموعه یکسوساز مورد استفاده در سیستم تحریک استاتیک، امکان تنظیم ولتاژ و یا جریان سیم پیچی تحریک به منظور دستیابی به مشخصات کاری دینامیکی و حالت دائمی مطلوب ژنراتور سنکرون را فراهم می کند. علاوه بر بخشهای تنظیم کننده و کنترل کننده، این سیستم شامل مدارهای دشارژ تحریک و ابزارهای حفاظتی مورد نیاز نیز است. نکته اساسی در سیستم تحریک استاتیک، توانی نامی مورد نیاز آن است، که برای ژنراتورهای سنکرون با

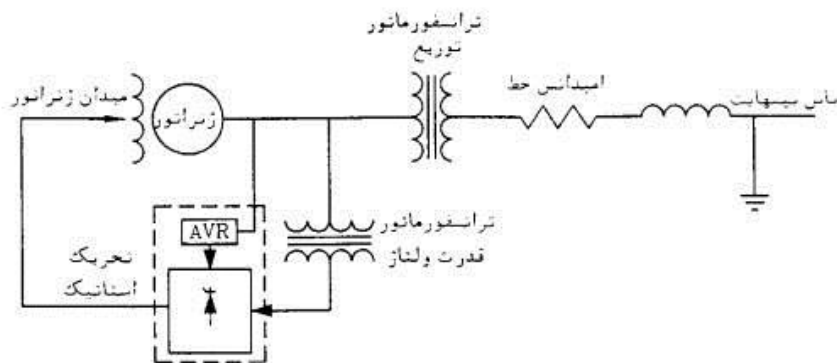
<sup>۱</sup> - Static Excitation System

مشخصات مختلف شامل توان ظاهری نامی، سرعت چرخش، شرایط محیط کاری و... متفاوت است. ساختارهای مختلفی که برای سیستم تحریک استاتیک ژنراتورهای سنکرون بکار می روند بر اساس توان نامی مورد نیاز آنها است.



شکل (۲-۱۰۵): نمای کلی از یکسوسازی ولتاژ ac و اتصال به سیم پیچ تحریک

سیستم تحریک از دو قسمت مدار کنترل و مدار قدرت تشکیل می شود. وظیفه مدار کنترل که در برگیرنده حلقه کنترلی AVR است، تنظیم ولتاژ ترمینال ژنراتور و تأمین عملکرد پایدار ژنراتور است که با کنترل توان راکتیو مبادله شده بین ژنراتور و شبکه صورت می گیرد. چنین وظیفه‌ای در یک سیستم تحریک استاتیک با کنترل زاویه آتش پل تریستوری انجام می گیرد. سیستم تحریک استاتیک از یک یکسوساز تریستوری سه فاز ۶ پالسه تشکیل می شود. این یکسوساز از سمت ورودی توسط ترانسفورماتور تحریک به خط و از سمت خروجی توسط حلقه لغزان واقع در محور گردان روتور به مدار تحریک واقع در روتور متصل می شود. وظیفه سیستم تحریک تنظیم دامنه ولتاژ ترمینال ژنراتور و در نتیجه کنترل توان راکتیو عبوری در باس ژنراتور است که این عمل توسط واحد کنترل AVR، به صورت نرم افزاری در سیستم تحریک انجام می پذیرد.



شکل (۲-۱۰۶): ساختار تامین توان در یکی از محصولات ABB

توان مورد نیاز برای سیستم تحریک ژنراتور سنکرون می تواند از شینه ژنراتور یا یک منبع ac مستقل دیگر مانند شبکه برق تأمین شود. در هر دو حالت ولتاژ ac توسط یک ترانسفورماتور به سطح ولتاژی مناسب با ورودی یکسوساز تبدیل می شود. درحالی که از شینه ژنراتور برای تأمین توان مورد نیاز سیستم تحریک استفاده می شود باید یک منبع کمکی مثل باتری در شروع کار که هنوز ولتاژی در ترمینالهای ژنراتور وجود نیامده برای تأمین توان سیستم تحریک بکار گرفته شود. طبیعتاً این منبع پس از اینکه ولتاژ کافی به منظور یکسوسازی در ترمینالهای ژنراتور وجود آمد از مدار خارج می شود. نمونه ای از نحوه تأمین توان مورد نیاز سیستم تحریک در شکل (۲-۱۰۶) نشان داده شده است. ترانسفورماتور تحریک در محل اتصال خود به پل یکسوساز مجهز به یک کلید است که امکان جدا کردن ترانسفورماتور تحریک از پل یکسوساز را در شرایط مورد نیاز فراهم می کند.

به منظور قابل تنظیم بودن توان تحویل داده شده به سیم پیچ تحریک از ساختارهای نیمه کنترل شده<sup>۱</sup> یا تمام کنترل شده<sup>۲</sup> در پل یکسوساز استفاده می شود.

در ساختار نیمه کنترل شده از ۳ تریستور و ۳ دیود در پل یکسوساز استفاده می شود. این ساختار امکان ایجاد ولتاژهای dc منفی را ندارد و به همین دلیل امکان کاهش سریع یا تخلیه<sup>۳</sup> سریع سیم پیچ تحریک در شرایط لازم فراهم نمی شود. برای بهبود کارایی سیستم تحریک و دستیابی به پاسخ دینامیکی بهتر در سیستم تحریک از ساختار تمام کنترل شده استفاده می شود. در این ساختار امکان ایجاد ولتاژهای dc منفی وجود داشته و بنابراین در شرایطی که تخلیه سریع سیم پیچ تحریک لازم است با تولید ولتاژهای dc منفی و در نتیجه بازگرداندن انرژی ذخیره شده در سیم پیچی تحریک به شبکه، امکان تخلیه سریع سیم پیچ تحریک فراهم می شود. بعلاوه برای بالا بردن کارایی دینامیکی سیستم تحریک و در نتیجه ژنراتور، حداکثر ولتاژ مثبتی که یکسوساز می تواند تولید کند را تا چند برابر (مثلاً ۱/۵ تا ۲ برابر) ولتاژ نامی خروجی یکسوساز انتخاب می کنند.

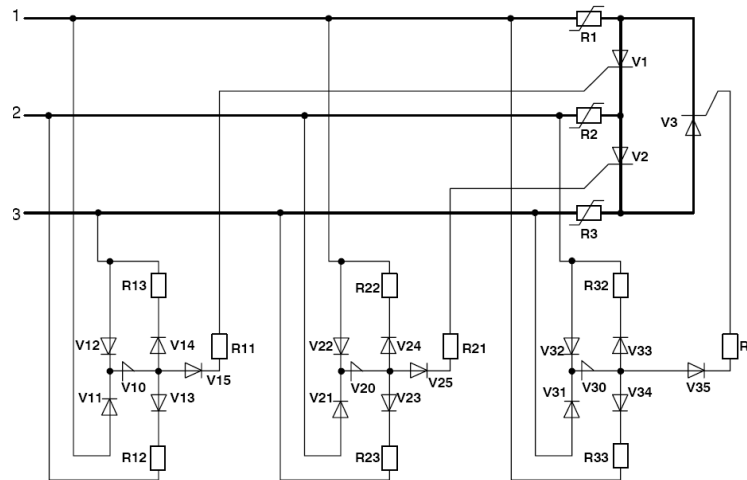
ولتاژ dc خروجی یکسوساز با تنظیم زاویه آتش تریستورها توسط واحد کنترل تنظیم می شود. واحد کنترل براساس سیگنالهای اندازه گیری شده از پارامترهای مختلف ماشین همچون ولتاژ خروجی ترمینال های ماشین، توان راکتیو و ضریب توان و ...

1 -semi-controlled

2 -full controlled

3 -de-excitation





شکل (۲-۸-۱): مدار جانبی سمت ac در محصولات Siemens

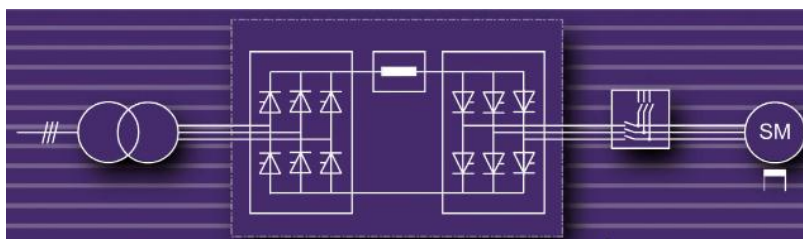
مدارات جانبی که در سمت dc یکسوساز بکار می روند وظیفه حفاظت از یکسوساز در مقابل اضافه ولتاژ یا اضافه جریانهایی که می توانند باعث صدمه دیدن تریستورهای پل یکسوساز شوند را بعهده دارند. تریستورهای پل یکسوساز از نظر حداکثر ولتاژ مستقیم<sup>۱</sup> یا معکوسی<sup>۲</sup> که می توانند تحمل کنند محدودیت دارند. تجاوز ولتاژ مستقیم دو سر تریستور از حداکثر مقدار مجاز آن باعث روشن شدن خود بخودی تریستور، بدون نیاز به اعمال جریان گیت، می شود. همچنین تجاوز ولتاژ معکوس دو سر تریستور از حداکثر مقدار مجاز آن باعث آسیب دیدن تریستور می شود. بنابراین لازم است تریستورها در مقابل اضافه ولتاژ مستقیم و معکوس محافظت شوند. بعلاوه ملاحظات حرارتی ایجاب می کند جریانی که از یکسوساز کشیده می شود دارای حدی مجاز باشد. تجاوز جریان کشیده شده از یکسوساز از حد مجاز باعث فراتر رفتن دمای پیوند<sup>۳</sup> تریستورها از حداکثر مقدار قابل تحمل برای تریستورها و در نتیجه سوختن آنها می شود. بنابراین لازم است از تریستورها در مقابل اضافه جریان نیز محافظت شود [۴۴] و [۴۵].

1 -direct  
2 -reverse  
3 -junction



## ۲-۶-۲- سیستمهای SFC نیروگاههای تلمبه ذخیره‌ای دور ثابت

در نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای، توربین آبی، به منظور ذخیره آب در حوضچه‌های بالادست، به صورت موتور عمل می‌کند تا در مواقع تقاضای بالای انرژی در شبکه، از آن برای تولید برق استفاده شود. به دلیل بالا بودن ظرفیت این توربین‌ها، راه‌اندازی مستقیم در حالت موتوری، امکان‌پذیر نیست. بنابراین برای اتصال این نیروگاه‌ها به شبکه، از مبدل فرکانس استاتیکی (SFC)<sup>۱</sup> استفاده می‌شود. این راه‌انداز، ولتاژ و فرکانس ورودی ماشین (در حالت موتوری) را به صورت پیوسته از مقادیر پایین افزایش می‌دهد تا به سرعت سنکرون با شبکه برسد. ساختار SFC راه‌انداز نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای در شکل (۲-۱۰۹) نشان داده شده است.



شکل (۲-۱۰۹): شماتیک سیستم راه‌انداز SFC نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای

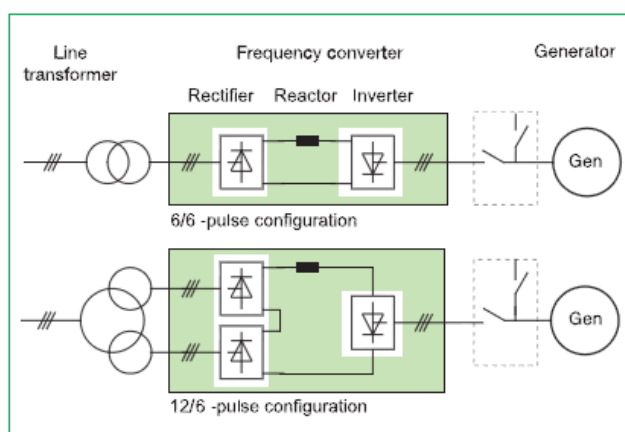
در این ساختار از پل دیودی در سمت شبکه و پل تریستوری برای کنترل فرکانس و ولتاژ در سمت موتور سنکرون استفاده شده است. در ساختار این SFC، از مبدل‌های ۶ یا ۱۲ پالسی استفاده می‌شود تا از تأثیر مبدل در ریپل گشتاور ماشین، بکاهد. در لینک dc این راه‌انداز نیز، از یک راکتور dc برای صاف کردن جریان dc و همچنین محدود کردن نرخ تغییرات جریان dc استفاده شده است.

نمونه‌ای از SFCهای مورد استفاده در نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای، محصول MEGADRIVE-LCI ساخت شرکت ABB می‌باشد که در رنج توانی تا ۷۲ مگاوات و ولتاژ ۱۰ کیلوولت، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این محصول از سال ۱۹۹۷ تاکنون مورد استفاده قرار گرفته است.

<sup>۱</sup>- Static Frequency Converter

## ۲-۶-۳- سیستمهای SFC توربینهای گازی

توربینهای گازی اغلب بایستی در مدت زمان کوتاهی راهاندازی شوند. راهانداز SFC، توربین گاز را به صورت موتوری تغذیه می کند تا در مدت زمان کوتاهی، به سرعت نامی خود برسد و با شبکه سنکرون شود. در شکل (۲-۱۱۰) دو ساختار مورد استفاده برای راهاندازی توربین گازی نشان داد شده است.



شکل (۲-۱۱۰): ساختارهای مورد استفاده برای راهاندازی توربین گازی

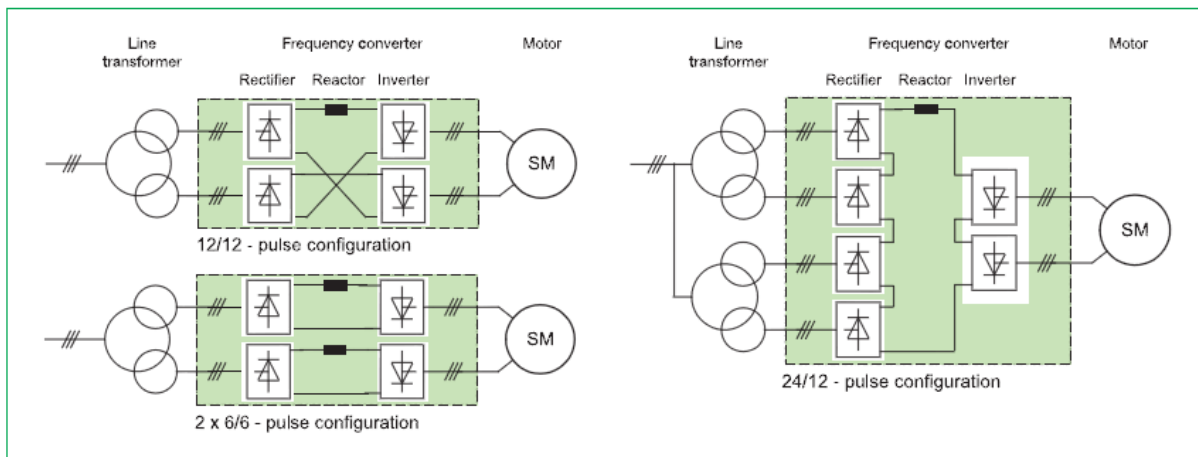
از جمله SFCهای مورد استفاده برای راهاندازی توربین گازی، محصول MEGADRIVE-LCI می باشد که در قسمت قبل معرفی گردید. با این تفاوت که کاربرد SFC برای نیروگاه تلمبه ذخیره ای، اتصال نرم موتور سنکرون به شبکه است ولی کاربرد آن برای نیروگاه گازی، راهاندازی سریع و رسیدن به سرعت سنکرون می باشد.

نمونه دیگر SFC مورد استفاده در نیروگاه گازی، محصول PCS-9575 ساخت شرکت NR Research می باشد که در انواع ۱۲/۱۲ پالسه، ۶/۱۲ پالسه و ۶/۶ پالسه مورد استفاده قرار می گیرد.

## ۲-۶-۴- مبدلهای کنترل دور نیروگاههای تلمبه ذخیره ای دور متغیر

در نیروگاههای تلمبه ذخیره ای که برای کنترل فرکانس در شبکه مورد بهره برداری قرار می گیرند، زمانی که که توربین در حالت موتوری عمل می کند، برای کنترل سرعت و گشتاور موتور جهت کنترل بار موتور، از درایوهای سرعت متغیر در مسیر روتور ماشین که از نوع ژنراتور القایی دوستغذیه است، استفاده می شود.

در شکل (۲-۱۱۱)، ساختار مبدل‌های کنترل دور مورد استفاده برای نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای، نشان داده شده است که به صورت توپولوژی‌های ۱۲/۱۲ پالس، ۲۴/۱۲ پالس و دو ساختار موازی ۶/۶ پالس مورد استفاده قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است، محصولات مورد استفاده در راه‌اندازی موتور سنکرون نیروگاه گازی و نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای، متناسب با توان نامی روتور در ماشین القایی دوسوتغذیه، قابل استفاده برای کنترل دور موتور آسنکرون در نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای می‌باشند.



شکل (۲-۱۱۱): ساختار درایوهای مورد استفاده برای کنترل دور ماشین

### ۳- نتیجه گیری

در این گزارش هدف بررسی مرزبندی سیستم و مشخص نمودن ابعاد سند بود. با توجه به بررسی مختلف صورت گرفته درخت فناوری مشتمل بر شش شاخه زیر ترسیم گردید:

- ادوات FACTS
- ادوات بهبود کیفیت توان یا Custom power
- مبدل پستهای HVDC-MVDC
- مبدلهای منابع تولید پراکنده
- مبدلهای مورد نیاز در سیستم سامانه حمل و نقل برق
- سیستم تحریک استاتیک ژنراتور

در ادامه گزارش در خصوص کلیه زیر شاخه های درخت شرح مختصری ارائه گردید که در مراحل بعدی گزارش و با توجه به اولویت بندی فناوریها به تفصیل به آنها پرداخته خواهد شد.

## ۴- مراجع

- 1- Ned Mohan, "Power Electronic A First Course", 1st Edition, John Wiley & Sons, United Kindom, 2011.
- 2- M. Rashid , " Power Electronics Handbook",3st Edition, Elsevier, 2010.
- 3- A. Loinovici, " Power Electronics and Energy Conversion Systems", 1st Edition, John Wiley & Sons, United Kindom, 2013.
- 4- Timothy L. Skvarenina, " The power electronics handbook (Industrial Electronics) " 1st Edition, CRC Press, 2001.
- 5- Y. Hase, " Handbook of Power Systems Engineering with Power Electronics Applications" 2nd Edition, John Wiley & Sons, 2012.
- 6- " The UK Power electronics industry: a strategy for sucess", Department for Business, Innovation and skills, October 2011.
- 7- " Powe Electronics Reaserch And Development Program Plan", U. S. Department of Energy, and Energy Reliability, 2011.
- 8- S. N. Singh "Electric Power Generation, Transmission and Distribution " Second Edition, PHI Learning 2004 ,Delhi, Indian.
- 9- K. R. Padiyar "FACTS Controllers in power transmission and distribution" 1<sup>st</sup> Edition, New Age International publisher, New Delhi, Indian, 2007.
- 10- D. M. Divan, W. E. Brumsickle, R. S. Schneider, W. Gascoigne, M. R. Ingram and Ian S. Grant " A Distributed Static Series Compensator System for Realizing Active Power Flow Control on Existing Power Lines ", IEEE Transaction on power delivery VOL. 22, NO. 1, , PP.641-650, January 2007.
- 11- Kalyan K. Sen and Mey Ling Sen, " Introduction to FACTS Controllers: Theory, Modeling, and Applications" 1st Edition, Wiley-IEEE Press. October 2009.
- 12- Iravani, M.R.; Maratukulam, D., "Review of semiconductor-controlled (static) phase shifters for power systems applications,", IEEE Transactions on Power Systems, vol.9, no.4, pp.1833,1839, Nov 1994.

- 13- N. Tleis " Power Systems Modelling and Fault Analysis Theory and Practice" 1<sup>st</sup> Edition, ELSEVIER, 2007.
- 14- R. Mohan Mathur and Rajiv K. Varma " Thyristor-Based FACTS Controllers for Electrical Transmission Systems" 1<sup>st</sup> Edition, Wiley-IEEE Press, March 2002.
- 15- .M. Hamouda, Z.R Alzaid and M.A. Mostafa " Damping torsional oscillation in large turbo-generators using Thyristor Controlled Braking Resistors" Australasian Universities Power Engineering Conference, 2008, sydney.
- 16- A. Javadi, and K.Al-Haddad, "Unfunctionality of The Instantaneous p-q Theory for The Control of Series Active Filters" ,2011 electrical and energy conference.
- 17- K. Chan, A. Kara and G. Kieboom, " Power Quality Improvement with Solid State Trnsfer Switches " International Confrence on harmonics and quality of power, Athens, 1998.
- 18- Meyer, C.; De Doncker, R.W., "Solid-state circuit breaker based on active thyristor topologies," IEEE Transactions on Power Electronics, vol.21, no.2, pp.450,458, March 2006.
- 19- Ch. Meyerand R. W. De Doncker, " LCC Analysis of Different Resonant Circuits and Solid-State Circuit Breakers for Medium-Voltage Grids" IEEE Transaction on power delivery VOL. 21, NO. 3, , PP.1414-1420, 2006.
- 20- Farret, F.A.; Simoes, M.G, " Integration of Alternative Sources of Energy "1<sup>st</sup> Edition, Wiley-IEEE Press , 2006.
- 21- Staunton, R.H.; Ozpineci, B, "Microturbine Power Conversion Technology Review." ORNL Report; ORNL/TM-2003/74, April 2003.
- 22- Nikkhajoei, H.; Iravani, M.R, "A Matrix Converter Based Micro-Turbine Distributed Generation System." IEEE Transactions on Power Delivery; Vol.2 Vol. 20 ,no.3 p.p 2182-2192, July 2005.
- 23- Chen, Z.; Blaabjerg, "Wind Energy – The World's Fastest Growing Energy Source." IEEE Power Electronics Society; Third Quarter Newsletter, 2006.
- 24- Blaabjerg, F.; Zhe Chen; Kjaer, S.B, "Power electronics as efficient interface in dispersed power generation systems," IEEE Transactions on Power Electronics, vol.19, no.5, pp.1184,1194, Sept. 2004.

- 25- Erickson, R.; Angkititrakul, S.; Al-Naseem, O.; Lujan, G "Novel Power Electronics Systems for Wind Energy Applications: Final Report." NREL; Vol. SR-500-33396, October 2004.
- 26- Carrasco, J. M.; Franquelo, L.G.; Bialasiewicz, J.T.; Galvan, E.; Portillo, R.C.; Guisado, M.; Prats, A.M.; Leon; J.I.; Moreno-Alfonso, N. "Power-Electronic Systems for the Grid Integration of Renewable Energy Sources: A Survey." IEEE Transactions on Industrial Electronics; Vol. 53, no 4, pp. 1002-1016, June 2006.
- 27- Cheng, K.W.E.; Sutanto, D.; Ho, Y.L.; Law, K.K. , "Exploring the Power Conditioning System for Fuel Cell." IEEE Power Electronics Specialists Conference, IEEE-PESC, June 2001.
- 28- W. Kramer, S. Chakraborty, B. Kroposki and H. Thomas, " Advanced Power Electronic Interfaces for Distributed Energy Systems Part 1: Systems and Topologies" Technical Report NREL/TP-581-42672, March 2008.
- 29- Kjaer, S.B.; Pedersen, J.K.; Blaabjerg, F, "A Review of Single-Phase Grid-Connected Inverters for Photovoltaic Modules." IEEE Transactions on Industry Applications; Vol. 41, no.5, pp. 1292 – 1306, September/October 2005.
- 30- Nababan, S.; Muljadi, E.; Blaabjerg, F., "An overview of power topologies for micro-hydro turbines," 3rd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), pp.737,744, 25-28, Aalborg , June 2012 .
- 31- Ponnaluri, S.; Linhofer, G.O.; Steinke, J.K.; Steimer, P.K , "Comparison of Single and Two Stage Topologies for Interface of BESS or Fuel Cell System Using the ABB Standard Power Electronics Building Blocks." European Conference on Power Electronics and Applications, . September 2005.
- 32- Leung, K.K.; Sutanto, D, "Using Battery Energy Storage System in a Deregulated Environment to Improve Power System Performance." International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT) ,April 2000.
- 33- Ali, Mohd.H.; Bin Wu; Dougal, R.A., "An Overview of SMES Applications in Power and Energy Systems," IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol.1, no.1, pp.38,47, April 2010.
- 34- Lazarewicz, M.L.; Rojas, A. "Grid frequency regulation by recycling electrical energy in flywheels." Proceedings of 2004 IEEE Power Engineering Society General meeting.

- 35- Cimuca, G.O.; Saudemont, C.; Robyns, B.; Radulescu, M.M. "Control and Performance Evaluation of a Flywheel Energy-Storage System Associated to a Variable-Speed Wind Generator." IEEE Transactions on Industrial Electronics; Vol. 53,no.7 , pp. 1074 – 1085, August 2006.
- 36- Lingling Du, "Study on supercapacitor equivalent circuit model for power electronics applications," 2009 2nd International Conference on Power Electronics and Intelligent Transportation System (PEITS), pp.51-54, Shenzhen, Dec. 2009.
- 37- Bimal K. Bose" Power Electronics And Motor Drives: Advances and Trends" 1ST edition, Academic Press; 2006.
- 38- D. Cornic, " Efficient recovery of braking energy through a reversible dc substation" Electrical Systems for Aircraft, Railway and Ship Propulsion (ESARS), 2010.
- 39- S. Jung, H. Lee, Ch. S. Song, .H. Han,W. Ki Han and G.Jang "Optimal Operation Plan of the Online Electric Vehicle System Through Establishment of a DC Distribution System" IEEE Transaction on Power Electronics, Vol.28 no.12, pp. 5878 – 5889, 2013.
- 40- M.Yilmaz and P.T. Krein " Review of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels and Infrastructure for Plug-InElectric and Hybrid Vehicles" IEEE Transaction on Power Electronics, Vol.28 no.5 p.p 2151 - 2169 2012.
- 41- Paracino, A.R.; Grainger, B.M.; Kerestes, R.J.; Reed, G.F., "Design and simulation of a DC electric vehicle charging station connected to a MVDC infrastructure," 2012 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), pp.1168,1175, 15-20 Sept. 2012
- 42- A. Luo, , F. Ma, Wu, Sh. Qi Ding, Q. Zhong and Zh.K Shuai " A Dual-Loop Control Strategy of Railway Static Power Regulator Under V/V Electric Traction System" IEEE Transaction on Power Electronics, Vol.26 no.7, p.p 2079 - 2091 2011.
- 43- F. Ma, An Luo, Xianyong Xu, Huagen Xiao Chuanping Wu and Wen Wang " A Simplified Power Conditioner Based on Half-Bridge Converter for High-Speed Railway System" IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 60 no.2,p.p 728 – 738, 2012.
- 44- R.C.Schaefer, "Applying static excitation systems", IEEE Industry Application Magazine, pages: 41-49, Nov/Dec 1998.



۴۵- گزارش مرحله اول تاهفتم پروژه " طراحی، ساخت و نصب سیستم تحریک استاتیک ژنراتور سنکرون برای یکی از واحدهای نیروگاه بعثت"، جلد دوم، پژوهشگاه نیرو، گروه الکترونیک صنعتی، مهرماه ۱۳۸۱.

## فهرست مطالب

۳	۱- فصل اول مطالعه تطبیقی بریتانیا
۳	۱-۱- مقدمه
۳	۲-۱- مقدمه ای بر وضعیت تولید توان الکترونیکی در بریتانیا
۶	۳-۱- صنعت الکترونیک قدرت در اروپا و بریتانیا
۷	۴-۱- کمپانی های بزرگ فعال در زمینه طراحی و تولید الکترونیک قدرت کاربردی بریتانیا
۷	۵-۱- کمپانی های فعال در زمینه طراحی و تولید در صنعت نیمه هادی الکترونیک قدرت بریتانیا
۸	۱-۵-۱- IQE Group
۸	۲-۵-۱- International Rectifier
۹	۳-۵-۱- Dynex Semiconductor
۹	۴-۵-۱- NXP Semiconductors
۱۰	۵-۵-۱- Zetex
۱۰	۶-۱- صنایع کوچک و متوسط مرتبط با الکترونیک قدرت فعال در بریتانیا
۱۱	۱-۶-۱- International Transformers
۱۱	۲-۶-۱- Norfolk Capacitors (API)
۱۲	۳-۶-۱- Industrial Capacitors Wrexham
۱۲	۴-۶-۱- Telcon
۱۲	۵-۶-۱- Cambridge Semiconductor
۱۳	۷-۱- SME های دانش بنیان الکترونیک قدرت در بریتانیا
۱۳	۱-۷-۱- Amantys
۱۴	۲-۷-۱- Anvil Semiconductors

- ۱۵..... Enec sys-۳-۷-۱
- ۱۵..... Evince Technology-۴-۷-۱
- ۱۵..... ۸-۱- دانشگاه های مطرح فعال بریتانیا در زمینه الکترونیک قدرت
- ۱۶..... ۹-۱- تمرکز بر بخش بازار الکترونیک قدرت
- ۱۸..... ۱-۹-۱- حمل و نقل
- ۱۹..... ۲-۹-۱- تولید، توزیع و انتقال
- ۱۹..... ۳-۹-۱- بازار بخش تولید، توزیع و انتقال
- ۲۰..... ۴-۹-۱- زنجیره تامین بریتانیا
- ۲۰..... ۵-۹-۱- پایه تکنولوژی
- ۶-۹-۱- تحلیل و بررسی نقاط ضعف، قدرت، تهدیدها و فرصت های صنعت الکترونیک قدرت ( با کاربرد تولید، توزیع و انتقال) در  
بریتانیا
- ۲۱.....
- ۲۲..... ۷-۹-۱- الکترونیک مصرفی و روشنایی
- ۲۳..... ۸-۹-۱- درایوهای صنعتی
- ۲۳..... ۱۰-۱- چالش ها، فرصت ها و اقدام ها
- ۲۹..... ۲- فصل دوم مطالعه تطبیقی آمریکا
- ۲۹..... ۱-۲- مقدمه
- ۲۹..... ۲-۲- مقدمه ای بر وضعیت تولید توان الکتريکی در آمریکا
- ۳۱..... ۳-۲- کمپانی های فعال در زمینه طراحی و تولید صنعت نیمه هادی الکترونیک قدرت آمریکا
- ۳۲..... ON Semiconductor-۱-۳-۲
- ۳۲..... Fairchild Semiconductor-۲-۳-۲
- ۳۳..... American Semiconductor-۳-۳-۲
- ۳۳..... Power EX-۴-۳-۲

۳۳.....	Si power-۵-۳-۲
۳۴.....	IXYS-۶-۳-۲
۳۴.....	Vishay-۷-۳-۲
۳۴.....	Power Semiconductor-۸-۳-۲
۳۵.....	Alpha & omega -۹-۳-۲
۳۵.....	Cree-۱۰-۳-۲
۳۵.....	۴-۲- شرکت های فعال در زمینه طراحی و تولید الکترونیک قدرت کاربردی آمریکا
۳۶.....	Kaco-۱-۴-۲
۳۶.....	Smail Power-۲-۴-۲
۳۷.....	Solectria-۳-۴-۲
۳۷.....	Morning Star-۴-۴-۲
۳۷.....	Avanced Energy-۵-۴-۲
۳۸.....	American Electric Solutions-۶-۴-۲
۳۸.....	AMETEK-۷-۴-۲
۳۹.....	Power Engineers-۸-۴-۲
۳۹.....	Northern power systems-۹-۴-۲
۳۹.....	Ingeteam-۱۰-۴-۲
۴۰.....	AMSC (American Super Conductor)-۱۱-۴-۲
۴۱.....	SMA-۱۲-۴-۲
۴۲.....	Parker-۱۳-۴-۲
۴۲.....	Woodward-۱۴-۴-۲
۴۳.....	Bon figioli-۱۵-۴-۲
۴۳.....	۵-۲- دانشگاه های مطرح فعال آمریکا در زمینه الکترونیک قدرت
۴۸.....	۶-۲- مقدمه ای بر آینده پژوهی الکترونیک قدرت آمریکا

- ۴۸-۱-۶-۲- الکترونیک قدرت مبتنی بر نیمه‌هادی حالت جامد.....
- ۴۸-۲-۶-۲- دلایل آمریکا برای گسترش الکترونیک قدرت.....
- ۵۱-۳-۶-۲- استراتژی دفتر تحویل الکترونیته و قابلیت اطمینان انرژی (OE) برای الکترونیک قدرت.....
- ۵۲-۷-۲- برنامه تحقیق و توسعه .....
- ۵۲-۱-۷-۲- برنامه اجرایی.....
- ۵۴-۸-۲- چالش‌ها و نیازها.....
- ۵۶-۹-۲- استراتژی‌های همکاری .....
- ۵۸-۱-۹-۲- تبدیل نوآوری به محصولات تجاری.....
- ۵۸-۱۰-۲- پروژه‌های تعریف شده وزارت انرژی آمریکا برای توسعه فناوری GaN.....
- ۵۸-۱-۱۰-۲- تعریف کننده پروژه: دفتر تحقیقات پیشرفته ARPAE وزارت انرژی آمریکا.....
- ۶۰-۲-۱۰-۲- تعریف کننده پروژه: دفتر بازده انرژی و انرژیهای تجدیدپذیر وزارت انرژی آمریکا.....
- ۶۲-۳-۱۰-۲- تعریف کننده پروژه آژانس دفاعی پروژه های تحقیقی پیشرفته (DARPA).....
- ۶۵-۳- فصل سوم مطالعه تطبیقی هند .....
- ۶۵-۱-۳- مقدمه .....
- ۶۵-۲-۳- مقدمه ای بر وضعیت تولید توان الکترونیکی در کشور هند .....
- ۶۶-۱-۳- چالش‌های انرژی و دسترسی به توان الکترونیکی در هند .....
- ۶۷-۲-۳- شرکت های فعال در زمینه طراحی و تولید الکترونیک قدرت کاربردی در هند .....
- ۶۸-۱-۲-۳- Nuneric Power system.....
- ۶۸-۲-۲-۳- Consoul empowering solution.....
- ۶۹-۳-۲-۳- شرکت های بین المللی.....
- ۶۹-۴-۲-۳- Online Energy systems.....
- ۷۰-۵-۲-۳- Techser.....

- ۷۰..... Power – one-۶-۲-۳
- ۷۰..... Hykon India-۷-۲-۳
- ۷۱..... Switching AVO Electro-۸-۲-۳
- ۷۱..... ۳-۳-۳- دانشگاه‌ها و مراکز الکترونیک قدرت:
- ۷۱..... ۱-۳-۳- انستیتو تکنولوژی مدراس (Madras)
- ۷۲..... ۲-۳-۳- Kanpur انستیتوی تکنولوژی
- ۷۲..... ۳-۳-۳- انستیتو تکنولوژی هند در بمبئی
- ۷۳..... ۴-۳-۳- انستیتوی تکنولوژی KHARAGPUR در هند
- ۷۳..... ۵-۳-۳- Bangalore دانشگاه
- ۷۳..... ۴-۳- نقش انرژی‌های تجدیدپذیر در آینده هند
- ۷۴..... ۵-۳- سند توسعه انرژی تجدیدپذیر در هند
- ۷۹..... ۶-۳- پروژه‌های ذخیره‌سازی انرژی در هند
- ۸۰..... ۷-۳- پتانسیل انرژی خورشیدی هند
- ۸۱..... ۸-۳- انرژی بادی
- ۸۲..... ۹-۳- پروژه‌های HVDC هند
- ۸۲..... ۱-۹-۳- پروژه‌های HVDC اجرا شده
- ۸۳..... ۲-۹-۳- پروژه‌های HDVC پشت به پشت
- ۸۳..... ۳-۹-۳- پروژه‌های HVDC آینده‌ی هند
- ۸۳..... ۱۰-۳- پروژه‌های ادوات FACTS در هند
- ۸۵..... ۱۱-۳- مأموریت ملی الکترونیک قدرت
- ۸۶..... ۱-۱۱-۳- فاز اول
- ۸۷..... ۲-۱۱-۳- فاز دوم

- ۴- نتیجه گیری ..... ۸۸
- ۵- پیوست الف- بررسی برخی شرکت های بین المللی فعال در حوزه الکترونیک قدرت ..... ۹۰
- الف-۱ شرکت ALSTOM ..... ۹۰
- الف-۲ شرکت Converteam ..... ۹۱
- الف-۳ شرکت Emerson Control Techniques ..... ۹۴
- الف-۴ شرکت Goodrich Power Systems ..... ۹۴
- الف-۵ شرکت Siemens ..... ۹۵
- الف-۶ شرکت ABB ..... ۹۶
- الف-۷ شرکت Infinon ..... ۹۷
- الف-۸ شرکت General Electric ..... ۹۷
- الف-۹ شرکت NR ELECTRIC ..... ۹۸
- ۶- مراجع ..... ۱۰۰

### فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: نسبت مشارکت منابع اولیه در تولید توان الکتریکی در بریتانیا..... ۴
- شکل ۱-۲: نسبت مشارکت انواع انرژی های تجدید پذیر در سهم کلی انرژی های تجدیدپذیر..... ۵
- شکل ۲-۳: نسبت مشارکت منابع اولیه در تولید توان الکتریکی در آمریکا..... ۳۰



## فهرست جداول

- جدول ۱-۱: دانشگاه‌های موثر بریتانیا در حوزه الکترونیک قدرت ..... ۱۶
- جدول ۱-۲: برنامه اجرایی و برنامه بلندمدت ..... ۵۳
- جدول ۱-۳: سهم بخش‌های مختلف در تولید توان در هند ..... ۶۶
- جدول ۲-۳: سهم هریک از منابع انرژی در تولید توان الکتریکی در هند ..... ۶۷
- جدول ۳-۳: ظرفیت اضافه شده‌ی منابع انرژی تجدیدپذیر متصل به شبکه ..... ۷۴
- جدول ۴-۳: اهداف هوشمند انرژی‌های تجدیدپذیر در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۷-۲۰۱۱ ..... ۷۶
- جدول ۵-۳: اهداف آرمانی و هوشمندانه‌ی منابع تجدیدپذیر متصل به شبکه در سال ۲۰۲۲ برحسب مگاوات ..... ۷۶
- جدول ۶-۳: پروژه پیشنهادی برای STATCOM ..... ۸۴
- جدول ۷-۳: پروژه‌های پیشنهادی برای راکتور کنترل شده و یا سوئیچ‌شونده‌ی تریستوری ..... ۸۵
- جدول ۸-۳: پروژه‌های SVC پیشنهادی ..... ۸۵

## مقدمه

این گزارش به بررسی و مطالعه تطبیقی وضعیت توسعه فناوری الکترونیک قدرت در شبکه برق کشورهای دیگر می پردازد. این کشورها از میان دو گروه کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه انتخاب شده‌اند. بریتانیا و ایالات متحده آمریکا گروه کشورهای توسعه یافته را نمایندگی می کنند. در مقابل، هند گروه کشورهای در حال توسعه را نمایندگی می کند. بررسی گروه کشورهای توسعه یافته دید مناسبی در خصوص وضعیت انتهایی الکترونیک قدرت در دنیا به دست خواهد داد. این در حالی است که بررسی کشورهای در حال توسعه، دید مناسبی در خصوص نحوه مناسب جهت گیری برای توسعه مشابه فناوری الکترونیک قدرت در ایران به دست می دهد.

در مطالعه هر کشور، ابتدا به وضعیت تولید و مصرف توان الکتریکی پرداخته شده است. در ادامه زیرساخت های کشور مد نظر در زمینه الکترونیک قدرت بررسی شده است. برای این منظور، ابتدا کمپانی های بزرگ و شرکت های کوچک دانش بنیان فعال در زمینه الکترونیک قدرت شناسایی شده و محصولات این شرکت ها معرفی شده اند. سپس مراکز دانشگاهی و تحقیقاتی موثر کشور مد نظر در خصوص الکترونیک قدرت شناسایی و زمینه های تحقیقاتی آنها فهرست شده اند. در ادامه بررسی ها، سیاست های آینده پژوهی این کشورها استخراج شده است و چالش های پیش روی کشور مد نظر و استراتژی های در نظر گرفته شده برای مقابله با آنها استخراج شده است.

## فصل اول

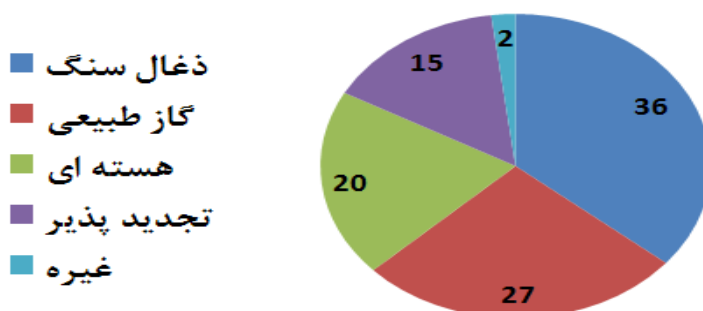
### مطالعه تطبیقی بریتانیا

## ۱-۱ - مقدمه

بریتانیا از جمله کشورهای توسعه یافته و پیشرو در خصوص الکترونیک قدرت به شمار می‌رود. بنابراین مطالعه وضعیت الکترونیک قدرت در بریتانیا دید مناسبی در خصوص وضعیت الکترونیک قدرت در جهان اول و گرایش‌های بروز در زمینه آینده پژوهی به دست خواهد داد. همانطور که در مقدمه ذکر شد، در مطالعه این کشور، ابتدا به وضعیت تولید و مصرف توان الکتریکی پرداخته شده است. در ادامه زیرساخت‌های بریتانیا در زمینه الکترونیک قدرت بررسی شده است. برای این منظور، ابتدا کمپانی‌های بزرگ و شرکت‌های کوچک دانش بنیان فعال در زمینه الکترونیک قدرت شناسایی شده و محصولات این شرکت‌ها معرفی شده‌اند. سپس مراکز دانشگاهی و تحقیقاتی موثر بریتانیا مرتبط با الکترونیک قدرت شناسایی شده و زمینه‌های تحقیقاتی آنها فهرست شده‌اند. در ادامه‌ی بررسی‌ها، سیاست‌های آینده پژوهی بریتانیا استخراج شده است و چالش‌های پیش روی کشور و استراتژی‌های در نظر گرفته شده برای مقابله با آن‌ها به دست آورده شده‌اند. وزارت تجارت، نوآوری و مهارت بریتانیا سند جامعی در خصوص جنبه‌های مختلف مرتبط با الکترونیک قدرت در بریتانیا تدوین کرده است. این سند، در مطالعه تطبیقی بریتانیا بسیار موثر بوده است [۱].

## ۱-۲ - مقدمه‌ای بر وضعیت تولید توان الکتریکی در بریتانیا

بریتانیا از جمله کشورهای جهان اول و دارای اقتصادی پویا و صنعتی است. امروزه (سال ۲۰۱۳) ظرفیت تولید انرژی الکتریکی بریتانیا در حدود ۳۵۹ تراوات ساعت است. میزان مصرف انرژی الکتریکی نیز در حدود ۳۷۳ تراوات ساعت است. در این میان سهم انرژی تولیدی از ذغال سنگ و گاز به ترتیب برابر ۱۳۱ تراوات ساعت و ۹۶ تراوات ساعت است که به ترتیب ۳۶٪ و ۲۷٪ انرژی تولیدی بریتانیا را تشکیل می‌دهند. در این بین سهم انرژی‌های تجدیدپذیر برابر ۱۵٪ است. نیروگاه‌های هسته‌ای نیز ۲۰٪ انرژی تولید بریتانیا را تشکیل می‌دهند. در حالی که ۲٪ باقی مانده تولید انرژی الکتریکی از سوخت‌های دیگر تامین می‌گردد. نسبت مشارکت‌های ذکر شده در شکل ۱-۱ نشان داده شده است [۲].



شکل ۱-۱: نسبت مشارکت منابع اولیه در تولید توان الکتریکی در بریتانیا

ظرفیت کل تولیدی توان الکتریکی در بریتانیا برابر ۸۵ گیگاوات است. برای تامین مصرف انرژی، بریتانیا در حدود ۱۴/۴ تراوات ساعت انرژی الکتریکی وارد می کند.

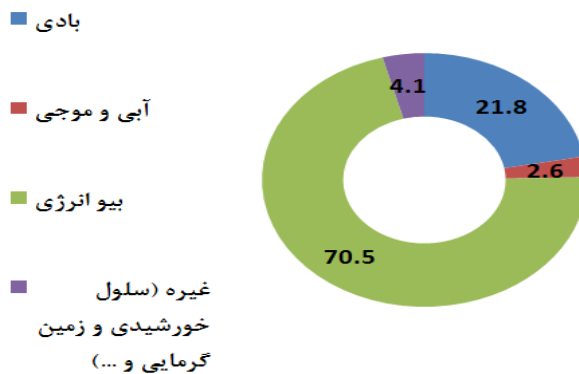
مصرف شهری، تجاری، تلفات، صنایع سوختی، مدیریت عمومی، حمل و نقل، کشاورزی و صنعت به ترتیب ۳۰٪، ۲۱٪، ۸٪، ۵٪، ۱٪، ۱٪ و ۲۶٪ انرژی مصرفی را تشکیل می دهند. صنایع مهندسی، فولاد، کاغذ، غذایی، شیمیایی و غیره به ترتیب ۱۹٪، ۴٪، ۱۱٪، ۱۸٪ و ۳۷٪ انرژی بخش صنعت را مصرف می کنند.

برای دید بهتر از اوضاع صنعت برق بریتانیا، میتوان آن را با اتحادیه اروپا مقایسه کرد. در سال ۲۰۱۲، اتحادیه اروپا ۳۲۸۱ تراوات ساعت انرژی الکتریکی تولید کرد که بریتانیا و آلمان به ترتیب ۱۱ و ۱۹ درصد از این انرژی را تولید کردند. مصارف صنعتی، خانگی، خدماتی و حمل و نقل به ترتیب ۳۶٪، ۳۰٪، ۳۰٪ و ۲٪ انرژی الکتریکی تولیدی را به خود اختصاص داده اند. در سال ۲۰۱۲، ذغال سنگ، انرژی هسته ای و گاز سهم ۲۷٪، ۲۷٪ و ۱۸٪ انرژی تولیدی اتحادیه اروپا را به خود اختصاص داده اند. فرانسه با عدد ۷۵٪ و سوئد با عدد ۳۸٪ به ترتیب بیشترین و (نسبتاً) کمترین میزان سهم برق هسته ای را داشته اند. آلمان (به بیشترین میزان) و بریتانیا به ترتیب ۴۴٪ و ۳۸٪ انرژی الکتریکی خود را از ذغال سنگ تولید می کنند. ایتالیا و اسپانیا هم به ترتیب با ۴۳٪ و ۲۵٪ عمده انرژی الکتریکی خود را از گاز تولید می کنند.

سهم انرژی های تجدیدپذیر از انرژی تولیدی اتحادیه اروپا ۲۴٪ است. سوئد ۵۹٪ انرژی الکتریکی خود را از انرژی های تجدیدپذیر (عمدتاً آبی و ۷٪ بیوماس) تولید می کند. دانمارک نیز ۴۸٪ انرژی الکتریکی خود را از منابع تجدیدپذیر تولید می کند. لازم به ذکر است که دانمارک دارای بیشترین نفوذ توان بادی در اروپا است. سوئد در سال ۲۰۱۲، ۱۲٪ از توان الکتریکی

تولیدی خود را صادر کرده است و بزرگ‌ترین صادرکننده انرژی الکتریکی در اروپا است. دانمارک نیز ۱۷٪ انرژی مصرفی خود را وارد کرده است و بزرگ‌ترین وارد کننده انرژی الکتریکی در اروپا محسوب می‌شود.

در سال ۲۰۱۳، انرژی بادی، (آبی و موجی)، زیست توده و غیره (سلول خورشیدی، زمین گرمایی و پمپ حرارتی) به ترتیب ۲۱/۸٪، ۳/۶٪، ۷۰/۵٪ و ۴/۱٪ از سهم کل انرژی تجدید پذیر (که ۱۵٪ کل انرژی مصرفی بریتانیا را تامین می‌کند) تشکیل داده‌اند. زیست توده ذکر شده شامل گاز تولید شده در محل دفن زباله (۱۵/۲٪)، فاضلاب (۲/۸٪) چوب شهری (۵/۴٪)، چوب صنعتی (۳/۱٪)، احتراق زباله (۷/۶٪)، فضولات حیوانی (۲/۳٪)، هضم بی‌هوازی (۲/۲٪)، زیست توده گیاه (۲۱/۶٪) و سوخت‌های زیستی حمل و نقل (۹/۷٪) است. نسبت مشارکت انواع انرژی‌های تجدیدپذیر در سهم ۱۵ درصدی این انرژی به مصرف انرژی کل، در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱-۲: نسبت مشارکت انواع انرژی‌های تجدید پذیر در سهم کلی انرژی‌های تجدیدپذیر

با در نظر داشتن روند توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، موارد زیر را راجع به بریتانیا می‌توان متذکر شد. انرژی الکتریکی تولیدی از منابع تجدیدپذیر در سال ۲۰۱۳ به میزان ۳۰ درصد نسبت به ۲۰۱۲ افزایش یافته و به عدد ۵۳/TWh رسیده است. تولید انرژی بادی از منابع فرا ساحلی و ساحلی در سال ۲۰۱۳ به ترتیب به میزان ۵۲٪ و ۴۰٪ نسبت به سال ۲۰۱۲ افزایش یافته است. انرژی الکتریکی تولیدی از منابع زیست توده و آبی در سال ۲۰۱۳ به میزان ۲۴٪ و ۱۱٪ نسبت به سال ۲۰۱۲ افزایش و کاهش داشته است.

در مجموع با توجه به موارد ذکر شده می‌توان گفت که سهم نفوذ انرژی الکتریکی تولیدی از منابع تجدیدپذیر در شبکه با رشد فراوانی همراه است. با توجه به در هم تنیدگی فراوان الکترونیک قدرت با منابع تولید تجدیدپذیر، انتظار می‌رود استفاده از الکترونیک قدرت نیز بیش از پیش در بریتانیا گسترش یابد.

### ۱-۳- صنعت الکترونیک قدرت در اروپا و بریتانیا

بصورت کلی می‌توان تاریخچه الکترونیک قدرت را از منظر تجهیزات اساسی و دانش مهندسی تقسیم‌بندی کرد. از منظر تجهیزات اساسی، الکترونیک قدرت از مرحله یکسوسازهای قوس جیوه‌ای آغاز شده و با تیوب‌های گازی، تقویت کننده‌های مغناطیسی و نیمه هادی‌ها (نظیر ترانزیستور، تریستور، GTO، IGBT، IGCT و...) ادامه یافته است. البته تاریخچه الکترونیک قدرت را از منظر کاربردهای آن نظیر درایو، جوش کاری، الکترولیز، انتقال توان و... نیز می‌توان بررسی کرد که از سال ۱۹۶۰ پا به عرصه گذاشته‌اند. بخش مهمی از تاریخچه تکامل الکترونیک قدرت در اروپا و بریتانیا تا زمان ابداع نیمه هادی‌ها، عملاً هم اکنون بصورت کامل منسوخ شده است و از حوزه بررسی این سند خارج است و بنابراین تنها از زمان ابداع نیمه هادی‌ها مباحث ادامه خواهد یافت.

بریتانیا تاریخچه‌ای قوی در خصوص الکترونیک قدرت دارد. این کشور در زمینه‌های گوناگون طراحی، تولید و بازاریابی جهانی دارای کمپانی‌های معتبری است. بریتانیا شبکه‌ی بزرگی از شرکت‌های کوچک و متوسط (SME: Small and Medium Sized Enterprises) دارد که در زمینه‌های ادوات نیمه هادی، بسترهای تجهیز، ادوات پسیو، مبدل‌های الکترونیک قدرت متصل به منابع مولد تجدیدپذیر، مدیریت باتری، ذخیره‌ساز انرژی و تکنیک‌های پیشرفته کنترلی فعالیت می‌کنند. همچنین دانشگاه‌های بریتانیا نقش موثری در تربیت مهندسين آتی الکترونیک قدرت و انجام تحقیقات موثر بین‌المللی بر عهده دارند. بخش مهندسی، ۱۹/۶٪ از درآمد ناخالص تولید بریتانیا را تشکیل می‌دهد و ۴/۵ میلیون فرصت شغلی ایجاد کرده است. در این بین، صنعت الکترونیک ۱۶ میلیارد پوند به درآمد تولید ناخالص بریتانیا اضافه می‌کند و ۳۰۰۰۰۰ هزار فرصت شغلی در ۲۰۰۰ کمپانی فراهم کرده‌است. صنعت الکترونیک قدرت نقش مهمی در این بین دارد و وجود نزدیک به ۵۰ سال سابقه تحقیقاتی در این خصوص و حضور بازیگران بین‌المللی باعث پیش‌تازی بریتانیا شده است. به علت شهرت بریتانیا در طراحی، این کشور پایه و مرجع تولید برای بازارهای داخلی و بین‌المللی است. این کشور ۳/۱٪ از کل بازار الکترونیک قدرت دنیا را در

اختیار دارد. این عدد با توجه به میزان فروش ماژول‌های نیمه هادی ذکر شده است. بخش مهمی از این تولیدات، به خارج از بریتانیا صادر می‌شود.

در این بخش قسمت‌های مختلف صنعت الکترونیک قدرت بریتانیا نظیر کمپانی‌های بزرگ تولید کننده‌ی تجهیزات الکترونیک قدرت کاربردی، صنایع SME تولید کننده تجهیزات الکترونیک قدرت کاربردی، صنایع فعال در تولید ادوات نیمه هادی و صنایع مرتبط با الکترونیک قدرت بررسی خواهند شد.

## ۱-۴- کمپانی‌های بزرگ فعال در زمینه طراحی و تولید الکترونیک قدرت

### کاربردی بریتانیا

در سال ۲۰۱۱، ۷ شرکت مطرح بین‌المللی در بریتانیا شعبه داشته‌اند و اقدام به تولید ادوات الکترونیک قدرت کاربردی می‌کردند. از آنجا که مالکیت این شرکت‌ها الزاماً متعلق به بریتانیا نیست نمی‌توان آنان را شرکت‌هایی با ملیت بریتانیایی قلمداد کرد. بنابراین برای بررسی این موضوع، شرکت‌های بین‌المللی در فصل ضمیمه این گزارش به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

## ۱-۵- کمپانی‌های فعال در زمینه طراحی و تولید در صنعت نیمه هادی

### الکترونیک قدرت بریتانیا

در سطح جزء (قطعه)، صنعت تولید نیمه هادی بریتانیا توانمندی‌های بالایی دارد که در برخی بازارها نیز حضور برجسته‌ای دارد. این صنایع به قرار زیر هستند:

- IQE Group صنعت زیرساخت نیمه هادی
- International Rectifier ادوات نیمه هادی قدرت



- Dynex Semiconductor ادوات نیمه هادی قدرت
- NXP Semiconductor مدیریت توان
- ZETEX دیودها
- National Semiconductor مدیریت توان
- Semifab ادوات نیمه هادی

### ۱-۵-۱- IQE Group

IQE هم اکنون یکی از شرکت‌های مهم ساخت بسترهای نیمه‌هادی در بریتانیا به شمار می‌رود. این شرکت در سال ۱۹۸۸ در بریتانیا تأسیس شده است و هم اکنون در بخش‌های بی‌سیم، فتونیک، برق خورشیدی (Solar)، Si، Ge، GaN و موارد Infra-red فعالیت می‌کند. تولید محصولات این شرکت در حوزه‌ی فتوولتائیک سالانه (۲۰۱۲ نسبت به ۲۰۱۱) ۵۰٪ رشد داشته است به طوری‌که تا سال ۲۰۱۲ در حدود 1/7 GW ظرفیت تولید برق خورشیدی توسط این شرکت ایجاد شده است. نسل اول سلولهای فتوولتائیک تولیدی این شرکت از جنس Si بوده است در حالی که نسل دوم و سوم آنها تولیدی این شرکت به ترتیب از جنس Thin film و GaAs بوده است. برنامه آینده این شرکت گسترش نسل دوم و سوم این ادوات است.

### ۱-۵-۲- International Rectifier

شرکت International Rectifier (IR) تولید کنندگان جهانی کلیدهای نیمه‌هادی قدرت است. این شرکت تولیدکننده ادواتی نظیر MOSFET، IGBT، مبدل‌های DC-DC، رله‌های Solid-state، تولیدات HIREL (مقاوم در برابر شرایط آب و هوایی سخت)، مازول‌های قدرت و ادوات مبتنی بر GaAs است.

<sup>1</sup> <http://www.iqep.com/>

<sup>2</sup> <http://www.irf.com/>

شرکت IR در سال ۱۹۴۷ تأسیس شده است و هم اکنون با حضور در ۲۰ کشور دنیا با حدود ۴۱۶۵ نیروی کار فعالیت می‌کند. این شرکت سالانه در سال ۲۰۱۳ حدود ۱/۱۰۷ میلیارد دلار درآمد داشته است. مطابق پیش‌بینی IR، نمونه‌های آزمایشگاهی کلیدهای مبتنی بر GaN این شرکت در ابتدا به مرزهای ظرفیت ۲۰-۱۰ برابر انواع سیلیکونی و فرکانس کلیدزنی 6MHz خواهد رسید و سپس در سالهای آتی فرکانس‌های کلیدزنی به رنج ۱۰ الی ۶۰ مگاهرتز خواهد رسید.

### ۱-۵-۳ - Dynex Semiconductor<sup>۱</sup>

شرکت Dynex Semiconductor در شهر Lincoln بریتانیا قرار دارد. این شرکت ماژول‌های IGBT، تریتورهای کنترل شده‌ی فاز، دیودهای یکسوسازی، دیودهای بازیافت سریع، ماژول‌های دیود بازیافت سریع، GTO و تریتورهای توان پالسی را تولید می‌کند. رنج تجهیزات تولیدی SCR، GTO، دیودهای یکسوسازی و تریتورهای توان ضربه‌ای این شرکت به بازه ولتاژی [۸۵۰۰-۱۲۰۰]V و بازه جریانی [۷۰۰۰-۵۰۰۰] A و رنج تجهیزات تولیدی مدول IGBT هم به بازه ولتاژی [۶۵۰۰-۱۲۰۰]V و بازه جریانی [۳۶۰۰-۱۰۰] A رسیده است. این شرکت در سال ۲۰۱۴ کمک مالی به ارزش ۹/۹ میلیون پوند از آژانس نوآوری بریتانیا دریافت کرده است تا تحقیقات زیر را برای آینده‌ی شرکت در بریتانیا انجام دهد

- ابداع کلیدهای SiC جدید با ظرفیت ولتاژی بالا
- ساخت مبدل‌های DC-DC کم حجم برای خودروهای برقی
- تکنولوژی‌های کاربردی پایش سلامت کلیدهای IGBT به منظور تسهیل کاربردهای دور از ساحل آنها
- سیستم مدیریت حرارتی جدید برای مبدل‌های با دمای کاری بالا و حجم کم

### ۱-۵-۴ - NXP Semiconductors<sup>۲</sup>

شرکت NXP Semiconductors در سال ۱۹۵۳ پایه‌ریزی شده است اما از سال ۲۰۰۶ تحت نام NXP شناخته می‌شود. شرکت NXP یکی از ۲۵ فروشنده‌ی برتر ادوات نیمه‌هادی در دنیاست. این شرکت سازنده‌ی تجهیزاتی نظیر تریتورهای

<sup>۱</sup> <http://www.dynexsemi.com/>

<sup>۲</sup> <http://www.nxp.com/>



### ۱-۶-۱ International Transformers<sup>۱</sup>

این شرکت در زمینه طراحی و تولید انواع ترانسفورماتورها، راکتورها و سایر ادوات سیم‌پیچی شده تا ظرفیت 8 MVA فعالیت می‌کند. این شرکت در ولتاژهای تا مرز 66 KV برای سیستم قدرت و تا مرز ۲۵۰ kV برای ترانسفورمرهای تست، دانش و تجربه طراحی و ساخت دارد. هسته‌های اولیه این شرکت در سال ۱۹۳۵ آغاز به کار کرده‌است.

این شرکت ترانسفورماتورهایی برای کاربردهای فضائی، راکتورهای محدودکننده جریان، ترانسفورماتورهای ویژه‌ی مبدل‌های الکترونیک قدرت، ترانسفورمرهای محرکه‌های قدرت، ترانسفورماتورهای متصل به ژنراتور، فیلترهای هارمونیک و مقاوم‌های میراساز، راکتورهای خنک‌سازی شده با مایع، راکتورهای زمین شده با سیم خنثی و ترانسفورمرهای متصل به یکسوکننده‌های رانش الکترونیک دریایی را تولید می‌کند.

### ۱-۶-۲ Norfolk Capacitors (API)<sup>۲</sup>

API شرکتی خصوصی در بریتانیا است که در سال ۱۹۸۶ تأسیس شده است و اکنون بزرگترین تولیدکننده‌ی خازن‌های قدرت در بریتانیا است.

این شرکت تولیدکننده‌ی خازن‌های کوچک تا خازن‌های با چگالی انرژی بالا است. این خازن‌ها در کاربردهای نظیر حمل و نقل کششی، صنعتی، انرژی، پزشکی و نظامی کاربرد دارد. این شرکت خازن‌های DC (دارای اندوکتانس کم برای لینک dc اینورترهای مبتنی بر IGBT و GTO و مبدل‌های DC-DC)، خازن‌های AC در نقش فیلتر تک فاز و سه فاز برای جبران ضریب قدرت و کاهش هارمونیک، خازن‌های اسنابر (دارای اندوکتانس کم برای کلیدهای تریستوری، GTO و IGCT)ها و دارای محصولی خاص برای IGBT های توان بالا) و خازن‌های ذخیره‌ساز انرژی (دارای اندوکتانس کم و جریان پیک بالا برای دشارژهای با ولتاژ متوسط و بالا) است.

<sup>1</sup> <http://www.istpower.com/>

<sup>2</sup> <http://www.api-capacitors.com/>

### ۱-۶-۳ Industrial Capacitors Wrexham

این شرکت از سال ۱۹۷۴ خازن‌های Metalized Plastic Film را در بریتانیا برای مصارف صنعتی و نظامی تولید می‌کند. این شرکت هم چنین خازن‌های مخصوص ادوات الکترونیک قدرت را به کمک پلی‌استر و فیلم پلاستیکی پلی‌پروپیلن متال شده به کمک آلیاژهای آلومینیوم تولید می‌کند. محصولات این شرکت اجازه فعالیت در بازه 63VDC تا 2000VDC و تا 660VAC را می‌دهد. بازه خازن‌های تولیدی این شرکت در حدود  $[10nf - 2000\mu f]$  می‌باشد.

این شرکت محصولاتی نظیر خازن‌های لینک DC، ذخیره‌ساز انرژی، خازن‌های قدرت و فیلترهای EMC را تولید می‌کند.

### ۱-۶-۴ Telcon

شرکت Telcon شرکتی پیشرو در زمینه تولید هسته مغناطیسی و اجزائی نظیر سنسورهای جریان (حلقه باز و حلقه بسته) اثر هال است.

این شرکت تخصص فراوان در زمینه تولید هسته‌های آهنی با نفوذپذیری مغناطیسی بالا و حلقه هیستریزیسی مغناطیسی دارد. این ویژگی‌ها در کاربردهای خاص نظیر اندازه‌گیری جریان و راکتورهای با کاربرد EMC مورد توجه است.

این شرکت محصولاتی نظیر سنسورهای جریان حلقه باز و بسته، ترانسفورمرهای PT و CT را تولید می‌کند. رنج سنسورهای اثرهال این شرکت بین A [۵-۳۰۰۰] است.

### ۱-۶-۵ Cambridge Semiconductor

این شرکت در سال ۲۰۰۰ از دانشگاه Cambridge جدا شد. این شرکت بر ICهای مدیریت توان تمرکز دارد. این شرکت محصولاتی برای کنترل مبدل‌های فلای بک و لامپ‌های LED تولید می‌کند.

<sup>1</sup> <http://www.icw ltd.co.uk/>

<sup>2</sup> <http://www.telcon.co.uk/>

<sup>3</sup> <http://www.camsemi.com/>

## ۱-۷- SME های دانش بنیان الکترونیک قدرت در بریتانیا

برخی صنایع تازه تاسیس بسیار جذاب نیز در بریتانیا شکل گرفته‌اند که بر ایده‌های بسیار جدید متمرکز شده‌اند. پیش‌بینی شده است که مدت زمان چند ساله‌ای لازم است تا صنعت به صورت گسترده‌ای این ایده‌ها را بپذیرد. این شرکت‌ها به قرار زیر هستند.

- Amantys سیستم‌های کنترل جدید
- Anvil Semiconductors ادوات قدرت SiC
- Enec sys ریز مبدل‌های PV
- Evince Technology ادوات نیمه هادی الماس
- Gen drive مبدل‌های بهینه باد و PV
- Juice کنترل نوآورانه سیستم روشنایی به کمک مبدل‌ها

### Amantys – ۱-۷-۱<sup>۱</sup>

این شرکت در سال ۲۰۱۰ توسط افراد اجرائی جدا شده از ARM پایه گذاری شد. هدف شرکت طراحی، پیاده‌سازی و کنترل مبدل‌های الکترونیک قدرت است. این شرکت در تلاش است تا محصولاتی با بازدهی بالاتر، قابلیت اطمینان بالاتر، سادگی طراحی و هزینه کمتر تولید کند.

این شرکت محصولاتی نظیر Amantys Power Driver و Amantys Power Insight را تولید می‌کند.

به کمک محصول Amantys Power driver، این شرکت قصد دارد در آینده محصولات خود را جایگزین محصولات موجود در دنیا کند. این محصول قابلیت‌های جدیدی نسبت به محصولات مشابه دارد. این محصول می‌تواند از انواع IGBT تولیدی شرکت‌های مختلف بدون تغییر در مقاومت گیت استفاده کند. این موضوع هزینه سرمایه‌گذاری را برای کاربرانی که نیاز

<sup>1</sup> <http://www.amantys.com/>

به انعطاف‌پذیری در طراحی و تأمین منابع دارند را کاهش می‌دهد. این محصول می‌تواند به توپولوژی‌های دوسطحی، سه‌سطحی و چندسطحی در کاربردهای بسیار متنوع نظیر درایو موتورهای ولتاژ متوسط، مبدل‌های توربین بادی، مبدل‌های سلول خورشیدی، HVDC، قطاربرقی و رانش الکتريکی دریائی ساخته شود.

محصول Amantys Power drive، محصولی متحول کننده در عرصه مانیتورینگ و کنترل سوئیچ زنی در کاربردهای ولتاژ متوسط و بالا است. قابلیت کنترل IGBT، پایداری‌های سوئیچ‌زنی با بازدهی بالا و قابلیت اطمینان بالاتر از ویژگی‌های این محصول است.

این نرم‌افزار اطلاعاتی شامل ولتاژ کلکتور-امیتر، ولتاژ اشباع کلکتور-امیتر، ولتاژ گیت درایو، ولتاژ گیت-امیتر، زمان روشنایی و خاموشی سوئیچینگ کلکتور، دمای محیطی گیت، خرابی‌های اتصال کوتاه، تعداد کل سوئیچ زنی‌های انجام شده، وقایع اضافه حرارت و وقایع خرابی منبع تغذیه درایو را ثبت و گزارش می‌کند. این شرکت قصد دارد در آینده این نرم‌افزار را به صورت گسترده‌ای بازاریابی کند.

### ۱-۷-۲ - Anvil Semiconductors<sup>۱</sup>

این شرکت از ابتدا بر مبنای گسترش و کاربردی کردن ادوات LED و الکترونیک قدرت مبتنی بر SiC تشکیل شده است. این شرکت در حال توسعه ماسفت با تکنولوژی SiC است.

این شرکت برنامه دارد در آینده از این سوئیچ‌ها در مبدل‌های الکترونیک قدرت PV، UPS، خودروهای برقی، سیستم توزیع و الکترونیک قدرت مصرف (LED) استفاده کند.

<sup>۱</sup> <http://www.anvil-semi.co.uk/>

### ۱-۷-۳ - Enec sys<sup>۱</sup>

شرکت Enec sys در زمینه تولید میکرواینورترهای متصل به PV فعالیت دارد. این شرکت در تمامی محصولات نوآورانه خود به دنبال سادگی طراحی و نصب PV، حداکثر دریافت انرژی، ایمنی بالاتر، قابلیت اطمینان بالاتر و مانیتورینگ real-time، و ثبت اطلاعات تاریخی است. این شرکت دو محصول Enecsys Single و Enecsys DuO میکرواینورتر را تولید کرده است.

### ۱-۷-۴ - Evince Technology<sup>۲</sup>

شرکت Evince Technology در سال ۲۰۰۸ تأسیس شد تا بازار لازم برای تجهیزات الکترونیک قدرت بسیار جدید (الماس) را فراهم کند. با وجود یک دهه گذشت از انجام تحقیقات راجع به تکنولوژی الماس، این شرکت به دنبال ساخت ادوات الکترونیک قدرت مربوط به آن است تا بتواند بازار را متحول کند.

## ۱-۸ - دانشگاه های مطرح فعال بریتانیا در زمینه الکترونیک قدرت

بریتانیا دانشگاه های عمده و برجسته ای در زمینه تبدیل انرژی و الکترونیک قدرت دارد. به رغم بودجه متوسط تحقیقاتی در بخش دانشگاهی بریتانیا، کیفیت تحقیقات این بخش بالا است. دانشگاه های موثر بریتانیا در حوزه الکترونیک قدرت در جدول ۱-۱ ذکر شده است [۶].

<sup>۱</sup> <http://www.enecsys.com/>

<sup>۲</sup> <http://www.evincetechnology.com/>



## ۹-۱- تمرکز بر بخش بازار الکترونیک قدرت

با در نظر گرفتن انرژی‌های تجدیدپذیر و کم کربن، اثر الکترونیک قدرت در آینده بسیار مهم است. بازار جهانی کالاهای کم کربن و سرویس خدمات‌های آن در سال ۲۰۰۸، ۳ تریلیون پوند بوده است و با افزایش ۵۰٪ در سال ۲۰۱۵ به عدد ۴/۵ تریلیون دلار خواهد رسید که بخش عمده‌ای از این گسترش به کمک ادوات الکترونیک قدرت صورت خواهد پذیرفت. مطابق پیش‌بینی‌ها در سال ۲۰۰۵ و ۲۰۳۰ به ترتیب ۳۰٪ و ۸۰٪ توان الکترونیکی تولیدی به نحوی با الکترونیک قدرت درگیر بوده و خواهد بود که نشان از افزایش شدید ضریب نفوذ ادوات الکترونیک قدرت است.

جدول ۱-۱: دانشگاه‌های موثر بریتانیا در حوزه الکترونیک قدرت

نام دانشگاه	زمینه تحقیقاتی
Cambridge University	ادوات نیمه هادی قدرت، مدل‌های شبیه‌سازی، سیستم‌های بادی و خورشیدی، نیروهای محرکه
Imperial college London	HVDC.FACTS، مبدل‌های متصل کننده به شبکه و CUPS
University of Bristol	مدیریت انرژی، ماشین‌های الکترونیکی، مبدل‌های الکترونیک قدرت در حمل و نقل، کاربردهای صنعتی، مبدل‌های واسط انرژی‌های تجدیدپذیر
University of Edinburg	درايو، ماشین‌های الکترونیکی، اتصال به شبکه، مدیریت مصرف
University of Manchester	سیستم‌های تبدیل انرژی، درایوهای صنعتی و کنترل ماشین، ذخیره ساز انرژی، هوافضا، رانش الکترونیکی دریایی و خودرو برقی
University of Nottingham	HVDC، تبدیل انرژی، کنترل، اتصال به شبکه، قابلیت اطمینان، مدیریت حرارتی، درايو، ماشین‌های الکترونیکی و هوافضا، شبکه‌های انرژی، مدیریت انرژی توان پالس
University of Sheffield	ادوات نیمه هادی قدرت، ماشین‌ها و درايو آن‌ها، محرکه‌ها، انرژی‌های تجدیدپذیر، مدیریت انرژی، مدیریت باتری، هوافضا، خودرو برقی، رانش الکترونیکی دریایی
University of Strathclyde	اتصال منابع تجدیدپذیر به شبکه، HVDC.FACTS، مبدل‌های الکترونیک قدرت توان بالا، ادوات نیمه هادی توان پالس
University of Warwick	ادوات نیمه هادی قدرت برای خودرو، انرژی‌های تجدیدپذیر، کاربردهای فضایی، مدل سازی الکترو-ترمال SiC

وزارت انرژی و تغییرات آب و هوایی تخمین زده است که افزایش ضریب نفوذ الکترونیک قدرت و صنایع انرژی تجدیدپذیر ۵۰۰۰۰۰ فرصت شغلی تا سال ۲۰۲۰ در بریتانیا ایجاد خواهد کرد. به طور مثال صنعت باد به تنهایی پتانسیل ایجاد ۶۰۰۰۰ شغل در ۱۰ سال آینده (شروع از ۲۰۱۱) را دارد.

با در نظر گرفتن صنعت الکترونیک قدرت (به تنهایی)، بازار جهانی الکترونیک قدرت در سال ۲۰۱۱ برابر ۱۳۵ میلیارد پوند با رشد سالیانه ۱۰٪ بوده است. در این بازار حمل و نقل، ارتباطات، الکترونیک مصرفی، کامپیوتر (اموردفتری) و صنعت (و انرژی) به ترتیب ۱۳٪، ۱۷٪، ۱۸٪، ۲۶٪ و ۲۶٪ سهم دارند و سهم مربوط به حمل و نقل و صنعت (و انرژی) به سرعت در حال افزایش است.

افزایش رو به رشد ضریب نفوذ الکترونیک قدرت و حجم وسیع بازارهای آن باعث شده است که بریتانیا برای گسترش حضور خود در تمامی این بازارها برنامه داشته باشد. در این قسمت چهار بخش مختلف بازار الکترونیک قدرت در بریتانیا بحث و بررسی خواهد شد تا برنامه حضور بریتانیا در بازار و فرصت‌ها و ریسک‌های صنعت الکترونیک قدرت بریتانیا بررسی شود. این چهار ناحیه شامل حمل و نقل، تولید و توزیع و انتقال انرژی، الکترونیک مصرفی و روشنایی و درایوهای صنعتی است.

در هر کدام از این زیر بخش‌ها ممکن است ادواتی وجود داشته باشند که خارج از بحث سند الکترونیک قدرت ایران باشد، بنابراین قسمت مربوطه بررسی نخواهد شد. اگر چه تمامی این بخش‌ها به صورت یک به یک بررسی خواهد شد، اما برخی نکات کلی در خصوص نقاط قوت، ضعف و فرصت‌ها وجود دارند که در تمامی این بخش‌ها مشترک هستند. بهتر است این نکات به صورت یکجا درباره آنها گفته شود تا از تکرار بی‌مورد اجتناب گردد.

در تمامی ۴ زمینه مطرح شده بریتانیا شهرت فراوانی در زمینه طراحی و خلاقیت دارد. همچنین بریتانیا زنجیره کاملی از متخصصین، SMEهای (صنایع کوچک و متوسط) خلاق و دانشگاه‌های مطرح بین‌المللی (که دارای گروه‌های پژوهش و آموزش قوی هستند) را در اختیار دارد که از نقاط قوت این کشور هستند.

در تمامی ۴ زمینه مطرح شده بریتانیا با کمبود نیروی انسانی فارغ‌التحصیل و تکنیسین مواجه است. همچنین الکترونیک قدرت از منظر جامعه و حکومت بریتانیا هنوز ارزش واقعی خود را از منظر کاهش  $CO_2$  نیافته است. از سویی دیگر اتحادیه واحدی صنعت الکترونیک قدرت را نمایندگی نمی‌کند، بنابراین فعالیت‌های صنعت الکترونیک قدرت، دانشگاه و حکومت بریتانیا هماهنگ نیست.

با توجه به ضعف‌های یاد شده، به دلیل عدم امکان استخدام مهندسين با کیفیت بالا، کمپانی‌های جهانی ممکن است محل‌های طراحی و ساخت خود را از بریتانیا انتقال دهند. افزایش شهریه‌های دانشگاهی، مشکل را تشدید خواهد کرد. مقررات سخت ویزای کار برای مهندسين با تجربه نیز مزید بر علت است.

از سوئی دیگر تغییرات احتمالی نظام مالیاتی و مالکیت معنوی بریتانیا ممکن است باعث خروج کمپانی‌های بزرگ از بریتانیا شود. کشورهای رقیبی مانند هند، چین و برزیل مترصد استفاده از این فرصت‌ها هستند.

به‌رغم تهدیدات و نقاط ضعف، ساختار اقتصاد و منابع طبیعی بریتانیا این اجازه را می‌دهد که با استفاده از تجهیزات الکترونیک قدرت، این کشور را به یک تولید کننده و مصرف کننده نمونه الکترونیک قدرت و پیش‌تاز انرژی‌های تجدیدپذیر و کم کربن تبدیل کرد. از سوئی دیگر با توجه به جهت‌گیری اقتصاد بریتانیا به سمت تولید با ارزش افزوده بالا، انتظار می‌رود اهمیت صنعت الکترونیک قدرت بیشتر شود. همچنین به تازگی علاقه‌مندی دانشجویان به مهندسی برق و الکترونیک افزایش یافته است. از طرفی دیگر دولت می‌تواند به سادگی با تغییر مقررات ویزای کار، مشکل کمبود مهندسين با تجربه را حل و فصل کند.

### ۱-۹-۱- حمل و نقل

حمل و نقل سریعترین رشد اقتصادی را در بین بازارهای ممکن الکترونیک قدرت دارد و در حدود ۳۰٪ کل انرژی اولیه را مصرف می‌کند. بریتانیا برای گسترش الکترونیک قدرت کاربردی در ۳ زمینه راه‌آهن برقی، دریایی و فضایی برنامه دارد. بریتانیا در صدد است با توسعه صنایع الکترونیک قدرت مرتبط با خودروهای برقی (هایبرید) از بازار ۱ میلیارد پوند داخلی و ۴۰ میلیارد پوند خارجی استفاده کند. همچنین این کشور می‌کوشد با تقویت صنایع خود در بازار ۲/۸ میلیارد پوندی سیستم رانش الکتریکی دریایی شرکت کند. شرکت در بازار صنایع هوا-فضا به ارزش ۱/۲ میلیارد دلار از دیگر برنامه‌های بریتانیا است. این بخش جزء سند الکترونیک قدرت ایران نیست، بنابراین بیش از این به آن پرداخته نخواهد شد.

### ۱-۹-۲- تولید، توزیع و انتقال

بریتانیا برای توسعه ادوات الکترونیک قدرت کاربردی در زمینه‌های تولید، توزیع و انتقال برنامه دارد. در حوزه تولید انرژی، ادوات الکترونیک قدرت در رنج MW جزئی اساسی در واحدهای تولید انرژی تجدیدپذیر بادی، خورشیدی و جذر و مدی است. در بخش انتقال نیز، ادوات الکترونیک قدرت در رنج MW، کاربرد موثری در تجهیزات FACTS برای ارتقای شبکه قدرت دارند. سیستم‌های HDVC هم از مبدل‌های الکترونیک قدرت در رنج GW استفاده می‌کنند و ولتاژ خود را تا 800kV ارتقا می‌دهند و می‌توانند حجم عظیم توان را در فاصله طولانی جابجا کنند. بریتانیا برای استفاده از این خطوط در مزارع بادی دور از ساحل و تشکیل ابرشبکه HVCD اروپایی برنامه دارد. بریتانیا در توسعه ادوات الکترونیک قدرت کاربردی برای ذخیره‌سازی انرژی و خودروهای برقی نیز برنامه دارد.

### ۱-۹-۳- بازار بخش تولید، توزیع و انتقال

با توجه به رنج عظیم توان کنترل شده در این بخش (ده‌ها GW)، این بخش بزرگ‌ترین بازار را برای الکترونیک قدرت در اختیار دارد.

مطابق پیش‌بینی بریتانیا، مبدل‌های الکترونیک قدرت مربوط به سیستم‌های بادی، خورشیدی، HVDC و FACTS به ترتیب سالانه (در سال ۲۰۱۱) بازار جهانی در حدود 36GW، 17GW، 24GW و 3.5GW در اختیار دارند.

مقدار کل ارزش بازار ادوات فوق (تنها از نظر جنبه‌های الکترونیک قدرت) ۷ میلیارد پوند بوده است. هرچند عموماً بقیه اجزای این سیستم‌ها (غیر از الکترونیک قدرت) ارزشی در حدود ۱۰ برابر دارند. مطابق پیش‌بینی‌های بریتانیا در طول ۵-۱۰ سال آینده، این بازار رشد سالانه ۱۰٪ ای خواهد داشت.

در بریتانیا نیز برنامه ریزی شده است که حدود ۵۰٪ انرژی مورد نیاز از انرژی‌های تجدیدپذیر تامین گردد. این امر تاثیر فراوانی بر سیستم قدرت بریتانیا خواهد داشت. در این میان نقش ادوات الکترونیک قدرت در حفظ ایمنی، پایداری و کیفیت تغذیه الکتروسیسته اساسی است.

بنابراین، بریتانیا برنامه ریزی کرده است که در طول ۲۵ سال آینده با توسعه الکترونیک قدرت، شبکه الکتریکی هوشمندتری داشته باشد و سود ۶۰ میلیارد پوندی ببرد.

### ۱-۹-۴- زنجیره تامین بریتانیا

بریتانیا تخصص و دانش فراوانی در زمینه طراحی مبدل‌های الکترونیک قدرت مبتنی بر استانداردهای شبکه دارد. با توجه به پیچیدگی تکنولوژی الکترونیک قدرت که شامل مهندسی برق و مکانیک می‌گردد، این تکنولوژی تنها در کشورهای پیشرفته وجود دارد. بریتانیا در تمامی بخش‌های تولید، توزیع و انتقال بازیگران عمده‌ای دارد. Convertteam در سال ۲۰۱۰ در حدود 3.5GW مبدل توربین بادی تولید کرده است که حدود ۱۰٪ بازار را پوشش داده است. واحد Emerson نیز موفقیت مشابهی را در خصوص مبدل‌های PV کسب کرده است. شرکت Altsom نیز خود به تنهایی در زمینه‌های FACTS و HVDC پیشرو است.

### ۱-۹-۵- پایه تکنولوژی

به صورت کل در ادوات الکترونیک قدرت مورد استفاده در بخش تولید، انتقال و توزیع، قیمت و قابلیت اطمینان شاخص‌های اصلی توسعه هستند. برای کاهش هزینه و افزایش قابلیت اطمینان بایستی ادوات یا راهکارهای جدیدی در زمینه نیمه هادیها، ادوات پسیو (سلف، خازن و مقاومت ها)، سیستم گرمایشی، ترانسفورمر، کنترل، عایق بندی، توپولوژی مبدل و ابزارآلات مدل‌سازی یافت. مطابق ارزیابی‌های بریتانیا، در سال‌های آینده باید برای کاهش هزینه تولید ادوات الکترونیک قدرت از کلیدهایی استفاده کرد که بتوانند در ولتاژهای بالاتر از ۱۰kV کار کنند. بریتانیا برنامه‌ریزی کرده است که در گام نخست با ایجاد یک هماهنگی در سطح ملی، این کشور را در زمینه تحقیق، توسعه و تولید ادوات نیمه هادی SiC، GaN و یاقوت پیشنهاد نگاه دارد. بریتانیا هم‌اکنون نیز در تولید تکنولوژی یاقوت (Synthetic Diamond) سر آمد است و کمپانی‌هایی نظیر Evince در آن فعال هستند.

## ۱-۹-۶- تحلیل و بررسی نقاط ضعف، قدرت، تهدیدها و فرصت‌های صنعت الکترونیک

### قدرت ( با کاربرد تولید، توزیع و انتقال) در بریتانیا

مطابق پیش‌بینی‌های بریتانیا، محافظه کاری صنعت نسبت به ایده‌های نو از چالش‌های آینده صنعت الکترونیک قدرت در این کشور است. به همین دلیل ایده‌های نوآورانه حداقل ۵-۱۰ سال بعد از تولید اولیه در بازار فراگیر خواهند شد. این امر، ورود SME ها و صنایع کوچک را به عنوان تولید کننده (حتی درجه ۲ و ۳) به بازار مشکل می‌کند. اما از سوئی دیگر روند اتصال انرژی‌های تجدید پذیر به شبکه بریتانیا و بارهای جدید منجر به کاهش امنیت شبکه بریتانیا و احتمال ناپایداری شده است. بریتانیا در نظر دارد به منظور حمایت از این صنایع از طرح کمک‌های مالی متنوعی Low Innovative Finance Initiative و Carbon Networks و Energy Technologies Institute استفاده کند.

بازار بریتانیا و منابع انرژی آن محیط جذابی برای یافتن پاسخ به این چالش‌ها را دارد. مطابق ارزیابی بریتانیا این کشور بایستی هماهنگی مناسبی میان حکومت، صنعت و دانشگاه به وجود آورد تا بتواند برتری کمپانی‌های بریتانیایی در زمینه الکترونیک قدرت در دنیا را حفظ کند. به صورت خلاصه نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای بریتانیا در زمینه الکترونیک قدرت (با کاربرد تولید، توزیع و انتقال انرژی) به قرار زیر هستند:

#### نقاط قوت:

- شهرت بین‌المللی در زمینه در اختیار داشتن زنجیره تامین الکترونیک قدرت
- وجود ایده‌های فراوان از مراکز دانشگاهی، صنعت و SME ها
- بازار وسیع در بریتانیا

#### نقاط ضعف:

- محافظه کاری صنعت که منجر به سخت شدن پروسه پذیرش و ورود ایده‌های جدید به بازار شده است.
- سخت بودن ورود SME ها به عنوان تولیدکننده به بازار
- وجود نقص در فرآیند حمایت از پیاده سازی (نصب پایلوت) ایده‌های جدید در بریتانیا از لحاظ مالی و فنی (حضور

(testbedها)

**فرصت ها:**

- وابستگی شدید انرژی های جدید (نظیر تجدیدپذیر)، ریز شبکه هوشمند، ابر شبکه HDVC و خودرو برقی به الکترونیک قدرت
- فرسوده بودن نسبی شبکه برق بریتانیا که محیط مناسبی برای توسعه فناوری هایی است که پتانسیل فراوانی برای توسعه صادرات دارند.

**تهدیدها:**

- استانداردهای سخت گیرانه بریتانیا (نسبت به بقیه کشورها) منجر به طراحی های بی مورد پیشرفته خواهد شد.
- بدون مدیریت اهداف و انتظارات جامعه و حکومت، پروژه های الکترونیک قدرت ممکن است بی فایده، گران و زمان بر دیده شوند.
- علاقه روبه گسترش صنعت و تولید کنندگان درجه ۱ نسبت به کسب نوآوری از طریق خرید SME هایی که به نوبه خود بودجه های حمایتی دولتی را مصرف کرده اند.

**۱-۹-۷- الکترونیک مصرفی و روشنایی**

۲۰٪ انرژی کل تولید شده در دنیا برای تغذیه ادوات کم توانی نظیر الکترونیک مصرفی، کامپیوترها، تجهیزات دفتری و روشنایی استفاده می شود. بنابر ارزیابی های فنی، با استفاده از ادوات الکترونیک قدرت می توان راندمان تجهیزات موتوری، روشنایی و کامپیوتری را به ترتیب در حدود ۴۰٪، ۷۵٪ و ۳۰٪ افزایش داد. مطابق ارزیابی های بریتانیا در سال ۲۰۱۱ الکترونیک مصرفی، روشنایی، تجهیزات دفتری و کامپیوتر بازاری جهانی به ارزش ۲/۳ میلیارد پوند، ۴۷۸ میلیون پوند و ۲/۱ میلیارد پوند با رشد سالانه ۱۰/۱٪، ۱۰/۸٪ و ۹/۶٪ در اختیار دارند. در تمامی ادوات فوق الکترونیک قدرت نقش کلیدی دارد. از آن جا که این بخش به مباحث سند الکترونیک قدرت ایران ارتباط مستقیم ندارد، بیشتر از این بررسی نخواهد شد.

### ۱-۹-۸- درایوهای صنعتی

مطابق پیش‌بینی بریتانیا در سال ۲۰۱۱، بازار مربوط به درایوهای صنعتی ارزش جهانی ۸/۵ میلیارد دلاری دارند (بدون احتساب موتور). در ۳۰ سال گذشته رشد این صنعت مابین ۲ الی ۵ درصد بوده است که ناشی از گسترش اتوماسیون صنعتی و تمایل به کاهش مصرف انرژی بوده است. شش شرکت برجسته ساخت درایو در بریتانیا شعبه دارند (امرسان، CONVERTTEAM، زیمنس، SSD، ABB، YASKAWA). بریتانیا برای حفظ ۱۲۰۰۰ فرصت شغلی این صنعت و حفظ رقابت و سرآمدی در دنیا برنامه دارد و می‌خواهد از این راه، ۱ میلیارد پوند به درآمد ملی خود اضافه کند. از آنجا که این قسمت نیز ارتباط مستقیمی به سند الکترونیک قدرت ایران ندارد، بیش از این بدان پرداخته نخواهد شد.

### ۱-۱۰- چالش‌ها، فرصت‌ها و اقدام‌ها

وزارت "تجارت، نوآوری و مهارت" که در سال ۲۰۱۱ چالش‌های پیش‌روی صنعت الکترونیک قدرت بریتانیا را بررسی کرده است، ۵ چالش زیر را به عنوان مسائل آینده صنعت الکترونیک قدرت شناسایی کرده است.

- ✓ الزام تشکیل انجمن ملی برای الکترونیک قدرت برای ارتقای پیشرفت تخصصی
  - ✓ الزام معرفی بریتانیا به عنوان نمونه‌ای از اقتصاد کم‌کربن از طریق تمرکز استراتژی حکومت بر کاهش کربن، افزایش انرژی‌های تجدیدپذیر و بازده انرژی
  - ✓ الزام حفظ پیشتازی بریتانیا در طراحی و ساخت ایده‌های خلاقانه الکترونیک قدرت
  - ✓ ارتقاء تعداد مهندسان تحصیل کرده و با کیفیت برای صنعت و دانشگاه
  - ✓ ارتقا دسترسی به تکنولوژی پیشتاز و مهندسان خبره به منظور ایجاد ارتباط موثر بین صنعت و دانشگاه
- دپارتمان تجارت، نوآوری و مهارت برای تبدیل این چالش‌ها به فرصت و نقطه قوت بریتانیا راهکارهای ممکن، فرصت‌های ممکن و برنامه عملی پیشنهاد کرده است.



در چالش اول، مطابق پیشنهاد این دپارتمان، انجمن ملی الکترونیک قدرت بریتانیا در نقش شتاب‌دهنده، پیشنهاد دهنده و ناظر امور الکترونیک قدرت در بریتانیا فعالیت خواهد کرد. بنابر پیش‌بینی دپارتمان تجارت، نوآوری و مهارت، تشکیل این انجمن دو موقعیت مهم را فراهم خواهد آورد.

ارتقای اهمیت الکترونیک قدرت در محیط زیست و اقتصاد بریتانیا از فرصت‌های مهم به وجود آمده خواهد بود. یک راهکار چندوجهی که شامل جامعه، حکومت و بخش آموزش باشد می‌بایست به کار بسته شود.

برای نیل به فرصت ذکر شده، انجمن ملی الکترونیک قدرت در بریتانیا تشکیل خواهد شد. این انجمن وظایفی پیگیری استراتژی‌ها و ایجاد هماهنگی بین صنعت، دانشگاه و حکومت را عهده خواهد داشت. این انجمن همچنین وظیفه تقسیم بودجه‌های تحقیقاتی به موضوعات اساسی الکترونیک قدرت را بر عهده خواهد داشت. البته لازم به ذکر است که می‌بایست ترتیبات قانونی انجمن تنظیم شود و منابع مالی راه‌اندازی آن (هر چند اندک) نیز بایستی تامین گردد. پیش‌بینی شده است که این منابع از طریق حق عضویت حاصل خواهند شد.

ایجاد یک فضای گفت‌وگو و تبادل نظر میان مهندسان الکترونیک قدرت و ارتقای فرهنگ مهندسی از فرصت‌های مهم به‌وجود آمده خواهد بود.

برای نیل به فرصت ذکر شده، IET تغییراتی را در ساختار خود ترتیب خواهد داد تا بتواند تمامی مهندسان شاغل در صنعت و دانشگاه را از طریق سمینارها و کنفرانس‌ها گرد هم آورد.

در چالش دوم، مطابق پیشنهاد این دپارتمان، باید شهرت بریتانیا در زمینه تولید و استفاده از ادوات الکترونیک قدرت در دنیا گسترش داد. برای این اقدام، بایستی نقش Smart Grid در آینده بریتانیا به دقت معین گردد. انجمن ملی الکترونیک قدرت مکان مناسبی برای تعیین این نقش است هر چند که نیاز به حمایت‌های همه‌جانبه حکومتی دارد. انجمن ملی الکترونیک قدرت می‌تواند مهارت‌های متناسب در این زمینه را شناسایی و حمایت کند. بنابر پیش‌بینی دپارتمان تجارت، نوآوری و مهارت، حل و فصل چالش دوم فرصت‌های مهمی را بوجود خواهد آورد.

راهکار ملی استفاده از منابع کم‌کربن برای تولید انرژی در بریتانیا ضروری است و الکترونیک قدرت نقش اساسی در آن دارد. با توجه به این موضوع، فرصتی مهم برای بریتانیا برای پیشتازی و بهره‌مندی از مزایای آن در این زمینه وجود دارد.

برای نیل به فرصت ذکر شده، بایستی توجه داشت که بایستی استفاده از انرژی کم کربن به کار بسته شود. حکومت می‌بایستی از طرق ممکن این انگیزه را ایجاد کند. برای حداکثر کردن منافع بریتانیا لازم است که اکثریت محصولات یا پروژه‌های تعریف شده در بریتانیا به عنوان الگویی برای بقیه دنیا مطرح شود. مفهوم Smart grid تمامی جنبه‌های تولید، انتقال، مصرف و ذخیره الکتریسته را به هم متصل می‌کند. برای تبدیل این مفهوم به واقعیت عملی در بریتانیا بایستی نوآوری در هر دو بخش طراحی و تولید محصول دخیل باشد. همچنین می‌بایستی با ایجاد هماهنگی میان بخش صنعت و زنجیره تغذیه به بهترین نحو ممکن استانداردهای بین‌المللی را رعایت کرد. تکنولوژی‌های تازه ظاهر شده و متفاوت بایستی قبل از تولید گسترده به نحو مناسبی حمایت گردند.

در زمینه طراحی، بریتانیا به نحو موثری با کشورهای با هزینه طراحی کم نظیر چین، هند و اروپای شرقی رقابت می‌کند. اما بریتانیا با افزایش نوآوری در طراحی و تولید، فرصت ارتقای سهم خود از بازار الکترونیک قدرت را در اختیار دارد.

برای دستیابی به فرصت ذکر شده بایستی در نظر داشت که بریتانیا شهرتی جهانی در زمینه نوآوری در اختیار دارد. برای ارتقای سهم بازار، ایجاد نوآوری و مدیریت ریسک نقش مهمی دارد. با توجه به نقش مهم کارکرد و قابلیت اطمینان در ادوات الکترونیک قدرت، موفقیت و پذیرش نوآوری در داخل بریتانیا نقش مهمی در موفقیت صادرات خواهد داشت.

برای دستیابی به فرصت ذکر شده می‌بایستی بسترهای آزمایش برای محصولات SME های نوآور فراهم شود تا بتوانند کارایی محصولات تولیدی خود را به اثبات برسانند و نظر کمپانی‌های بزرگ را جذب کنند. همچنین می‌بایستی استانداردی واحد و قابل درک تدوین گردد که مشخصات کارکردی دستگاه‌ها بر مبنای آن بیان شود.

از سوی دیگر، برای دستیابی به فرصت ذکر شده، می‌بایستی کمک‌های مالی برای پروژه‌های نوآورانه الکترونیک قدرت از طریق Innovation Finance Initiative و Low Carbon Network Fund تامین شود. از سوی دیگر، نهاد Royal Academy of Engineering Visiting Professor Innovation مسئولیت تدوین دروس جدید برای دوره‌های لیسانس و تحصیلات تکمیلی را بر عهده دارد.

در حالی که صنعت بریتانیا نوآوری‌های بسیاری دارد، بسیاری از بخش‌ها و کمپانی‌ها زنجیره تامین خود را با استراتژی گردش اطلاعات ضعیف و حمایت تکنولوژیکی و اقتصادی ضعیف اداره می‌کنند. این امر منجر به کمبود محصولات نوآورانه و

موازی کاری خواهد شد. این فرصت برای بریتانیا وجود دارد که با برطرف کردن این مشکلات، ایده‌ها و محصولات نوآورانه بیشتری در اختیار داشته باشد.

برای دستیابی به فرصت ذکر شده، بایستی کمپانی‌ها را تشویق به ارتباط موثر با بقیه اجزاء زنجیره تامین کرد چرا که بریتانیا در تمامی اجزای زنجیره تامین الکترونیک قدرت کمپانی‌های بزرگی در اختیار دارد. در یک اقتصاد آزاد می‌بایستی انجمن‌هایی وجود داشته باشند که امکان مناظره میان رقبا و تامین کنندگان را فراهم کنند.

از طریق این مناظره‌ها می‌توان نقشه توانمندیهای استراتژیک و فرصت‌های احتمالی را شناسایی کرد. همچنین از این طریق می‌توان زمینه‌هایی را معین کرد که چند کمپانی امکان اشتراک در تحقیق را دارند. البته لازم به ذکر است که بستر مناسب برای این مناظره‌ها را در کنفرانس‌ها نیز می‌توان جستجو کرد.

امکان تاثیرگذاری و مشارکت در تدوین استانداردهای بین‌المللی برای افزایش قدرت بریتانیا فرصت دیگری برای بریتانیا است.

برای دستیابی به فرصت فوق می‌بایستی در نظر داشت که برخی از کمپانی‌های بزرگ بریتانیا (نظیر کمپانی Gambica) در تدوین استانداردهای بین‌المللی سهمیم بوده‌اند. بنابر بررسی دپارتمان تجارت، نوآوری و مهارت بریتانیا، عموماً فرآیند تدوین و انتخاب اعضای موثر در تدوین استانداردهای بین‌المللی مبهم است. SME های کوچک عمدتاً به دلایل اقتصادی توانمندی شرکت در این فرآیند را ندارد. اما باید کمپانی‌های بزرگ را تشویق کرد که ضمن شرکت در فرآیند بین‌المللی تدوین استانداردها، فرآیند آن‌ها را از حالت ابهام خارج کنند و به جامعه الکترونیک قدرت بریتانیا معرفی کنند.

در کالبد چالش سوم، بریتانیا SME هایی دارد که به رغم داشتن تکنولوژی پیشتاز، نمی‌توانند آن‌ها را وارد زنجیره تامین کنند. این مشکل عمدتاً از آن جهت ناشی می‌شود که این شرکت‌ها توانمندی اثبات تکنولوژی خود و ایجاد زیرساخت‌های اقتصادی لازم برای ورود به زنجیره تامین را ندارند. بریتانیا می‌تواند با حمایت از این SME ها، فرصت افزایش ایده‌های نوآورانه را داشته باشد.

برای استفاده از این فرصت، بریتانیا در تلاش است که با تاسیس مراکزی حمایتی، SME ها را به تولید کنندگان شناخته شده تبدیل شد. این مراکز بایستی بتوانند نقش دلال را میان SME ها و کمپانی‌های بزرگ ایفا کنند و بتوانند در فرآیند ایجاد یک خط تولید کوچک به SME ها کمک کند.

در کالبد چالش سوم، SME های موجود در بریتانیا منبع ارزشمند خلاقیت و نوآوری هستند. اما متأسفانه این SME ها با مشکل‌هایی نظیر فقدان حمایت مالی در مرحله بین اثبات ایده و فاز تولید روبرو هستند. به طور مثال بازار بریتانیا بین ۳ تا ۵ سال زمان لازم دارد تا ایده‌های جدید را بپذیرد. همچنین این تکنولوژی عمدتاً بار مالی زیادی دارند به نحوی که عمدتاً نیازمند سرمایه‌گذاری ۲۰ الی ۳۰ میلیون پوندی در ۳ یا ۴ مرحله هستند. بریتانیا با حمایت مالی موثر و کارا از این SME ها می‌تواند، فرصتی برای ایده‌های نوآورانه بیشتر داشته باشد.

برای استفاده از فرصت فوق می‌بایست در نظر داشت که تا کنون عمدتاً بریتانیا از طریق نهادهایی نظیر Technology Strategy Board به حمایت از SME ها می‌پرداخته است که بار مالی سنگین و پروسه زمانی طولانی دارد. به این منظور دپارتمان تجارت، نوآوری و مهارت پیشنهاد کرده است که کمپانی‌های بزرگ‌تر مستقیماً از SME ها حمایت مالی کنند و بودجه تحقیق توسعه آن‌ها را فراهم کنند. در این صورت با توجه به اعتبار کمپانی‌های بزرگ، روند پذیرش محصولات تولیدی SME ها توسط بازار نیز تسریع می‌گردد.

با در نظر داشتن چالش سوم، می‌بایست گفت که بسیاری از فرآیندهای تولیدی نیاز به زیرساخت با کیفیت بالایی دارند تا بتوانند بریتانیا را به گذرگاهی برای پیشرفت تبدیل کنند. بریتانیا می‌تواند با ایجاد این زیر ساخت‌ها، فرصت افزایش سهم بازار الکترونیک قدرت را بدست آورد.

برای بهره‌گیری از فرصت فوق بایستی در نظر داشت که هم اکنون امکان حمایت مالیاتی و یارانه انرژی برای صنایع الکترونیک قدرت فراهم نیست. اما دولت بریتانیا می‌تواند با ایجاد زیر ساخت‌هایی چون پارک‌های انرژی، تولید همزمان گرما و برق (CHP) و ایجاد بسترهای آزمایش (Test bed) از این صنایع حمایت کند. از سوئی دیگر باید در نظر داشت که کمپانی‌های بین‌المللی برای تبادل داده بین مراکز مختلف خود، از زیر ساخت‌های مخابراتی بهره می‌گیرند. بریتانیا باید برای جذاب تر شدن خود برای حضور شرکت‌های بین‌المللی، باید زیر ساخت‌های مخابراتی خود را تقویت کند.

## فصل دوم

### مطالعه تطبیقی آمریکا

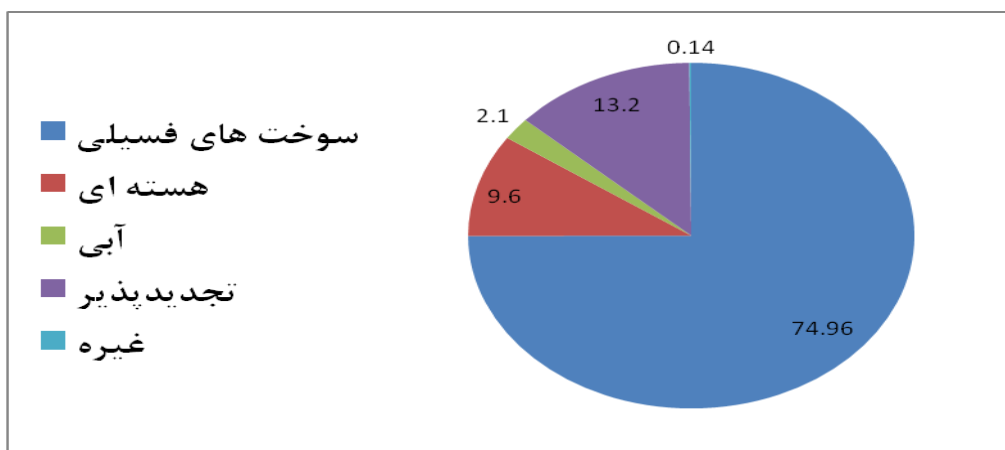
## ۶-۱ - مقدمه

آمریکا از جمله کشورهای توسعه یافته و پیشرو در خصوص الکترونیک قدرت به شمار می‌رود. این کشور تبحر ویژه‌ای در خصوص صنایع نیمه هادی مرتبط با الکترونیک قدرت دارد. بنابراین مطالعه وضعیت الکترونیک قدرت در آمریکا دید مناسبی در خصوص وضعیت الکترونیک قدرت در جهان اول و گرایش‌های بروز در زمینه آینده پژوهی به دست خواهد داد. همانطور که در مقدمه ذکر شد (و در مطالعه تطبیقی بریتانیا نیز بدان عمل شد)، در مطالعه این کشور، ابتدا به وضعیت تولید و مصرف توان الکتریکی پرداخته شده است. در ادامه زیرساخت‌های آمریکا در زمینه الکترونیک قدرت بررسی شده است. برای این منظور، ابتدا کمپانی‌های بزرگ و شرکت‌های کوچک دانش بنیان فعال در زمینه الکترونیک قدرت شناسایی شده اند و محصولات این شرکت‌ها معرفی شده اند. سپس مراکز دانشگاهی و تحقیقاتی موثر آمریکا مد نظر در خصوص الکترونیک قدرت شناسایی شده و زمینه‌های تحقیقاتی آنها فهرست شده اند. در شناسایی این مراکز از لیست وزارت علوم، تحقیقات و فناوری اطلاعات جمهوری اسلامی ایران استفاده شده است. در ادامه بررسی‌ها، سیاست‌های آینده پژوهی آمریکا استخراج شده است و چالش‌های پیش روی آن و استراتژی‌های در نظر گرفته شده برای مقابله با آن‌ها بررسی شده اند. وزارت انرژی آمریکا سند جامعی در خصوص جنبه‌های مختلف مرتبط با الکترونیک قدرت در آمریکا تدوین کرده است. این سند، در مطالعه تطبیقی آمریکا بسیار موثر بوده است.

## ۶-۲ - مقدمه ای بر وضعیت تولید توان الکتریکی در آمریکا

آمریکا از جمله کشورهای جهان اول است که در سال ۲۰۱۰ دومین مصرف‌کننده انرژی در جهان بوده است. برپایه آخرین آمار منتشر شده مدیریت اطلاعات انرژی (Energy Information Administration) EIA، ظرفیت کل توان الکتریکی تولیدی آمریکا در سال ۲۰۱۱ برابر 1054/8 GW بوده است. در این بین، سهم سوخت‌های فسیلی، برق هسته‌ای، ذخیره‌ساز

آبی، انرژی‌های تجدیدپذیر و غیره به ترتیب برابر ۷۴/۹۶٪، ۹/۶٪، ۲/۱٪، ۱۳/۲٪ و نزدیک به صفر بوده است. نسبت مشارکت های ذکر شده در گراف شکل ۲-۳ نشان داده شده است [۷].



شکل ۲-۳: نسبت مشارکت منابع اولیه در تولید توان الکتریکی در آمریکا

در دسته سوخت‌های فسیلی، ذغال سنگ، سوخت (دیزل، نفت و غیره ...)، گاز طبیعی و بقیه گازها (پروپان و غیره ...) به ترتیب ۴۰/۳۶٪، ۷/۰۳٪، ۵۲/۲۴٪ و ۰/۳٪ از سهم کل ۷۴/۹۶٪ سوخت‌های فسیلی را تشکیل می‌دهند. در دسته انرژی‌های تجدیدپذیر، توان آبی، زیست توده، زمین گرمایی، خورشیدی و بادی به ترتیب ۵۶/۵۱٪، ۸/۲٪، ۱/۷٪، ۱٪ و ۳۲/۳۷٪ از سبد سهم ۱۳/۲ درصدی انرژی‌های تجدیدپذیر را تشکیل می‌دهد.

در سال ۲۰۱۱، بخش‌های شهری، بازرگانی، صنعتی، حمل و نقل و مصرف درون نیروگاهی به ترتیب ۳۵/۵۸٪، ۳۴/۶۲٪، ۲۵/۷۲٪، ۰/۱٪ و ۳/۵۹٪ برق تولیدی را مصرف کرده‌اند.

برای بررسی روند توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در آمریکا، داده‌های منتشر شده دو سال ۲۰۱۰، ۲۰۱۱ این کشور با هم مقایسه شده است.

به صورت کلی ضریب نفوذ انرژی‌های تجدیدپذیر در سال ۲۰۱۰، ۱۲/۷۶٪ بوده است که در سال ۲۰۱۱ به ۱۳/۲٪ رسیده است که نشانگر رشد ۵/۲٪ کل توان تولیدی از انرژی تجدیدپذیر است. این رقم در مقایسه با کشور بریتانیا (که دارای رشد ۳۰٪ توان تولیدی از منابع تجدیدپذیر است) عدد کمی به شمار می‌رود. میزان رشد ظرفیت نصب شده منابع آبی، زیست توده، زمین گرمایی، خورشیدی و باد در سال ۲۰۱۱ نسبت به ۲۰۱۰ به ترتیب برابر ۰/۱۲٪، ۸/۷٪، ۶۶/۶٪ و ۱۵/۶٪ بوده است. این

اعداد نشان دهنده رشد بسیار ضریب نفوذ انرژی خورشیدی در بین انرژی‌های تجدیدپذیر است. در مجموع می‌توان گفت که سهم نفوذ انرژی‌های تجدیدپذیر در شبکه آمریکا با افزایش آهسته (۵/۲٪ سالانه) مواجه است. در همین بین، رشد انرژی خورشیدی در آمریکا، ۶۶/۶٪ است که رقم قابل توجهی است و بخش مهمی از نرخ رشد کلی انرژی‌های تجدیدپذیر را تشکیل می‌دهد.

## ۳-۶- کمپانی‌های فعال در زمینه طراحی و تولید صنعت نیمه هادی

### الکترونیک قدرت آمریکا

در سطح تولید نیمه‌هادی، در آمریکا صنایع بسیار مهمی وجود دارد، به طوری که این کشور در زمینه صنایع نیمه‌هادی پیش‌تاز جهانی محسوب می‌شود. تجهیزات نیمه‌هادی در آمریکا ابداع شده‌اند و هم‌اکنون یکی از پرسودترین صادرات ایالات متحده هستند. صنعت نیمه‌هادی در ایالات متحده بصورت مستقیم ۲۵۰۰۰۰ فرصت شغلی ایجاد کرده است و به صورت غیرمستقیم در شکل‌گیری یک میلیون فرصت شغلی دیگر مؤثر بوده است. در سال ۲۰۱۲، صنعت نیمه‌هادی آمریکا ۱۴۶ میلیارد دلار فروش داشته است و اشتراک ۵۰٪ ای در بازار جهانی داشته است. حجم گستردگی صنایع نیمه‌هادی در آمریکا به قدری است که این صنایع اتحادیه‌ای به نام (SIA) Semiconductor Industry Association در اختیار دارند. صنایع برجسته حاضر در صنعت نیمه‌هادی آمریکا به قرار زیر هستند.

- ON Semiconductor
- Fairchild Semiconductor
- American Semiconductor
- Power EX
- Si Power
- Infineon
- IXYS
- Vishay



- Power Semiconductor
- Alpha & Omega
- Cree

### ۱-۳-۶ ON Semiconductor<sup>۱</sup>

این شرکت آمریکائی در سال ۱۹۹۹ از موتورلا جدا شد. این شرکت هم اکنون در بخش‌های گسترده‌ای مانند خودرو برقی، صنعتی، مخابرات، محاسبه، پزشکی، الکترونیک مصرفی، نظامی، منابع تغذیه قدرت و تولید کلیدهای نیمه‌هادی قدرت فعالیت دارد. این شرکت هم‌اکنون در تولید ترانزیستورهای دوقطبی، دیودها (دیودهای منفرد، یکسوسازهای قدرت تا ۲۰ kW، دیودهای شاتکی، زنر)، IGBT (تا ۱۳۰۰V ولتاژی و جریانی ۶۰ آمپر و توانی ۶۰kW به ازای هر سوئیچ)، SCR، تریاک و ماسفت قدرت فعالیت دارد.

### ۲-۳-۶ Fairchild Semiconductor<sup>۲</sup>

این شرکت آمریکائی که سابقه ۵۰ ساله در طراحی و تولید قطعات نیمه‌هادی قدرت دارد در شهر San Jose, CA آمریکا فعالیت دارد و هم‌اکنون ترانزیستورهای دوقطبی (BJT قدرت و دارلینگون)، دیود (پل دیودی، دیاک، دیود شاتکی تا ۲۰۰۰V ولتاژ، دیود زنر)، IGBT، ماسفت، BJT و JFET را تولید می‌کند.

<sup>۱</sup> <http://www.onsemi.com/>

<sup>۲</sup> <https://www.fairchildsemi.com/>

### ۱ American Semiconductor – ۳-۳-۶

این شرکت آمریکائی با ۵۰ سال سابقه تحقیق و توسعه و ساخت ادوات نیمه‌هادی قدرت در شهر Linden آمریکا شعبه دارد. این شرکت به صورت تخصصی در زمینه تولید ادوات نیمه‌هادی قدرت تمرکز کرده است. پل‌های دیودی، دیاک، تریستور (SCR)، IGBT، تریاک، دیود زنر، دیود TVS، دیود شاتکی و دیودهای با بازیافت بسیار سریع فعال است.

### ۲ Power EX – ۴-۳-۶

شرکت آمریکائی Power EX در سال ۱۹۸۶ در اثر ادغام زیرشاخه‌های نیمه‌هادی قدرت دو شرکت GE و Westinghouse احیا شد. این شرکت به صورت بسیار نوآورانه در زمینه تولید ادوات نیمه هادی قدرت تمرکز کرده است. محصولات این شرکت شامل IGBT (تا مرز 6500V و 750A)، MOSFET (تا مرز 150V و 600A)، تریستور (تا مرز 6500V و 1250A)، دیودهای بازیافت سریع و IPM (Intelligent Power Module) می‌شود. این شرکت همچنین MOSFETهای مبتنی بر SiC را نیز عرضه می‌کند که توانمندی عملکرد این قطعه را تا 1200V و 1200A (تحت نام محصول FMF1200DX1-24A) افزایش می‌دهد.

### ۳ Si power – ۵-۳-۶

شرکت آمریکائی Si power با بیش از ۴۰ سال تجربه ساخت ادوات نیمه‌هادی قدرت در شهر فلوریدای آمریکا مستقر است و سالانه ۱۱ میلیارد قطعه نیمه‌هادی تولید می‌کند. محصولات این شرکت شامل دیودهای فشارقوی، پل‌های یکسوساز، دیودهای بازیافت سریع و ماسفت‌های قدرت است.

<sup>1</sup> <http://www.americansemi.com/>

<sup>2</sup> <http://www.pwr.com/>

<sup>3</sup> <http://www.sipower.us/>

### ۱ IXYS - ۶-۳-۶

شرکت IXYS که در سال 1983 تأسیس شده در شهر Milipus آمریکا واقع است و از تولیدکنندگان مهم ادوات نیمه‌هادی قدرت محسوب می‌گردد. محصولات این شرکت شامل ماسفت قدرت (N-channel و P-channel)، IGBT قدرت، دیودهای بازیافت معکوس، دیودهای شاتکی، یکسوسازهای دیودی، تریستور (کنترل فاز، تریستور اینورتری، GTO و ضربه‌ای) و دیود قدرت است. این شرکت در زمینه نوآوری هم پیشتاز است. این شرکت محصولاتی از جنس SiC برای ماسفت قدرت (تا مرز 1200V) و IGBT قدرت می‌سازد.

### ۲ Vishay - ۷-۳-۶

این شرکت آمریکائی سابقه ۵۲ ساله در ایالت پنسیلوانیای آمریکا مستقر است. این شرکت محصولاتی نظیر دیود (زنر، استاندارد، شاتکی و فشارقوی)، تریستور (کنترل شونده توسط فاز، سریع اینورتری) و ماسفت قدرت (تا مرز 600v) تولید می‌کند.

### ۳ Power Semiconductor - ۸-۳-۶

این شرکت آمریکائی در سال ۱۹۶۶ تأسیس شده است و در ایالت کالیفرنیا مستقر است. این شرکت تریستورهای کنترل شونده‌ی فاز، تریستورهای سریع اینورتری، دیودهای استاندارد و دیودهای بازیافت سریع تولید می‌کند.

<sup>1</sup> <http://www.ixys.com/>

<sup>2</sup> <http://www.vishay.com/>

<sup>3</sup> <http://www.powersemiconductors.com/>

### ۶-۳-۹ - Alpha & omega<sup>۱</sup>

این شرکت آمریکائی در شهر کالیفرنیا آمریکا مستقر است. با توجه به موضوعات مورد علاقه صنعت الکترونیک قدرت، این شرکت IGBTهای قدرت تا مرز 1350 V و 40A می‌سازد. این شرکت در زمینه ساخت ماسفت‌های قدرت (N-channel, P-channel, Dual – channel و Complementary) فعال است.

### ۶-۳-۱۰ - Cree<sup>۲</sup>

شرکت آمریکائی Cree تولیدکننده پیشتاز ادوات نیمه‌هادی قدرت از جنس SiC بوده است و تجربه ۲۰ساله تحقیق و توسعه دارد. این شرکت ماسفت‌های قدرت از جنس SiC تا مرز 1700V و دیودهای شاتکی تا مرز 1700V ساخته است.

## ۶-۴ - شرکت‌های فعال در زمینه طراحی و تولید الکترونیک قدرت کاربردی

### آمریکا

صنایع فعال در زمینه طراحی و تولید الکترونیک قدرت کاربردی آمریکا به قرار زیر هستند:

- Kaco
- Smail Power
- Solectria
- Morning Star
- Advanced Energy
- American Electric Solutions
- AMETEK

<sup>۱</sup> <http://www.aosmd.com>

<sup>۲</sup> <http://www.cree.com/>

- Power Engineers
- General Electric
- NR Electric
- Northern power system
- Ingeteam
- American super conductor
- SMA
- Parker
- Woodward
- Bon figioli

#### ۶-۴-۱- Kaco<sup>۱</sup>

این شرکت آمریکایی که در شهر San Antonio مستقر است، در عرصه تولید مبدل‌های واسط فتوولتائیک، ذخیره‌سازی انرژی و مبدل‌های الکترونیک قدرت موجود در پست تغذیه قطار برقی فعالیت دارد. در عرصه مبدل‌های واسط PV این شرکت در رسته‌های گوناگون مبدل‌های بسیار کوچک (تا ۲۵۱ VA)، شهری (تا ۹ kVA)، اقتصادی (تا ۶۰ kVA) و شبکه‌ای (تا ۲MVA با محوریت محصول تجاری IPS) وارد بازار شده است.

#### ۶-۴-۲- Smail Power<sup>۲</sup>

این شرکت آمریکایی که شعبه‌ای فعال از آن در شهر Pleasant hill, Ca دارد، در زمینه تخصصی ساخت مبدل‌های واسط فتوولتائیک فعالیت دارد. این شرکت با ارائه محصولات چون Solarpond (با ظرفیت چند صد وات)، Solar

<sup>۱</sup> <http://kaco-newenergy.com/>

<sup>۲</sup> <http://www.samilpower.com/>

rivor3000T LA (تا ظرفیت ۱۰kVA)، Solar lake (تا ظرفیت ۳۰kVA)، Solar ocean control (تا ظرفیت ۵۰۰kVA) و Solar station central (تا ظرفیت ۱MVA) وارد بازار شده است.

### ۱-۳-۴-۶ Solectria

شرکت Solectria renewable در سال ۲۰۰۵ در شهر Lawrence, Massachusetts راه اندازی شد. امروزه بنا بر ادعای این شرکت، Solectria پنجمین تولید کننده بزرگ اینورترهای متصل به مبدل‌های فتوولتائیک در آمریکا است. این شرکت اینورترهایی در رنج ۷۵۰kVA می‌سازد. محصولات این شرکت در چهار گروه مبدل‌های رشته‌های شهری PVI (3800-7600 TL تا ظرفیت ۷/۶ kW)، مبدل‌های بازرگانی (تا مرز ۳۶ kVA تحت نام محصول PVI 36TL)، مبدل‌های مرکزی (تا مرز ۵۰۰ kVA تحت نام محصول SGI- 225-500) و مبدل‌های صنعتی (تا مرز ۷۵۰ kVA تحت نام SGI 500/750 XTM) تقسیم می‌شوند.

### ۲-۴-۴-۶ Morning Star

شرکت Morning star در سال ۱۹۹۳ شهر Newtown, PA آمریکا تاسیس شد و تا کنون بیش از ۲/۵ میلیون واحد (اینورترهای متصل به سلول‌های خورشیدی) تولیدی آن (۰.۳ kVA ای) در دنیا به فروش رفته است.

### ۳-۴-۴-۶ Avanced Energy

این شرکت آمریکایی که در Fort Collins آمریکا مستقر است بر ساخت مبدل‌های الکترونیک قدرت متصل به فتوولتائیک تمرکز دارد. این شرکت اینورترهای تک فاز، سه فاز رشته‌ای (تا مرز ۲۳/۲ kVA تحت نام AE 3TL333 با بازه

<sup>1</sup> <http://www.solectria.com/>

<sup>2</sup> <http://www.morningstarcorp.com>

<sup>3</sup> <http://www.advanced-energy.com/>

بالای ۹۸/۴٪) و اینورتر متمرکز (تا مرز ۱ MVA) تحت نام محصولات AE75-100 TX و Power station TX را می‌سازد.

### ۱ American Electric Solutions - ۶-۴-۶

این شرکت آمریکایی که در سال ۱۹۴۶ در شهر Beaumont, Texas آمریکا تاسیس شد، اولین اینورتر ۱MVA و ۱۰۰۰۷ دنیا را در سال ۲۰۱۱ ساخته است. این شرکت محصولاتی نظیر درایوهای آنالوگ و دیجیتال ADC، درایوهای AC و مبدل‌های متصل به سلول‌های خورشیدی را تولید می‌کند.

در حوزه مبدل‌های متصل به توربین‌های بادی، این شرکت مبدل‌های واسط الکترونیک قدرت برای واسط الکترونیک قدرت ماشین‌های PMSG و DFIG با ظرفیت‌های بین ۲۰۰۰-۴۰۰۰HP می‌سازد.

در حوزه مبدل‌های متصل به سلول‌های خورشیدی، تمرکز این شرکت بر مبدل‌های با ظرفیت بالا است. به صورت مثال، مبدل مدولار این شرکت بنام ISIS با توان نامی بین ۱-۱/۵MW ساخته می‌شوند.

### ۲ AMETEK - ۷-۴-۶

شرکت‌های AMETEK در سال ۱۹۶۲ در آمریکا تاسیس شد. این شرکت در حوزه‌های UPS، اینورترهای متصل به انرژی‌های تجدیدپذیر و سیستم‌های مدیریت توان فعالیت می‌کند.

در حوزه اینورترهای متصل به انرژی‌های تجدیدپذیر، این شرکت محصول EEP را می‌سازد که قادر است تا ظرفیت ۱۲۵kVA از توان تولیدی آرایه PV را منتقل کند. این مبدل مدولار و با کلیدهای IGBT ساخته شده است و علاوه بر اتصال به PV ها می‌توانند به یک مجموعه باتری متصل شوند و سیستم همزمان باتری PV را مدیریت کند.

<sup>1</sup> <http://www.aeti.com/>

<sup>2</sup> <http://www.ametek.com/>

### ۶-۴-۸ - Power Engineers<sup>۱</sup>

این شرکت در سال ۱۹۷۶ در Pocatell, Idaho آمریکا تأسیس شده است و در حوزه‌های تحویل انرژی، تولید انرژی، نفت و گاز، مخابرات و... فعالیت دارد. در حوزه‌ی تحویل انرژی، این شرکت در حوزه‌های FACTS/HDVC فعال است. این شرکت خطوط HVDC (مبتنی بر هر دو TCR و IGBT) را تا مرز ۶۰۰kV تولید می‌کند.

### ۶-۴-۹ - Northern power systems<sup>۲</sup>

این شرکت در سال ۱۹۴۷ در شهر Warren, Vermont آمریکا تأسیس شد. این شرکت هم اکنون در زمینه ساخت توربین‌های بادی تا مرز 2/3MW و ساخت مبدل‌های الکترونیک قدرت متصل به آن فعالیت دارد. محصول مبدل الکترونیک قدرت متصل به توربین بادی این شرکت Flexphase نام دارد. که مبدلی مدولار است. این مبدل چهار ربعی قادر به فعالیت تحت هر ضریب قدرتی است و زمان پاسخ کمتر از 1ms دارد. بازده این محصول در حدود ۹۸٪ است و توان فعالیت در دماهای 20C° - تا 50C° را دارد. این محصول انواع سامانه‌های مخابراتی نظیر ETHRNET، CAN و غیره را برای ارتباط با سطوح بالای کنترل را پشتیبانی می‌کند.

### ۶-۴-۱۰ - Ingeteam<sup>۳</sup>

این شرکت در سال ۱۹۷۲ در آمریکا تأسیس شد. Ingeteam هم اکنون در زمینه تولید مبدل‌های توربین بادی، مبدل‌های سلول خورشیدی، ذخیره‌سازهای انرژی، FACTS، CUPS، SSSC و درایوهای صنعتی فعالیت دارد. در حوزه مبدل‌های توربین بادی، این شرکت تا سال ۱۹۹۵، 24GW از مبدل‌های توربین بادی تولیدی خود را فروخته است. مبدل‌های توربین بادی این شرکت شامل چهار محصول DFM 500-6000، LV 100-10000، MV 3000-10000 و XDFM 500-6000 است. ظرفیت مبدل‌های تولیدی این شرکت به 10MW رسیده است. مبدل‌های متصل به سلول‌های خورشیدی این شرکت در

<sup>1</sup> <http://www.power-eng.com/index.html>

<sup>2</sup> <http://www.northernpower.com/>

<sup>3</sup> <http://www.ingeteam.com/>



دو حالت متصل به شبکه و جزیره‌ای تولید می‌شوند و تحت نام تجاری INGECON SUN فروخته می‌شود و ظرفیت‌های بین 2/5kw تا 1MW دارند. در ۳ سال اخیر، این شرکت در حدود 3GW از این مبدل‌ها را فروخته است. این شرکت هر دو نوع مبدل تک فاز و سه فاز را تولید می‌کند. این شرکت همچنین انواع مبدل‌های فرکانس و درایوهای صنعتی را تحت نام INGEDRIVE را در ظرفیت 250 kVA تا 27 MVA و ولتاژ 400 V تا 4/16 kV می‌سازد.

محصولات این شرکت در حوزه مبدل‌های FACTS، CUPS، SSSC و PCS از مبدل‌های انعطاف‌پذیر مدولار برای کنترل ولتاژ، کیفیت توان، تنظیم پخش بار و مدیریت توان استفاده می‌کند. در حوزه ادوات FACTS (STATCOM)، این شرکت دو محصول INGEGRID SHS و INGEGRID SHM را تولید می‌کند که به ترتیب از مبدل‌های دو سطحی و سه سطحی استفاده می‌کند و به ترتیب تا ظرفیت‌های 4 MVAR و 40 MVAR قابل ساخت هستند. در حوزه ادوات CUPS، این شرکت محصول INGEGRID Quality را ارائه می‌دهد که تا ظرفیت 100MVA قابل ساخت است. در حوزه مبدل‌های PCS متصل به ذخیره‌سازهای انرژی، این شرکت محصول INGEGRID SHB (که تا ظرفیت 4MVA قابل ساخت است) را ارائه می‌دهد. این محصول شامل یک مبدل DC-DC و یک مبدل DC-AC دوسطحی است. که در ضرایب قدرت  $\pm 0.8$  قادر به فعالیت است.

### ۶-۴-۱۱) AMSC (American Super Conductor)

این شرکت در سال ۱۹۸۷ در Boston, Massachusetts راه‌اندازی شد. این شرکت هم‌اکنون دفاتری در آسیا، استرالیا، اروپا و آمریکای شمالی دارد. این شرکت در حوزه‌های مبدل‌های متصل به توربین‌های بادی، درایوهای صنعتی، CUPS و UPS محصولات متنوعی دارد.

در حوزه مبدل‌های متصل به توربین‌های بادی، این شرکت محصولاتی را ارائه می‌کند که شامل مبدل‌های تمام ظرفیت با گیربکس، بی‌گیربکس، مبدل‌های متصل به DFIG می‌گردد.

<sup>1</sup> <http://www.amsc.com>

در حوزه مبدل‌های CUPS، این شرکت محصولاتی نظیر PQ-IVR، D-SVC، (Voltage Restorer) و D-STATCOM را ساخته است. البته این شرکت برخی از محصولات حوزه CUPS را به منظور سازگاری هرچه بیشتر برای بهبود اتصال انرژی‌های تجدیدپذیر به بهبود بخشیده است. این محصولات شامل D-VAR (برای رعایت استانداردهای شبکه) و D-VARRT (بهبود وضعیت ضمن خطا) هستند. UPS‌های این شرکت تحت نام‌های PM 3000 و PM 3100 و با ظرفیت‌های 500 kW تا 1 MW تولید میشوند.

### ۶-۴-۱۲-SMA<sup>۱</sup>

این شرکت آمریکائی شامل ۵۰۰۰ کارمند در ۲۱ کشور دنیاست. SMA در زمینه ساخت اینورتر واسط PV و باتری به شبکه فعالیت دارد. محصولات این شرکت در حوزه PV را می‌توان به سه دسته Micro Inverter، String و Central Inverter تقسیم‌بندی کرد. در دسته میکرو اینورترها، این شرکت محصول Sunny Boy 240 (با توان نامی ۲۴۰ وات) را که از تکنولوژی ترانسفورماتور فرکانس بالا استفاده می‌کند ارائه می‌کند. در دسته String Inverter ها این شرکت مبدل‌های متنوعی تا مرز توانی 60kVA ارائه می‌دهد. به طور مثال، محصول MLX-60 با توان نامی 60kVA و بازده ۹۸/۶٪ و وزن ۱۷۵kg از نمونه‌های این محصولات است. در رسته محصولات Central Inverter هم این شرکت، مبدل‌هایی تا مرز توان 900 kVA ارائه می‌دهد. به طور مثال محصول Sunny Central 900 CP-US را با بازده حداکثر ۹۸/۷٪ و منطبق با استاندارد IEEE-1547 ارائه می‌دهد.

از سوئی دیگر محصولات این شرکت در حوزه مبدل‌های واسط باتری، مبدل‌های تا ظرفیت 900 kVA می‌سازد. ساختار این مبدل‌ها بسیار شبیه مبدل‌های واسط PV است. به طور مثال، محصول SUNNY Central STORAGE 900، توان نامی 900 kVA دارد و در دماهای ۴۰°- تا ۶۰° قابل فعالیت است.

<sup>۱</sup> <http://www.sma-america.com/>

### ۶-۴-۱۳ - Parker<sup>۱</sup>

این شرکت که در شهر Charlotte, NC واقع است، در ساخت مبدل‌های واسط توربین‌های بادی، سلول‌های خورشیدی و ذخیره‌سازهای انرژی فعالیت دارد.

در حوزه مبدل‌های توربین بادی این شرکت با ارائه محصول قابل جابه‌جائی و مدولار AC890PX، وارد عرصه اینورترهای متصل به شبکه شده است. محصول AC890PX قابلیت اتصال به توربین‌های بادی تا 4 MW را دارد.

در حوزه مبدل‌های واسط PV نیز این شرکت با ارائه محصول AC890GT-S وارد عرصه اینورترهای متصل به شبکه شده است. قابلیت تزریق توان راکتیو و بهبود فعالیت ضمن خطا از ویژگی‌های دیگر این محصولات است.

### ۶-۴-۱۴ - Woodward<sup>۲</sup>

این شرکت دارای شعب اصلی متفاوتی در ایالت‌های میشیگان، کالیفرنیا و اینویز آمریکا دارد. این شرکت در زمینه‌های بسیار متنوعی مانند ساخت شیرهای مکانیکی، سیستم‌های الکتریکی و مکانیکی هواپیما، موتورهای احتراقی، ماشین‌های الکتریکی، سیستم‌های توزیع و کنترل و ساخت مبدل‌های واسط توربین‌های بادی فعالیت می‌کند.

Woodward از جمله تأمین کنندگان پیشرو مبدل‌های توربین‌های بادی است. این شرکت که محصولات خود را تحت نام CONCYCLE عرضه می‌کند، تاکنون ۹۵۰۰ عدد از محصولات خود را فروخته است. تمامی مبدل‌های سری CONCYCLE از نوع مدولار هستند و قابلیت مدیریت توان راکتیو و انطباق بر شرایط شبکه را دارند.

این مبدل‌ها استراتژی مناسب جهت فعالیت ضمن خطا را دارند و می‌توانند از طریق مشارکت مؤثر در کنترل ولتاژ و فرکانس شبکه به ارتقای پایداری شبکه کمک کنند. این شرکت سه دسته مبدل‌های با ولتاژ کم و پاره ظرفیت ( برای ژنراتورهای DFIG با سایز 1/25MW-6MW)، با ولتاژ کم و تمام ظرفیت (برای ژنراتورهای سنکرون با ظرفیت 2MW-5MW) و ولتاژ متوسط (برای ژنراتورهای القائی و سنکرون با ظرفیت 4MW تا 10MW) را می‌سازد.

<sup>1</sup> <http://www.parker.com/>

<sup>2</sup> <http://www.woodward.com/>

## ۶-۴-۱۵ - Bon figlioli<sup>۱</sup>

این شرکت که در ایالت کنتاکی آمریکا فعالیت دارد، در سه زمینه صنعتی (مکاترونیک)، مبدل‌های متصل به توربین‌های بادی، مبدل‌های متصل به PV و غیره فعالیت دارد.

در عرصه مبدل‌های بادی، این شرکت با محصولات اینورتر AEC Regenerative (با ظرفیت 173/2 kVA)، AGILE (با ظرفیت 11 kW و با بهره‌گیری از کنترل‌برداری بدون حسگر)، Integrated AGILE frequency (با ظرفیت 14 kW و با قابلیت قرارگیری در کابینت موتوری و Active Cube-Frequency inverter (با ظرفیت 400 kW) وارد بازار شده است. در عرصه مبدل‌های PV، این شرکت با محصولات اینورتر Compact Solar (با ظرفیت 30 kW الی 170 kW) و Transformer-less Central Solar Inverts (با ظرفیت تا 1780 kW و بازدهی‌های بالای ۹۸٪) وارد بازار شده است.

## ۶-۵ - دانشگاه‌های مطرح فعال آمریکا در زمینه الکترونیک قدرت

ایالات متحده آمریکا دانشگاه‌های عمده و برجسته‌ای در زمینه تبدیل انرژی، الکترونیک قدرت و نیمه هادی‌های قدرت دارد. برای شناسایی این دانشگاه‌ها، لیست دانشگاه‌های ممتاز آمریکا از سایت وزارت علوم، تحقیقات و فناوری اطلاعات جمهوری اسلامی ایران استخراج شده است [۸]. دانشگاه‌های موثر ایالات متحده آمریکا در حوزه الکترونیک قدرت و زمینه های کاری آنها به شرح زیر هستند.

### Massachusetts Institute of Technology

المان‌های پسیو، کاهش نویز، ادوات فرکانس بالا، Micro fabrication، مدار، کنترل خودروهای برقی، بهبود بازده

### Baylor university, Waco

مدل‌سازی، میکروگرید، درایو، منابع تغذیه سوئیچینگ، تصحیح ضریب قدرت، خودرو برقی، شبیه‌سازی بلادرنگ RTDS

### Arizona state university

<sup>1</sup> <http://www.bonfiglioli.com/en/>

مطالعات سیستم قدرت، الکترونیک نیمه هادی، FACTS

### **Brown university**

ادوات نیمه هادی

### **Colorado School of Mines, Golden, Co**

ادوات نیمه هادی، مبدل تبدیل انرژی برای انرژی‌های تجدیدپذیر، کنترل هوشمند.

### **Cornell university, New York**

افزایش بازده سیستم قدرت، امنیت و قابلیت اطمینان، شبیه‌سازی بلادرنگ، کنترل، آنالیز هارمونیکی شبکه، اتصال

انرژی‌های تجدیدپذیر به شبکه، بازار برق، پایداری سیستم قدرت، مدیریت بار، مدیریت انرژی

### **Dartmouth college, thnover**

طراحی ادوات پسیو(سلف، خازن) برای الکترونیک قدرت

### **Dextel University**

کنترل موتور dc، الکترونیک قدرت مقاوم، امنیت سیستم قدرت، پایداری ولتاژ، مدل سازی تجهیزات قدرت، اتوماسیون

سیستم توزیع، نیمه هادی‌های سریع، کلیدهای الکترونیک قدرت توان بالا، CUPS

### **Georgia Institute of technology, Atlanta**

نیمه هادی‌های قدرت، مانیتورینگ سیستم قدرت، آنالیز بهره برداری، حفاظت و کنترل، تولید پراکنده، شبیه‌سازی سیستم

قدرت، فشار قوی، کنترل ماشین‌الکتریکی، الکترونیک قدرت، HVDC، تبدیل انرژی، اتصال انرژی‌های تجدیدپذیر با شبکه و

خودرو برقی، قابلیت اطمینان، اثرات الکترومغناطیسی کیفیت توان، FACTS، Smart grid، سلولهای خورشیدی

### **The George Washington University**

پایداری گذرا کلید زنی، پایداری سیستم در حضور انرژی‌های تجدیدپذیر

### **Iowa state university**

دینامیک و کنترل سیستم‌های قدرت، Smart grid قابلیت اطمینان، پایداری ولتاژ، بازار برق، ماشین‌های الکتریکی و

الکترونیک قدرت، انرژی‌های تجدیدپذیر، شبیه سازی بلادرنگ

### Michigan State University

تحلیل امواج الکترومغناطیسی ترانسفورماتور و ماشین، درایو، کاربرد الکترونیک قدرت در سیستم های قدرت، ماشین مخصوص، خودرو برقی، تبدیل انرژی، مبدل های واسط انرژی های تجدیدپذیر

### Ohio state university

اتصال انرژی های تجدیدپذیر به شبکه، حمل و نقل برقی، ذخیره ساز انرژی، درایو، ساخت ماشین های الکتریکی، نیمه هادی

Smart Grid, GaN

### Pennsylvania state university

دینامیک سیستم های قدرت، ماشین های الکتریکی، درایو، تبدیل انرژی و کنترل

### Orgen state university

خودرو برقی، ماشین الکتریکی، الکترونیک قدرت، سیستم قدرت، انرژی های تجدیدپذیر، اتصال انرژی های تجدیدپذیر به

شبکه، Smart grid، آشوب در سیستم قدرت، PMU، انرژی موجی، کیفیت توان، درایو

### Renselaer polytechnic institute

تبدیل انرژی و کنترل مبدل های بادی، خورشیدی، FACTS, HVDC، اتصال انرژی های تجدیدپذیر به شبکه، کیفیت

توان، Smart grid، ذخیره سازهای انرژی، مبدل های مدولار، مبدل های فرکانس بالا به کمک GaN و SiC، اثرات EMI،

مدار الکترونیک قدرت، مدل سازی

### University at Buffalo

مدیریت بار، PV، Smart grid، اتوماسیون توزیع

### Texas A &M University

UPS، منابع تغذیه، مبدل های متصل به ماشین های الکتریکی، smart grid، ماشین های الکتریکی، کنترل با حسگر و

بی حسگر موتورهای الکتریکی، FEM، خودروهای برقی، فیلتر فعال، اتصال انرژی های تجدیدپذیر به شبکه، ترانسفورماتورهای

الکترونیک قدرت، درایوهای ولتاژ متوسط و ظرفیت مگاوات، کیفیت، DVR اتوماسیون و حفاظت سیستم قدرت، قابلیت

اطمینان

### University of California, Berkeley

مبدل dc-dc مجتمع، مدار مجتمع قدرت برای موبایل، کنترل دیجیتال pwm

### University of Colorado, Boulder

انرژی‌های تجدیدپذیر، استخراج انرژی، کنترل دیجیتال ادوات الکترونیک قدرت، آنالیز مدل‌سازی و کنترل مبدل‌های

سوئیچینگ، مدیریت توان

### University of Connecticut, Storrs

مدل‌سازی بازده، هزینه و قابلیت اطمینان الکترونیک قدرت، خطایابی هوشمند در الکترونیک قدرت، محرکه با کارایی بالا،

اتصال PV با شبکه، ماشین القایی خطی، شبیه‌سازی بلادرنگ ریز شبکه خودرو برقی

### University of Illinois at Chicago

طراحی، مدل‌سازی و کنترل مبدل‌های الکترونیک قدرت، الکترونیک قدرت برای منابع انرژی تجدیدپذیر، طراحی و کنترل

محرکه‌های سرعت متغیر، خودروهای برقی

### University of Illinois at Urbana-Champaign

تجدید ساختار شبکه برق، دینامیک و پایداری شبکه برق، تبدیل انرژی، حمل و نقل برقی، ماشین‌های الکتریکی و درایو،

ذخیره‌ساز انرژی، نیمه‌هادی‌های GaN، مبدل‌های الکترونیک قدرت با بازده بالا، اثر انرژی‌های تجدیدپذیر بر دینامیک شبکه،

بهره‌برداری از شبکه قدرت، محاسبات در شبکه قدرت، قابلیت اطمینان، اتصال انرژی‌های تجدیدپذیر به شبکه

### University of Maryland college Park

پیل سوختی، بازده انرژی، Smart grid، مدیریت توان، ذخیره‌ساز انرژی، ادوات الکترونیک قدرت برای خودرو برقی،

مبدل‌های رزونانسی، مبدل‌های متصل به انرژی‌های تجدیدپذیر

### University of Michigan, Ann Arbor

تبدیل انرژی، محرکه‌های الکتریکی، کنترل الکترونیک قدرت، Smart grid، اتصال انرژی‌های تجدیدپذیر به شبکه،

ادوات نیمه‌هادی قدرت GAN

### University of Missouri, Columbia

مبدل‌های متصل به توربین‌های بادی، مدل‌سازی مزرعه بادی، PET های متصل به توربین‌های بادی، منابع تغذیه

سوئیچینگ dc-dc

### University of Pittsburgh

میکروگرید AC و DC، FACTS، HVDC، کنترل مبدلهای الکترونیک قدرت، مبدل‌های الکترونیک قدرت متصل به

انرژی‌های تجدیدپذیر به شبکه، حفاظت، کیفیت توان، مدیریت توان، ذخیره‌سازی انرژی

### University of Tennessee, Knoxville

الکترونیک قدرت، محرکه های الکتریکی، طراحی ماشین‌های الکتریکی، خودروهای برقی، کلیدزنی نرم، مبدلهای

رزونانسی، بازار برق، شبکه‌های هوشمند، دینامیک و پایداری سیستم های قدرت، اتصال انرژی‌های تجدیدپذیر به شبکه،

مبدلهای چند سطحی، بازار برق، مدیریت تولید

### University of Texas at Austin

الکترونیک قدرت، محرکه‌های الکتریکی، تبدیل انرژی، بازار برق، تجدید ساختار، اتصال انرژی‌های تجدیدپذیر به شبکه،

بررسی حالات گذرا در سیستم های قدرت

### University of Washington

بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت، قابلیت اطمینان، اتصال انرژی‌های تجدیدپذیر به شبکه، شبکه هوشمند خودروهای برقی،

محرکه‌های الکتریکی، دینامیک و پایداری سیستم های قدرت، مدیریت بار

### University of Wisconsin-Madison

طراحی ماشین‌های الکتریکی پر سرعت، کاهش تلفات سوئیچینگ، مبدلهای الکترونیک قدرت مبتنی بر GaN، محرکه های

الکتریکی با کارایی بالا، مدیریت حرارتی الکترونیک قدرت، مبدلهای رزونانس، تجهیزات فرومغناطیس، ریز شبکه AC

### Virginia Tech

تبدیل انرژی الکترونیک قدرت در مخابرات و کامپیوتر، مبدلهای واسط انرژی تجدید پذیر، خودرو برقی، اثرات EMI،

مدلسازی و کنترل الکترونیک قدرت، IPEM (مبدلهای الکترونیک قدرت و بسیار فشرده)، توپولوژی مداری الکترونیک قدرت،

ادوات جانبی الکترونیک



## ۶-۶- مقدمه‌ای بر آینده پژوهی الکترونیک قدرت آمریکا

نیاز ایالات متحده آمریکا به انرژی الکتریکی در سال ۲۰۳۵ با رشد ۳۰٪ ای نسبت به سال ۲۰۰۸ روبرو خواهد شد. این امر به دلیل آن است که آمریکا به سمت و سوی الکتریکی کردن مصرف انرژی در حال حرکت است. به صورت تاریخی، نیاز روزافزون آمریکا به انرژی الکتریکی با احداث نیروگاه‌های جدید و خطوط انتقال جدید برطرف شده است. اما اخیراً سرمایه‌گذاری در زمینه خطوط انتقال جدید به دلایلی نظیر اوضاع اقتصادی و عدم قطعیت در مقررات رگولاتوری به تعویق افتاده است. بنابراین سیستم قدرت در آمریکا با مشکل تراکم، امکان خاموشی پی‌درپی و کاهش قابلیت اطمینان مواجه است. در وضعیت فعلی، سیستم قدرت آمریکا شامل ۲۰۰/۰۰۰ مایل خط انتقال فشارقوی و ۵/۵ میلیون مایل خط توزیع است که نیروگاه‌ها را به کارخانه‌ها، خانه‌ها و اقتصاد متصل می‌کنند.

### ۶-۶-۱- الکترونیک قدرت مبتنی بر نیمه‌هادی حالت جامد

در آینده سیستم‌های قدرت آمریکا به صورت اتوماتیک و هوشمند خواهند بود به نحوی که قادر به تنظیم اتوماتیک خود با توجه به نیازهای قابلیت اطمینان، امنیت و اقتصاد خواهند بود. دستیابی به چنین سیستمی نیازمند پیشرفت تعدادی از تکنولوژی‌ها، ابزارها و تکنیک‌ها است که الکترونیک قدرت جزئی پایه‌ای از آنها است. مطابق پیش‌بینی دپارتمان انرژی آمریکا، ادوات حالت جامد GaN، SiC و نقش کلیدی در بهبود قابلیت اطمینان و بازدهی نسل آتی الکترونیک قدرت کاربرد در سیستم قدرت آمریکا خواهد داشت. عمده تمرکز آمریکا بر گسترش نیمه‌هادی‌های مبتنی بر GaN-Si در مطالعات آینده پژوهی است [۹].

### ۶-۶-۲- دلایل آمریکا برای گسترش الکترونیک قدرت

برای چند دهه گذشته ادوات نیمه‌هادی مبتنی بر سیلیکون تمامی تجهیزات الکترونیک قدرت را پوشش داده‌اند. در عمل IGBT و GTO کلیدهای نیمه‌هادی پرکاربرد در صنعت به شمار می‌روند این تجهیزات الکترونیک قدرت می‌توانند از طریق اتصال به سیستم قدرت در کنترل پخش بار و اتصال منابع تجدیدپذیر نقش ایفا کنند. در حال حاضر ۳۰٪ از کل توان الکتریکی

تولیدی در آمریکا در مرحله‌ای از تولید تا مصرف از ادوات الکترونیک قدرت استفاده می‌کند. پیش‌بینی شده است که این عدد تا سال ۲۰۳۰ به ۸۰٪ برسد. کاربردهای مورد علاقه دپارتمان انرژی آمریکا برای ادوات الکترونیک قدرت به قرار زیر هستند [۹].

- کنترل پخش بار به کمک ادوات FACTS, HVDC, SVC, FCL, PET, سوئیچ‌ها و قطع‌کننده‌های مبتنی بر

نیمه‌هادی حالت جامد، فیلترهای فعال

- کمک به اتصال تجهیزاتی نظیر PHEV انرژی تجدیدپذیر، ذخیره‌سازهای انرژی به شبکه

همچنین با توجه به مطالعه دپارتمان انرژی آمریکا، بهره‌برداران شبکه قدرت به کمک استفاده از الکترونیک قدرت می‌توانند انرژی الکتریکی را با قابلیت اطمینان، امنیت و انعطاف‌پذیری بیشتری به مشتریان برسانند. برخی از منافع مورد علاقه آمریکا در استفاده از الکترونیک قدرت در شبکه قدرت به قرار زیر است.

- امکان کنترل پخش بار

ادوات الکترونیک قدرت در نقش کلیدهای پیشرفته‌ای نحوه عبور جریان و توان را به صورتی دقیق کنترل می‌کند. با توجه به این امر، برنامه OPF را به راحتی می‌توان در شبکه اجراء کرد. با استفاده از اهم کنترل مؤثر می‌توان از شبکه برق موجود حداکثر استفاده ممکن را برد و سرمایه‌گذاری را به تعویق انداخت.

- امکان پایداری بیشتر خطوط انتقال و توزیع

به کمک اهم کنترل‌پذیری ادوات الکترونیک قدرت می‌توان از خطوط انتقال آمریکا در ظرفیت نامی بهره‌برداری کرد. این در حالی است که در صورت عدم استفاده از ادوات الکترونیک قدرت ممکن است شدت اغتشاشات موجود، مانع از این امر شود.

- امکان اتصال مؤثر شبکه‌ها

اهرم کنترل‌پذیری تجهیزات الکترونیک قدرت امکان اتصال و مبادله توان بین شبکه‌های گوناگون را به آمریکا می‌دهد. نکته مهم آن است که به کمک این اتصالات از انتشار اغتشاشات دو شبکه به هم جلوگیری خواهد شد.

- ارتقاء پایداری گذرا و دینامیکی شبکه

مطابق مطالعه دپارتمان انرژی آمریکا می‌توان با ترکیب امکانات آینده کشور در زمینه مخابراتی، محاسبه و اندازه‌گیری توان (PMU) و ادوات الکترونیک قدرت پایداری گذرا و دینامیک شبکه را بهبود بخشید.

- امکان اتصال انرژی‌های تجدیدپذیر به شبکه

با توجه به آنکه منابع انرژی تجدیدپذیر برق DC با دامنه متغیر و یا برق AC با دامنه و فرکانس متغیر تولید می‌کنند، وجود ادوات الکترونیک قدرت برای تبدیل برق تولیدی به سطح برق شبکه ضروری است.

اما سطح توانمندی‌های الکترونیک قدرت مبتنی بر کلیدهای نیمه‌هادی سیلیکونی مطابق با سطح مورد نیاز در شبکه‌های آینده قدرت نیست. کلیدهای سیلیکونی پرکاربرد کنونی GTO و IGBT در ولتاژهای کمتر از 10kV و در فرکانس‌های سوئیچ‌زنی چند صد هرتز کار می‌کنند. همچنین دمای کلیدها بایستی زیر  $150^{\circ}\text{C}$  باشند. این در حالی است که در نیازهای آتی صنعت برق، کلیدهای مورد استفاده بایستی بتوانند در سطح ولتاژهای 10-100kV، جریان‌های 1-10kA و فرکانس سوئیچ‌زنی بالای 20kHz کار کنند تا نیازی به المان فیلتر کمی نباشد. حذف المان‌های فیلتری منجر به کاهش هزینه کلی سیستم خواهد شد. اما کلیدزنی در فرکانس‌های بسیار بالا تولید تلفات و حرارت بسیاری خواهد داشت که دمای تجهیز به بالای  $250^{\circ}\text{C}$  می‌رساند. بنابراین سیستم مدیریت حرارتی جدیدی لازم است. بنابر توضیحات فوق، مطابق پیش‌بینی فوق، در آینده ادوات سیلیکونی تنها در رنج توان پایین نظیر مصرف کنندگان کاربرد خواهد داشت.

همچنین در آینده، کلیدهای نیمه‌هادی حالت جامد مبتنی بر GaN، SiC، Diamond و کاندیداهای اصلی برای کاربردهای پرتوان خواهند بود. استفاده از این تجهیزات امکان افزایش ظرفیت ولتاژ، جریان، ارتقای فرکانس کلیدزنی، ارتقای دمای قابل تحمل قطعه، بهبود قابلیت اطمینان و بازده و کاهش حجم و وزن قطعه را می‌دهد.

## ۶-۶-۳- استراتژی دفتر تحویل الکترونیسته و قابلیت اطمینان انرژی<sup>۱</sup> (OE) برای

### الکترونیک قدرت

دفتر OE در فرآیند تدوین استراتژی الکترونیک قدرت، چهار کاندیدای آینده GaN، SiC، Diamond و Gas-Si را بررسی کرده است اما برای سه گزینه اول شانس کمتری در نظر گرفته است. تولید گسترده GaN نیاز به فشار تجزیه و دمایی ذوب بسیار بالا دارد که این فرآیندها را بسیار پیچیده می‌کند. فرآیند تولید SiC نیز به رغم دهه‌ها فعالیت تحقیقاتی با مشکلاتی نظیر ناخالصی و کمبود ماده اولیه روبرو است. Diamond نیز که به دلیل مشخصات الکتریکی مطلوب که ماده نهایی برای ادوات قدرت شناخته شده است، تکنولوژی نابالغی دارد. مطابق ارزیابی دپارتمان انرژی آمریکا، این تکنولوژی نیاز به ۲۰-۳۰ سال تحقیق و توسعه برای ورود به بازار دارد [۹].

بایستی مد نظر داشت که در کنار دفتر OE، سه دفتر پروژه های تحقیقاتی پیشرفته انرژی (ARPAE)، دفتر بازده انرژی (OEE) و دفتر دانش (OS) در دپارتمان انرژی آمریکا از پروژه‌های گسترش GaN حمایت می‌کند. دفاتر ARPAE، OEE و OS از تحقیقات پایه‌ای و مفهومی حمایت میکنند و تمرکز عمده آن‌ها بر سطوح ولتاژ پایین است. این در حالی است که تمرکز دفتر OE بر محصولات عملی و سطوح ولتاژ بالا (که مناسب شبکه قدرت است) می‌باشد. البته اقدامات سه دفتر مورد اشاره موجب گسترش تکنولوژی GaN و کاهش قیمت آن خواهد شد که به نوبه خود کمکی برای دفتر OE خواهد بود. پیش‌بینی می‌شود که کلیدهای مبتنی بر GaN به صورت گسترده‌ای در زمینه روشنایی، خودروهای برقی و... به کمک سه دفتر مورد اشاره گسترش خواهند یافت. دفتر OE وظیفه مدیریت تحقیق و توسط GaN-Si برای ظرفیت توانی بالا را بر عهده دارد. این دفتر برای تحقیق و توسعه دو برنامه زمانی کوتاه مدت و بلند مدت تدوین کرده است. در برنامه کوتاه مدت این دفتر انواع توپولوژی‌های جدید مناسب برای این تجهیزات را بررسی خواهد کرد و نمونه اولیه آن‌ها را خواهد ساخت.

در برنامه بلند مدت این دفتر به طراحی ۱۰ جزء بالا دستی خواهد پرداخت. با در نظر گرفتن بازار آمریکا می‌بایستی در نظر داشت که تجهیزات مبتنی بر GaN از سال ۲۰۰۰ برای کاربردهایی نظیر الکترونیک RF، لیزر نوری و LED تجاری سازی شده است. اما عموماً تولیدکنندگان به صورت عادی به سمت گسترش ظرفیت تجهیزات مبتنی بر GaN نخواهند رفت چرا که

<sup>1</sup> Office of Electricity Delivery and Energy Reliability

بازار این تجهیزات با ظرفیت بالا کم و پرریسک است. دفتر OE از تجربیات موجود GaN برای ظرفیت‌های بالا استفاده خواهد کرد. دفتر OE در نظر دارد که با بهره‌گیری از کلیدهای نیمه هادی مبتنی بر GaN-Si به ساخت تجهیزاتی با عملکرد بهتر، سائز کمتر و قابلیت اطمینان بالاتر کمک کند.

به صورت خلاصه هدف OE، اقتصادی سازی ساخت GaN روی ویفرهای Si با سطح هوازی و خلوص مناسب است. مطابق بررسی این دپارتمان SiC قیمت بسیار بالاتری خواهد داشت.

## ۶-۷- برنامه تحقیق و توسعه

دفتر OE وزارت انرژی آمریکا برنامه تحقیق و توسعه خود را بر مبنای اهداف مشخص کوتاه مدت و بلند مدت تدوین کرده است. دیدگاه این دفتر در تدوین برنامه فوق، ایجاد تجهیزات الکترونیک قدرت یکپارچه ارزان و با قابلیت اطمینان بالا جهت ارتقاء عملکردها، قابلیت اطمینان و بازده نسل بعدی الکترونیک قدرت است. دفتر OE در نظر دارد از طریق گسترش نیمه هادی‌های GaN-Si به هدف ذکر شده دست یابد.

### ۶-۷-۱- برنامه اجرایی

مطابق پیشبینی دفتر OE وزارت انرژی آمریکا، گسترش ادوات نیمه هادی GaN-Si نیاز به برنامه چندین ساله توسعه دارد که شامل ناحیه های طراحی، مدلسازی و بسته بندی<sup>۱</sup> است. برنامه مد نظر دفتر OE در **Error! Reference source not found.** ذکر شده اند.

### بررسی بیشتر مرحله طراحی و تست

برای پیشبرد مرحله طراحی و تست، مطابق برنامه دفتر OE لازم است که نمونه‌های پیش ساخته تجهیزات GaN-Si با ظرفیت بالا ساخته شود تا برتری این تکنولوژی مشخص گردد. همچنین در مراحل تحقیقات لازم است که بر کاهش تلفات

<sup>۱</sup> Packaging

سوئیچینگ و سائز تمرکز گردد و ظرفیت نامی آن افزایش یابد. با توجه به تفاوت‌های اساسی میان تکنولوژی Si و GaN-Si امکان پیشنهاد توپولوژی‌های مداری جدید نیز وجود دارد.

### بررسی بیشتر مرحله ساخت و پرورش

دفتر OE در نظر دارد تجهیزات نیمه هادی GaN را به کمک ورق‌های همبافته GaN بر لایه Si گسترش دهد. استفاده از لایه های آماده سیلیکونی منجر به کاهش انرژی مصرفی در فرآیند تولید، افزایش انعطاف‌پذیری در دستکاری ماده و کاهش هزینه‌ها خواهد شد. از سویی دیگر با استفاده از لایه‌های آماده سیلیکونی، می‌توان از زیر ساخت‌های صنعت CMOS سیلیکونی استفاده کرد که منجر به کاهش هزینه‌ها خواهد شد. بایستی متذکر شد که اگر چه دفتر OE تکنولوژی GaN-Si را به عنوان کاندیدای اصلی در نظر دارد، این دفتر در افق بلند مدت خود به گسترش تکنولوژی های GaN خالص، SiC و Diamond هم توجه خواهد کرد تا حتماً به هدف گسترش نیمه هادیها با ظرفیت بالا دست پیدا کند.

جدول ۱-۲: برنامه اجرایی و برنامه بلندمدت

۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴
ارائه تجهیز GaN-Si با توانایی تحمل حداقل ولتاژ ۱/۳ kV برای حمایت از گسترش این صنعت	۵۰ درصد بهبود در زمینه تجهیز GaN-Si آغاز فرایند مدل‌سازی و بسته‌بندی	ارائه تجهیز GaN-Si با توانایی تحمل حداقل ولتاژ ۲/۵۴ kV
۲۰۱۵	۲۰۱۶	بلند مدت
ارائه نمونه آزمایشگاهی تجهیز GaN-Si با ظرفیت ۵ kV و ۱۵A	ارائه مدول تجاری GaN-Si با قدرت رقابت پذیر اقتصادی و ارتقای قابلیت اطمینان شبکه، تلاش برای ارتقای مدل‌سازی و بسته‌بندی تجهیز	ارائه تجهیز GaN-Si با ظرفیت بالاتر از ۲۰kV و ۵۰A

### بررسی بیشتر مرحله بسته بندی و مدل سازی

دفتر OE در نظر دارد فناوری بسته بندی نیمه‌هادی های GaN-Si را به منظور بهره برداری ایمن در شرایط مختلف نظیر دمای بالا، ولتاژ و جریان بالا و آب و هوای بد ارتقاء دهد. کلیدهای نیمه هادی GaN-Si به هنگام سوئیچینگ حرارت تولید می‌کند و دفتر OE در نظر دارد سیستم خنک کاری ایده آل این تجهیزات را برای نسل آتی الکترونیک قدرت بررسی کند. از سوی دیگر بایستی در نظر داشت که با توجه به تفاوت عمیق تکنولوژی GaN-Si و Si، مدل های کنونی برای تحیل عملکرد کلیدهای قدرت آتی کفایت نمی‌کند. دفتر OE در نظر دارد با مدل سازی دقیق کلیدهای GaN-Si امکان تحیل عملکرد آنها را بصورت مستقل و در قالب شبکه ممکن کند.

### بررسی بیشتر و وظائف بلند مدت

مطابق پیش‌بینی دفتر OE، می‌بایستی اهداف بلند مدت را به گونه‌ای پیگیری کرد تا بتوان اجزاء کلیدهای GaN-Si را در کلیت سیستم قدرت آینده وارد کرد. بدین منظور می‌بایست موضوع فوق را در فرآیند طراحی، بسته بندی، تست (به منظور اطمینان از برآورده شدن استانداردهای شبکه)، گسترش تکنولوژی GaN-Si (به منظور اطمینان از کنترل پذیری مناسب این تجهیزات در شبکه) و بررسی اثرات متقابل بین کلیدهای آینده قدرت و شبکه در نظر داشت.

## ۶-۸- چالش‌ها و نیازها

کلیدهای نیمه هادی GaN-Si باید بتوانند با رقبای Si ای خود رقابت کنند اما تکنولوژی های کم تجربه تولید و پرورش، ولتاژها و دماهای عملکردی بالا از چالش‌های روبرو هستند. دفتر OE چالش‌های ورود کلیدهای نیمه هادی GaN-Si را بررسی کرده و در **Error! Reference source not found.** جمع بندی کرده است.

## جدول ۲-۲: چالش‌های تکنیکی و نیازهای تحقیق و توسعه برای برطرف کردن آنها

هزینه	چالش‌ها	نیازهای تحقیق و توسعه
	به رغم حضور تجاری GaN-Si، میزان تولید آن با توجه به تمرکز بر بهبود فرایند تولید، کم است. این موضوع باعث قیمت زیاد مواد اولیه شده است که لازم است کاهش یابد.	ایجاد امکان ساخت GaN-Si بر ویفرهای بزرگ به منظور کاهش هزینه‌ها و امکان تجاری سازی ارتقای فرآیند استاندارد سازی و ماهیت مدولار به منظور کاهش هزینه و سهولت تعمیرات
تجهیزات ولتاژ بالا	هم‌اکنون تکنولوژی GaN-Si نابالغ است و هنوز به سطوح ولتاژ بالا دست نیافته است. لازم است کلیدهای GaN-Si با ظرفیت ولتاژ بالا ساخته شود.	شناخت شیوه‌های طراحی برای ظرفیت‌های ولتاژ و جریان بالا برای کلیدهای GaN-Si
		تعیین ضخامت قابل قبول فیلم GaN روی لایه Si
قابلیت اطمینان	قابلیت اطمینان تجهیزات GaN-Si - حتی در سطح کنونی خود - پذیرفته نشده است. قابلیت اطمینان نقش مهمی در احتمال پذیرش این تکنولوژی در سطح انتقال و توزیع انرژی است.	ارزیابی قابلیت اطمینان تجهیز GaN-Si با آزمونهای استاندارد مقایسه با تکنولوژیهای رقیب
بسته بندی و مدیریت حرارتی	شرایط بهره‌برداری مورد نظر مانند ظرفیت ولتاژ، جریان و فرکانس کلیدزنی بالا، تلفات حرارتی بالایی روی کلید GaN-Si خواهد داشت. عدم مدیریت حرارتی مناسب منجر به آسیب رسیدن به قطعه خواهد شد.	طراحی مدیریت حرارتی و بسته بندی جدید به منظور حذف اضافه حرارت احتمالی طراحی روش‌های خنک کاری جدید در صورت عدم کفایت خنک کاری passive طراحی بسته‌بندی جدید به منظور ایجاد امکان فعالیت در شرایط آب و هوای سخت
کنترل	ادوات الکترونیک قدرت نسل آینده می‌توانند برای استفاده از کلیدهای نیمه هادی GaN-Si طراحی شوند. از آنجا که این مبدل‌ها ممکن است از لحاظ توپولوژی از مبدل‌های طراحی شده برای کلیدهای Si، متفاوت باشد، لازم است که استراتژی کنترل جدیدی طراحی شود.	طراحی توپولوژی‌های مبدل جدید و سیستم کنترلی جدید برای آن‌ها به منظور بهره‌گیری از حداکثر قابلیت کلیدهای GaN-Si الهام گرفتن از شیوه‌های کنترلی کلیدهای Si تا حدممکن
مدل سازی تجهیز	مدل‌های موجود برای کلیدهای نیمه هادی برای شبیه‌سازی و ارزیابی عملکرد کلیدهای GaN-Si کافی نیستند.	تدوین مدل‌های عملکردی GaN-Si و مقایسه آن‌ها با نمونه‌های عملی آزمایشگاهها استفاده از مدل‌های دقیق به منظور طراحی مبدل‌های الکترونیک قدرت کارا تر.



## ۶-۹- استراتژی‌های همکاری

ایجاد همکاری مؤثر میان بخش‌های خصوصی و عمومی از استراتژی‌های اساسی برای دستیابی به اهداف و مأموریت‌های دفتر OE وابسته به وزارت انرژی آمریکا است. برای این منظور استراتژی دفتر OE، درگیر کردن کمپانی‌های بزرگ بین‌المللی از بخش‌های عمومی و خصوصی برای اجرای سیاست‌های الکترونیک قدرت است. ذینفعان پروژه، سیستم‌های قدرت و تولیدکنندگان ادوات الکترونیک کاربردی (شامل مبدل‌های واسط انرژی‌های تجدیدپذیر و ذخیره‌سازهای انرژی است) هستند. ذینفعان دیگر شامل مصرف‌کنندگان برق هستند. ذینفعان تولیدکنندگان و تأسیسات الکتریکی شامل (تولیدکنندگان تأسیسات (Utility) خصوصی، عمومی، تعاونی الکتریکی، صنایع فدرال همانند (Administration BonnVille Power، Tennessee Valley Authority) و (Western Area Power Administer) هستند. حضور تولیدکنندگان و تأسیسات برقی منجر به امکان استفاده سریع از تجهیزات الکترونیک قدرت جدید در شبکه خواهد شد. مطابق برنامه دفتر بودجه برنامه تحقیق و توسعه الکترونیک قدرت از منابع مالی فدرال و اسپانسرهای از سازمان‌های کشور تأمین خواهد شد. همکاران تحقیقاتی دفتر OE شامل لیست زیر است هر چند که این لیست انحصاری نیست.

✓ دانشگاه‌ها

✓ سازمان‌های تحقیقات صنعتی

✓ آزمایشگاه‌های

✓ تأسیسات و تولیدکنندگان قدرت

✓ آژانس‌های تحقیق و توسعه فدرال

✓ آژانس‌های حمایت‌کننده فدرال

• دپارتمان امنیت میهن

• دپارتمان انرژی

• دپارتمان دفاع

• بقیه آژانس‌های

درون دپارتمان انرژی، دفاتر EEPRE و APRAE پروژه‌های برای ارتقاء سطح تکنولوژی GaN در کاربردهای خودروهای برقی، روشنایی، موتورها و اینورترهای کوچک، تنظیم کننده‌های ولتاژ برای ریز پردازنده‌ها، کارت‌های گرافیکی و حافظه‌ها تعریف کرده‌اند. همچنین دفتر (office of science small Business Innovation Research) (SSBIR) برای ارتقاء تولید دیودهای LED با نور سفید مبتنی بر GaN برنامه دارد. همچنین بخش تحقیقات پیشرفته دپارتمان دفاع و بقیه بخش‌های آزمایشگاه‌های تحقیقاتی (هوایی و دریایی) پروژه‌هایی برای استفاده از تکنولوژی GaN را در برنامه‌های مرتبط با امور نظامی و امنیت ملی نظیر تقویت توان و مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال در دست دارند. دپارتمان امنیت میهن برای گسترش اجزاء GaN برای تشخیص عوامل شیمیایی و بیولوژیکی برنامه دارد.

دفتر OE در نظر دارد فرآیند پیشرفت پروژه‌های فوق را بررسی کند و موارد مربوطه را دریافت کند. با جذب منابع مالی مناسب، دفتر OE خواهد توانست تجهیزات الکترونیک قدرت برای نسل آینده شبکه برق قدرت را تأمین کند. درگیر کردن همکاران عمومی و خصوصی در برنامه الکترونیک قدرت به صورت‌های زیر شکل خواهد گرفت.

تبادلات تکنیکی از طریق کنفرانس‌های منظم، کارگاه‌ها، بازبینی‌های سالانه، ملاقات‌های غیررسمی و برنامه‌ریزی تحقیق و توسعه مشترک، ارتباط میان همکاران از طریق وبسایت‌ها و مجله‌های تکنیکی برای گسترش اشتراک اطلاعات و تبادل تکنولوژی تدوین پروژه‌های تحقیق و توسعه با هزینه تقسیم شده میان همکاران از گزینه‌های پیش روی دفتر OE است. بدین منظور، دفتر OE می‌تواند ذینفعان را در هر زمینه تحقیقاتی شناسائی کند و در نقش هماهنگ کننده، هزینه تحقیق و توسعه را بین آن‌ها تقسیم می‌کند. دفتر OE در نظر دارد قوی‌ترین مجریان تحقیق و توسعه را برای طراحی، ساخت، آزمون آزمایشگاه، آزمون محیطی و کنترل جذب کند.

استفاده از کمک‌های مالی Small Business Innovation Research از دیگر گزینه‌های ممکن برای حمایت از

ایده‌های نوآورانه است.

## ۶-۹-۱- تبدیل نوآوری به محصولات تجاری

دپارتمان انرژی آمریکا در پروژه‌هایی سرمایه‌گذاری می‌کند که در نهایت بر روند دستیابی به اقتصاد پاک و غلبه بر چالش‌های انرژی تاثیر عمیقی داشته باشد. دفتر OE نیز در کنار دفاتر دیگر این دپارتمان نظیر EERE, Office of Science و ARPAE نسبت به تجاری‌سازی ایده‌ها کمک خواهد کرد.

باید توجه داشت که عمده توجه دفتر Office of Science بر پژوهش‌های تئوریک در مهندسی‌های مربوط به دنیای عملی است. این در حالی است که عمده توجه دفتر ARPAE بر پروژه‌های عملی Hi-Tech است که سرمایه‌گذاری انفرادی در آن پر ریسک است. اما این تمرکز در فاز نمایش امکان‌پذیری و ساخت نمونه آزمایشگاه باقی می‌ماند و وارد فاز تجاری‌سازی نمی‌گردد. بنابراین فاصله‌ای میان فرآیند پیشنهاد ایده‌های نو و تجاری‌سازی وجود دارد. دفتر OE در تلاش این فاصله را در حوزه‌های مربوط به خود کم کند.

## ۶-۱۰-۱- پروژه‌های تعریف شده وزارت انرژی آمریکا برای توسعه فناوری

### GaN

وزارت انرژی آمریکا و سایر آژانس‌های آمریکا برای دستیابی به هدف نهایی توسعه ظرفیت ولتاژ و جریان تکنولوژی GaN-Si پروژه‌های گوناگونی را تعریف کرده و برای اجرا به دانشگاه‌ها، صنایع دانش بنیان، کمپانی‌های بزرگ و صنایع نظامی سپرده‌اند. این پروژه‌ها به قرار زیر هستند:

### ۶-۱۰-۱-۱- تعریف کننده پروژه: دفتر تحقیقات پیشرفته ARPAE وزارت انرژی آمریکا

پروژه: تکنولوژی سوئیچ‌های مبتنی بر نیمه هادی GaN برای تبادل دو طرفه توان میان باتری (متصل به خودروهای برقی) و شبکه

انجام دهنده: آزمایشگاه‌های HRL

**خلاصه پروژه:** هدف این پروژه توسعه مبدل‌های کارا، ارزان و با توان بالا برای خودروهای برقی است. این مبدل‌ها از کلیدهای ولتاژهای بالا GaN-Si برای سوئیچ‌زنی در حد چند MHz استفاده خواهد کرد.

**پروژه:** تکنولوژیهای پیشرفته برای الکترونیک قدرت یکپارچه

**انجام دهنده:** دانشگاه MIT

**خلاصه پروژه:** این پروژه به دنبال ایجاد پیشرفت‌های وسیع در زمینه یکپارچه‌سازی ادوات الکترونیک قدرت برای تجهیزات روشنایی با بازده بالا است. تمرکز این پروژه بر ولتاژ شبکه (بالای 100V) و توان‌های (10-100W) تمرکز دارد. به صورت مشخص این پروژه، بر مبدل‌های مبتنی بر GaN-Si، ساختارهای مغناطیسی نانو و تبدیل انرژی فرکانس بالا تمرکز دارد.

**پروژه:** مدول‌های GaN با کارایی بالا برای الکترونیک قدرت سریع

**مجری:** Transphorm Inc

**خلاصه پروژه:** این پروژه به دنبال امکان ساخت درایوهای کم حجم و اینورترهای متصل به شبکه در رنج توانی بالا (۱۰-۳kw) و رنج فرکانس MHz و بازدهی بالاتر از ۹۶٪ است.

**پروژه:** منابع تغذیه روی چیپ

**مجری:** دانشگاه Virginia Tech

**خلاصه پروژه:** این تکنولوژی جایگزین فناوری موجود تنظیم کننده‌های ولتاژ برای ریز پردازنده‌ها، کارت‌های گرافیکی و تجهیزات حافظه خواهند شد. هدف از این پروژه ساخت منابع تغذیه مجتمع سه بعدی روی چیپ است که از تجهیزات GaN-Si و مواد مغناطیسی فرکانس بالای نرم استفاده خواهد کرد.

**پروژه:** نیمه هادی قدرت و بسته‌بندی پیشرفته

**مجری:** سیستم‌های خودرو Delphi

**خلاصه پروژه:** هدف از انجام این پروژه توسعه تجهیز تبدیل انرژی الکتریکی به گونه‌ای است که ۵۰٪ کاراتر از تکنولوژیهای موجود سیلیکونی باشد. این تجهیز شامل سوییچ‌های ۶۰۰ ولت از جنس GaN-Si با اتصالات متخلخل و خنک‌کاری دو طرفه است.

**پروژه:** گسترش کریستال خالص GaN برای کاربردهای روشنایی

**مجری:** MPM Momentive performance Materials

**خلاصه پروژه:** بخش روشنایی سهم مهمی از کل انرژی مصرفی را تشکیل می‌دهد. شرکت MPM مسئول گسترش ایجاد روشنایی از طریق نیمه هادی GaN است که بازدهی بسیار بالاتری در زمینه تولید روشنایی دارد و حداقل تلفات حرارتی ممکن را ایجاد می‌کند. MPM هم‌اکنون کارایی یک روش تولید کریستال GaN با خلوص بالا را از طریق فشار و دمای بالا را اثبات کرده است.

**پروژه:** توسعه تکنیک‌های ساخت برای استخراج انرژی با بازدهی بالا و دیودهای LED مبتنی بر GaN خالص

**مجری:** Saraa

**خلاصه پروژه:** این پروژه تکنیک‌های جدید ساخت نسل آتی LED مبتنی بر GaN را بررسی می‌کند تا امکان ساخت LED های با نور قابل دید بالا فراهم شود.

**۱۰-۲-۶- تعریف کننده پروژه: دفتر بازده انرژی و انرژیهای تجدیدپذیر وزارت انرژی**

**آمریکا**

**پروژه:** گسترش همبافته ساختارهای LED مبتنی بر GaN به روی ورقهای Sacrificial

**انجام دهنده پروژه:** Georgia Institute of Technology

**خلاصه پروژه:** هدف از انجام این پروژه ساخت LED های با بازدهی بالا است که منجر به ارتقاء بازدهی کوانتومی خارجی، ارتقای قابلیت دشارژ، فرآیند تولید ساده و کم هزینه، روشنایی بالا و مدیریت مناسب حرارتی خواهد شد. برای گسترش (در

مرحله تولید) از یک ورق Sacrificial استفاده خواهد شد که در نهایت به کمک یک فرایند شیمیایی حذف خواهد شد و یک لایه GaN باقی خواهد ماند.

**پروژه:** LED های مبتنی بر GaN و بازدهی بالا و غیرقطبی

**انجام دهنده:** شرکت Inlustra

**خلاصه پروژه:** این پروژه در صدد است با شناسایی عوامل موثر بر بازدهی داخلی کوانتومی LED، بازده را در LED های آبی و سبز مبتنی بر فیلم های GaN غیر قطبی حداکثر کند. با این پروژه، LED های مبتنی بر GaN به روشنایی صنعتی نزدیک می شوند.

**پروژه:** منابع نور فتونیک از جنس نیتريد با بازدهی بالا

**مجری:** دانشگاه کالیفرنیا (Sanata Barbara)

**خلاصه پروژه:** هدف از انجام این پروژه توسعه ساختارهای LED مبتنی بر GaN جهت استفاده در روشنایی عمومی است

**پروژه:** ورق های کم هزینه و با کارایی بالا برای LED های آرایه Nanorod

**مجری:** دانشگاه Purude

**خلاصه پروژه:** این پروژه رای گسترش ناحیه نور قابل دید LED های مبتنی بر GaN تعریف شده است که در نهایت منجر به کاهش تلفات خواهد شد.

**پروژه:** بررسی ساختارهای جدید و آزمایش نشده برای ارتقای بازده کوانتومی داخلی در LED های نیتريدی

**مجری:** دانشگاه Carhegic Melon university

**پروژه:** افزایش کیفیت همبخته inGaN با کمک بهینه سازی شیمی گسترش

**مجری:** آزمایشگاه های Sandia

**خلاصه پروژه:** توسعه LED های سبز با بازدهی بالا و دارای بافت نانو

مجری: دانشگاه Yale

**خلاصه پروژه:** هدف از این پروژه ایجاد نوع جدیدی از مواد فعال هستند که توانمندی ارتقای عمل تابش را دارند و با ضریب ۱۰۰٪ می‌توانند عمل تبدیل الکترون به فوتون را انجام دهند.

**پروژه:** ورق‌های آماده GaN آلومینیوم نیتريد برای LED های ارزان نیتريدی با خلوص بالا

مجری: شرکت Crystal IS

**خلاصه پروژه:** هدف از این پروژه توسعه بازده یک روش اقتصادی برای تولید LED های مبتنی بر AlInGaN است.

**پروژه:** طیف‌بینی ناخالصی ماده های InGaN برای LED های سبز

مجری: آزمایشگاه های Sandia

**خلاصه پروژه:** هدف از پروژه تعریف شده توسعه یک روش طیف‌بینی کمی و با عمق نانو برای تشخیص ناخالصی فیلم‌های نازک InGaN است.

**پروژه:** ارتقای بازده تابش به کمک LED های مبتنی بر Staggered InGaN

مجری: دانشگاه Lehigh

۶-۱۰-۳- تعریف کننده پروژه آژانس دفاعی پروژه های تحقیقی پیشرفته (DARPA)

**پروژه:** مدار RF مبتنی بر شکاف گسترده (Wide Band gap)

**خلاصه پروژه:** این پروژه تکنولوژی‌های نیمه هادی GaN-Si و SiC را برای کاربردهای RF بررسی می‌کند.

**پروژه:** تکنولوژی های تولید جدید

مجری: شرکت BAE

**هدف پروژه:** هدف این پروژه جایگزین کردن تقویت کننده‌های موج سیار با توان بالا به کمک اجزاء نیمه هادی GaN است که قیمت کمتری دارند.

**پروژه:** تکنولوژی نسل بعدی الکترونیک مبتنی بر نیتريد

**مجری:** Tri Quint Semi Conductor

**خلاصه پروژه:** هدف این پروژه ایجاد امکان ساخت مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال (ADC) با کارایی بالاتر به کمک مدارات مجتمع و ترانزیستورهای GaN است.

**پروژه:** آغاز تکنولوژی شکاف گسترده‌ای (Wide Bandgap)

**خلاصه پروژه:** اهداف این پروژه عبارت است از

الف) ساخت ورق‌های SiC با کیفیت خلوص بالا و تا ۴cm

ب) توسعه ورق‌های جایگزین

ج) توسعه پروسه پردازش همبافته AlGaN

د) آزمایش ماده ها و همبستگی تجهیز



## فصل سوم

### مطالعه تطبیقی هند

## ۷-۱ - مقدمه

هند از جمله کشورهای در حال توسعه در خصوص الکترونیک قدرت به شمار می رود. ایران نیز با تدوین سند ملی الکترونیک قدرت سعی در توسعه فناوری الکترونیک قدرت دارد. بنابراین مطالعه وضعیت الکترونیک قدرت در هند دید مناسبی در خصوص جهت گیری صحیح در خصوص گسترش فناوری الکترونیک قدرت در ایران به دست خواهد داد. همانطور که در مقدمه ذکر شد، در مطالعه این کشور، ابتدا به وضعیت تولید و مصرف توان الکتریکی پرداخته شده است. در ادامه زیرساخت های هند در زمینه الکترونیک قدرت بررسی شده است. برای این منظور، ابتدا کمپانی های بزرگ و شرکت های کوچک دانش بنیان فعال در زمینه الکترونیک قدرت شناسایی شده اند و محصولات این شرکت ها معرفی شده اند. سپس مراکز دانشگاهی و تحقیقاتی موثر هند مد نظر در خصوص الکترونیک قدرت شناسایی شده و زمینه های تحقیقاتی آنها فهرست شده اند. در ادامه بررسی ها، سیاست های آینده پژوهی هند استخراج شده است و چالش های پیش روی کشور مد نظر و استراتژی های در نظر گرفته شده برای مقابله با آن ها به دست آورده شده اند. اگرچه هند سند منحصر به فردی در خصوص الکترونیک قدرت ندارد، اما این کشور در حوزه های جانبی مرتبط با الکترونیک قدرت (مانند شبکه های هوشمند و خودروهای برقی) سندهای جامعی تدوین کرده است. این سندها، در مطالعه تطبیقی هند بسیار موثر بوده است.

## ۷-۲ - مقدمه ای بر وضعیت تولید توان الکتریکی در کشور هند

بر اساس آمار سال ۲۰۱۴ وزارت انرژی هند<sup>۱</sup>، میزان مجموع ظرفیت نیروگاههای نصب شده ی این کشور ۲۵۴۰۰۰ مگاوات است. از این ظرفیت، ۹۴۱۵۳ مگاوات - معادل ۳۷/۱ درصد - توسط دولت های محلی و ایالتی و ۶۸۹۹۳ مگاوات - معادل ۲۷/۲ درصد - توسط حکومت مرکزی نصب شده است. سهم بخش خصوصی در حدود ۹۰۹۳ مگاوات - معادل ۳۵/۸

<sup>1</sup> Indian Ministry of Power

درصد- توان نصب شده است. **Error! Reference source not found.** میزان توان تولیدی توسط، دولت‌های محلی، دولت مرکزی و بخش خصوصی را نشان می‌دهد [۱۰].

جدول ۳-۱: سهم بخش‌های مختلف در تولید توان در هند

بخش	توان تولیدی (MW)	درصد
بخش ایالتی و محلی	۹۴۱۵۳	۳۷/۱
بخش حکومت مرکزی	۶۸۹۹۳	۲۷/۲
بخش خصوصی	۹۰۹۰۳	۳۵/۸
مجموع	۲۵۴۰۴۹	۱۰۰

سهم هر یک از منابع انرژی در تولید توان الکتریکی در **Error! Reference source not found.** آورده شده است. بر اساس این جدول بیشترین سهم مربوط به نیروگاه‌های حرارتی با سوخت ذغال سنگ با ظرفیت نصب شده‌ی ۱۵۲۹۷۱ مگاوات و معادل ۶۰/۲ درصد است. سهم انرژی‌های تجدیدپذیر شامل واحدهای نیروگاه آبی کوچک، تولید توان از زیست توده<sup>۱</sup>، تولید توان از زباله‌های شهری و غیرشهری و سایر منابع تجدیدپذیر مانند سیستم‌های خورشیدی و سیستم‌های بادی حدود ۱۲,۵ درصد است.

## ۷-۱- چالش‌های انرژی و دسترسی به توان الکتریکی در هند

هند یکی از کشورهای فقیر از لحاظ انرژی فسیلی است و حجم زیادی از تولید برق این کشور از منشا سوخت‌های فسیلی -که عمدتاً به این کشور وارد می‌شود- است. این کشور بیش از ۸۰ درصد از مصرف نفت خود را از طریق واردات تامین می‌کند. رشد مصرف انرژی الکتریکی موجب به خطر افتادن امنیت انرژی هند می‌شود. همچنین به دلیل محدود بودن منابع ذغال سنگ، ریسک تولید از واحدهای حرارتی نیز به دلیل محدودیت‌های لجستیکی و افزایش وابستگی به ذغال سنگ وارداتی وجود دارد.

<sup>1</sup> Biomass

رشد اقتصادی، افزایش رفاه و شهرنشینی، مصرف انرژی به ازای هر فرد را نیز افزایش داده است. این امر خود میتواند موجب افزایش تقاضای انرژی الکتریکی و عدم تعادل در مصرف و تولید انرژی شود. رشد سالانه اقتصادی ۱۲/۷ درصد در هر سال به طور متوسط در بازه‌ی زمانی بلند مدت برای این کشور پیش‌بینی می‌شود.

### جدول ۳-۲: سهم هریک از منابع انرژی در تولید توان الکتریکی در هند

بخش	توان تولیدی (MW)	درصد
زغال سنگ	۱۵۲۹۷۱	۶۰/۲
گاز	۲۲۶۰۸	۸/۹
نفت	۱۲۰۰	۰/۵
آبی	۴۰۷۹۹	۱۶/۱
هسته‌ای	۴۷۰۰	۱/۹
تجدیدپذیر	۳۱۶۹۲	۱۲/۵
مجموع	۲۵۴۰۴۹	۱۰۰

اهمیت موضوع تولید توان الکتریکی در هند به حدی است که دو وزارتخانه‌ی انرژی‌های نو و تجدیدپذیر و وزارت نیرو مسئول تولید توان الکتریکی هستند. وزارت انرژی‌های تجدیدپذیر و نو در سال ۱۹۸۲ به نام منابع نامتعارف تشکیل شده‌است و در سال ۱۹۹۲ به وزارت انرژی‌های نو و تجدیدپذیر تغییر نام داده است. بر اساس گزارش این وزارت، در سال ۲۰۱۱ بیش از ۴۰٪ جمعیت هند فاقد دسترسی به برق هستند و نیاز خود به انرژی را از سوخت‌های فسیلی مانند نفت تهیه می‌کنند. برقرسانی به این جمعیت یکی از اولویت‌های کشور هند خواهد بود، زیرا علاوه بر افزایش سطح رفاه و رضایت‌مندی افراد جامعه، سبب کاهش هزینه‌های دولت جهت تخصیص یارانه به مصرف سوخت‌های فسیلی به این افراد می‌شود.

## ۷-۲- شرکت‌های فعال در زمینه طراحی و تولید الکترونیک قدرت کاربردی

### در هند

صنایع فعال در زمینه‌ی طراحی و تولید الکترونیک قدرت کاربردی در هند عبارتند از:

- Nuneric Power system
- Consoul empowering solution
- شرکت های بین المللی
- Online Energy systems
- Techser
- Power – one
- Hykon India
- Switching AVO Electro

### **<sup>۱</sup>Nuneric Power system – ۱-۲-۷**

این شرکت بزرگترین تولید کننده ی UPS در هند است و محصولات خود را به ۱۲ کشور دنیا صادر می کند و ۱۳ درصد بازار هند را به خود اختصاص می دهد. این شرکت تمرکز خود را بر انواع UPS قرار داده است.

### **<sup>۲</sup>Consoul empowering solution – ۲-۲-۷**

. محصولات این شرکت شامل انواع UPS تا رنج 600kVA، اینترترهای دو جهته تا رنج 200kVA، انواع مبدل های مورد نیاز در فتوولتائیک تا رنج 100kW، کلیدهای استاتیکی تا رنج 300A، فیلترهای فعال هارمونیک با رنج جریانی 600A است.

<sup>1</sup> <http://www.numericups.com/>

<sup>2</sup> <http://www.consulindia.com/>

### ۷-۲-۳- شرکت های بین المللی

شرکت های بین المللی Delta، Hitachi و ABB نیز در این کشور دارای کارخانه های تولید می باشند. یکی از شعبه های Hitachi به نام شرکت Hitachi Hi-Rel در ایالات Gujarat این کشور است و در زمینه ی طراحی و ساخت انواع UPS، درایو و مبدل های واسط سیستم های فتوولتائیک فعالیت دارد.

### ۷-۲-۴- Online Energy systems

این شرکت در زمینه ی ساخت انواع UPS ها، مبدل ها و سیستم های مرتبط با انرژی خورشیدی و مبدل های واسط آن فعال است. این شرکت دومین تولیدکننده ی UPS در کشور هند است.

محصولات این شرکت عبارتند از:

- انواع سیستم های USP
- سیستم های خورشیدی شامل مبدل های مرکزی تا توان 1000 kVA برای واحدهای نیروگاهی با استفاده از کلیدهای IGBT و ترانسفورماتور ایزولاسیون فرکانس بالا با امکانات MPPT و مقاوم در برابر مشکلات به وجود آمده در شبکه
- کنترل کننده های شارژر خورشیدی
- مبدل های متصل به شبکه تا توان 5 kVA
- واحدهای واسط تا توان 5 kVA با بازدهی بیش از ۹۳ درصد
- استفاده از یخچال های خورشیدی که توسط سیستم های فتوولتائیک و بازدهی مناسب تغذیه می شوند.
- مبدل های DC/AC تا توان 300 kVA و ولتاژ خروجی سینوسی از دیگر محصولات این شرکت است.

### ۱ Techser – ۵-۲-۷

این شرکت در زمینه‌ی ساخت انواع UPS، پایدارساز قدرت و مبدل‌های واسط سیستم خورشیدی تا توان 7.5 kVA فعال است.

### ۲ Power – one – ۶-۲-۷

این شرکت تنها شرکتی در هند است که تکنولوژی طراحی و تولید سیستم‌های Online UPS را تا بازه‌ی توانی 800 kVA در اختیار دارد. این شرکت در زمینه‌ی تولید محصولات مرتبط با سیستم فتوولتائیک مانند مبدل‌های به کار رفته در سیستم‌های روشنایی، کامپیوتر، پمپ‌ها، مبدل‌های به کار رفته در کاربرد متصل به شبکه‌ی مربوط و اینورترهای رشته‌ای فعال است. از دیگر محصولات این شرکت ترانسفورماتورهای ایزوله است. پایدارساز ولتاژ از دیگر محصولات این شرکت است. مبدل‌های فرکانسی تا توان 180kVA که برای وزارت دفاع و نیروی دریایی این کشور ساخته می‌شود نیز از محصولات دیگر این شرکت است.

### ۳ Hykon India – ۷-۲-۷

این شرکت در زمینه تولید انواع UPS و سیستم‌های مرتبط با فتوولتائیک فعالیت دارد. در زمینه سیستم‌های فتوولتائیک، این شرکت واحدهای متصل به شبکه و منفصل از شبکه در رنج توان‌های بالاتر از 50kW تولید می‌کند.

<sup>1</sup> <http://www.techser.com/>

<sup>2</sup> <http://www.poweroneups.com/>

<sup>3</sup> <http://www.hykonindia.com/>

## ۷-۲-۸ - Switching AVO Electro<sup>۱</sup>

این شرکت در زمینه‌ی مباحث انواع UPS فعال است و در زمینه‌ی نصب واحدهای سلول‌های خورشیدی نیز فعالیت می‌کند.

## ۷-۳-۳ - دانشگاه‌ها و مراکز الکترونیک قدرت:

### ۷-۳-۱ - انستیتو تکنولوژی مدراس (Madras)<sup>۲</sup>

این دانشگاه یکی از دانشگاه‌های برتر هند است که در رده دوم دانشگاه‌های هند قرار دارد [۱۱]. در دانشکده‌ی برق و شاخه‌ی قدرت آن، گروه الکترونیک قدرت، ماشین و درایو وجود دارد. موضوعات تحقیقاتی در حال اجراء و انجام شده‌ی مرتبط عبارتند از:

- اتصال مبدل‌های پیل سوختی و سلول‌های خورشیدی به شبکه

این پروژه مربوط به طراحی و ساخت مبدل‌های با فرکانس بالای DC/AC و DC/DC است که امکان اتصال چندین منبع DC را به شبکه فراهم می‌آورد

- توسعه‌ی تکنولوژی اینورتر سیستم‌های خورشیدی با بازده و چگالی انرژی بالا که در این پروژه بر کلیدزنی نرم مبدل‌های واسط انرژی تجدیدپذیر تأکید می‌کند.

- کنترل مبدل‌های دو جهته متصل به شبکه

هدف این پروژه به دست آوردن روش کنترلی برای سنکرون کردن تزریق توان تزریق شده به شبکه از طریق واسط‌های

DC/AC فتوولتائیک است.

<sup>۱</sup> <http://switchingavo.com/>

<sup>۲</sup> <http://www.mitindia.edu/>



### ۷-۳-۲- انستیتوی تکنولوژی Kanpur<sup>۱</sup>

این مؤسسه یکی از مؤسسات دخیل در مأموریت ملی الکترونیک قدرت هند است. حوزه تحقیقاتی دانشکده‌ی برق این دانشگاه شامل مبدل‌های الکترونیک قدرت، کیفیت توان، درایوهای الکترونیکی و منابع انرژی تجدیدپذیر است.

پروژه‌های انجام شده این انستیتو در زمینه‌ی سند ملی هند عبارتند از:

- مطالعه بر روی بهسازی‌های یکپارچه‌ی کیفیت توان
- بهسازی یکپارچه‌ی کیفیت توان
- آزمایشگاه تحقیقاتی شبیه‌سازی سیستم قدرت که در زمینه‌ی ادوات HVDC، FACTS و ریز شبکه‌ها فعال است

### ۷-۳-۳- انستیتو تکنولوژی هند در بمبئی<sup>۲</sup>

در انستیتوی تکنولوژی هند در Bambay، دانشکده‌ی مهندسی برق (گروه الکترونیک قدرت و سیستم‌های قدرت) پژوهش‌هایی در زمینه‌ی الکترونیک قدرت و فناوری‌های مرتبط با آن انجام می‌دهند. این دانشکده نیز عضو گروه همکار در مأموریت ملی برای رسیدن به فناوری الکترونیک قدرت است. این دانشکده دارای ۸ عضو هیأت علمی است که ۶ نفر از آنها تحقیقات خود را در راستای الکترونیک قدرت انجام می‌دهند. آزمایشگاه الکترونیک قدرت کاربردی، الکترونیک قدرت و سیستم قدرت در زمینه‌ی فناوری الکترونیک قدرت فعالیت می‌کنند.

در آزمایشگاه الکترونیک قدرت مباحث مربوط به محرکه‌های الکترونیکی مورد تحقیق قرار می‌گیرد و در آزمایشگاه تحقیقاتی سیستم‌های قدرت، نمونه‌های عملی و آزمایشگاهی مقیاس کوچک تحریک، مبدل‌های HVDC و ادوات FACTS بررسی می‌شود. در آزمایشگاه تحقیقاتی الکترونیک قدرت کاربردی، مبدل‌های واسط شبکه‌ی فتولتائیک و پیل سوختی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

<sup>۱</sup> <http://kit.ac.in/>

<sup>۲</sup> <http://www.iitb.ac.in/>

### ۷-۳-۴ - انستیتوی تکنولوژی KHARAGPUR در هند<sup>۱</sup>

این مؤسسه نیز عضو مأموریت ملی الکترونیک قدرت است. حوزه‌ی تحقیقاتی این پژوهشگاه عبارتند از:

- الکترونیک قدرت و محرکه‌ی الکتریکی
- سیستم قدرت و انرژی

پروژه‌های در حال انجام این مرکز شامل موازی کردن مبدل‌های DC/AC، مبدل‌های DC/DC برای سلول‌های فتوولتائیک، باتری و دنبال کننده‌ی نقطه‌ی بهینه است. همچنین در حوزه الکترونیک قدرت، تحقیقاتی در خصوص مبدل‌های الکترونیک قدرت و محرکه‌های الکتریکی اجراء می‌شود.

### ۷-۳-۵ - دانشگاه Bangalore<sup>۲</sup>

گروه الکترونیک قدرت دانشکده‌ی مهندسی برق Bangalore یکی از گروه‌های فعال در پروژه‌ی ملی الکترونیک قدرت است. تحقیقات مرتبط انجام شده این دانشکده شامل مبدل‌های سوئیچینگ، کیفیت توان، FACTS، مدل کردن و آنالیز STATCOM و سایر ادوات FACTS، مبدل‌های اتصال دهنده‌ی سلول‌های فتوولتائیک و مبدل‌های ماتریسی است.

### ۷-۴ - نقش انرژی‌های تجدیدپذیر در آینده هند

یکی از مهمترین استراتژی‌های کشور هند برای جبران کمبودهای انرژی، استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر است. در سال ۲۰۰۲، ضریب نفوذ انرژی‌های تجدیدپذیر ۲ درصد بوده است که این میزان در سال ۲۰۱۱ به ۱۱ درصد و در سال ۲۰۱۴ به ۱۲٫۵ درصد رسیده است. در سه سال نخست برنامه‌ی ۱۱ام توسعه‌ی این کشور تا سال ۲۰۱۱، ظرفیت اضافه شده‌ی تولید توان الکتریکی از انرژی تجدیدپذیر ۸۳۹۵MW بوده است و این در حالیست که ظرفیت اضافه شده‌ی غیر تجدیدپذیر ۲۵۵۹۸ مگاوات بوده است. به عبارت دیگر، انرژی‌های تجدیدپذیر ۲۴ درصد توان الکتریکی اضافه شده را به خود اختصاص داده‌اند.

<sup>1</sup> <http://www.iitkgp.ac.in/>

<sup>2</sup> <http://bangaloreuniversity.ac.in/>

**Error! Reference source not found.** رشد ظرفیت نصب شده‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر را در یک دهه تا سال

۲۰۱۱ نشان می‌دهد. بیشترین رشد در بین انرژی‌های تجدیدپذیر مربوط به سیستم‌های توربین بادی است.

جدول ۳-۳: ظرفیت اضافه شده‌ی منابع انرژی تجدیدپذیر متصل به شبکه

منابع	پتانسیل تخمین زده شده	ظرفیت اضافه شده به MW				کل ظرفیت تا سال ۲۰۱۱
		تا برنامه‌ی نهم	در طول برنامه دهم	هدف گذاری تا برنامه‌ی یازدهم	در طول برنامه‌ی یازدهم تا ۲۰۱۱	
باد	۴۸۵۰۰	۱۶۶۷	۵۴۲۷	۹۰۰۰	۵۹۷۳	۱۳۰۶۶
توان آبی کوچک	۱۵۰۰۰	۱۴۳۸	۵۳۸	۱۴۰۰	۹۶۳	۲۹۳۹
توان زیست توده	۲۳۷۰۰	۳۹۰	۷۹۵	۱۷۸۰	۱۴۲۷	۲۶۳۲
توان خورشیدی	۳۰-۲۰ MW/sq.km	۲	۱	۵۰	۱۴	۱۸
مجموع		۳۴۷۵	۶۷۶۱	۱۲۲۳۰	۸۳۷۷	۱۸۶۵۵

توسعه‌ی برنامه‌های انرژی تجدیدپذیر از طریق آژانس‌های انرژی تجدیدپذیر ایالتی انجام می‌گیرد. وزارت انرژی تجدیدپذیر و نو هند، مرکز انرژی خورشیدی در دهلی نو را با امکانات به روز نظیر تجهیزات و سیستم‌های مرتبط با فتوولتائیک و حرارتی- خورشیدی ایجاد کرده است. همچنین مرکزی به نام تکنولوژی انرژی بادی نیز ایجاد شده است. برای سرمایه‌گذاری و تجاری سازی پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر، مرکز سرمایه‌گذاری جداگانه‌ای به نام آژانس پیشرفت انرژی تجدیدپذیر تاسیس شده است که سهامی عام است.

## ۷-۵- سند توسعه‌ی انرژی تجدیدپذیر در هند

وزارت انرژی هند برنامه‌های استراتژیک خود را برای بازه‌ی عملکردی ۲۰۱۷-۲۰۱۱ با هدف رسیدن به چشم‌انداز ۲۰۲۲

تدوین کرده است.

ماموریت‌های این سند عبارتست از:

- توسعه، معرفی و تجاری‌سازی تکنولوژی‌های انرژی تجدیدپذیر و نو با همکاری با مراکز فنی و علمی.
- جایگزینی این نوع انرژی با سوخت‌های فسیلی در هر جایی که ممکن باشد و افزایش دسترسی به الکتریسته و روشنایی در مناطق دور افتاده و غیر شهری از طریق سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر.

اهداف این سند عبارتند از:

- افزایش استفاده از واحدهای تجدیدپذیر متصل به شبکه.
- افزایش انگیزه‌ی برق‌رسانی به مناطق دوردست و تولید انرژی مراکز تجاری و صنعتی از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر.
- توسعه‌ی فعالیتهای تحقیقاتی، طراحی و توسعه از جنبه‌های مختلف تا تولید محصولات جدید مرتبط با بهره‌برداری از انرژی‌های نو.
- افزایش انگیزه برای شرکت‌های صنعتی پایدار و بزرگ برای سرمایه‌گذاری در انرژی‌های نو و تجدیدپذیر.

هدف‌گذاری برای اتصال واحدهای انرژی تجدیدپذیر به شبکه بر اساس میزان توان آنها تا سال ۲۰۱۷ در **Error!**

**Reference source not found.** ۴ آمده است.

چشم‌انداز سال ۲۰۲۲ هند افزایش ضریب نفوذ انرژی تجدیدپذیر به ۱۶ تا ۱۸ درصد است.

در این سند به موارد زیر اشاره شده است:

- تکنولوژی‌های نیروگاه‌های آبی کوچک، زیست توده و بادی به بلوغ خواهند رسید و کاملاً تجاری خواهند شد. هرچند استفاده از آنها بسته به شرایط محیطی و دسترسی منابع محلی ممکن است محدود شود.
- تکنولوژی‌های فتوولتائیک و خورشیدی - حرارتی در مرحله‌ی تکامل خود می‌باشند و هزینه و قیمت آنها کاهش می‌یابد.
- در سال‌های اخیر، توسعه زیادی در تکنولوژی نیروگاه بادی به وجود آمده‌است و توربین‌های با چگالی توان بالا، بازدهی زیاد و ظرفیت بالاتر به وجود آمده‌اند. اما مسائل محیطی مانند از بین بردن جنگل‌ها و محدودیت‌های سیستم‌های انتقال ممکن است رشد آنها را مورد تأثیر قرار دهد. بنابراین پتانسیل آن متغیر است.

- پتانسیل خوبی برای افزایش استفاده از زیست توده وجود دارد و عامل محدوده‌کننده‌ی آن استفاده‌ی سنتی کشاورزان از زیست توده است.
- پتانسیل قابل توجهی برای تولید برق از واحدهای آبی کوچک در نواحی هیمالیا و مناطق پایین‌تر از آن وجود دارد. اما استحصال توان و انتقال آن نیاز به توسعه و هزینه دارد.

## جدول ۳-۴: اهداف هوشمند انرژی‌های تجدیدپذیر در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۱-۲۰۱۷

تکنولوژی	زیست‌توده از بازمانده کشاورزی	زیست‌توده از تولید گاز	زیست‌توده از زباله‌های صنعتی و شهری	واحدهای آبی کوچک	خورشید	باد	هدف کلی
سال							
۲۰۱۱	۱۰۲۵	۱۶۱۶	۸۴	۳۰۴۰	۳۵	۱۳۹۰۰	۱۹۶۸۳
۲۰۱۱-۲۰۱۲	۱۰۰	۲۵۰	۲۰	۳۵۰	۳۰۰	۲۴۰۰	۳۴۲۰
۲۰۱۲-۲۰۱۳	۸۰	۳۰۰	۲۵	۳۰۰	۸۰۰	۲۲۰۰	۳۷۰۵
۲۰۱۳-۲۰۱۴	۸۰	۳۰۰	۳۵	۳۰۰	۴۰۰	۲۲۰۰	۳۳۱۵
۲۰۱۴-۲۰۱۵	۸۰	۲۵۰	۴۵	۳۰۰	۴۰۰	۲۲۰۰	۳۲۷۵
۲۰۱۵-۲۰۱۶	۸۰	۲۵۰	۵۵	۳۵۰	۱۰۰۰	۲۲۰۰	۳۹۳۵
۲۰۱۶-۲۰۱۷	۸۰	۲۵۰	۶۰	۳۶۰	۱۱۰۰	۲۲۰۰	۴۰۵۰
هدف کلی این سال ۶	۵۰۰	۱۶۰۰	۲۴۰	۱۹۶۰	۴۰۰۰	۱۳۴۰۰	۲۱۷۰۰
هدف کلی	۱۵۲۵	۳۲۱۶	۳۲۴	۵۰۰۰	۴۰۳۵	۲۷۳۰۰	۴۱۳۸۳

چشم‌انداز و هدف آرمانی مربوط به سال ۲۰۲۲ برای واحدهای متصل به شبکه در **Error! Reference source**

**not found.** آورده شده است.

## جدول ۳-۵: اهداف آرمانی و هوشمندانه‌ی منابع تجدیدپذیر متصل به شبکه در سال ۲۰۲۲ برحسب مگاوات

تکنولوژی	زیست توده بازمانده‌ی کشاورزی	زیست توده تولید گاز	زیست توده از زباله‌های صنعتی	واحدهای آبی کوچک	خورشید	باد	تجمعی
اهداف هوشمندانه	۲۵۰۰	۴۰۰۰	۸۰۰	۶۶۰۰	۲۰۰۰۰	۳۸۵۰۰	۷۲۴۰۰
اهداف آرمانی ۲۰۲۲	۵۰۰۰	۴۰۰۰	۸۰۰	۸۰۰۰	۲۲۰۰۰	۴۵۰۰۰	۸۲۸۰۰

همچنین پیش‌بینی می‌شود که مجموع ظرفیت نصب شده‌ی توان نیروگاهی به عدد 465500 MW در سال ۲۰۲۲ برسد که انرژی تجدیدپذیر در حالت آرمانی ۱۸ درصد از آن را تشکیل خواهد داد.

استفاده از سیستم‌های منفصل از شبکه به منظور برق‌رسانی به افرادی که دسترسی به شبکه برق ندارند، مورد توجه این کشور قرار گرفته‌است. بیشترین سرمایه‌گذاری و پتانسیل مربوط به این سیستم‌ها مرتبط با انرژی خورشیدی است. براساس سیاست‌گذاری کشور هند تا سال ۲۰۲۲ معادل 2000 MW توان الکتریکی در حالت جدا از شبکه از سیستم‌های خورشیدی تولید می‌شود. با این سیاست ۲۰ میلیون خانوار به برق دسترسی خواهند شد.

نقشه‌راه و چشم‌انداز شبکه‌ی هوشمند هند به سفارش وزارت نیروی هند و نخست‌وزیری هند در سال ۲۰۱۳ تدوین و منتشر شده است. تمامی محرکه‌های جهانی برای تحقق شبکه‌ی هوشمند در هندوستان نیز وجود دارد اما این کشور محرکه‌های دیگری جهت نیل به شبکه‌ی هوشمند نیز دارد. سیستم قدرت هند در دهه‌ی گذشته به سرعت دو برابر شده است. با وجود 230 GW ظرفیت نصب شده در سال ۲۰۱۳ و دارا بودن رتبه‌ی چهارم از لحاظ ظرفیت نصب شده در جهان، میزان مصرف انرژی الکتریکی هر شهروند هند در حدود یک چهارم متوسط جهانی است. همچنین افراد زیادی از جمعیت هند به شبکه برق دسترسی ندارند. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۲، مصرف توان الکتریکی هند به 900 GW برسد. هند همچنین برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر هدف‌گذاری کرده است و اخیراً یک مأموریت بین‌المللی برای استفاده از ۶ میلیون وسیله‌ی نقلیه شامل ۴ میلیون وسیله‌ی نقلیه‌ی دوچرخ و دو میلیون وسیله‌ی نقلیه‌ی چهار چرخ تا سال ۲۰۲۲ را آغاز کرده است. برای اجرای موثر این برنامه، زیرساخت‌های شبکه‌ی توزیع الکتریکی این کشور باید ارتقاء یابند و سیستم‌های هوشمند به کار گرفته شوند تا امکان تغذیه‌ی همزمان وسایل نقلیه الکتریکی فراهم شود. همچنین تلفات زیاد سیستم برق هند استفاده از شبکه‌ی هوشمند را ضروری می‌سازد.

چشم‌انداز شبکه‌ی هوشمند هند، تبدیل سیستم برق هند به سیستمی با امنیت بالا، تطابق‌پذیر و پایدار است تا انتقال انرژی مطمئن و با کیفیتی را فراهم آورد.

در این سیاست‌گذاری، فراهم کردن دسترسی شهروندان هند به انرژی الکتریکی تا سال ۲۰۱۷ هدف‌گذاری شده است. همچنین، مقدار و کیفیت توان تحویلی باید رشد پیوسته‌ای داشته باشد. کاهش تلفات تجمعی اقتصادی و فنی به زیر ۱۵ درصد تا سال ۲۰۱۷ و زیر ۱۲ درصد تا سال ۲۰۲۲ و زیر ۱۰ درصد در سال ۲۰۲۷ از سیاست‌گذاری‌های دیگر این سند است. بر

مبنای این سند، ابتدا از تکنولوژی‌های هوشمند در سطح آزمایشگاهی و در پایلوت‌های شبکه‌ی هوشمند تا سال ۲۰۱۵ استفاده خواهد شد. سپس براساس خروجی مرحله قبل، شبکه‌های هوشمند در سطوح پایلوت‌ها تا سال ۲۰۱۷، مناطق شهری مهم تا سال ۲۰۲۲ و ملی تا سال ۲۰۲۷ اجرا خواهد شد.

توسعه‌ی ریزشبکه، ذخیره‌سازهای انرژی، واحدهای نیروگاهی مجازی، سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه و تکنولوژی ساختمان‌های متصل به شبکه جهت مدیریت تقاضای پیک از دیگر اهداف این سند است. همچنین اجباری کردن تولید توان از واحدهای خورشیدی قرار گرفته بر روی سقف در مؤسسات بزرگ با بار بیشتر از 20 kW از دیگر برنامه‌های این سند است. در این سند رسیدن تعداد ریز شبکه‌های هند در سال ۲۰۱۷ به ۱۰۰۰ مرکز روستایی (و یا تجاری) و در سال ۲۰۲۲ به ۱۰ هزار عدد خواهد رسید. در این سند، توسعه‌ی شبکه‌ی مقاوم، ایمن و با قابلیت اطمینان بالا که امکان کنترل و گذر توان بهینه و کنترل شده را بین تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان فراهم می‌آورد، مد نظر قرار گرفته است. این شبکه از طریق ایجاد زیرساخت‌های انتقال قوی تا سال ۲۰۲۷ حاصل خواهد شد.

ایجاد مرکز پایش انرژی‌های تجدیدپذیر و سیستم‌های ذخیره‌ی انرژی جهت تسهیل در اتصال منابع تجدیدپذیر از دیگر برنامه‌های این سند است.

برنامه‌ریزی برای اتصال 30 GW ظرفیت انرژی تجدیدپذیر تا سال ۲۰۱۷، 80 GW تا سال ۲۰۲۲ و 130 GW تا سال ۲۰۲۷ و هماهنگی بین وزارت نیرو و انرژی‌های تجدیدپذیر و نو در این زمینه از دیگر اهداف سند تدوین شده است. این سند پیشنهاد داده است که از روش‌های حمایتی (مانند تعرفه‌های دینامیکی، تعرفه‌های متغیر شامل پاسخ‌گویی بار) در جهت بهبود تعرفه‌ها برای تسهیل توسعه شبکه‌ی هوشمند استفاده شود.

روش‌های شارژ بهینه و ایجاد زیرساخت‌های عمومی برای آن شامل امکانات شارژ وسایل نقلیه‌ی الکتریکی باید تا سال ۲۰۱۵ فراهم شود. هند همچنین در تحقیق و توسعه و آموزش جهت ایجاد شبکه‌ی هوشمند سرمایه‌گذاری خواهد کرد.

اجرای مأموریت‌ها و رسیدن به اهداف مطرح شده نیازمند چارچوب سازمانی مشخصی برای هدایت توسعه‌ی شبکه‌ی هوشمند است. سازمان‌های موجود در زمینه‌ی شبکه‌ی هوشمند در هند، کارگروه شبکه‌ی هوشمند هند (ISGTF) و انجمن شبکه‌ی هوشمند هند (ISGF) هستند. این دو سازمان فاقد نظام‌مندی و قدرت اقتصادی مناسب جهت رسیدن به اهداف اشاره

شده هستند. همچنین فاقد اختیارات اجرایی در این زمینه نیز هستند، که در این سند ساز و کارهای مناسب جهت تقویت این دو سازمان فراهم شود تا رسیدن به اهداف و چشم‌اندازهای سند محقق شود.

## ۶-۷- پروژه‌های ذخیره‌سازی انرژی در هند

پروژه‌های ذخیره ساز انرژی فراوانی در هند وجود دارد و با توجه به اهمیت انرژی‌های تجدیدپذیر و پیش‌بینی افزایش مصرف پیک، ذخیره‌سازی انرژی برای این کشور ضروری به نظر می‌رسد. برخی از این پروژه‌ها در ادامه ذکر می‌شود.

(۱) نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای ۱۴۵۰ مگاواتی Sardar o Sarvar که توان آن بین سه ایالت تقسیم می‌شود.

(۲) نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای ۱۵۰ مگاواتی Bhira

(۳) نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای ۲۵۰ مگاواتی Gatghar

(۴) نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای ۴۰۰ مگاواتی kadamapari

(۵) نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای ۹۰۰ مگاواتی purulia

(۶) نیروگاه ۱۰۰۰ مگاواتی تلمبه ذخیره‌ای Tehri

(۷) نیروگاه حرارتی - خورشیدی ۱ مگاواتی که در آن امکان ذخیره‌سازی ۱۶ ساعته‌ی انرژی برای عملکرد پیوسته وجود دارد این واحد می‌تواند گرما و توان الکتریکی مورد نیاز ۲۵۰۰۰ نفر را تأمین کند.

(۸) ریز شبکه‌ی lakshmipura با توان ۴۰ کیلووات که در آن از باتری‌های اسید سربی استفاده می‌شود.

(۹) واحد ساختمانی با توان ورودی صفر و منفصل از شبکه Bopal با ظرفیت ۴۵ کیلووات با سلول‌های PV و ذخیره‌ساز

انرژی Vandium redox flow Battery

نیروگاه‌های ذخیره‌کننده‌ی انرژی در دست ساخت نیز در این کشور وجود دارند که مهمترین آن عبارتند از:

- نیروگاه ذخیره‌کننده‌ی انرژی تلمبه ذخیره‌ای Nagarjuna sagar با توان ۷۰۰ مگاوات

- نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای Sri sailam با توان ۱۶۷۰ مگاوات

- نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای kadana با توان ۲۴۰ مگاوات

- نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای Poithan با توان ۱۲ مگاوات



- ذخیره‌ساز انرژی از طریق ابر خازن با ظرفیت ۱۵ مگاوات و با قابلیت اتصال به خط HVDC از طریق مبدل DC/DC و یا اتصال به خط AC از طریق مبدل.

## ۷-۷- پتانسیل انرژی خورشیدی هند

با توجه به قرار گرفتن هند نزدیک به خط استوا، از میان منابع انرژی‌های تجدیدپذیر، بیشترین پتانسیل مربوط به انرژی خورشیدی است. متوسط ساعات آفتابی در این کشور ۳۰۰ روز است و متوسط تابش خورشید در هند از ۴ کیلووات ساعت تا ۷ کیلووات ساعت در روز متغیر است. سالانه حدود ۵۰۰۰ تریلیون کیلووات ساعت انرژی در این کشور از طریق خورشید تأیید می‌شود.

علاوه بر برنامه‌های توسعه‌ی پنج ساله و برنامه‌ی ۲۰۱۷-۲۰۱۱ وزارت انرژی‌های تجدیدپذیر، مأموریت خورشیدی جواهر نعل نهری در ژانویه‌ی سال ۲۰۱۰ با هدف تولید ۲۰۰۰۰ مگاوات توان خورشیدی متصل به شبکه مبتنی بر تکنولوژی‌های حرارتی - خورشیدی و فناوری‌های فتوولتائیک در سه فاز ابلاغ شده است. فاز اول مدت زمان باقیمانده از برنامه‌ی یازدهم و سال نخست از برنامه‌ی دوازدهم توسعه یعنی سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ بوده است، مرحله‌ی دوم چهار سال باقی مانده از برنامه‌ی دوازدهم (۲۰۱۷-۲۰۱۳) و مرحله سوم برنامه‌ی پنج ساله‌ی سیزدهم (۲۰۲۲-۲۰۱۷) را شامل می‌شود. سیاست‌گذاری بر تزریق ۲۰۰۰-۱۰۰۰ مگاوات توان الکتریکی به شبکه از طریق سیستم‌های فتوولتائیک در فاز نخست بوده است. در این فاز همچنین سیاست‌گذاری تولید ۲۰۰ مگاوات به صورت جدا از شبکه و نصب هفت میلیون مترمربع کلکتور خورشیدی است.

در فاز دوم هدف‌گذاری برای تولید ۱۰۰۰۰-۴۰۰۰ مگاوات توان الکتریکی در حالت متصل به شبکه و ۱۰۰۰ مگاوات در حالت منفصل از شبکه است. همچنین ایجاد ۱۵ میلیون مترمربع کلکتور خورشیدی از دیگر سیاست‌گذاری‌های تدوین شده در این فاز از مأموریت است.

در فاز سوم هدف‌گذاری برای تزریق ۲۰۰۰۰ مگاوات به شبکه، تولید ۲۰۰۰ مگاوات در حالت جزیره‌ای و استفاده از ۲۰ میلیون مترمربع کلکتور خورشیدی انجام شده است.

مهمترین پروژه‌های اجراء شده فتوولتائیک در هند عبارتند از:

- پارک خورشیدی چارانکا با توان بیشینه‌ی DC ۲۲۱ مگاوات، که در سال ۲۰۱۲ به بهره‌برداری رسیده است.
  - نیروگاه با توان ۱۵۱ مگاواتی به نام Wel Spun Energy
  - واحد شرکت توسعه‌ی انرژی سبز با توان بیشینه‌ی ۵۰ مگاوات
  - سیستم‌های انرژی خورشیدی TaTa با توان بیشینه‌ی ۵۰ مگاوات
- شایان ذکر است که تا ژانویه‌ی ۲۰۱۴ توان نصب شده‌ی متصل به شبکه‌ی انرژی خورشیدی به ۲۲۰۸ مگاوات رسیده است.

## ۷-۸- انرژی بادی

تولید برق از انرژی باد، سریعترین رشد را در میان سایر انرژی‌های تجدیدپذیر داشته است و تقریباً به طور کامل از سرمایه‌گذاری بخش خصوصی تأمین می‌شود. پتانسیل تولید برق از انرژی بادی در هند، در حدود ۴۸۵۰۰ مگاوات تخمین زده شده است. ظرفیت اصلی تولید برق بادی در ایالت‌های تامیل نادو، گجرات، مهاراشترا، کارناتا و راجستان است.

چند پروژه‌ی بزرگ کشور هند در زمینه‌ی نیروگاه‌های بادی عبارتند از :

- مزرعه بادی Muppandal با توان نامی ۱۵۰۰ مگاوات
- پارک بادی Jaisalmer با توان نامی ۱۰۶۴ مگاوات
- مزرعه‌ی بادی Brahmanvel با توان نامی ۵۲۸ مگاوات
- مزرعه‌ی بادی Dhalgaon با توان نامی ۲۷۸ مگاوات
- پارک بادی Vankusawade با توان نامی ۲۵۹ مگاوات
- واحد بادی Damanjodi با توان نامی ۹۹ مگاوات

## ۷-۹- پروژه‌های HVDC هند

### ۷-۹-۱- پروژه‌های HVDC اجرا شده

از آنجائیکه هند دارای جمعیت زیادی است، جهت تامین برق مشترکین نیاز به انتقال حجم زیادی از توان است. اولین خط HVDC در هند در سال ۱۹۹۱ توسط شرکت ABB ساخته شده است. در این خط انتقال از مبدلهای تریستوری با ساختار دو قطبی استفاده شده است. توان نامی این خط ۷۵۰ مگاوات و طول آن ۸۱۶ کیلومتر است.

پروژه‌ی بعدی از خطوط HVDC در سال ۱۹۹۹ احداث شده است. این خط با توان نامی ۱۵۰۰ مگاوات و طول ۷۵۲ کیلومتر است و ولتاژ DC آن ۵۰۰ کیلو ولت بوده و از ساختار دوقطبی تریستوری در آن استفاده شده است. این خط انتقال نیز توسط شرکت ABB احداث شده است.

خط انتقال Taleher-kolar HVDC در سال ۲۰۰۳ میلادی اجرا شده است. این خط در رنج توانی ۲۰۰۰ مگاوات طراحی شده است و طول آن ۱۳۶۹ کیلومتر است که یکی از خطوط بسیار بلند تلقی می‌شود، این خط توسط شرکت Siemens اجرا شده است.

خط Rajarestan در ابتدا در سال ۲۰۱۰ به صورت تک قطبی مورد بهره‌برداری قرار گرفته است و سپس در سال ۲۰۱۱ به صورت دوقطبی اجرا شده است. این خط توان ۲۵۰۰ مگاواتی را انتقال می‌دهد و طول آن ۷۸۰ کیلومتر است.

پروژه HVDC بعدی مربوط به خط Mundra-Mohindergah است که توان نامی آن ۱۵۰۰ مگاوات بوده و طول خط آن برابر با ۹۸۶ کیلومتر است این اولین خطی است که توسط بخش خصوصی اجرا شده است.

یکی از بزرگترین پروژه‌های HVDC هند، پروژه‌ی فوق فشار قوی جریان مستقیم است North-East Agra است که ولتاژ DC آن ۸۰۰ کیلو ولت است، طول خط نیز در حدود ۱۷۲۸ کیلومتر است و از نوع دوقطبی چند ترمینال است. این پروژه تا سال ۲۰۱۶ به بهره‌برداری خواهد رسید و توسط شرکت ABB در دست احداث است.

### ۷-۹-۲- پروژه‌های HDVC پشت به پشت<sup>۱</sup>

اولین پروژه پشت به پشت HVDC در سال ۱۹۸۹ با اجرای دو مبدل پشت به پشت تریستوری ۲۵۰ مگاواتی اجرا شده است. در این پروژه دو منطقه‌ی شمال و غرب شبکه‌ی هند به یکدیگر متصل شده‌اند. با کنترل دوطرفه‌ی توان، امکان تصحیح بهتر منحنی بار بین دو ناحیه صورت گرفته است

در سال ۱۹۹۳ دومین پروژه‌ی HVDC پشت به پشت اجرا شده است و در آن ناحیه‌ی غرب به ناحیه‌ی جنوب متصل شده است.

پروژه‌ی پشت به پشت ۵۰۰ مگاواتی Sasaram در سپتامبر ۲۰۰۲ میلادی مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. این پروژه ناحیه‌ی شرق را به ناحیه شمال متصل کرده است.

### ۷-۹-۳- پروژه‌های HVDC آینده‌ی هند

پروژه‌ی HVDC آینده اتصال هند به سریلانکا است که طولی برابر با ۲۸۵ کیلومتر خواهد داشت و ۵ کیلومتر از آن از زیر دریا عبور خواهد کرد. این پروژه در دو فاز ساخته خواهد شد، که در فاز اول آن توان ۵۰۰ مگاوات و در فاز دوم توان ۱۰۰۰ مگاوات قابل انتقال خواهد بود. این دو اتصال امکان فروش برق اضافی بین دو کشور را شبکه فراهم می‌کند. طرح دیگر اتصال شبکه‌ی هند به شبکه‌ی بنگلادش نیز مورد پیشنهاد مسئولین دو کشور قرار گرفته است. فاز اول این طرح ۵۰۰ مگاوات است و فاز دوم آن به توان ۱۰۰۰ مگاوات خواهد بود.

### ۷-۱۰- پروژه‌های ادوات FACTS در هند

اولین استفاده از ادوات FACTS استفاده از خازن سری کنترل شده‌ی تریستوری<sup>۱</sup> (TCSC) به همراه جبران‌سازی ثابت سری در خط ۴۰۰kV بین Ballangarh و Kanpor در شبکه‌ی شمال هند بوده است. طول این خط ۳۶۴km

<sup>۱</sup> Back to Back

است. این خط انتقال ۵۰ درصد جبرانسازی سری می‌شود که ۳۰ درصد آن از طریق جبرانسازی ثابت و ۲۰ درصد باقیمانده از طریق TCSC انجام می‌گیرد.

استفاده دیگر از جبران سازی سری ثابت به همراه جبرانسازی از طریق خازن کنترل شده‌ی تریستوری (FC-FACTS) در خط دویل سه فاز ۴۰۰ کیلو ولت و به طول ۴۱۲ کیلومتر بوده‌است. این خط بین Raipur و Raurkela متصل شده است تا توان اضافه‌ی شبکه شرق را به شبکه‌ی غرب متصل نماید. این خط همچنین حالت پشتیبانی از خط انتقال HVDC اتصال دهنده‌ی Talcher و Kolar را فراهم می‌کند. بعد از نصب FC-TCSC بعضی از نوسانات توان در این ناحیه میرا شده است و این سیستم پایدارتر و قابل کنترل تر شده است.

سایر استفاده از ادوات FACTS عبارتند از:

- Kalpakam-kammam FSC-TCSC نصب شده بر خط ۴۰۰ کیلوولتی و ۳۶۴ کیلومتری
- Ranchi-Sipat جبرانسازی توسط خازن ثابت سری به اندازه‌ی ۴۰ درصد در خط ۴۰۰kV و ۳۷۶ کیلومتری
- Raipur-Rourkela جبرانسازی از طریق FSC-TCSC در خط ۴۰۰kV و ۴۱۲ کیلومتری

جدول ۳-۶: پروژه پیشنهادی برای STATCOM

ایالت	موقعیت	سطح ولتاژ	نرخ مگاوار
maharashina	Vita/pandhar	۲۲۰ kV	+۵۰/۱۰۰-
J&k	Budgam	۲۲۰ kV	+۱۲۵/-۲۵
	Udhampur		
Tamil Nadu	Theni	۲۲۰ kV	+۱۰۰/-۵۰
	kodikuruchi		
	udaythu		
Andhava pardesh	Urvakonda	۲۲۰ kV	+۱۰۰/-۱۰۰
Kamataka	chtradurga	۲۲۰ kV	+۵۰/۱۰۰-
Rajasthan	Tinwari	۲۲۰ kV	+۵۰/۱۰۰-
Gujarat	Radhanpor	۲۲۰ kV	+۵۰/۱۰۰-

<sup>1</sup> -Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC)

در افق ۲۰۳۰ جهت برقراری اتصال بین نواحی مختلف و ایجاد کریدری برای انتقال حجم زیاد توان تولید شده توسط واحدهای انرژی تجدیدپذیر استفاده از ادوات FACTS پیشنهاد شده است. جداول زیر پروژه‌های پیشنهادی برای ادوات FACTS را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۷: پروژه‌های پیشنهادی برای راکتور کنترل شده و یا سوئیچ‌شوندهی تریستوری

ایالت	موقعیت	ولتاژ	نرخ MVAR	تعداد
Tamil Nadu	Tppagndu	۴۲۰ kV	۱*۱۵۰	۲
	Salem hosour	۴۲۰ kV	۱*۱۲۵	۲
Andhra pardesh	kondapur	۴۲۰ kV	۱*۱۵۰	۱
	Hindupur	۴۲۰ kV	۱*۱۲۵	۱
Maharashtra	Dondaicha	۲۲۰ kV	۱*۵۰/۲۵	۱
	Alkuk	۴۲۰ kV	۱*۱۵۰	۱
	Kolhapur	۷۶۵ kV	۱*۲۴۰	۱
Gujrat	Motipanel,Bhatia Ba chau,Deodhar Nakh tarna	۲۲۰ kV	۱*۲۵ ۱*۲۴	۵
	پارک خورشیدی	۴۲۰ kV	۱*۱۵۰	۲

جدول ۳-۸: پروژه‌های SVC پیشنهادی

ایالت	موقعیت	ولتاژ	نرخ MVAR
Maharshira	Kolhapur	۴۰۰ kV	+۴۰۰/-۳۰۰
Tamilnadu	Udumalpet	۴۰۰ kV	+۴۰۰/-۳۰۰

## ۷-۱۱- مأموریت ملی الکترونیک قدرت

مأموریت ملی الکترونیک قدرت در هند از طرف وزارت تکنولوژی ارتباطات و اطلاعات در سال ۲۰۰۴ با هدف تحقیق، توسعه و تجاری‌سازی تکنولوژی الکترونیک قدرت در دو فاز ابلاغ شده است.

## ۷-۱۱-۱- فاز اول

در فاز اول از این پروژه اصلی ترین مرکز درگیر در این پروژه، مرکز توسعه‌ی محاسبات پیشرفته بوده است و یازده مرکز تحقیقاتی پیشرو در زمینه‌ی الکترونیک قدرت مانند انستیتوهای Delhi، Bombay kanpur، Kharagpur و دانشگاه Anna univ. chennai در این پروژه مشارکت داشته‌اند. مراکز آزمایشگاهی مختص این مأموریت در این مراکز دایر شده است. برخی از محصولات این مأموریت ملی عبارتند از:

- STATCOM با ظرفیت 2MVA

این STATCOM توانایی جبران‌سازی جریان‌های هارمونیک، نامتعادل و توان راکتیو را دارد و در پارک فناوری اطلاعات نصب شده است. برای کنترل این STATCOM از FPGA و DSP استفاده شده است.

- واسط الکترونیک قدرت فتولتائیک

این واسط سه فاز دارای توان نامی 25kW است و به ولتاژ 415V خط به خط اتصال می‌یابد. این سیستم در دانشگاه North Eastern Hill University نصب شده است و از مبدل‌های DC/DC جهت ردیابی توان بهینه استفاده شده است.

- مبدل‌های کمکی universal در کاربرد حمل و نقل ریلی

این مبدل‌ها در توان نامی 130kVA طراحی شده و بر روی لوکوموتیوهای سه فاز نصب شده‌اند. این مبدل‌ها با حمایت مالی راه‌آهن هند در دانشگاه بمبئی ساخته شده‌اند. این مبدل‌ها در لوکوموتیوها جهت تغذیه‌ی موتورهای سه فاز مختلف به کار برده می‌شوند و تحت شرایط عملکردی مختلف و لرزش مطابق با استاندارد IEC عمل می‌کنند.

- مبدل‌های بکار رفته در کاربرد پیل سوختی

این پروژه به همکاری چندین مرکز تحقیقاتی و دانشگاهی انجام شده است، مبدل‌های واسط پیل سوختی با توان 3 kW و

5 kW ساخته شده‌اند.

## ۷-۱۱-۲- فاز دوم

در سال ۲۰۱۲، فاز دوم از مأموریت ملی الکترونیک قدرت برای بازه‌ی زمانی پنج ساله ابلاغ شده است. اهداف این مأموریت شامل پروژه‌های توسعه‌ی تکنولوژی، فعالیت‌های آموزشی و ایجاد ارتباط و هماهنگی بین صنعت و مراکز R&D است. موارد در نظر گرفته در این مأموریت شامل قسمت‌های زیر است:

- ارتقاء و تولید تجاری پروژه‌هایی که در فاز اول به صورت آزمایشگاهی ساخته شده‌اند.
- توسعه تکنولوژی‌های پیشرفته در زمینه‌های نوظهور مانند ادوات الکترونیک قدرت مرتبط با شبکه‌های هوشمند، ریزشبکه‌ها، انرژی تجدیدپذیر، ادوات الکترونیک قدرت مربوط به ولتاژهای بالا (HV) و ژنراتورهای کوچک آبی
- افزایش پروژه‌های تحقیقاتی در زمینه‌ی الکترونیک قدرت در مراکز پژوهشی و دانشگاهی: به عنوان بخشی از فعالیت‌های آموزشی، سه واحد کوتاه‌مدت در زمینه‌های مختلف الکترونیک قدرت در هر سال و به مدت پنج سال در مراکز دانشگاهی پیشنهاد شده است. ایجاد کارگاه‌های آموزشی در زمینه‌ی انتقال اطلاعات و دانش بین مراکز تحقیقاتی و مراکز صنعتی و برگزاری کنفرانس‌های تحقیقاتی از دیگر برنامه‌های این فاز است.

جزئیات پروژه‌هایی که در این زمینه هدف‌گذاری شده‌اند، عبارتند از:

- ایجاد مرکز شبیه‌سازی الکترونیک قدرت و سیستم‌های قدرت در انستیتوی تحقیقاتی Bambay
- توسعه‌ی تکنولوژی مبدل بومی 1MW نیروگاه فتوولتائیک و توسعه‌ی تکنولوژی ریزپردازنده‌های برنامه‌پذیر مورد کاربرد در الکترونیک قدرت.
- تحقیقات در زمینه‌ی مبدل‌های DC/DC دو جهته
- استفاده از تجهیزات GaN در الکترونیک قدرت
- ایجاد انگیزه در دانشجویان با دادن جایزه به پروژه‌های برتر در زمینه الکترونیک قدرت



## نتیجه گیری

در این گزارش، نتایج مطالعات تطبیقی وضعیت الکترونیک قدرت در سه کشور مورد بررسی قرار گرفت. در مطالعات تطبیقی ابتدا وضعیت دو کشور توسعه یافته و پیشرو (بریتانیا و آمریکا) در زمینه الکترونیک قدرت مورد بررسی قرار گرفت. بر مبنای مطالعات انجام شده، هدف گذاری اصلی بریتانیا در زمینه الکترونیک قدرت افزایش سهم این کشور در بازار الکترونیک قدرت کاربردی (در بخش توان الکتریکی مانند توربین بادی، خطوط HVDC و FACTS) در افق ۱۰ ساله است. این در حالی است که بنابر مطالعات انجام شده، هدف گذاری اصلی آمریکا در زمینه الکترونیک قدرت، توسعه صنعت نیمه هادی های مورد نیاز در توان های بالا و حفظ سهم بازار ۵۰٪ ای این کشور در این زمینه است.

در ادامه گزارش، نتایج مطالعه تطبیقی وضعیت الکترونیک قدرت در کشور هند ارائه شد. هند به دلیل وضعیت در حال توسعه و تصمیم بر توسعه صنعت الکترونیک قدرت، وضعیتی مشابه با ایران دارد. بنابر مطالعات انجام شده، هدف گذاری عمده هند در زمینه الکترونیک قدرت، طراحی، ساخت و تجاری سازی ادوات STATCOM، مبدل های واسط PV، مبدل های واسط پیل سوختی و گسترش تکنولوژی نیمه هادی GaN در صنعت قدرت است.

## ضمیمه الف:

بررسی برخی شرکت های بین المللی فعال در زمینه

الکترونیک قدرت

با در نظر داشتن کمپانی های بزرگ، برخی صنایع فعال در زمینه ی طراحی و تولید در الکترونیک قدرت کاربردی دنیا به قرار زیر هستند.

- ALSTOM GRID (HVDC)
- Convertream درایوهای رانش دریائی، مبدل های بادی
- Emerson-control Techniques درایوهای صنعتی و مبدل های انرژی تجدیدپذیر
- Goodrich power system هوا فضا
- Rolls-Royce هوافضا، دریایی، انرژی
- TRW خودرو
- Siemens درایوهای صنعتی، تولید، توزیع، انتقال و روشنایی

## الف-۱ شرکت ALSTOM<sup>۱</sup>

شرکت ALSTOM، شرکتی چند ملیتی است که هم اکنون در ۱۰۰ کشور دنیا حضور دارد. این شرکت در سال ۲۰۱۳، ۲۰/۳ میلیارد یورو فروش داشته است و ۹۶۰۰۰ کارمند دائمی دارد. این شرکت در زمینه تولید و انتقال توان الکتریکی و راه آهن برقی فعالیت دارد.

این شرکت در سال ۱۹۲۸ تأسیس شده است و در سال ۱۹۳۲ اولین سری از لوکوموتیوهای برقی تولیدی را به بازار عرضه کرده است. هم اکنون این شرکت بزرگترین تولیدکننده درایوهای پرسرعت، سیستم های کششی و ادوات الکترونیک قدرت تغذیه کننده ی قطارهای برقی است و قسمت مربوط به حمل و نقل ریلی سالانه ۵/۵ میلیارد یورو از در آمد این شرکت را به خود اختصاص می دهد.

<sup>۱</sup> <http://www.alstom.com>

در این بخش محصولاتی از ALSTOM که در حوزه سند الکترونیک قدرت ایران هستند بررسی می‌شود. زمینه‌ی فعالیت و محصولات این شرکت را می‌توان به سه دسته‌ی تولید توان، شبکه برق و راه‌آهن برقی تقسیم‌بندی کرد که در این مجموعه، تنها قسمت‌های شبکه برق و راه‌آهن برقی در حوزه بررسی سند الکترونیک قدرت ایران است [۳].

در بخش شبکه برق، این شرکت بر موضوعات (برحسب ارتباط با سند الکترونیک قدرت انتخاب شده‌اند) Smart FACTS، Grid، BESS، HVDC و Super Grid تمرکز کرده است. در حوزه ادوات FACTS تولیدات این شرکت بر جبران سازه‌های موازی (STATCOM، SVC) و سری (TCSC و FC) متمرکز شده است. در حوزه HVDC، این شرکت سابقه ۵۰ ساله در طراحی، تولید و نصب خطوط HVDC تا مرز 800kV دارد. این شرکت از هر دو تکنولوژی LCC و VSC برای ساخت خطوط HVDC استفاده می‌کند. یکی از طولانی‌ترین خطوط در سال ۲۰۱۳ خط HVDC 600kV به طول ۲۳۷۵km توسط این شرکت در برزیل احداث شده است.

تولید BESS در این شرکت در سطوح LV و MV انجام می‌شود. محصول MaxSineTM این شرکت بر مبنای اتصال باتری‌ها به کمک مبدل‌های DC-DC و DC-AC (منبع ولتاژ) به شبکه ساخته شده است. هدف نهایی شرکت گسترش این تجهیز به میزانی است که بتواند تا ۲۰ مگاوات توان را ذخیره نماید.

## الف-۲ شرکت Converteam<sup>۱</sup>

در سال ۱۹۸۹ قسمتی از شرکت بریتانیایی General Electric Company plc با قسمتی از شرکت Alcatel-lucent ترکیب شد و در همان سال شرکت آلمانی AEG با شرکت آمریکایی American Westinghouse Drive Systems ترکیب شد. در سال ۱۹۹۵ دو گروه مد نظر، با ترکیب شدن، گروه CEG Industrial Systems Group را تشکیل دارند. در سال ۱۹۹۹ این گروه به شرکت Alstom پیوست اما در سال ۲۰۰۵ مجدداً از این شرکت جدا شد و در سال ۲۰۱۱، ۹۰٪ سهام این شرکت توسط GE Energy به ارزش ۳/۲ میلیارد دلار خریداری شد. با توجه به موضوعات مورد علاقه در بحث سند الکترونیک قدرت، این شرکت در زمینه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، تولید انرژی، سیستم‌های دریایی، نفت و گاز، ذوب آهن و

<sup>۱</sup> <http://www.gepowerconversion.com/>

فولاد، معدنی و انتقال آب فعالیت دارد. در ادامه بخش‌هایی از فعالیت‌های این شرکت که مرتبط با سند الکترونیک قدرت ایران است، بررسی خواهد شد.

در بحث انرژی‌های تجدیدپذیر، این شرکت مبدل‌های با توان پایین و بالا را برای واحدهای فتوولتائیک به صورت ماژول و یکپارچه ارائه می‌دهد. این شرکت همچنین قادر است مبدل‌ها و سیستم‌های مانیتورینگ مختص سیستم‌های فتوولتائیک را به گونه‌ای بسازد که در شرایط سخت محیطی قادر به فعالیت باشند.

این شرکت تاکنون ۲۴GW از مبدل‌های خود را برای اتصال منابع تجدیدپذیر به فروش رسانده‌است. این مبدل‌ها امکان انطباق با استانداردهای شبکه را دارند و دو محصول Prosolar و Brilliance از این دسته می‌باشند.

محصول Brilliance با هدف افزایش کارایی و کیفیت مجموعه‌ی فتوولتائیک طراحی شده است و قابلیت اتصال سیستم به شبکه به کمک یک ترانسفورماتور ولتاژ متوسط را دارد. در صورت استفاده از ولتاژ شبکه 480 V AC، این محصول اساساً نیازی به ترانسفورماتور ندارد. این محصول توان را در دو طبقه انتقال می‌دهد و توانایی ردیابی نقطه بهینه توان را تا مرز 430 V DC را دارد. این محصول می‌تواند در دماهای -۳۰ تا ۶۰ درجه سلسیوس عمل کند. به کمک فناوری HMI قابلیت کنترل از راه دور برای آن فراهم شده است. انطباق با استانداردهای شبکه، امکان تزریق توان راکتیو به شبکه (حتی در شب) و بسته بندی کم حجم از ویژگی‌های این محصول است.

در حوزه مبدل‌های مربوط به توربین‌های بادی نیز این شرکت مبدل‌های مختلفی برای کاربردهای مقیاس کامل، مقیاس جزئی، ولتاژ کم و ولتاژ متوسط را تولید می‌کند. محصولات نظیر prowind، MV7000 و MV3000 از تولیدات مرتبط این شرکت هستند.

محصول PROWIND با طراحی ماژولار و چگالی توان بالا می‌تواند برای انواع توان‌ها و شرایط آب و هوایی باز طراحی شود. این محصول به کمک آب و یا هوا خنک‌سازی می‌شود و قابلیت انطباق با الزامات شبکه را دارد و در شرایط سخت آب و هوایی نیز قادر به کارکرد مناسب است. این محصول را می‌توان در رنج ۰/۵MW تا ۵MW طراحی کرد.

محصول MV7000 شامل تکنولوژی محرکه ماشین‌های الکتریکی متصل به توربین‌های بادی است که کنترل کارا و موثر توان ماشین‌های الکتریکی را بر عهده دارد. این محصول می‌تواند هر دو ماشین القایی و سنکرون را در تمامی سرعت‌ها

(صفر تا ۱۰۰٪) به روش جهت یابی میدان (کنترل برداری) کنترل کند. این محصول بازده بالای ۹۵٪ و چگالی توان بالای  $\frac{MVA}{m^3}$  1/1 دارد. هارمونیک های کم و ضریب قدرت بالا نیز از مزیت های دیگر این محصول هستند.

در عرصه موج های دریایی (استخراج انرژی الکتریکی)، این شرکت محصول MV3000 را برای اتصال به ماشین های الکتریکی متصل به توربین های موجی پیشنهاد داده است. امکان اتصال از طریق MVDC این توربینها به ساحل نیز توسط متخصصین این کشور فراهم شده است.

در حوزه کاربردی تولید توان الکتریکی، این شرکت ادوات مبدل فرکانس استاتیک و سیستم تحریک استاتیک را برای ماشین های سنکرون بزرگ تولید می کند. همچنین درایوهای سرعت متغیر با ولتاژ کم و متوسط برای پمپ های بویلر، پمپ های گرداننده، پمپ های خنک کننده، پمپ های کندانسور و فن درام نیز در این شرکت تولید می شود. محصولات SEMIPOL، SD، 7000-LCI، MV7000 و LV8000 از این دسته از محصولات هستند.

محصول SEMIPOL که یک سیستم تحریک استاتیک است امکان مانور در برابر تغییرات شبکه را دارد. این محصول می تواند جریان های تحریک را برای ژنراتورهایی در بازه ی توانی 20 MW تا 1000 MW تامین نماید. در این محصول از پل های تریستوری با قابلیت اطمینان بالا استفاده شده است و شامل PSS داخلی و محدود کننده های جریان میدان تحریک است و نیاز به بهره برداری پیچیده ندارد.

محصول SD7000 یک درایو با کموتاسیون بار است که بازدهی و کارایی بالایی دارد. از این محصول در کمپرسورها و ژنراتورهای قدرت مناسب که نیاز به عملکرد دقیق دارند در توان های بسیار بالا استفاده می شود. از مبدل ۱۲ پالس در این محصول استفاده شده است و ضریب قدرت آن حداکثر ۰/۹ و بازدهی آن ۹۸/۵٪ است. حفاظت اضافه ولتاژ، افت ولتاژ، اضافه سرعت، اضافه شار و اضافه گشتاور در آن استفاده شده است.

محصول MV7000 این شرکت، قبلاً شرح داده شده و محصول LV3000 نیز نوع مشابه MV3000 برای کاربردهای با ولتاژ پایین است.

در عرصه ادوات الکترونیک قدرت موجود در خطوط انتقال، این شرکت محصول Dynamic SVC را بر مبنای محصول مدولار MV7000 ساخته است. در این شرکت، محصولاتی شامل ادوات متداول SVC که مبتنی بر TCR هستند برای جبران

توان راکتیو، فلیکر و هارمونیک ساخته می‌شوند. اما در نوع جدید این محصولات که D-SVC نام دارد از تکنولوژی IGBT موجود در محصول MV7000 بهره برده شده‌است و کارایی دینامیکی بهتری برای آن فراهم می‌شود.

### الف-۳ شرکت Emerson Control Techniques<sup>۱</sup>

شرکت امرسان در سال ۱۹۷۳ تحت نام KTK ثبت شده است و ساخت درایوهای DC ترستوری در این شرکت انجام می‌شده است. در سال ۱۹۹۵ این شرکت بخشی از شرکت امرسان قرار گرفته است و هم اکنون ۴۵ شعبه در سراسر دنیا دارد. این شرکت به صورت تخصصی اقدام به ساخت درایوهای AC و مبدل‌های واسط میان ماشین‌های الکتریکی متصل به انرژی تجدیدپذیر و شبکه می‌کند [۴].

به طور مثال دو محصول Unidrive SP modular و Unidrive SP Free standing به ترتیب برای اتصال منابع تجدیدپذیر متصل به ماشین‌های AC (القائی و سنکرون) با ظرفیت (45kW – 1/9 MW) و (90 kW – 1/6 MW) طراحی شده‌اند.

### الف-۴ شرکت Goodrich Power Systems<sup>۲</sup>

این شرکت هم اکنون به عنوان UTC Aerospace systems شناخته می‌شود و به صورت تخصصی در زمینه صنایع هوایی و هوافضا فعالیت می‌کند. عمده محصولات شرکت در زمینه‌های غیرمرتبط با سند مورد بحث است. در زمینه الکترونیک قدرت، این شرکت درایو موتورهای الکتریکی کوپل شده به محور موتورهای مکانیکی هواپیما را می‌سازد. همچنین این شرکت انواع اینورترهای مورد استفاده در کنترل هواپیما نظیر کمک به راه‌اندازی الکتریکی موتور هواپیما، کنترل پمپ‌های هواپیما و غیره را تولید می‌کند.

<sup>1</sup> <http://www.emersonindustrial.com/en-US/controltechniques/Pages/home.aspx>

<sup>2</sup> <https://www.goodrich.com>

## الف-۵ شرکت Siemens<sup>۱</sup>

زیمنس شرکتی چند ملیتی است که شعبه‌ای فعال در بریتانیا دارد و بزرگترین شرکت مهندسی در اروپا محسوب می‌گردد. این شرکت در زمینه‌های صنعت، انرژی، سلامت و شهرهای هوشمند فعالیت می‌کند به طوریکه در سال مالی ۲۰۱۳، ۷۵ میلیارد یورو درآمد داشته است [۵].

با در نظر گرفتن ادوات انتقال انرژی انعطاف‌پذیر، زیمنس تولید کننده ادوات FACTS می‌باشد. در حوزه جبران‌سازی سری، زیمنس ادوات FSC، TCSC و TPSC<sup>۲</sup> را تولید می‌کند. در حوزه جبران‌سازی موازی، زیمنس از هر دو تکنولوژی مبتنی بر کلیدهای الکترونیک قدرت TCR و IGBT استفاده کرده است و محصولات SVC و SVC-PLUS را ساخته است. زیمنس از مبدل چندسطحی ماژولار در svc-plus استفاده کرده است.

با در نظر گرفتن خطوط HVDC، زیمنس تولید کننده‌ی هر دو نوع HVDC کلاسیک (مبتنی بر کلیدهای TCR) و Light (مبتنی بر کلیدهای IGBT) است. در آخرین سطح تکنولوژی HVDC کلاسیک، زیمنس قادر به تولید سیستم انتقال HVDC کلاسیک با ولتاژ  $\pm 800\text{kV}$  ظرفیت 10 GW و طول 2000 km است. در آخرین سطح تکنولوژی HVDC Light، از توپولوژی Full-bridge استفاده شده است که قادر به مقابله با خطاهای DC است.

در حوزه نیروگاهی نیز زیمنس مبدل‌های الکترونیک قدرت مربوط به سیستم تحریک استاتیک و مبدل‌های فرکانس راه‌اندازی را (تحت نام تجاری SPPA-E3000) تولید می‌کند. زیمنس از مبدل‌های فرکانس استاتیک برای راه‌اندازی توربین‌های گازی استفاده می‌کند. رنج این مبدل‌ها از 1/4MW تا 9MW متغیر است. در مجموع دو مبدل فرکانس و تحریک استاتیک یک مجموعه واحد با کنترل واحد را تشکیل می‌دهند.

در حوزه توربین‌های بادی نیز زیمنس با محصول Net Converter، مبدل‌های الکترونیک قدرت مربوط به توربین‌های بادی را تولید می‌کند. این مبدل‌ها از نوع چندسطحی ماژولار است. این مبدل تمام ظرفیت، دینامیک ژنراتور و توربین بادی را

<sup>1</sup> <http://www.siemens.com/entry/cc/en/>

<sup>2</sup> Thyristor Protected Series Capacitor



از شبکه جدا می‌کند. این مبدل و سیستم کنترل آن برای کنترل ولتاژ و فرکانس ژنراتور توربین بادی و فعالیت ضمن خطا (FRT) بهینه شده است.

در حوزه قطارهای برقی، زیمنس در هر دو گروه DC و AC فعالیت دارد. در حوزه قطارهای برقی DC، زیمنس محصولاتی نظیر یکسوسازهای دیودی (بنام محصول Sitras Rec Diode)، یکسوسازهای تریستوری (بنام محصول Sitras TCR) و اینورترهای تریستوری بنام محصول Sitras TCR را تولید می‌کند.

در حوزه قطارهای برقی AC نیز ادواتی نظیر جبران‌ساز فعال توان راکتیو (که یک نوع SVC Plus بهینه‌سازی شده برای قطارهای برقی بنام محصول Sitras RVC Plus است) و جبران‌ساز فعال تعادل (که بار را بین فازهای شبکه به صورت متعادل تقسیم می‌کند) را تولید می‌کند.

زیمنس نوعی مبدل استاتیک فرکانس بنام Sitras SFC Plus را نیز تولید کرده است که برای تغذیه بارهای تک فاز از منبع سه فاز بدون استفاده از فرآیند یکسوسازی استفاده می‌شود.

## الف-۶ شرکت ABB<sup>۱</sup>

این شرکت (همانطور که در مطالعات تطبیقی بریتانیا بررسی شده است)، شرکتی چند ملیتی است و شعبه‌ای فعال در زمینه طراحی، توسعه و ساخت ادوات نیمه‌هادی قدرت دارد. این شرکت انواع IGBT تا مرز جریانی 2400A و 700V و مرز ولتاژی 6500V و 750A، IGCT، تریستور (کنترل فاز، سریع اینورتری، باهدایت دو طرفه دارای یک دیود ذاتی)، GTO (تا مرز 4500V و 1600A) و دیودهای قدرت (بازیافت سریع و استاندارد) را تولید می‌کند.

<sup>1</sup> <http://www.abb.com/>

## الف-۷ شرکت Infineon<sup>۱</sup>

این شرکت چند ملیتی که شعبه‌ای فعال در زمینه تحقیق و توسعه در آمریکا دارد، سابقه ۴۰ ساله در زمینه طراحی و ساخت ادوات نیمه‌هادی دارد. با توجه موضوعات مورد علاقه سند فناوری الکترونیک قدرت ایران، این شرکت محصولاتی نظیر ماسفت قدرت، IGBT، ترستور قدرت و دیود بازیافت سریع می‌سازد. نکته مهم در خصوص این شرکت آن است که این شرکت برای تولید گسترده ادوات الکترونیک قدرت از SiC در آینده برنامه دارد. این شرکت هم‌اکنون دیودهای شاتکی با ظرفیت‌های ولتاژی 650V، 600V و 1200V را از جنس SiC می‌سازد. این شرکت JFET ۱۲۰۰ ولتی از جنس SiC هم ساخته است.

## الف-۸ شرکت General Electric<sup>۲</sup>

شرکت آمریکایی GE در سال ۱۸۷۸ تاسیس شد. با در نظر داشت مباحث مرتبط با الکترونیک قدرت ایران، این شرکت در زمینه‌های Static Transfer Switch، اینورتر متصل به انرژی‌های تجدیدپذیر و تبدیل انرژی فعالیت می‌کند. در حوزه STS ها، این شرکت محصولات سه فاز (STS-3) و تک‌فاز (STS-1) را تولید می‌کند که به ترتیب در بازه‌های ([150-1600] A, [200-600] V) و ([25-85] A, [120-240] V) قابلیت نصب دارند. در حوزه UPS، این شرکت محصولات سه فاز و تک فاز را ارائه می‌کند. محصولات سه فاز این شرکت شامل سری‌های TLC و S6 و LP33 و Site pro است که در ظرفیت‌های ۱۰۰۰kVA-۱۰kVA ساخته شود. در حوزه مبدل‌های متصل به انرژی‌های تجدیدپذیر بادی و خورشیدی این شرکت، شرکت Convertream را خریده است و محصولات آن را عرضه می‌کند. شرکت Convertream در مطالعات تطبیقی بریتانیا بررسی شده است.

<sup>1</sup> <https://www.infineon.com/>

<sup>2</sup> <http://www.ge-energy.com/>

## الف-۹ شرکت NR ELECTRIC<sup>۱</sup>

این شرکت که شعبه اصلی آن در چین است، شعبه‌ای فعال در آمریکا (LAKE FOREST) دارد که در زمینه‌های طراحی و تولید ادوات FACTS، HVDC و مبدل‌های متصل به انرژی‌های تجدیدپذیر فعالیت دارند.

در حوزه ادوات FACTS، این شرکت با تولید SVC (تحت نام PCS-9850)، STATCOM (بر پایه مبدل‌های چند سطحی H-bridge و سه سطحی تحت نام PCS-9583)، جبران سازی سری (تحت نام PCS-9570 برای رنج ولتاژهای kV [66-1000])، UPFC (مبتنی بر ساختارهای مدولار و بر کلیدهای IGBT) و راکتور موازی قابل کنترل (برای کنترل اضافه ولتاژ تحت نام PCS-9578) وارد بازار تجاری شده است. در حوزه خطوط HVDC این شرکت با تولید هر دو نوع خط VSC-HVDC (تحت نام PCS-8100 برای کلیدهای IGBT، PCS-9250 برای فیلترهای DC و PCS-2520 برای فیلترهای AC و PCS-9550 برای کنترل و حفاظت) وارد بازار شده است.

این شرکت در حوزه مبدل‌های متصل به انرژی‌های تجدیدپذیر با ارائه محصولاتی برای توربین بادی، مبدل‌های BESS و مبدل‌های متصل به PV وارد بازار شده است. در حوزه PV این شرکت محصول PCS-9563 که امکان کنترل PQ کنترل ولتاژ و فرکانس شبکه، امکان فعالیت ضمن خطا و تشخیص خطا و بهره‌گیری از سامانه‌های مخابراتی برای Remote control را دارد عرضه کرده است.

در حوزه توربین‌های بادی این شرکت محصول PCS-9561 برای ماشین‌های DFIG سرعت متغیر (که از دو مبدل پشت به پشت منبع ولتاژ استفاده می‌کند و ساختار سه سطحی سری شده با فیلتر LCL دارد) عرضه کرده است. در حوزه ذخیره‌سازی انرژی، این شرکت محصول PCS-9567 را برای BESS را که مبدلی دوطرفه و تمام پل است ارائه کرده است. این مبدل قادر به فعالیت دوطرفه و جذب و تزریق توان راکتیو است و بازدهی بالای ۹۷٪ دارد و THD جریانی آن کم‌تر از ۱/۲٪ است. این مبدل توانمندی فعالیت در دماهای مابین [-20,60] درجه سانتیگراد را دارد.

در حوزه مبدل‌های نیروگاهی نیز این شرکت هر دو مبدل فرکانس و مبدل تحریک استاتیک را می‌سازد. در حوزه مبدل‌های فرکانس، این شرکت مبدل تریستوری PCS-9575 ۱۲ پالسه را می‌سازد. در حوزه مبدل‌های تحریک استاتیک نیز

<sup>1</sup> <http://www.nrec.com/en/>

این شرکت محصول PCS-9400 را می‌سازد که میتواند ظرفیت جریانی خروجی [100-7000] و ولتاژ [100-7000] را داشته باشد. این مبدل ها نیز ساختار یکسوکننده تریستوری ۱۲ پالسه را دارد.

## مراجع

- [۱] B. Drury, "Power Electronics: A strategy For success," D. f. B. I. Skills, Ed., ed. UK, 2011.
- [۲] D. o. E. C. Change, "Digest of UK energy statistics (DUKES)," D. o. E. C. Change, Ed., ed. UK, 2013.
- [۳] Available: <http://www.alstom.com/grid/products-and-services/engineered-energy-solutions/>
- [۴] *Emerson AC Drives*. Available: <http://www.emersonindustrial.com/en-US/controltechniques/products/acdrives/Pages/acdrives.aspx>
- [۵] *Siemens Energy Products & Solutions*. Available: <http://www.energy.siemens.com/hq/en/>
- [۶] I. M. o. S. a. Technology, "Universities and centers of higher education in the UK," I. M. o. S. a. Technology, Ed., ed, 2013.
- [۷] E. I. Administration, "Electricity Data," U. S. D. o. Energy, Ed., ed, 2013.
- [۸] I. M. o. S. a. Technology, "Universities and centers of higher education in the US," I. M. o. S. a. Technology, Ed., ed, 2013.
- [۹] E. D. E. Reliability, "Power Electronics Research and Development Program Plan," U. S. D. o. Energy, Ed., ed, 2011.
- [۱۰] G. o. I. Ministry of Power. (2013). *Indian Electricity Statistics*. Available: <http://powermin.nic.in/Overview-0>
- [۱۱] I. M. o. S. a. Technology, "Universities and centers of higher education in the India," I. M. o. S. a. Technology, Ed., ed, 2013.



## فهرست مطالب

## ۱- فصل اول: ادبیات تدوین چشم انداز و اهداف کلان ..... ۲

۱-۱- مقدمه ..... ۳

۱-۲- چشم انداز پردازی ..... ۳

۱-۲-۱- چشم انداز در مدل های تدوین راهبرد بنگاه ..... ۴

۱-۲-۱-۱- مدل دیوید ..... ۴

۱-۲-۱-۲- مدل پاتریک لوئیس ..... ۵

۱-۲-۱-۳- مدل آلیسون ..... ۵

۱-۲-۱-۴- مدل مک میلان ..... ۵

۱-۲-۲- مطالعات تطبیقی چشم انداز در اسناد ملی فناوری های راهبردی ..... ۶

۱-۲-۲-۱- مطالعات تطبیقی داخلی ..... ۶

۱-۲-۲-۲- مطالعات تطبیقی خارجی ..... ۸

۱-۲-۳- روش پیشنهادی ترسیم چشم انداز توسعه فناوری ..... ۹

۱-۳- هدف گذاری کلان ..... ۱۲

۱-۳-۱- هدف گذاری بنگاهی ..... ۱۲

۱-۳-۲- مطالعات تطبیقی ..... ۱۴

۱-۳-۳- روش پیشنهادی تبیین اهداف کلان توسعه فناوری ..... ۱۶

## ۲- فصل دوم: تدوین چشم انداز و اهداف کلان توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق

..... ۱۹

۱-۲- مقدمه ..... ۲۰

۱-۲-۲- بررسی الزامات سیاست های بالادستی ..... ۲۰

۱-۲-۲-۱- بررسی الزامات سیاست های کلی نظام ..... ۲۱

- ۲۵ ..... ۲-۲-۲- جمع بندی اسناد
- ۲۶ ..... ۳-۲-۳- نتایج مطالعات تطبیقی
- ۲۷ ..... ۲-۳-۱- مطالعه کشور آمریکا
- ۲۸ ..... ۲-۳-۲- مطالعه کشور انگلیس
- ۳۰ ..... ۲-۳-۳- مطالعه کشور هند
- ۳۲ ..... ۲-۴- نظرات خبرگان و متخصصان
- ۴۱ ..... ۲-۵- چشم انداز و اهداف کلان توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در کشور
- ۴۳ ..... نتیجه گیری
- ۴۴ ..... مراجع



## فهرست اشکال

- شکل (۱-۱): روش شناسی چشم انداز پردازی ..... ۹
- شکل (۲-۱): روش تدوین اهداف کلان ..... ۱۸
- شکل (۱-۲): سطح بندی مستندات مرتبط با توسعه فناوری های تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق ..... ۲۱

## فهرست جداول

- جدول (۱-۲): مستندات مرتبط با لزوم توسعه فناوری های تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق ..... ۲۱
- جدول (۲-۲): الزامات قانونی ایجاد شده از منظر اسناد بالادستی ..... ۲۵
- جدول (۳-۲): نظرات متخصصین پیرامون چشم انداز ۱۰ ساله فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق.. ۳۳

## مقدمه

به منظور ترسیم آینده‌ای روشن برای تجهیزات الکترونیک قدرت تحت شمول سند راهبردی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق، در این گزارش با استفاده از مفهوم چشم انداز و بررسی چشم انداز اسناد کشورهای پیشرو و درحال توسعه در این زمینه، به ترسیم چشم انداز مطلوب و معقول پرداخته شده است. لذا پس از ارائه مرور ادبیات تدوین چشم انداز و اهداف کلان در فصل اول، در فصل دوم با استفاده از الگوهای اخذ شده از مطالعات تطبیقی و نظرات خبرگان این حوزه و در راستای الزامات اخذ شده از اسناد بالادستی برای این سند، به جمع بندی و تدوین چشم انداز تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق پرداخته شده است.

# ۱- فصل اول: ادبیات تدوین چشم

## انداز و اهداف کلان

## ۱- فصل اول: ادبیات تدوین چشم انداز و اهداف کلان

### ۱-۱- مقدمه

در این فصل با استفاده از مفهوم چشم اندازپردازی به شناسایی مدل‌های مختلف آن به عنوان بخشی از فرآیند تدوین راهبرد می‌پردازیم و همچنین نمونه‌هایی از بیانیه چشم‌اندازهای استفاده شده در اسناد ملی سایر کشورها و چشم‌انداز سایر صنایع کشور را بررسی می‌نماییم. سپس با استفاده از بررسی این تعاریف و مطالعات تطبیقی، ویژگی‌های چشم‌انداز توسعه فناوری در سطح ملی را استخراج می‌نماییم. در نهایت با توجه به مدل‌های مختلف چشم‌اندازپردازی مدل منتخب تدوین چشم‌انداز تعیین می‌گردد.

### ۱-۲- چشم‌انداز پردازی

چشم‌انداز عبارتست از تصویر مطلوب (شفاف، واقعی، جذاب و قابل قبول) و آرمان قابل دستیابی در حوزه فناوری که در یک افق زمانی بلندمدت و متناسب با مبانی ارزشی جامعه تعیین می‌گردد. به عبارت دیگر چشم‌انداز، بیان صریح سرنوشتی است که فناوری به سوی آن حرکت می‌کند و تصویر آینده‌ای است که کشور در جستجوی خلق آن است.

بیانیه چشم‌انداز تصویری از وضعیت یک کشور است، زمانی که به اهداف و راهبردهای خود در یک بازه‌ی زمانی دست یافته باشد. این بیانیه به نحوی تنظیم می‌شود که چالش‌های راهبردی و هدف‌های تعیین شده کیفی در سند، ارتباط مستقیم و معناداری با یکدیگر داشته باشند؛ نیازهای جامعه را در آینده و حال، به‌عنوان هماهنگی بین جامعه و تصویر آینده در بیان کلمات و جملات یکسان نماید؛ و از کلمات و جملات آرمانی، قابل دست یافتنی، ارزشی، مقدس و نهادینه برای عبارت‌پردازی سند استفاده نماید.

چشم‌انداز فناوری اگر به صورت دقیق، جامع و آینده‌نگرانه تعریف شده باشد، می‌تواند مسیر توسعه فناوری را همواره هدفمند و جهت دار نماید و مانند چراغی در افق بلندمدت، فرا روی کنش‌گران مختلف (دولت، صنعت، دانشگاه) قرار گیرد. آگاهی کامل سیاست‌گذاران به چشم‌انداز فناوری نیز می‌تواند آنها را در اتخاذ تصمیمات کلیدی و سیاست‌های اثرگذار یاری دهد.

از منظر چشم‌انداز، اکثر مدل‌های تدوین راهبرد ملی دارای گام تدوین چشم‌انداز مشخص و صریح می‌باشند. لکن برخی مدل‌ها نیز وجود دارند که به مراتب به وجود چنین عنصری در برنامه‌ریزی راهبردی ملی اشاره نکرده ولی به تدوین اهداف بلندمدت پرداخته‌اند. ضرورت تدوین چشم‌انداز در اسناد ملی توسعه فناوری از این بابت است که تعهد، انگیزه، هیجان و انرژی را در میان کنش‌گران دخیل در توسعه فناوری افزایش داده و مقصدی را برای رسیدن ترسیم می‌نمایند. چشم‌انداز یک رکن جهت‌ساز کلان، ساده، و قابل انتقال را ترسیم کرده تا راهنمای گام‌های مختلف انتخاب، اکتساب، و سیاست‌گذاری فناوری باشد. در ادبیات مدیریت راهبردی، چشم‌انداز بر اساس مدل‌های مختلفی (به‌عنوان بخشی از فرایند تدوین راهبرد) تعریف شده است. اگرچه غالب این مدل‌ها برای تدوین راهبرد در سطح بنگاه طراحی شده‌اند، اما می‌توان نتایج حاصل از بررسی این تعاریف متفاوت را برای طراحی چشم‌انداز در سطح ملی استفاده نمود. برای این منظور، در زیر چهار نوع از مدل‌های تدوین راهبرد بنگاه که به تعریف چشم‌انداز پرداخته‌اند، و نیز چهار بیانیه چشم‌انداز استفاده شده در اسناد ملی دیگر کشورها بررسی می‌گردد. از بررسی این تعاریف و مطالعات تطبیقی، ویژگی‌های چشم‌انداز توسعه فناوری در سطح ملی استخراج می‌گردد.

### ۱-۲-۱- چشم‌انداز در مدل‌های تدوین راهبرد بنگاه

در این قسمت، به بررسی مدل‌های تدوین چشم‌انداز که در ادبیات بنگاهی توسعه پیدا کرده‌اند پرداخته می‌شود. بررسی این مدل‌ها به کسب بینش نسبت به چگونگی چشم‌انداز پردازی در سطح ملی کمک می‌کند.

#### ۱-۱-۲-۱- مدل دیوید

بر اساس این مدل، بیانیه چشم‌انداز در بنگاه‌ها بر اساس پاسخ به سوال «ما چه می‌خواهیم بشویم و به کجا می‌خواهیم برسیم؟» توسعه داده می‌شود. بیانیه چشم‌انداز باید کوتاه، و ترجیحاً یک جمله باشد، و از همه ذینفعان یک‌ه ممکن است ورودی و اطلاعاتی برای تدوین آن در اختیار داشته باشند، استفاده شود. برای مثال، چشم‌انداز یک موسسه حسابداری مدیریت عبارتست از: «رهبری جهانی در آموزش، تاییدکننده و گواهی دهنده، و اجرای حسابداری مدیریت و مدیریت مالی».

بر اساس نظر دیوید، چشم‌انداز به‌عنوان یکی از فرایندهای ابتدایی در تدوین راهبرد، بعنوان ورودی‌های اولیه و عناصر بالادست در تمام قدم‌های این فرآیند نقش ایفا می‌نماید [1]. تدوین چشم‌انداز نیز با بررسی محیط داخل و خارج و نیز با دریافت بازخورد از تمام مراحل برنامه‌ریزی راهبردی صورت می‌پذیرد.

### ۱-۲-۱-۲- مدل پاتریک لوئیس

چشم انداز به سوال «چه چیزی می‌خواهیم ایجاد کنیم» پاسخ می‌دهد و یک تصویر ایده آل، واحد و جذاب از آینده ترسیم می‌نماید. چشم‌انداز تصویر جذابی از وعده‌هایی است که شور و اشتیاق و هیجان را در افراد و هنگام کار القا و الهام می‌کند. به زبان ساده چشم‌انداز مشترک، یک تصویر شفاف و مورد تأیید ذینفعان می‌باشد که آینده را مشخص می‌کند. به منظور مشخص و روشن نمودن و نیز تعریف فردای جدید، چشم‌انداز ساختاری را که راهنمای تمام تصمیم‌گیری‌ها، برنامه‌ریزی‌ها و کارها باشد، فراهم می‌آورد. چشم انداز برای رسیدن به آینده‌ای که معمولاً کمی دورتر از دسترس می‌باشد، بر روی قوت‌های سازمانی و منابعی که باید توسعه بیابند تمرکز میکند. چشم انداز یک نیروی محرک است که باعث یک تلاش و جستجوی بی پایان برای موفقیت و برتری می‌شود.

### ۱-۲-۱-۳- مدل آلیسون

در این مدل، چشم‌انداز تصویر راهنمای موفقیت است [3]. بیانیه چشم‌انداز به سوال «موفقیت چگونه است و شبیه چیست؟» جواب می‌دهد. چشم‌انداز باید گروه‌ها را به مبارزه و چالش بطلبد تا قابلیت‌هایشان را گسترش دهند و به اهدافشان برسند. آلیسون در فرآیندی که برای مدیریت راهبردی طراحی نموده است، جایگاهی مشابه با دیوید برای تدوین ماموریت و چشم‌انداز قائل شده‌اند. او معتقد است که پس از کسب آمادگی و حصول مقدمات اولیه برنامه‌ریزی، اولین گام در فرآیند اصلی تدوین استراتژی (بعنوان رکن جهت‌ساز) باید تدوین چشم‌انداز مطلوب و آرمان باشد. از نظر وی، بیانیه چشم‌انداز موثر باید هم چشم‌انداز داخل و هم چشم‌انداز خارجی را در نظر بگیرد. چشم‌انداز خارجی بر روی اینکه اگر بنگاه به اهدافش برسد جهان چگونه بهبود می‌یابد، تغییر می‌کند و متفاوت می‌شود، تمرکز دارد. هنگامی که چشم‌انداز خارجی بیان نمود که بنگاه چگونه برنامه‌ای برای تغییر جهان دارد، چشم‌انداز داخلی تعیین می‌شود. در این مدل پیش نویس بیانیه چشم‌انداز با ایده‌ها و نگرشی که از بحث‌ها و گفتگوها بیرون می‌آید و نیز احساس و بینش مشترکی که از مسیر (جهت) و انگیزه ایجاد می‌شود، آغاز می‌گردد. تمامی ذینفعان باید در طوفان فکری ابتدایی و نیز بعضی از گفتگوها حاضر باشند.

### ۱-۲-۱-۴- مدل مک‌میلان

چشم انداز تصویر ذهنی قوی از آنچه که ما در آینده می خواهیم بشویم، می باشد. چشم انداز ریشه در واقعیت دارد اما روی آینده تمرکز می نماید. تدوین چشم انداز، فرآیندی شامل روشن نمودن ارزش ها، تمرکز بر روی مأموریت و گسترش افق با استفاده از بیانیه چشم انداز می باشد. تدوین چشم انداز، راه و روش های خلاقانه برای چالش های کسب و کار فراهم می آورد و جرقه ارزیابی و یادگیری پیوسته در سازمان را بوجود می آورد.

از نظر وی دلایل تدوین چشم انداز سازمان عبارتند از: هماهنگی و متناسب کردن کار افراد مختلف، کمک به همه برای تصمیم گیری، ایجاد اصول و پایه ای برای برنامه ریزی کسب و کار، به چالش کشیدن اوضاع راحت و غیر ایده آل شرایط فعلی، و ایجاد رفتارهای متناجس و موافق در افراد به صورت قابل توجه.

### ۱-۲-۲- مطالعات تطبیقی چشم انداز در اسناد ملی فناوری های راهبردی

در کنار بررسی مدل هایی که در به صورت تئوریک بر موضوع تدوین چشم انداز تمرکز داشتند، در این قسمت به چشم اندازهای موجود در اسناد راهبردی داخلی و خارجی پرداخته می شود. آشنایی با این بیانیه ها و نیز مولفه های مورد توجه در هر یک می تواند به تعیین ویژگی های چشم انداز توسعه یک فناوری در سطح ملی کمک نماید.

### ۱-۲-۲-۱- مطالعات تطبیقی داخلی

بررسی چشم انداز پردازی در اسناد ملی داخلی بخش اول از مطالعات تطبیقی هستند.

#### چشم انداز بخش انرژی باد

جمهوری اسلامی ایران پیش از در نصب و راه اندازی نیروگاه های بادی بومی و توسعه فناوری و کسب و کارهای دانش بنیان رقابت پذیر در منطقه، به طوری که در افق ۱۴۰۴ بتواند بر اساس شاخص های دستیابی به فناوری در این زمینه برترین کشور در منطقه قلمداد گردد.

#### چشم انداز فناوری نانو



برای تحقق چشم‌انداز بیست‌ساله جمهوری اسلامی ایران، جنبش نرم‌افزاری و بهبود سطح، کیفیت، و امنیت زندگی مردم، در

افق ده‌ساله، جمهوری اسلامی ایران کشوری است توسعه یافته در فناوری نانو:

- با زیرساخت‌های بومی و پیشرفته و دارای سهم برتر منابع انسانی متخصص
- دارای تعاملات داخلی و بین‌المللی موثر و سازنده
- مولد ارزش افزوده‌ی اقتصادی حاصل از فناوری نانو
- دارای توان رقابت در سطح جهان

### چشم‌انداز فناوری پیل سوختی

با اتکا به خداوند متعال و در راستای تحقق چشم‌انداز بیست ساله کشور و با تلاش نظام‌مند ذی‌نفعان این فناوری در یک دوره پانزده ساله، جمهوری اسلامی ایران بر مبنای شاخص‌های بین‌المللی توسعه فناوری، جزء پنج کشور توسعه یافته، توانمند و صاحب فناوری قاره آسیا و اولین کشور منطقه در زمینه طراحی، تولید، ارتقاء و بکارگیری فناوری پیل‌های سوختی راهبردی خواهد شد.

### چشم‌انداز فناوری سلول‌های بنیادی

با الهام از اهداف سند چشم‌انداز جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۰۴ و در راستای ارتقای سطح زندگی و سلامت جامعه، ایران کشوری توسعه یافته در زمینه‌ی علم و فناوری سلول‌های بنیادی و زیرساخت‌های بومی، و دارای سهم موثر در تولید دانش و فناوری، توسعه سرمایه انسانی و فیزیکی، ایجاد ارزش افزوده، افزایش توان رقابت و تعامل در سطح جهانی خواهد بود.

### چشم‌انداز فناوری اطلاعات

فناوری اطلاعات عامل پیشران در توسعه ملی دانش پایه، خلق‌کننده ارزش، فراهم‌کننده فرصت‌های امن و عادلانه برای همه ایرانیان؛ شکل‌دهنده مدیریت دانش و جامعه شبکه‌ای هوشمند متکی بر هویت ایرانی-اسلامی و کانون پیشرفته‌ی فناوری اطلاعات در منطقه جهت نیل به اهداف چشم‌انداز ۱۴۰۴ هجری شمسی است.

### چشم‌انداز فناوری‌های زیستی

▪ ارتقای سطح علمی و دانش فنی زیست‌فناوری کشور و کسب سهم علمی شایسته در عرصه جهانی

- ارتقای سهم شایسته زیست‌فناوری در توسعه بخش کشاورزی، محیط‌زیست، بهداشت و درمان، صنعت و معدن
- کسب مقام پیشتازی در زیست‌فناوری در سطح منطقه
- بهبود کمی و کیفی فرآورده‌های کشاورزی اعم از گیاه، دام، و طیور برای رسیدن به خودکفایی نسبی
- همکاری با جامعه جهانی برای توسعه زیست‌فناوری در کشور و استفاده صلح‌آمیز از این فناوری نوین

### ۱-۲-۲- مطالعات تطبیقی خارجی

قسمت دوم مطالعات تطبیقی، بررسی چشم‌انداز در تجارب سندنویسی سایر کشورها است.

#### چشم‌انداز فناوری نانو در آفریقای جنوبی

ساخت جامعه‌ای کامیاب که به دنبال بهره‌برداری از علم و فناوری برای دستیابی به منافع پایدار و برابر در میان اعضای خود است.

#### چشم‌انداز توسعه خودروهای الکتریکی در کانادا

تا سال ۲۰۱۸، ۵۰۰۰۰۰ دستگاه خودروی الکتریکی در جاده‌های کانادا خواهد بود. این خودروها باید از لحاظ قطعات داخلی و ساخت و تولید، بومی باشند، حتی بیشتر از سایر وسایل نقلیه تولیدی کانادا در سال ۲۰۰۸.

#### چشم‌انداز فناوری پیل سوختی در ایالات متحده

دستیابی به آینده‌ای روشن برای ملت، که در آن انرژی حاصل از هیدروژن و فناوری پیل سوختی، نیرویی پاک، کافی، مطمئن، اقتصادی، و به‌عنوان جزء جدایی ناپذیری از تمام صنایع و بخش‌ها در کلیه مناطق کشور باشد.

#### چشم‌انداز انرژی هیدروژن و فناوری پیل سوختی در چین

در چشم‌انداز کشور چین، گذار به اقتصاد هیدروژنی در سه مرحله زیر صورت می‌گیرد:

- تحقیق و توسعه و پروژه‌های نمایشی (تا سال ۲۰۲۰): حمایت کامل دولت از تحقیق و توسعه در انرژی هیدروژن و

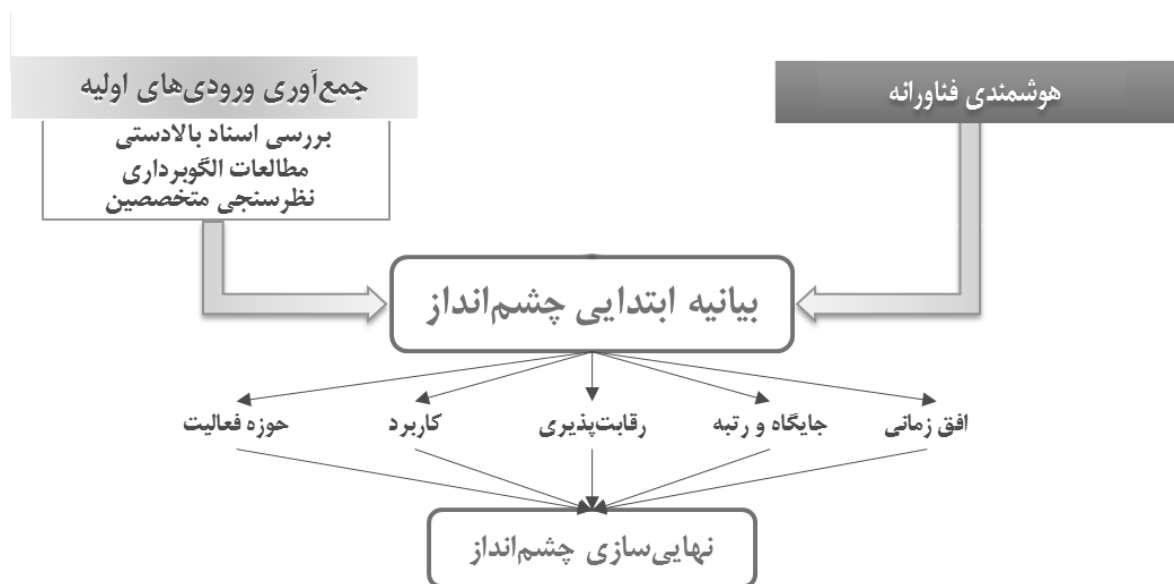
فناوری پیل سوختی

- ورود به بازار (۲۰۲۰-۲۰۵۰): دستیابی جامعه به انرژی هیدروژن و فناوری پیل سوختی به صورت کاربردی

▪ اقتصاد هیدروژنی (۲۰۵۰ و بعد): فراهم آوردن انرژی هیدروژن و فناوری پیل سوختی به صورت قابل رقابت با سایر گونه‌های انرژی و مورد قبول جامعه

### ۱-۲-۳- روش پیشنهادی ترسیم چشم‌انداز توسعه فناوری

با بررسی مدل‌های تدوین چشم‌انداز بنگاهی و نیز کسب آگاهی از مطالعات تطبیقی صورت پذیرفته، ترسیم افق چشم‌انداز در چهار مرحله‌ی زیر به انجام می‌رسد. (شکل ۱-۱)



شکل (۱-۱): روش شناسی چشم‌انداز پردازی

### ۱) جمع‌آوری ورودی‌های اولیه ترسیم چشم‌انداز

جمع‌آوری ورودی‌های لازم برای ترسیم چشم‌انداز از راه‌های زیر صورت می‌پذیرد:

▪ بررسی اسناد بالادستی: پیش از شروع هر بحث دیگر تدوین چشم‌انداز، ضروری است تا با بررسی اسناد بالادستی، طرح‌ها و راهبردهای کلان تدوین شده در سطوح بالاتر، و اصول ارزشی توسعه فناوری موجود در جامعه، تصویری از بستر فعلی و نگاه‌های آینده پیرامون فناوری حاصل گردد. این تصویر در شکل‌دادن به مولفه‌های چشم‌انداز نقش مهمی بر عهده دارد.

- نظرسنجی کارشناسی: بیان یک نتیجه برپایه یک مجموعه شواهد یا انتظارات از آینده که از اطلاعات و منطق افراد آشنا با موضوع مورد نظر حاصل می‌شود، یکی دیگر از راه‌های تامین ورودی‌های لازم برای ترسیم افق چشم‌انداز است. اندیشه‌ها و تفکرات خبرگان حوزه فناوری از آینده پیش رو سهم قابل توجهی در ترسیم چشم‌انداز دارد.
- مطالعات الگوبرداری: استفاده از تجارب دیگر کشورها در زمینه توسعه فناوری‌های راهبردی روشی دیگر در ترسیم چشم‌انداز است. در این زمینه می‌توان از آینده‌های ترسیم شده در سایر کشورها، مانند هدف‌گذاری‌های بلندمدت، حوزه‌های کاربردی قابل تاکید، و غیره برای تعیین افق چشم‌انداز داخلی بهره برد.

## ۲) تدوین بیانیه اولیه چشم‌انداز

بیانیه اولیه چشم‌انداز توسط تحلیل‌گران و مشاوران تهیه می‌شود. در این مرحله بر مبنای ورودی‌های حاصل از مراحل قبل (هوشمندی فناورانه، اطلاعات اولیه، اصول ارزشی)، به ترسیم افق چشم‌انداز در چارچوب اصول ارزشی تدوین شده پرداخته می‌شود. با بررسی مدل‌های تدوین چشم‌انداز بنگاهی و نیز با بهره‌گیری از مطالعات تطبیقی تدوین چشم‌انداز، لازم است تا به مولفه‌های ضروری چشم‌انداز و نیز ویژگی‌های افق چشم‌انداز در سطح ملی توجه شود. بر این اساس، ویژگی‌های یک چشم‌انداز توسعه فناوری در سطح ملی به شرح زیر است:

- تدوین چشم‌انداز باید با بررسی محیط داخل و خارج و نیز با دریافت بازخورد از تمام مراحل برنامه‌ریزی راهبردی صورت گیرد.
- چشم‌انداز باید به تصویری شفاف و مورد تایید همه ذینفعان منجر شود.
- چشم‌انداز باید در رسیدن به آینده‌ای که معمولاً کمی دورتر از دسترس می‌باشد، بر روی قوتها و منابعی که باید توسعه بیابند تمرکز کند.
- در تدوین چشم‌انداز هم باید بر چگونگی تغییر محیط در خارج (چشم‌انداز خارجی) و نیز تصویر مطلوب در محیط داخل (چشم‌انداز داخلی) تمرکز صورت پذیرد.

همچنین، یک افق چشم‌انداز ملی باید دربرگیرنده‌ی مولفه‌های زیر باشد<sup>۱</sup>:

- درنظرگیری بعد زمان و افق برنامه‌ریزی برای ایده‌آل‌های ذکر شده در بیانیه چشم‌انداز
- اشاره به جایگاه و رتبه‌ی عددی توانمندی فناورانه در منطقه و جهان
- ذکر اهداف بالادستی تعیین شده در اسناد قبلی
- درنظرگیری ملاحظات اصول ارزشی
- توجه به سطح رقابت‌پذیری فناوری تولیدی
- تعیین حوزه‌ی کاربرد فناوری منتخب
- اشاره به نتایج کلی سیاسی، اجتماعی، اقتصادی، و زیست‌محیطی حاصل از توسعه
- تعریف کلی حوزه فعالیت (طراحی، تولید، بکارگیری)

### ۳) تایید و نهایی‌سازی بیانیه اولیه چشم‌انداز

چشم‌انداز تعریف شده توسط تحلیل‌گران و مشاوران در مرحله قبل باید برای نهایی شدن به تایید کمیته راهبری مسئول توسعه فناوری، متشکل از خبرگان صنعت، دولت و دانشگاه برسد. این تایید علاوه بر نمایش صحت آینده ترسیم شده، به همگرا شدن نظرات خبرگان در مورد هریک از مولفه‌های آینده فناوری نیز منجر می‌شود.

### ۴) دریافت بازخورد از سایر مراحل

ترسیم چشم‌انداز باید در تعامل با گام‌های بعدی صورت پذیرد. به عبارت دیگر، چشم‌انداز تعریف شده در این بخش بدون دریافت بازخورد از سایر گام‌ها می‌تواند ماهیتی خارج از واقعیت و غیرعملیاتی داشته باشد. بنابراین در این گام لازم است تا چشم‌انداز اولیه تعریف شده با انجام هر گام (تعیین راهبردهای کلان، تحلیل عملکرد، و وضع سیاست‌ها) مورد بازنگری قرار گرفته و تغییرات لازم در مولفه‌های آن صورت پذیرد.

۱. یک بیانیه چشم‌انداز لزوماً دربرگیرنده‌ی تمام این مولفه‌ها نیست. این‌ها درحقیقت مجموعه مولفه‌هایی هستند که وجود بعضی از آن‌ها مانند افق چشم‌انداز در بیانیه ضروری و اشاره به بعضی دیگر مانند جایگاه فناوری اختیاری است.

### ۱-۳- هدف گذاری کلان

یکی دیگر از گام‌های اساسی در تعیین جهت‌گیری‌های کلان، تدوین اهداف توسعه در راستای چشم‌انداز تعریف شده است. این هدف‌گذاری در سطح کلان به منظور شفاف نمودن مسیر نیل به چشم‌انداز انجام می‌گیرد. در حقیقت اهداف مذکور، پاسخگوی یک سؤال اساسی است با عنوان "برای رسیدن به چشم‌انداز در افق زمانی تعیین شده، به چه مقاصدی باید دست یافت؟". با تعیین این اهداف در مسیر دستیابی به چشم‌انداز، کنش‌گران دخیل در نظام توسعه فناوری، اهدافی بلندمدتی را دنبال می‌کنند و در نتیجه، برنامه‌ریزی‌ها، تصمیم‌گیری‌ها و فعالیت‌های خود را براساس آن به صورت دقیق‌تر و با جزئیات بیشتر انجام دهند.

در مدل پیشنهادی برای تدوین اسناد راهبردی توسعه فناوری، تدوین اهداف با دو رویکرد بالا-به-پایین و پایین-به-بالا صورت می‌پذیرد. رویکرد بالا-به-پایین رویکردی هدف محور است که به دنبال ترسیم یک آینده مطلوب برای توسعه فناوری است. در طرف مقابل، رویکرد پایین-به-بالا نگاهی مسئله‌محور<sup>۱</sup> به توسعه فناوری دارد. با استفاده از این رویکرد ترکیبی، از یک طرف همراستایی اهداف با چشم‌اندازهای کلان ملی و سایر ارکان جهت‌ساز بالادستی حفظ شده، و از طرف دیگر، تمام مسایل و مشکلات موجود در مسیر توسعه فناوری نیز مورد هدف تحلیل و بررسی قرار می‌گیرند. در این بخش، فرایند تدوین اهداف کلان با نگاهی بالا-به-پایین صورت می‌گیرد. این اهداف در راستای چشم‌انداز و با تعریف حوزه‌های هدف مشخص می‌شوند. علاوه بر حوزه‌های هدف که بیان‌کننده ابعاد اهداف تعریف شده است، کیفیت آن‌ها نیز باید با مشخص نمودن ویژگی‌های اهداف معین شود. به منظور تعیین کردن حوزه‌ها و ویژگی‌های ضروری هدف، همانند تدوین چشم‌انداز، به بررسی هدف‌گذاری در سطح بنگاه، مطالعات تطبیقی داخلی و مطالعات تطبیقی خارجی پرداخته می‌شود.

### ۱-۳-۱- هدف گذاری بنگاهی

در منابع برنامه‌ریزی راهبردی در سطح بنگاه، مطالعات مختلفی با موضوعیت تدوین حوزه‌های اهداف تعیین شده است. در زیر به طور خلاصه به بررسی این مدل‌ها پرداخته می‌شود:

<sup>۱</sup>Issue-based

### حوزه‌های اهداف در مدل کارت امتیازی متوازن [۴]

- منظر مالی (سودآوری، رشد در آمد، و افزایش بهره وری)
- منظر مشتری (تعین مشتریان مخاطب، تعیین ارزش‌های پیشنهادی بنگاه با توجه به مشتریان)
- منظر فرایندهای داخلی (روابط با تأمین کنندگان، تصمیم‌گیری درمورد توسعه محصولات و خدمات جدید، خدمات پس از فروش، و مهندسی مجدد فرایندهای تولید)
- منظر یادگیری و رشد (رضایت کارکنان، فضای مناسب کاری، دسترسی به سیستم‌های اطلاعاتی لازم، برنامه‌های آموزش کارکنان)

### حوزه‌های اهداف در مدل پیرس و رایبسون [۲]

توجه به مشتری، نوآوری، بهره‌وری، توجه به بخش مالی، منابع انسانی، لحاظ کردن محیط خارجی

### حوزه‌های اهداف براساس مدل ترکیبی فیلیس

- بازار (سعی در حفظ سهم بازار فعلی، افزایش صادرات)
- نوآوری (بالا بردن توان نوآوری و طراحی محصول)
- بهره‌وری (بهبود کیفیت محصولات تولیدی، افزایش بهره‌وری واحدهای تولیدی و خدماتی شرکت)
- منابع مالی (استفاده بهینه از منابع مالی شرکت و خارج از شرکت برای تأمین اهداف بازار)
- منابع انسانی (ایجاد انگیزه برای ارائه کار بهتر)
- مسئولیت‌های اجتماعی (حفظ محیط زیست و حفظ ایمنی و بهداشت محیط کار)
- منابع اولیه (تلاش برای تأمین مواد اولیه مورد نیاز از داخل کشور)

### حوزه‌های اهداف براساس مدل دکتر اعرابی<sup>۱</sup>

- سودآوری
- بهره‌وری (ساده‌سازی رویه‌ها و سیستم‌ها بر مبنای استانداردهای جهانی)
- موضع رقابتی (ارتقای نقش و جایگاه در اقتصاد ملی، توسعه همکاری‌های بین‌المللی و منطقه‌ای)
- پیشرفت کارکنان (سرمايه‌گذاري در نیروی انسانی و ظرفیت‌سازی)
- روابط کارکنان

۱. این مدل در مورد تدوین استراتژی گمرک ایران مورد استفاده قرار گرفته است.

▪ رهبری فناورانه  
▪ مسئولیت اجتماعی (جلب رضایت، اعتماد و مشارکت خدمت‌گیرندگان)  
علاوه بر حوزه‌های هدف ذکر شده، ویژگی‌هایی نیز برای اهداف در سطح بنگاه نیز در ادبیات اشاره شده است. این ویژگی‌ها عبارتند از:

- قابل کاربرد بودن؛
- قابل اندازه‌گیری بودن؛
- در نظر داشتن محدودیت منابع؛
- قابل دستیابی بودن؛
- مشخص بودن؛
- قابلیت انعطاف داشتن؛
- واقع‌گرایانه بودن؛
- قابل قبول بودن؛
- و محدود به زمان بودن.

### ۱-۳-۲- مطالعات تطبیقی

در این قسمت به هدف رسیدن به تصویری از جنس اهداف کلان تبیین شده در اسناد ملی فناوری‌های راهبردی، مطالعه‌ی تطبیقی برای دو فناوری در داخل (نانو و پیل سوختی)، یک بخش در داخل (بخش انرژی باد) و نیز دو فناوری در خارج (نانو آفریقای جنوبی و پیل سوختی ایالات متحده) صورت می‌پذیرد.

### اهداف کلان فناوری نانو در ایران

- دستیابی به سهم مناسبی از تجارت جهانی با استفاده از فناوری نانو
- ایجاد زمینه مناسب برای بهره‌مندی از مزایای فناوری نانو در جهت ارتقای کیفیت زندگی مردم
- نهادینه شدن توسعه پویا و پایدار علوم، فناوری، و صنعت نانو

### اهداف کلان فناوری پیل سوختی در ایران

- طراحی، تولید و ارتقا فناوری پیل‌های سوختی راهبردی در بازارهای رقابتی داخل و خارج از کشور با رعایت اولویت‌های بازار تقاضا



- بسط و توسعه سرمایه‌گذاری در صنعت توسعه پیل‌های سوختی راهبردی و فناوری‌های کلیدی آن با تاکید بر نقش بخش خصوصی، تکیه بر مزیت‌های رقابتی، ایجاد اشتغال و رویکرد صادرات (تحریک طرف عرضه)
- ایجاد و گسترش ظرفیت‌های به‌کارگیری و بهره‌برداری از فناوری پیل سوختی راهبردی در داخل و خارج از کشور با ایجاد بهره‌گیری از سازوکارهایی مانند احتساب هزینه‌های واقعی انرژی، توسعه بازارهای ویژه در کشور، و وضع قوانین موردنیاز (تحریک طرف تقاضا)

### اهداف کلان بخش انرژی باد ایران

- افزایش سهم نیروگاه‌های بادی متناسب با افزایش میزان نصب انواع نیروگاه‌ها در کشور با تأمین حداقل ۲۴۵۰۰ مگاوات ظرفیت نصب‌شده در افق چشم‌انداز
- ارتقاء قابلیت اطمینان و امنیت شبکه انرژی از طریق توسعه انرژی بادی و ایجاد تنوع در سبد انرژی کشور
- بهبود وضعیت زیست‌محیطی کشور از طریق کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی
- افزایش توانمندی‌های فناورانه کشور در حوزه انرژی بادی با رویکرد صادرات فناوری و با تاکید بر توانمندسازی بخش خصوصی
- افزایش حجم سرمایه‌گذاری در توسعه کسب و کارهای دانش‌بنیان و توسعه دانش فنی توسط بخش خصوصی در راستای تولید ثروت

### اهداف کلان فناوری نانو در آفریقای جنوبی

- حمایت از تحقیقات بلندمدت در زمینه علوم نانو که منجر به فهم عمیقی از طراحی، ترکیب، خصوصیت، و مدلسازی از مواد نانو می‌گردد
- حمایت از ساخت تجهیزات جدید و تازه به‌عنوان کاربردی از فناوری نانو در حوزه‌های مختلف
- توسعه منابع انسانی موردنیاز و زیرساخت‌های ضروری توسعه فناوری نانو
- تحریک و حمایت از توسعه در مأموریت‌های فناورانه جدید مانند مواد پیشرفته برای تولید پیشرفته و مواد پیشرفته برای فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات

### اهداف کلان فناوری پیل سوختی در ایالات متحده

- تبدیل به‌موقع و کارای سیستم‌های انرژی ملی و ابقای پیشروی ایالات متحده در فناوری‌های مرتبط با انرژی‌های نو

- حفظ تلاش‌های پویای ایالات متحده در علوم و مهندسی، به‌عنوان اساس موفقیت اقتصادی کشور، با پیشروی در حوزه‌های راهبردی
- بنیان نهادن یک چارچوب عملیاتی و سازگار شده که موفقیت ماموریت تدوین شده را حداکثر نماید با دربرداشتن آینده‌ی مطلوب تمام ذینفعان

### ۱-۳-۳- روش پیشنهادی تبیین اهداف کلان توسعه فناوری

هدف‌گذاری در سطح کلان، با توجه به مقوله چشم‌انداز صورت می‌گیرد. نتایجی را که توسعه فناوری در یک دوره چندساله طی می‌کند اهداف بلندمدت تعیین می‌کنند. روش پیشنهادی زیر می‌تواند برای تدوین اهداف کلان در توسعه فناوری مورد استفاده قرار گیرد.

#### ۱) دریافت ورودی از نظرات خبرگان همراستا با چشم‌انداز، اصول ارزشی، هوشمندی فناورانه

در ابتدا لازم است تا از نظرات خبرگان پیرامون اهداف کلان توسعه فناوری استفاده شود. این کار با برگزاری پنل‌های خبرگی و بحث گروهی میان متخصصین، در چارچوب نتایج حاصل از هوشمندی فناورانه (روندهای رشد و توسعه فناوری در آینده)، تاکید بر مولفه‌های موجود در چشم‌انداز، و در نظر داشتن اصول ارزشی صورت می‌گیرد. در مجموع می‌توان این‌طور بیان نمود که اهداف ترجمه چشم‌انداز در ابعاد مختلف هستند.

#### ۲) تدوین اولیه اهداف کلان بر اساس اطلاعات ورودی

با توجه به نظرات جمع‌آوری شده متخصصین پیرامون اهداف کلان، در این مرحله لازم است تا تحلیل‌گران به پالایش این نتایج با در نظر داشتن دو محور حوزه‌های هدف و ویژگی‌های هدف پردازند. به عبارت دیگر، تحلیل‌گران نظرات خبرگان را در حوزه‌های هدف دسته‌بندی نموده و با در نظر داشتن ویژگی‌های ضروری، آن‌ها را بازنویسی می‌کنند.

حوزه‌های اهداف به معرفی ابعادی می‌پردازند که لازم است تا به آن‌ها پرداخته شود. اگرچه این حوزه‌ها در هر مورد مطالعاتی دارای تفاوت‌ها و دسته‌بندی‌های مختلفی می‌باشد، اما می‌توان یک حالت عمومی برای این حوزه‌ها ارائه نمود. این دسته‌بندی تنها به منظور سامان‌دهی ذهنی برنامه‌ریزان در تدوین اهداف اسناد راهبردی است و الزامی در

پوشش همه‌جانبه آن‌ها در هر مورد مطالعاتی به‌وجود نمی‌آورد. به‌طور کلی چهار حوزه زیر را می‌توان به‌عنوان ابعاد

ضروری تدوین اهداف کلان توسعه فناوری در سطح ملی در نظر داشت:

- موقعیت رقابتی: میزان موفقیت در تسلط نسبی بر بازار، درآمد کل، سهم بازار، سهم صادرات
- ظرفیت‌سازی: رشد و پیشرفت دانش فناوری، توسعه نیروی انسانی متخصص، بهره‌برداری و عملیاتی نمودن دانش به‌فناوری
- مسئولیت اجتماعی: در نظرگیری مسایل زیست‌محیطی، بهبود سطح رفاه اجتماعی، بالابردن رشد اقتصادی، مشروعیت بخشی
- نوآوری: بالابردن توان نوآوری و طراحی محصول و فرایند

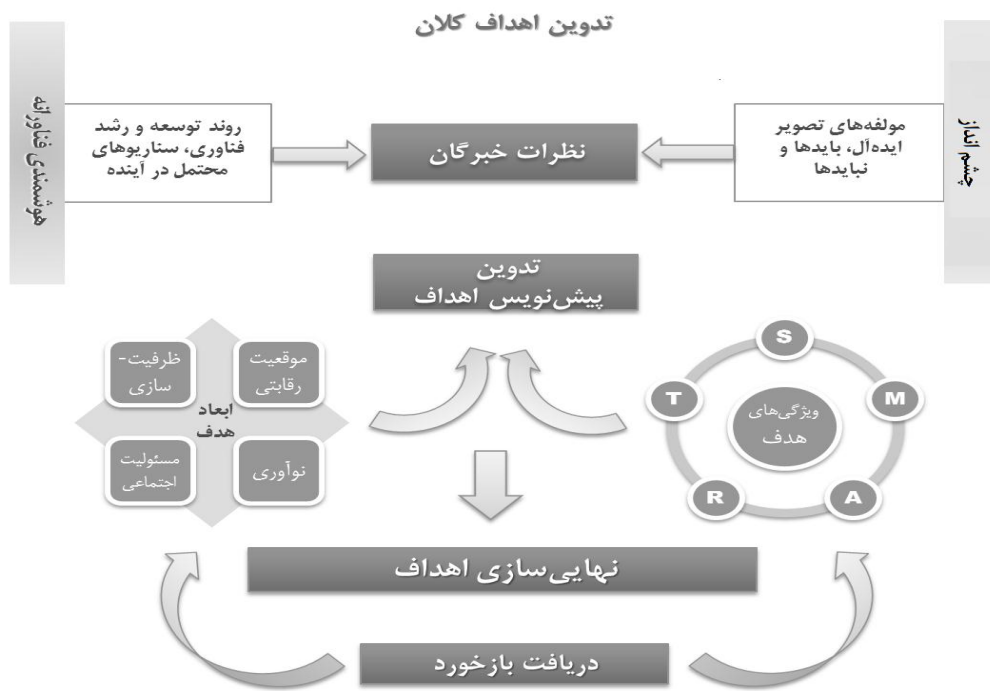
### ۳) تایید و نهایی‌سازی اهداف کلان

اهداف کلان، راهنماهای توسعه در سایر مراحل خواهند بود. بنابراین، اهداف اولیه طراحی شده برای نهایی شدن نیازمند تایید دوباره افراد متخصص هستند. اجرای این مرحله به کاهش خطای ناشی از بازنویسی و پالایش اهداف توسط تحلیل‌گران کمک می‌کند.

### ۴) دریافت بازخورد

از آنجا که تدوین گام‌های مختلف سند در یک فرایند تعاملی به‌وقوع می‌پیوندد، اهداف کلان تدوین شده در این بخش ممکن است با تدوین گام‌های بعدی سند دچار تغییر و اصلاح شوند. تدوین اهداف خرد (اهداف پایین-به-بالا) و دریافت تصویر واقعی‌تر از وضعیت موجود یکی از مهمترین بازخوردهایی است که تواند منجر به بازبینی در اهداف کلان شود.

شکل زیر نمایش گرافیکی مراحل تدوین اهداف کلان را به‌طور خلاصه به‌نمایش می‌گذارد.



شکل (۲-۱): روش تدوین اهداف کلان

۲- فصل دوم: تدوین چشم انداز و  
اهداف کلان توسعه فناوری  
تجهیزات الکترونیک قدرت در  
شبکه برق

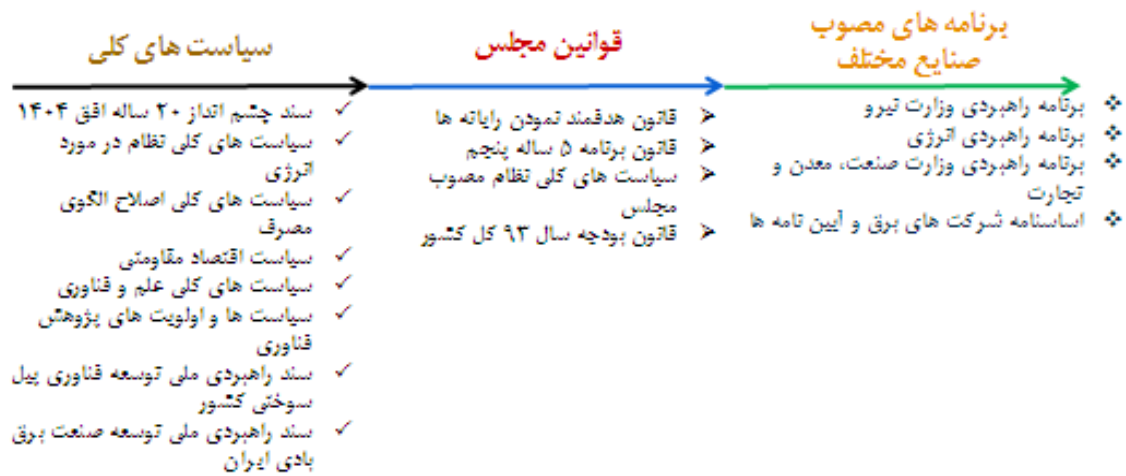
## ۲- فصل دوم: تدوین چشم انداز و اهداف کلان توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق

### ۲-۱- مقدمه

در این فصل به منظور تدوین بیانیه چشم انداز توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت ورودی‌های مورد نیاز آن مطابق با متدولوژی ارائه شده، در قالب بررسی اسناد بالادست؛ نظرسنجی متخصصان و مطالعات تطبیقی کشورهای پیشرو و در حال توسعه مورد مطالعه قرار می‌گیرند. در ادامه ابتدا به بررسی الزامات ایجاد شده از منظر اسناد بالادستی پرداخته و سپس نتایج مطالعات تطبیقی و نظرات متخصصان و خبرگان ارائه شده است و در آخر به جمع بندی نتایج و تدوین بیانیه چشم انداز پرداخته شده است.

### ۲-۲- بررسی الزامات سیاست های بالادستی

در این بخش کلیه الزامات ایجاد شده از منظر اسناد بالادستی و قوانین مصوب کشور مرتبط با "توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق" مورد بررسی قرار می‌گیرد. به منظور شناسایی اسناد مرتبط با توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت همانطور که در گزارش فاز اول (گزارش مرزبندی سیستم) بیان شده است در ابتدا با انجام جستجوهای گسترده اینترنتی به صورت حداکثری اسناد و قوانین مرتبط استخراج گردید و سپس با توجه به نظر کمیته راهبری، اسناد مرتبط با توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت شناسایی گردید. این مستندات طبق شکل (۲-۱) در قالب سیاست های کلی، قوانین مجلس و برنامه های مصوب صنایع مختلف هستند که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرند. علاوه بر اسناد فوق، دو سند دیگر شامل بیانیه طرح توسعه صنعت قطعه سازی و سیاست دولت برای خروج از رکود بدون تورم نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل (۱-۲): سطح بندی مستندات مرتبط با توسعه فناوری های تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق

## ۲-۲-۱- بررسی الزامات سیاست های کلی نظام

در جستجو و مطالعه اسناد بالادستی کشور و برنامه راهبردی صنایع مختلف که به صورت مستقیم و غیر مستقیم مرتبط با حوزه تجهیزات الکترونیک قدرت هستند غالباً بر تحقق اهداف سند چشم انداز ۲۰ ساله جمهوری اسلامی ایران، کاهش تلفات و افزایش بازده شبکه توزیع و همچنین مباحث زیست محیطی تاکید شده است. با توجه به این مطالب الزاماتی که در زمینه توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق باید در تدوین بیانیه اولیه چشم انداز در نظر گرفته شوند در جدول ۱-۲ گردآوری شده است.

جدول (۱-۲): مستندات مرتبط با لزوم توسعه فناوری های تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق

ردیف	قانون تصویب شده	بخش مربوط به انرژی	موارد و ویژگی های قابل برداشت از قانون که در تدوین بیانیه اولیه چشم انداز باید در نظر گرفته شوند
۱	سند چشم انداز ۱۴۰۴ جمهوری اسلامی ایران	توسعه یافته	دستیابی به جایگاه مناسب در میان کشورهای توسعه یافته جهان در افق ۱۴۰۴
		برخوردار از دانش پیشرفته	بومی سازی دانش شناخت و طراحی و تولید فناوری های در اولویت تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق در افق ۱۴۰۴
		توانا در تولید علم و فناوری	تربیت نیروی انسانی متخصص و بومی سازی کامل تولید در افق ۱۴۰۴

ردیف	قانون تصویب شده	بخش مربوط به انرژی	موارد و ویژگی‌های قابل برداشت از قانون که در تدوین بیانیه اولیه چشم‌انداز باید در نظر گرفته شوند
		تولید ملی با تکیه بر سهم برتر منابع انسانی و سرمایه اجتماعی بهره‌مندی از محیط زیست مطلوب	سازماندهی و بسیج امکانات و ظرفیتهای کشور در جهت افزایش سهم کشور در تولیدات علمی توجه به محیط زیست و تلاش برای افزایش ایمنی محیط زیست
		دست یافتن به جایگاه اول اقتصادی، علم و فناوری در سطح منطقه آسیای جنوب غربی (آسیای میانه، قفقاز، خاورمیانه و کشورهای همسایه)	دستیابی به جایگاه اول منطقه در بخش‌های مختلف صنعت تجهیزات الکترونیک قدرت
۲	قانون برنامه پنجم توسعه کشور	به گونه ای برنامه ریزی نماید که سهم پژوهش از تولید ناخالص داخلی سالانه به میزان ۰/۵ درصد افزایش یافته و تا پایان برنامه به ۳ درصد برسد.	توجه و حمایت از برنامه ها و طرح های پژوهشی
		در ماده ۱۳۴ به منظور اعمال صرفه‌جویی، تشویق و حمایت از مصرف‌کنندگان در راستای منطقی کردن و اصلاح الگوی مصرف انرژی و برق، حفظ ذخایر انرژی کشور و حفاظت از محیط زیست به وزارتخانه‌های نیرو، نفت و صنایع و معادن اشاره می‌شود.	توجه به محیط زیست، اصلاح الگوی مصرف
۳	قانون بودجه سال ۹۳ کل کشور	- اجرای طرحهای افزایش بازدهی نیروگاهها با اولویت نصب بخش بخار در نیروگاههای چرخه(سیکل) ترکیبی، توسعه استفاده از انرژی های تجدیدپذیر، کاهش تلفات، بهینه‌سازی و صرفه جویی در مصرف سوخت مایع، جایگزینی مصرف برق به جای گاز یا فرآورده‌های نفتی در مناطقی که توجیه اقتصادی دارد و افزایش سهم صادرات برق تا سقف یکصد و بیست هزار میلیارد ریال به روش بیع متقابل، با سرمایه‌گذاران بخشهای خصوصی و عمومی با اولویت استفاده از تجهیزات ساخت داخل قرارداد منعقد نماید. - وزارت نیرو می‌تواند حداکثر تا سقف (۴,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰) ریال صرفا بابت حمایت از توسعه و نگهداری شبکه های روستایی و تولید برق تجدیدپذیر و پاک توسط شرکت توانیر هزینه نماید.	توسعه استفاده از انرژی های تجدید پذیر توجه به کاهش تلفات که می‌تواند با اسفاده از تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق میسر شود صادرات برق تولید برق تجدیدپذیر و پاک
۴	سیاست های کلی نظام جمهوری اسلامی ایران در مورد "انرژی"	ایجاد تنوع در منابع انرژی کشور و استفاده از آن با رعایت مسائل زیست محیطی و تلاش برای افزایش سهم انرژیهای تجدیدپذیر با اولویت انرژیهای آبی. تلاش برای کسب فن‌آوری و دانش فنی انرژیهای نو و ایجاد نیروگاهها از قبیل بادی و خورشیدی و پیلهای سوختی و زمین گرمایی در کشور.	افزایش سهم انرژی های تجدیدپذیر کسب فناوری و دانش فنی انرژی های نو
۵	سیاست های کلی علم و فناوری	- ارتقا جایگاه جهانی کشور در علم و فناوری و تبدیل ایران به قطب علمی و فناوری جهان اسلام؛ - توسعه علوم پایه و تحقیقات بنیادی - دستیابی به علوم و فناوری های پیشرفته با سیاستگذاری و برنامه ریزی ویژه - سامان دهی و تقویت نظام های نظارت، ارزیابی، اعتبارسنجی و رتبه بندی در حوزه های علم و فناوری. - افزایش بودجه تحقیق و پژوهش به حداقل ۴٪ تولید ناخالص داخلی تا پایان سال ۱۴۰۴ با تاکید بر مصرف بهینه منابع و ارتقا بهره‌وری.	توسعه تحقیقات بنیادی افزایش بودجه تحقیق و پژوهش و توجه بیشتر به زمینه های پژوهشی رتبه بندی در حوزه علم و فناوری حمایت از طرح ها و تحقیقات پژوهشی اولویت دار اهتمام بر انتقال تکنولوژی و کسب دانش طراحی در کشور با توجه به حجم بازار بالقوه در کشور



ردیف	قانون تصویب شده	بخش مربوط به انرژی	موارد و ویژگی‌های قابل برداشت از قانون که در تدوین بیانیه اولیه چشم‌انداز باید در نظر گرفته شوند
		<p>– افزایش سهم علم و فناوری در اقتصاد و درآمد ملی، ازدیاد توان ملی و ارتقای کارآمدی.</p> <p>– حمایت از مالکیت فکری و معنوی و تکمیل زیرساخت‌ها و قوانین و مقررات مربوط.</p> <p>اهتمام بر انتقال فناوری و کسب دانش طراحی و ساخت برای تولید محصولات در داخل کشور با استفاده از ظرفیت بازار ملی در مصرف کالاها.</p>	
۶	سیاست‌های کلی اصلاح الگوی مصرف	<p>– اولویت دادن به افزایش بهره‌وری در تولید، انتقال و مصرف انرژی در ایجاد ظرفیت‌های جدید تولید انرژی.</p> <p>– انجام مطالعات جامع و یکپارچه سامانه انرژی کشور به منظور بهینه‌سازی عرضه و مصرف انرژی.</p> <p>– بازنگری و تصویب قوانین و مقررات مربوط به عرضه و مصرف انرژی.</p> <p>– افزایش بازدهی نیروگاهها، متنوع‌سازی منابع تولید برق و افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و نوین.</p> <p>– بهبود روش‌های انتقال حامل‌های انرژی.</p>	<p>افزایش بهره‌وری، ایجاد ظرفیت‌های جدید، انجام تحقیقات، افزایش بازدهی نیروگاهها، افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و نوین</p>
۷	سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی	<p>– پیشسازی اقتصاد دانش‌بنیان، پیاده‌سازی و اجرای نقشه جامع علمی کشور و ساماندهی نظام ملی نوآوری به منظور ارتقاء جایگاه جهانی کشور و افزایش سهم تولید و صادرات محصولات و خدمات دانش‌بنیان و دستیابی به رتبه اول اقتصاد دانش‌بنیان در منطقه.</p> <p>– استفاده از ظرفیت اجرای هدفمندسازی یارانه‌ها در جهت افزایش تولید، اشتغال و بهره‌وری، کاهش شدت انرژی.</p> <p>– افزایش ارزش افزوده از طریق تکمیل زنجیره ارزش صنعت نفت و گاز، توسعه تولید کالاهای دارای بازدهی بهینه (براساس شاخص شدت مصرف انرژی) و بالابردن صادرات برق</p>	<p>دستیابی به جایگاه اول اقتصاد دانش‌بنیان</p> <p>افزایش تولید و سهم صادرات برق با بهره‌مندی از سامانه‌های ذخیره‌سازی در تولید برق از منابع تجدیدپذیر</p>
۸	سند نقشه جامع علمی کشور	<p>– اجتماع دو رویکرد درون‌مداری و برون‌مداری از نظر توجه به نیازها و قابلیت‌های بومی و سایر کشورها.</p> <p>– توجه ویژه به توسعه نیازمحور علوم و فناوری‌های مهندسی برای تولید و جذب فناوری با توان رقابتی و ثروت‌آفرینی همراه با حفظ محیط زیست و الگوی صحیح مصرف.</p> <p>– اصلاح قوانین و مقررات مربوط به انتقال فناوری به کشور و ایجاد و توسعه نهادهای انتقال و بومی‌سازی فناوری از خارج به داخل و بالعکس.</p>	<p>اصلاح قوانین مربوط به انتقال تکنولوژی و بومی‌سازی فناوری</p> <p>اصلاح الگوی مصرف و توجه به محیط زیست</p>
۹	قانون هدفمند کردن یارانه‌ها	<p>– قیمت تمام‌شده برق، مجموع هزینه‌های تبدیل انرژی، انتقال و توزیع و هزینه سوخت با بازده حداقل سی و هشت درصد (۳۸٪) نیروگاههای کشور و رعایت استانداردها محاسبه می‌شود و هر ساله حداقل یک درصد (۱٪) به بازده نیروگاههای کشور افزوده شود به طوری که تا پنجسال از زمان اجراء این قانون به بازده چهل و پنج درصد (۴۵٪) برسد و همچنین تلفات شبکه‌های انتقال و توزیع تا پایان برنامه پنجساله پنجم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران به چهارده درصد (۱۴٪) کاهش یابد.</p> <p>– بهینه‌سازی مصرف انرژی در واحدهای تولیدی، خدماتی و مسکونی</p> <p>– توسعه تولید برق از منابع تجدیدپذیر.</p>	<p>افزایش بهره‌وری، کاهش تلفات، بهینه‌سازی مصرف انرژی، اصلاح ساختار فناوری واحدهای تولیدی، توسعه توسعه تولید برق از منابع تجدیدپذیر.</p>

موارد و ویژگی‌های قابل برداشت از قانون که در تدوین بیانیه اولیه چشم‌انداز باید در نظر گرفته شوند	بخش مربوط به انرژی	قانون تصویب شده	ردیف
<p>ارتقاء فناوری، بهینه سازی مصرف، توجه به محیط زیست و افزایش بهره وری در تولید برق و کاهش تلفات شبکه افزایش ظرفیت نصب شده نیروگاه های انرژی های نو و تجدیدپذیر</p> <p>توسعه فناوری سیستم های الکترونیک قدرت از جمله HVDC و FACTS</p> <p>تمرکز بر تحقیق و پژوهش و بومی سازی فناوری</p>	<p>- ارتقاء بهره‌وری و بهره‌گیری از فناوریهای نوین، سازگار با محیط زیست و متناسب با زیرساختهای حال و آینده و تبادل برق با کشورهای منطقه و کاهش شدت انرژی، افزایش خوداتکایی و توسعه کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر.</p> <p>- سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی، اجرا و توسعه طرح های تولید، انتقال و توزیع انرژی برق.</p> <p>_ افزایش ظرفیت نصب‌شده نیروگاههای انرژی‌های نو و تجدیدپذیر (بادی، خورشیدی، برق‌آبی متوسط و کوچک و ...) به سطح ۳ درصد کل ظرفیت نیروگاهی</p> <p>- توسعه فناوری سیستمهای انتقال انعطاف‌پذیر (FACTS) و احداث پستهای GIS و خطوط انتقال HVDC در کشور</p> <p>_ کاهش تلفات شبکه به میزان سالانه حداقل ۱ درصد و رساندن به سطح ۱۵ درصد</p> <p>- ایجاد زیرساخت هوشمند در شبکه توزیع در سطح حداقل ۲۰ درصد شبکه</p> <p>- شناسایی، انتقال و بومی‌سازی فناوری‌های نوین و سازگار با محیط‌زیست</p> <p>- مطالعه و بررسی کاربرد روش‌های نوین انتقال و ذخیره‌سازی برق از جمله: ابرسانا، سیستم‌های انتقال برق با ولتاژ خیلی بالا (EHV)، سیستم‌های انتقال برق فشار قوی با جریان مستقیم (HVDC)، سیستم‌های انتقال برق متناوب انعطاف‌پذیر (FACTS)، باتری‌ها، هوای فشرده، هیدروژن و ...</p> <p>- توسعه ظرفیت‌های تولید، انتقال و توزیع برق متناسب با نیازهای مصرف مدیریت شده و نوسازی و بهینه‌سازی آنها</p> <p>- تمرکز بر تحقیق و پژوهش و بومی‌سازی فناوری در فعالیتهای مربوط به تولید برق از انرژی خورشیدی و بادی در کشور</p> <p>- هماهنگی در طراحی و توسعه شبکه‌های فوق‌توزیع و توزیع برق</p> <p>- اصلاح معماری شبکه‌های توزیع</p>	<p>برنامه راهبردی وزارت نیرو</p>	<p>۱۰</p>
<p>توسعه فناوری های نوین و کارای شبکه های انتقال و توزیع برق</p>	<p>- شبکه هوشمند برق ایران و پیاده سازی نمونه</p> <p>- توسعه فناوری های ذخیره سازی برق و انرژی و تولید پراکنده برق</p> <p>- توسعه فناوری های نوین و کارای شبکه های انتقال و توزیع برق</p> <p>- توسعه فناوری های تبدیل انرژی های تجدیدپذیر</p>	<p>سیاست ها و اولویت های پژوهش فناوری</p>	<p>۱۱</p>
<p>تولید برق تجدیدپذیر و پاک و توسعه استفاده از انرژی های تجدیدپذیر</p> <p>توجه به مسائل زیست محیطی</p>	<p>- سرمایه گذاری در صنعت تولید پیل های سوختی راهبردی و فناوری های کلیدی آن با تکیه بر نقش بخش خصوصیتاکید بر مزیت های رقابتی ایجاد اشتغال و رویکرد صادرات.</p> <p>- کاهش آلودگی محیط زیست به ویژه در شهرهای بزرگ با بکارگیری فناوری پیل سوختی در حمل و نقل و تامین برق.</p>	<p>سند راهبردی ملی توسعه فناوری پیل سوختی کشور</p>	<p>۱۲</p>
<p>تولید برق تجدیدپذیر و پاک و توسعه استفاده از انرژی های تجدیدپذیر</p> <p>توجه به مسائل زیست محیطی</p>	<p>افزایش سهم نیروگاه‌های بادی متناسب با افزایش میزان نصب انواع نیروگاه‌ها در کشور با تأمین حداقل ۲۴۵۰۰ مگاوات ظرفیت نصب‌شده. بهبود وضعیت زیست‌محیطی کشور با کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی.</p> <p>-افزایش توانمندی‌های فناورانه و تولیدی در کشور در حوزه انرژی بادی با رویکرد صادرات فناوری و با تأکید بر توانمندسازی بخش خصوصی.</p>	<p>سند راهبردی ملی توسعه صنعت برق بادی ایران</p>	<p>۱۳</p>

ردیف	قانون تصویب شده	بخش مربوط به انرژی	موارد و ویژگی‌های قابل برداشت از قانون که در تدوین بیانیه اولیه چشم‌انداز باید در نظر گرفته شوند
۱۴	سند توسعه ویژه (فرابخشی) "مدیریت انرژی"	<ul style="list-style-type: none"> <li>- تدوین، ارتقا و اعمال استانداردهای کیفیت حامل های انرژی</li> <li>- حمایت از انجام مطالعات و فعالیت های مهندسی در زمینه ارتقای کارایی انرژی</li> <li>- کاهش میزان تلفات در شبکه های انتقال و توزیع انرژی</li> <li>- حمایت از نوآوری های بخش انرژی از طریق تدوین قوانین حمایتی</li> <li>- حمایت از تحقیقات در بخش انرژی با هدف کاهش هزینه تمام شده و کاهش ارزشبری با تاکید بر انرژی های نو و پاک</li> <li>- گسترش بازار برق و توسعه شبکه تبادل انرژی با کشورهای همسایه</li> </ul>	حمایت از تحقیقات و مطالعات در زمینه ارتقای کارایی انرژی کاهش میزان تلفات در شبکه برق
۱۵	ماموریتها و وظایف وزارت صنعت، معدن و تجارت	<ul style="list-style-type: none"> <li>- مشارکت با سازمان ملی استاندارد ایران و سایر مراجع مربوطه جهت تدوین یا بازنگری استانداردهای مورد نیاز (به لحاظ کیفی، زیست محیطی و میزان مصرف انرژی)</li> <li>- مشارکت در مطالعات و بررسی های لازم به منظور استفاده بهینه از منابع انرژی</li> </ul>	تدوین یا بازنگری استانداردهای مورد نیاز به لحاظ کیفی، زیست محیطی و میزان مصرف انرژی توسعه صادرات
۱۶	اساسنامه شرکتهای برق و آئین نامه‌ها	<ul style="list-style-type: none"> <li>- بررسی و تدوین پیشنهادهای لازم در زمینه راهبردها و سیاستها و برنامه‌های بلندمدت و میان مدت صنعت برق.</li> <li>- تهیه طرحهای لازم برای توسعه تأسیسات تولید و انتقال و توزیع صنعت برق</li> <li>- بررسی، مطالعه و سایر اقدامات لازم برای توسعه فناوری، انتقال دانش فنی و اطلاع‌رسانی تأمین کالا و ساخت تجهیزات مورد نیاز صنعت برق.</li> <li>- اصلاح شبکه های توزیع به منظور کاهش تلفات شبکه.</li> <li>- ایجاد و توسعه شبکه و تأسیسات توزیع نیروی برق در کلیه نقاط حوزه فعالیت خود و بهره برداری از آنها.</li> </ul>	کاهش تلفات شبکه توسعه فناوری و انتقال دانش فنی و ساخت تجهیزات مورد نیاز صنعت برق

## ۲-۲-۲- جمع بندی اسناد

در این بخش با توجه به مطالعه اسناد بالادستی؛ جمع بندی الزامات قانونی ایجاد شده از منظر اسناد بالادستی در قالب جدول ۲-۲ ارائه شده است.

### جدول (۲-۲): الزامات قانونی ایجاد شده از منظر اسناد بالادستی

ردیف	قانون تصویب شده	الزام ایجاد شده
۱	سند چشم‌انداز ۱۴۰۴ جمهوری اسلامی ایران	دستیابی به جایگاه اول منطقه در حوزه علم و فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق
۲	قانون بودجه سال ۹۳ کل کشور برنامه راهبردی وزارت نیرو سیاست های کلی اصلاح الگوی مصرف انرژی	تولید برق از منابع تجدیدپذیر و پاک و توسعه استفاده از انرژی های تجدیدپذیر کاهش تلفات

افزایش بهره وری افزایش ظرفیت نیروگاه ها توجه به مسائل زیست محیطی	سند راهبردی ملی توسعه فناوری پیل سوختی کشور سند راهبردی ملی توسعه صنعت برق بادی ایران سیاست های نظام در بخش انرژی قانون هدفمند کردن یارانه ها سیاست ها و اولویت های پژوهش فناوری	
بهبود سازی مصرف و اصلاح الگوی مصرف	قانون برنامه پنجم توسعه کشور سیاست های کلی علم و فناوری سیاست های کلی اصلاح الگوی مصرف انرژی سند نقشه جامع علمی کشور برنامه راهبردی وزارت نیرو سیاست ها و اولویت های پژوهش فناوری اساسنامه شرکت های برق و آیین نامه ها	۳
تربیت و گسترش پژوهش و تحقیقات حمایت از طرح ها پژوهشی اولویت دار	سیاست های کلی نظام در بخش انرژی قانون برنامه پنجم توسعه کشور سیاست های کلی علم و فناوری سیاست های کلی اصلاح الگوی مصرف سند توسعه ویژه (فرابخشی) "مدیریت انرژی"	۴
رتبه اول منطقه در اقتصاد دانش بنیان جایگاه مناسب در میان کشورهای پیشرو افزایش تولید و سهم صادرات برق با بهره‌مندی از سامانه‌های ذخیره‌سازی در تولید برق از منابع تجدیدپذیر	سیاست های کلی اقتصاد مقاومتی	۵
توسعه فناوری سیستم های الکترونیک قدرت از جمله <u>FACTS</u> و <u>HVDC</u>	برنامه راهبردی وزارت نیرو	۶
کاهش واردات و افزایش صادرات	برنامه راهبردی وزارت صنعت، معدن و تجارت	۷

## ۲-۳- نتایج مطالعات تطبیقی

برای شناسایی و تبیین جهت گیری های بین المللی در زمینه توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت بایستی برنامه ها و اهداف کشورهای مختلف مورد بررسی قرار گیرند از آن جا که کشورهای آمریکا و انگلیس در زمینه توسعه این فناوریها به عنوان کشورهای توسعه یافته تلقی می شوند لذا اهداف و برنامه های این دو کشور مورد مطالعه قرار گرفت. از سوی دیگر کشور هند به عنوان یک کشور در حال توسعه به صورت بسیار وسیع و گسترده در زمینه توسعه انرژی های تجدیدپذیر گام برداشته است لذا این کشور نیز در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از این مطالعات در قالب گزارش مجزایی تحت عنوان "مطالعات تطبیقی" تدوین گردیده است. در این بخش به منظور ارزیابی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در میان کشورهای پیشرو و در حال توسعه خلاصه ای از این مطالعات ارائه شده است.

## ۲-۳-۱- مطالعه کشور آمریکا

ایالات متحده آمریکا پیشینه مستحکمی در زمینه الکترونیک قدرت دارد. همچنین این کشور در زمینه های مختلف مرتبط با الکترونیک قدرت اعم از صنایع زیرساختی و تولید تجهیزات کاربردی، نیز بسیار توانمند می باشد. تولید ادوات نیمه هادی، مبدل های الکترونیک قدرت متصل به انرژی های تجدید پذیر، پردازنده های پیشرفته و مدیریت ذخیره سازهای انرژی از جمله توانمندی های بالفعل این کشور در سطح جهانی می باشند. لازم به ذکر است که صنعت ادوات نیمه هادی ۲۵۰۰۰۰ فرصت شغلی در آمریکا ایجاد کرده و سود ۱۴۶ میلیارد دلاری در سال ۲۰۱۲ برای این کشور به ارمغان آورده است. به علاوه آمریکا در صنعت نیمه هادی اشتراک بازار ۵۰ درصدی را به خود اختصاص داده است که عدد بسیار قابل توجهی می باشد و در عرصه تولید مبدل های واسط به انرژی های تجدید پذیر نیز، آمریکا علاوه بر پذیرا بودن شرکت های پایه بین المللی، حداقل دارای ۶ شرکت مستقل از هم می باشد که در تولید مبدل های واسط انرژی های تجدید پذیر تا مرز ۲ مگاوات آمپر فعالیت می کنند. ایالات متحده آمریکا در بخش تحقیقات دانشگاهی نیز مطابق ارزیابی وزارت علوم جمهوری اسلامی ایران دارای ۸۹ دانشگاه درجه عالی است که نزدیک به ۳۰ دانشگاه آن دارای دپارتمان های تخصصی الکترونیک قدرت و انرژی هستند.

الکترونیک قدرت صنعتی جذاب برای آمریکا محسوب می شود. مطابق ارزیابی ایالات متحده آمریکا، بازار جهانی الکترونیک قدرت (تنها با نظر داشتن بخش نیمه هادی آن) تا سال ۲۰۲۰ دارای حداقل میزان رشد ۷,۷٪ خواهد بود. حجم گسترش بازار الکترونیک قدرت به اندازه ای است که مطابق پیش بینی ایالات متحده آمریکا در سال ۲۰۳۰، ۸۰٪ توان الکتریکی مصرفی در یکی از مراحل تولید، انتقال، توزیع یا مصرف به نحوی از تجهیزات الکترونیک قدرت استفاده خواهد کرد. از سوی دیگر وزارت انرژی آمریکا به دلیل تمایل به کنترل پخش بار در شبکه قدرت (به کمک ادوات HVDC, FACTS, FCL, PET و فیلترهای فعال) و ایجاد امکان اتصال به شبکه (برای خودرو های برقی و منابع تولید تجدیدپذیر و پراکنده و ذخیره سازهای انرژی) علاقمند به گسترش نسل آتی الکترونیک قدرت است. از طرفی، مطابق ارزیابی وزارت انرژی آمریکا، نسل بعدی الکترونیک قدرت مورد نیاز در شبکه های قدرت نیازمند سطوح ولتاژ بالای چند صد کیلوولت و فرکانس های کلیدزنی بالای چند ده کیلوهرتز می باشد. این نیاز به کمک تکنولوژی موجود Si قابل دسترس نیست و نیازمند توسعه تکنولوژی های جدیدتری است. با توجه به موارد ذکر شده ایالات متحده دارای توانمندی بالقوه مناسبی در این بخش می باشد. از سوی دیگر هزینه

تحقیقات در این زمینه بسیار قابل توجه بوده و نیاز به مشارکت دولتی جهت حفظ سهم بازار و پیشتازی آمریکا دارد. به همین دلیل، تمرکز عمده دولت آمریکا در بخش الکترونیک قدرت، معطوف به توسعه نیمه هادی‌های قدرت شده است. با توجه به موارد ذکر شده، وزارت انرژی آمریکا در نظر دارد از بین کاندیداهای نسل بعدی سیلیکون (SiC, GaN) و Diamond)، تکنولوژی GaN را گسترش دهد و این تکنولوژی را به بلوغ فنی و اقتصادی برساند. مطابق چشم انداز تعریف شده دفتر EE<sup>۱</sup> وزارت انرژی، ایالات متحده برنامه دارد کلیدهای نیمه هادی قدرت مبتنی بر GaN را در سال ۲۰۱۲ به ظرفیت ۱,۳ کیلوولت برساند. در سال ۲۰۱۳، دفتر EE برنامه دارد که مدل‌های عملکردی و طراحی‌های بسته بندی کلیدهای GaN را بهبود بخشد. در سال ۲۰۱۴ دفتر EE در نظر دارد که ظرفیت ولتاژ کلیدهای نیمه هادی قدرت مبتنی بر GaN را به مرز ۲/۵ کیلوولت و این ظرفیت را در سال ۲۰۱۵ به مرز ۵ کیلوولت و ۱۵ آمپر برساند. همچنین در سال ۲۰۱۶ به مرز تجاری سازی محصول و تکمیل مدل‌های عملکردی و بسته بندی کلیدهای نیمه هادی قدرت مبتنی بر GaN برسد. هدف نهایی دراز مدت دفتر EE رسیدن به مرزهای فناورانه ۲۰ کیلوولت و ۵۰ آمپر برای کلیدهای نیمه هادی قدرت مبتنی بر GaN است. در ادامه بیانیه چشم انداز این کشور ارائه شده است.

ایجاد امکان ساخت ادوات الکترونیک قدرت با درجه یکپارچگی بالا، با هزینه کم و قابلیت اطمینان بالا است تا بتوان از این ادوات در بهبود عملکرد، قابلیت اطمینان و بازده نسل بعدی سیستم قدرت استفاده کرد. دفتر EE در نظر دارد که به کمک طراحی ادوات نیمه هادی الکترونیک قدرت مبتنی بر GaN-Si و کنترل بهینه این تجهیزات به هدف خود برسد. بر همین اساس، برنامه GaN-Si می‌تواند از طریق ارتقای قابلیت‌های تجهیزات الکترونیک قدرت کاربردی، در جهت ایجاد سیستم قدرت نسل بعد نقش ایفا کند.

## ۲-۳-۲- مطالعه کشور انگلیس

کشور انگلیس در زمینه‌های متنوع طراحی، تولید و بازاریابی جهانی دارای شرکت‌های بزرگ معتبری می‌باشد. این کشور مجموعه بزرگی از شرکت‌های کوچک و متوسط (SME: Small and Medium Sized Enterprises) فعال در این

<sup>۱</sup> Electricity Delivery

حوزه دارد که در زمینه‌های ادوات نیمه هادی، بسترهای تجهیز، ادوات پسیو، مبدل‌های الکترونیک قدرت متصل به منابع تولید تجدیدپذیر، مدیریت باتری، ذخیره‌ساز انرژی و تکنیک‌های پیشرفته کنترلی دارد. همچنین دانشگاه‌های انگلیس نقش موثری در تربیت مهندسان آتی الکترونیک قدرت و انجام تحقیقات موثر بین‌المللی بر عهده دارند. بخش مهندسی انگلیس ۱۹/۶٪ از درآمد ناخالص تولید آن را تشکیل می‌دهد و ۴/۵ میلیون شغل ایجاد کرده است. در این بین صنعت الکترونیک قدرت ۱۶ میلیارد پوند به درآمد تولید ناخالص انگلیس اضافه نموده و ۳۰۰۰۰۰ هزار فرصت شغلی در ۲۰۰۰ کمپانی فراهم کرده است. صنعت الکترونیک قدرت نقش بسیار مهمی در این بین ایفا می‌کند، سابقه تحقیقاتی نزدیک به ۵۰ سال و حضور بازیگران بین‌المللی باعث پیشتازی این کشور در این زمینه شده است. به علت شهرت انگلیس در طراحی، این کشور به پایه و مرجع تولید برای بازارهای داخلی و بین‌المللی تبدیل شده است. این کشور ۳/۱٪ از کل بازار الکترونیک قدرت دنیا را در اختیار دارد.

مطابق پیش‌بینی انگلیس در سال ۲۰۱۱ بازار جهانی الکترونیک قدرت برابر ۱۳۵ میلیارد پوند با رشد سالیانه ۱۰ درصد خواهد بود. عوامل متنوعی باعث ترغیب جدی دولت انگلیس نسبت به حمایت از صنعت الکترونیک قدرت گردیده است. این کشور ملزم به کاهش ۳۴ درصدی تولید گاز CO<sub>2</sub> در سال ۲۰۲۰ نسبت به سال ۱۹۹۰ است. همچنین انگلیس در نظر دارد توان الکتریکی تولیدی از منابع تجدید پذیر را در سال ۲۰۲۰ به میزان ۵ برابر نسبت به سال ۲۰۰۹ افزایش دهد. همچنین این کشور به منظور حمایت و تدوین توسعه سند شبکه‌های هوشمند مرکزی را راه اندازی کرده است. به علاوه این کشور به سمت الکتریکی کردن صنعت حمل و نقل خود (اعم از خودروهای برقی و راه آهن برقی) در حال حرکت است. وجود گرایش‌های مشابه در بقیه کشورهای دنیا نیز باعث شده است که دولت انگلیس در حمایت از صنعت الکترونیک قدرت برای کسب درآمد بیشتر از بازارهای جهانی ترغیب شود. بدین منظور انگلیس با توصیه راهکارهایی در نظر دارد که در چشم انداز ۱۰ ساله (از سال ۲۰۱۱) به اهداف مورد نظر خود برسد.

انگلیس در نظر دارد که سهم خود را از بازار الکترونیک قدرت مورد استفاده در حمل و نقل برقی به ۲۰ درصد افزایش دهد. این موضوع به این دلیل است که مطابق ارزیابی انگلیس در سال ۲۰۱۱ بازار جهانی ادوات الکترونیک قدرت مورد استفاده حمل و نقل در گرایش‌های خودرو برقی (بازار جهانی)، خودرو برقی (بازار داخلی انگلیس)، راه آهن برقی و فضایی به ترتیب برابر ۴۰ میلیارد پوند، ۱ میلیارد پوند، ۲٫۸ میلیارد پوند و ۱٫۲ میلیارد پوند است. همچنین این کشور در نظر دارد در طول ۲۵ سال آینده بتواند سود ۶۰ میلیارد پوندی را از بازار مربوط به الکترونیک قدرت مورد کاربرد در بخش انرژی (نظیر HVDC، FACTS،

مبدل های واسط انرژی های تجدید پذیر و ... از آن خود نماید. این امر به دلیل آن است که مطابق ارزیابی انگلیس در سال ۲۰۱۱ ظرفیت سالانه جهانی قابل نصب ادوات الکترونیک قدرت مورد کاربرد انرژی در بخش های مبدل های بادی، مبدل های PV، مبدل های HVDC و مبدل های FACTS به ترتیب برابر ۳۶ گیگاوات، ۱۷ گیگاوات، ۲۴ گیگاوات و ۳/۵ گیگاوات است. از سوی دیگر انگلیس در نظر دارد با توسعه و همگانی کردن استفاده از ادوات الکترونیک قدرت مورد استفاده در کاربردهای روشنایی و مصرفی، ۱۰ درصد از توان الکتریکی مصرفی خود را کم کند. این امر به این دلیل است که مطابق پیش بینی، بازار جهانی ادوات الکترونیک قدرت مصرفی انگلیس در بخش های مصرفی، روشنایی و کامپیوتری (دفتری) در سال ۲۰۱۱، به ترتیب برابر ۲,۳ میلیارد پوند، ۰,۴۷۸ میلیارد پوند و ۲,۱ میلیارد پوند خواهد بود. و در آخر، این کشور در صدد دستیابی به سود سالانه ۱ میلیارد پوندی از بازار الکترونیک قدرت مورد استفاده در درایوهای صنعتی می باشد. زیرا مطابق پیش بینی های این کشور بازار جهانی ادوات الکترونیک قدرت درایو در بخش های ولتاژ پایین و ولتاژ بالا به ترتیب برابر ۷ میلیارد پوند و ۱,۵ میلیارد پوند خواهد بود.

### ۲-۳-۳- مطالعه کشور هند

هند به عنوان دومین کشور پر جمعیت جهان شناخته شده است. این کشور با مشکل منابع انرژی روبرو است و حجم زیادی از انرژی مورد نیاز خود را از طریق واردات تامین می نماید. همچنین رشد بالای اقتصادی این کشور سبب افزایش میزان مصرف انرژی الکتریکی در سال های اخیر شده است. پیش بینی می شود که در سال ۲۰۳۲ میزان مصرف انرژی الکتریکی این کشور به ۹۰۰ هزار مگاوات برسد، همچنین آمارها نشان می دهند که بیش از ۴۰ درصد از جمعیت هند از نعمت برق برخوردار نیستند. از این رو این کشور جهت فراهم نمودن این نیازها، برنامه ها و سیاست گذاری هایی را تدوین نموده که به طور مستقیم و غیر مستقیم تحت تاثیر استفاده از فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت می باشند.

البته کشور هند در بخش انرژی های تجدید پذیر و نو دارای پتانسیل های بالقوه بالایی می باشد. و استفاده از انرژی های تجدیدپذیر می تواند امنیت انرژی هند را افزایش داده و حجم واردات انرژی این کشور را کاهش دهد. در حال حاضر سهم انرژی تجدیدپذیر این کشور ۱۲,۵ درصد با توان نامی ۳۱۶۹۲ مگاوات در سال ۲۰۱۴ می باشد. با استفاده از برنامه ها و سیاست گذاری های مختلف، این کشور در نظر دارد تا میزان سهم انرژی های تجدیدپذیر را به ۱۸ درصد با ظرفیت نصب



شده‌ی ۷۲۰۰۰ مگاوات تا سال ۲۰۲۲ برساند. البته به دلیل پتانسیل بسیار خوب این کشور در زمینه تابش خورشید، یکی از سیاست‌های این کشور برای نصب و راه اندازی ۲۰۰۰۰ مگاوات انرژی خورشیدی تا سال ۲۰۲۲ می باشد، همچنین در زمینه‌ی واحدهای جدا از شبکه هدف تولید ۲۰۰۰ مگاوات برق فتوولتائیک و فراهم کردن روشنایی از طریق فتوولتائیک برای ۲۰ میلیون خانوار از اهداف این کشور می باشد. در این راستا شرکت‌هایی در زمینه‌ی طراحی و ساخت مبدل‌ها شکل گرفته‌اند. استفاده از سیستم‌های توربین بادی در این کشور تجاری شده‌است و سیاست‌گذاری در جهت تولید ۳۸۵۰۰ مگاوات تا سال ۲۰۲۲ از برنامه‌های این کشور می باشد. با به کارگیری واحدهای تجدیدپذیر به واحدهای ذخیره‌ی انرژی الکتریکی استفاده از این ادوات نیز افزایش می‌یابد، لذا این کشور در این زمینه سرمایه‌گذاری بسیار زیادی انجام داده است. بیشترین ظرفیت نصب شده مربوط به سیستم‌های تلمبه ذخیره‌ای است و سرمایه‌گذاری در استفاده از ابرخازن‌ها، انواع باتری‌ها نیز صورت گرفته است. به طور کلی سیاست‌گذاری این کشور در راستای ایجاد اتصال بین نواحی مختلف از طریق خطوط با ولتاژ بالا است. استفاده از ساختار به هم پیوسته‌ی نواحی مختلف امکان تولید بهینه را فراهم آورده و انتقال توان تولید شده توسط واحدهای انرژی تجدیدپذیر را نیز ممکن می‌سازد. در راستای اتصال نواحی از چندین خطوط HVDC در این کشور استفاده شده است و برنامه‌هایی برای افزایش تعداد آنها در افق ۲۰۳۰ وجود دارد. همچنین در زمینه‌ی ادوات FACTS نیز چندین تجهیز در کشور هند استفاده می‌شود و در چشم‌انداز سال ۲۰۳۰ استفاده از ادوات FACTS جهت جبران‌سازی توان راکتیو و افزایش پایداری سیستم پیش‌بینی شده‌است.

کشور هند سند چشم‌اندازی در افق سال ۲۰۱۳ میلادی جهت هوشمند سازی شبکه‌ی خود نیز تنظیم نموده است. اهداف کلی این سند، افزایش امنیت، قابلیت اطمینان و کیفیت توان ریز شبکه‌ها می باشد. این کشور ماموریت جهانی استفاده از ۶ میلیون خودروی هیبریدی را بر عهده گرفته است. شارژ همزمان این خودروها از شبکه‌ی فعلی امکان پذیر نیست و نیازمند هوشمند سازی شبکه می باشد. به علاوه هوشمندسازی سبب کاهش تلفات سیستم نیز می‌شود. رسیدن به تلفات اقتصادی و فنی سیستم توزیع زیر ۱۵ درصد تا سال ۲۰۱۷ و زیر ۱۲ درصد تا سال ۲۰۲۲ از هدف گذاری‌های این کشور در این زمینه می باشد. از دیگر انگیزه‌های هوشمند سازی، برق‌رسانی به روستاها و مناطقی است که از نعمت برق محروم هستند. هوشمند سازی شبکه‌ی برق یک کشور بدون استفاده از ادوات الکترونیک قدرت امکان پذیر نمی‌باشد.

مطالب فوق نشان می‌دهند که کشور هند به فناوریهای الکترونیک قدرت نیازمند است. لذا در این کشور اهداف ملی در زمینه‌ی تکنولوژی الکترونیک قدرت از طرف سازمان دولتی فناوری الکترونیک و داده زیر نظر وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات در سال ۲۰۰۴ به محوریت مرکز توسعه‌ی محاسبات پیشرفته (CDAC) و با همکاری صنایع و مراکز دانشگاهی پیشرو در دو فاز تدوین شده است. فاز اول این اهداف بازه‌ی زمانی سالهای ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ میلادی و فاز دوم از سال ۲۰۱۲ به مدت پنج سال برنامه ریزی شده است. در فاز اول بر تحقیق و توسعه، زیر ساخت‌ها، آموزش و آگاهی سیاست‌گذاری شده است. فاز نخست این اهداف به صورت زیر در نظر گرفته شده است :

- رسیدن به تکنولوژی پیشرفته‌ی مبدل‌های سیستم‌های فتوولتائیک، مبدل‌های ماتریسی و ...
  - تامین مالی پروژه‌هایی مانند STATCOM؛ واحدهای کنترل وسایل نقلیه و مبدل‌های جانبی یه کار رفته در راه آهن ریلی، ساختن DVR برای شرکت‌های نساجی
  - تامین مالی پروژه‌هایی مانند UPS مبدل‌های واسط پیل سوختی
  - آموزش دانشجویان در زمینه‌های الکترونیک قدرت
- فاز دوم این اهداف در سال ۲۰۱۲ آغاز شده است و اهداف زیر را شامل می‌شود:
- توسعه‌ی فناوری‌های فاز اول
  - توسعه‌ی فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت مرتبط با شبکه‌های هوشمند، ریز شبکه، فناوری اتصال واحدهای تجدید پذیر به شبکه، سیستم‌های الکترونیک قدرت در ولتاژ بالا
  - ارائه‌ی پروژه‌های تحقیقاتی و دوره‌های کوتاه مدت جهت افزایش توسعه
  - فراهم کردن امکانات برای تولید محصول، انتقال تکنولوژی و مشارکت صنایع.

## ۲-۴- نظرات خبرگان و متخصصان

برای ترسیم بیانیه اولیه چشم انداز توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق تلاش گردید تا نظرات مدیران و خبرگان این حوزه اخذ گردد. در این راستا چهارده نفر از خبرگان بخش دانشگاهی و صنعت این حوزه شناسایی گردیده و به صورت مجزا جلسات مصاحبه ای برگزار گردید. سوالاتی که در این جلسات مطرح شد در ادامه بیان می گردد.

▪ به صورت کلی انتظار صنعت برق کشور از توسعه فناوری های تجهیزات الکترونیک قدرت در ۱۰ سال آینده چه می تواند باشد؟

▪ انتظار از توانمندی کشور در حوزه های طراحی ساخت و بهره برداری فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق در ۱۰ سال آینده چگونه است؟

▪ حوزه های اولویت دار در فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق کدام ها هستند و اولویت تمرکز کشور در کدامیک از کاربردهای فناوری های مورد نظر می تواند باشد؟

▪ آیا ایران توان و ظرفیت لازم جهت رقابت با کشورهای مختلف (منطقه، آسیا) را در هر یک از حوزه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق دارا می باشد؟ جایگاه و رتبه کشور را چگونه ارزیابی می کنید؟

▪ در سال ۱۴۰۴ جایگاه کشور در فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق در بازارهای صادراتی به چه میزان است؟ نقش این حوزه در بازارهای کشورهای منطقه به چه ترتیب است؟

▪ آیا به منظور کاربردی نمودن فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در صنعت برق کشور در سال ۱۴۰۴ می توان شاخصی را به صورت کمی در نظر گرفت؟

نظرات هر یک از خبرگان درباره سوالات مطرح شده به اختصار در جدول (۲-۳): ارائه شده است.

جدول (۲-۳): نظرات متخصصین پیرامون چشم انداز ۱۰ ساله فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق

نام خبره	سازمان/دانشگاه	موضوع	نکات مطرح شده
دکتر مختاری	دانشکده برق دانشگاه صنعتی شریف	سطح انتظار از تجهیزات الکترونیک قدرت در افق ۱۰ ساله	- دستیابی به جایگاه تدوین مشخصات فنی در حوزه ادوات FACTS - دستیابی به جایگاه طراحی و ساخت نمونه عملیاتی در حوزه HVDC - در سایر حوزه ها نیز دستیابی به طراحی و ساخت.
		حوزه های اولویت دار	- میدل های انرژی های تجدیدپذیر - ادوات CUPS

<p>- توانایی رقابت با سازندگان اصلی را نداریم.</p>	<p>توانایی و ظرفیت لازم جهت رقابت</p>		
<p>-</p>	<p>جایگاه و رتبه کشور در منطقه</p>		
<p>-</p>	<p>جایگاه کشور در بازارهای صادراتی</p>		
<p>-</p>	<p>برنامه های مرتبط با سند</p>		
<p>-</p>	<p>در نظر گرفتن شاخصی به صورت کمی به منظور کاربردی نمودن فناوری ها</p>		
<p>-</p>	<p>سایر</p>		
<p>- کسب دانش فنی بهره برداری و تدوین مشخصات فنی برای ارائه به سازنده در حوزه های ادوات FACTS و HVDC.</p> <p>- ورود به مرحله ساخت در حوزه مبدل های انرژی های تجدیدپذیر و ساخت مبدل های با قدرت در حدود چند صد کیلووات.</p> <p>- امکان سنجی برای ساخت در زمینه ادوات CUPS با توجه به حجم بازار</p>	<p>سطح انتظار از تجهیزات الکترونیک قدرت در افق ۱۰ ساله</p>		
<p>- مبدل های انرژی های تجدیدپذیر</p> <p>- ادوات CUPS</p>	<p>حوزه های اولویت دار</p>		
<p>- عدم توانایی رقابت با سازندگان اصلی تا آینده میان مدت.</p> <p>- تمرکز بیشتر بر روی بازار داخلی.</p>	<p>توانایی و ظرفیت لازم جهت رقابت</p>	<p>دانشکده برق دانشگاه صنعتی شریف</p>	<p>دکتر پرنیانی</p>
<p>-</p>	<p>جایگاه و رتبه کشور در منطقه</p>		
<p>- تمرکز بر بازار داخلی و سپس بازارهای منطقه ای.</p>	<p>جایگاه کشور در بازارهای صادراتی</p>		
<p>- عدم توانایی در ساخت تمامی مبدل های مرتبط با سند انرژی های تجدیدپذیر</p>	<p>برنامه های مرتبط با سند</p>		
<p>- در نظر گرفتن شاخص کمی بر اساس حجم بازار فعلی و پیش بینی حجم آینده.</p>	<p>در نظر گرفتن شاخصی به صورت کمی به منظور کاربردی نمودن فناوری ها</p>		
<p>- لزوم تدوین سیاست ها و قوانینی برای خرید از تولیدکننده داخلی بخصوص در زمینه مبدل های انرژی های تجدیدپذیر.</p>	<p>سایر</p>		
<p>-</p>	<p>سطح انتظار از تجهیزات الکترونیک قدرت در افق ۱۰ ساله</p>		
<p>- تمامی حوزه ها مهم هستند و حرکت در زمینه هریک بسیار خوب است.</p>	<p>حوزه های اولویت دار</p>	<p>دانشکده برق دانشگاه علم و صنعت ایران</p>	<p>دکتر شولایی</p>
<p>- با توجه به ظرفیت های موجود در صورت توجه و فعالیت توانایی رقابتی پیدا خواهیم کرد.</p>	<p>توانایی و ظرفیت لازم جهت رقابت</p>		
<p>-</p>	<p>جایگاه و رتبه کشور در منطقه</p>		

-	جایگاه کشور در بازارهای صادراتی		
-	برنامه های مرتبط با سند		
-	در نظر گرفتن شاخصی به صورت کمی به منظور کاربردی نمودن فناوری ها		
- حصول اعتماد به نفس در میان سازندگان با ساخت یک خط HVDC	سایر		
رسیدن به دانش فنی مبدل های انرژی های تجدیدپذیر و بومی سازی مبدل های در ۵ سال اول .	سطح انتظار از تجهیزات الکترونیک قدرت در افق ۱۰ ساله	دانشگاه تهران	دکتر فرهنگی
- ذخیره سازهای انرژی - مبدل های انرژی های تجدیدپذیر	حوزه های اولویت دار		
- در زمینه مبدل های تجدیدپذیر می توانیم رقابتی پیدا کنیم.	توانایی و ظرفیت لازم جهت رقابت		
-	جایگاه و رتبه کشور در منطقه		
-	جایگاه کشور در بازارهای صادراتی		
- مد نظر قرار دادن اهداف سند انرژی های تجدید پذیر و سند چشم انداز ۱۴۰۴	برنامه های مرتبط با سند		
- به دلیل عدم اطمینان در استمرار حمایت از سند بهتر است وارد جزئیات نشویم.	در نظر گرفتن شاخصی به صورت کمی به منظور کاربردی نمودن فناوری ها		
- با توجه به حرکت دنیا به سمت انرژی های تجدیدپذیر ما نیز باید به این سمت حرکت نماییم. - در تمامی حوزه ها سرمایه گذاری نماییم و تمامی زمینه ها را با هم جلو ببریم.	سطح انتظار از تجهیزات الکترونیک قدرت در افق ۱۰ ساله		
• مبدل های انرژی های تجدیدپذیر • سامانه های برقی حمل و نقل • جبران سازه های شبکه در توان بالا و توان پایین	حوزه های اولویت دار		
با توجه به ظرفیت دانشگاه ها و سطح علمی کشور توانایی رقابت داریم	توانایی و ظرفیت لازم جهت رقابت		
می توانیم به جایگاه مناسبی برای هر یک از حوزه های تجهیزات الکترونیک قدرت در سطح منطقه دست یابیم.	جایگاه و رتبه کشور در منطقه		
می توانیم به جایگاه بسیار خوبی دست یابیم.	جایگاه کشور در بازارهای صادراتی		
-	برنامه های مرتبط با سند		

-	در نظر گرفتن شاخصی کمی به منظور کاربردی نمودن فناوری های		
صنعتی نمودن کارهای دانشگاهی	سایر		
حمایت مادی و معنوی از دانشجویان دکتری و پایان نامه هایشان به منظور انجام مطالعات درحوزه الکترونیک قدرت			
- ساخت مبدل های تجدیدپذیر (بادی و خورشیدی) STATCOM را در سطح صنعت استفاده نماییم و در مرحله پس از آن - بهره برداری از HVDC .	سطح انتظار از تجهیزات الکترونیک قدرت در افق ۱۰ ساله		
- مبدل های انرژی های تجدیدپذیر - صادرات به کشورهای همسایه با استفاده از اتصال HVDC و حوزه ها هم پوشانی زیادی دارند و خیلی نسبت به هم اولویت ندارند و دانش فنی هر یک از حوزه ها به سایر حوزه ها تاثیر می گذارد.	حوزه های اولویت دار		
توان رقابت در زمینه FACTS و HVDC نداریم	توانایی و ظرفیت لازم جهت رقابت	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	دکتر فتحی
-	جایگاه و رتبه کشور در منطقه		
اولویت این است که بازار داخلی را تامین نماییم.	جایگاه کشور در بازارهای صادراتی		
-	برنامه های مرتبط با سند		
می توانیم دستیابی به یک نسبتی (درصد) از بومی سازی مبدل ها را به عنوان شاخص در نظر بگیریم.	در نظر گرفتن شاخصی کمی به منظور کاربردی نمودن فناوری های		
سرمایه اولیه برای ساخت سلول های خورشیدی بالا است	سایر		
- تامین نیاز داخل و رسیدن به خودکفایی در زمینه ساخت مبدل های انرژی های تجدیدپذیر و ادوات CUPS در ۵ سال اول. - ساخت ادوات CUPS به عنوان یک تجربه مقیاس کوچک از ادوات FACTS و پس از آن ورود به این حوزه در ۵ سال دوم.	سطح انتظار از تجهیزات الکترونیک قدرت در افق ۱۰ ساله		
• مبدل های انرژی های تجدیدپذیر • ادوات CUPS	حوزه های اولویت دار		
در زمینه مبدل های تجدیدپذیر و ادوات CUPS توان رقابت داریم.	توانایی و ظرفیت لازم جهت رقابت	جهاد دانشگاهی (علم و صنعت)	دکتر آراسته
با توجه به دانش فنی موجود می توان به دستیابی به جایگاه مناسبی در حوزه مبدل های تجدیدپذیر امیدوار بود.	جایگاه و رتبه کشور در منطقه		
در زمینه انرژی های تجدیدپذیر و ادوات CUPS میتوانیم به بازارهای منطقه صادر نماییم.	جایگاه کشور در بازارهای صادراتی		
ساخت تمامی مبدل های مرتبط با سند انرژی های تجدیدپذیر به منظور تامین ۱۰۰۰۰ مگاوات برق از این انرژی ها .	برنامه های مرتبط با سند		

در زمینه ادوات (DVR, DSTATCOM) CUPS باید بتوانیم تجهیزاتی در ظرفیت 10MVA بسازیم.	در نظر گرفتن شاخص کمی به منظور کاربردی نمودن فناوری ها		
-	سایر		
- دستیابی به دانش فنی سیستم کنترل و تدوین مشخصات فنی SVC در ۵ سال اول. - سرمایه گذاری و دستیابی به دانش فنی در حوزه ذخیره سازهای انرژی به منظور احداث نیروگاه های جدید و جایگزینی نیروگاه های قدیمی. - دست یابی به دانش تدوین مشخصات فنی در زمینه HVDC.	سطح انتظار از تجهیزات الکترونیک قدرت در افق ۱۰ ساله		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• SVC</li> <li>• صادرات برق با HVDC</li> </ul>	حوزه های اولویت دار		
در زمینه SVC نمی توانیم رقابتی شویم.	توانایی و ظرفیت لازم جهت رقابت	شرکت پارس توان	مهندس هوشانفر
به دلیل عدم توانایی در رقابتی شدن در حوزه های SVC و HVDC نمی توانیم جایگاهی را متصور شویم	جایگاه و رتبه کشور در منطقه	آمود	
با تولید ادوات SVC و HVDC احتمالاً تنها می توانیم به بخشی از بازار داخل دست پیدا کنیم.	جایگاه کشور در بازارهای صادراتی		
-	برنامه های مرتبط با سند		
-	در نظر گرفتن شاخص کمی به منظور کاربردی نمودن فناوری های		
با توجه به برنامه برای ارتقا تولید فولاد از ۱۵۰۰۰۰۰ تن به حدودا ۳۰۰۰۰۰۰ تن تا افق ۱۴۰۴ احداث حدود ۱۵ تا ۲۰ کارخانه فولاد پیش بینی می شود که بازار خوبی برای SVC به وجود می آورد از این رو رفتن به این سمت و سو برای دستیابی به این بازار داخلی می تواند مورد توجه قرار گیرد.	سایر		
- خودکفایی در حوزه ساخت مبدل های انرژی های تجدیدپذیر و تامین بازار داخلی و بازارهای منطقه. - ساخت حداقل یک پایلوت در زمینه ذخیره سازهای انرژی در ۵ سال اول. - تمرکز بیشتر بر روی دو حوزه ساخت مبدل های انرژی های تجدیدپذیر و ذخیره سازهای انرژی باشد.	سطح انتظار از تجهیزات الکترونیک قدرت در افق ۱۰ ساله		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• مبدل های انرژی های تجدیدپذیر</li> <li>• ذخیره سازهای انرژی</li> <li>• ادوات CUPS</li> <li>• صادرات برق با HVDC</li> </ul>	حوزه های اولویت دار	معاونت برق و انرژی وزارت نیرو	مهندس اقلیمی
در زمینه مبدل های انرژی های تجدیدپذیر توانایی رقابت با کشورهای همسایه و منطقه را دارا می باشیم.	توانایی و ظرفیت لازم جهت رقابت		
	جایگاه و رتبه کشور در منطقه		

در زمینه مبدل های انرژی های تجدیدپذیر باید بتوانیم بازارهای همسایه ای و منطقه ای را به دست آوریم.	جایگاه کشور در بازارهای صادراتی		
برنامه صادرات برق کشور با استفاده از خطوط HVDC به کشورهای همسایه از جمله ترکیه پاکستان و امارات. برنامه کشور عربستان برای تولید 41GW برق از انرژی خورشیدی تا سال ۲۰۳۲ نویدبخش یک بازار منطقه ای خوب برای مبدل های انرژی های تجدیدپذیر می باشد. رعایت استانداردهای تدوین شده کیفیت توان وزارت نیرو توسط مراکز صنعتی و برداشتن یارانه برق و واقعی شدن قیمت آن؛ بازار بسیار خوبی برای ادوات CUPS به وجود خواهد آورد.	برنامه های مرتبط با سند		
-	در نظر گرفتن شاخص کمی به منظور کاربردی نمودن فناوری ها		
الزام رعایت استانداردهای تدوین شده کیفیت توان وزارت نیرو برای مراکز صنعتی و برداشتن یارانه برق و واقعی شدن قیمت آن؛ بازار بسیار خوبی برای ادوات CUPS به وجود خواهد آورد.	سایر		
در زمینه تولید و بهره برداری مبدل های انرژی های تجدیدپذیر و سیستم تحریک استاتیک جایگاه اول منطقه را کسب نماییم . در زمینه HVDC با توجه به حجم بازار محدود سرمایه گذاری خیلی منطقی به نظر نمی رسد. جبران سازهای توان پایین دارای اولویت متوسط می باشند و پس از انرژی های تجدیدپذیر باید مورد توجه قرار گیرند. اگر تجهیزاتی به صورت موردی در شبکه استفاده می شود خریداری شود.	سطح انتظار از تجهیزات الکترونیک قدرت در افق ۱۰ ساله		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• مبدل های انرژی های نو و تجدیدپذیر مخصوصا مبدل های با ظرفیت بالا، در حد ۲ مگاوات</li> <li>• جبران سازهای توان پایین</li> </ul>	حوزه های اولویت دار		
با توجه به پتانسیل داخل و دانشگاه ها توان رقابتی شدن داریم.	توانایی و ظرفیت لازم جهت رقابت	مدیرکل دفتر توسعه مدیریت و تحول اداری	دکتر بانان عباسی
-	جایگاه و رتبه کشور در منطقه		
با توجه به اینکه توانایی رقابتی شدن در زمینه مبدل های انرژی های تجدیدپذیر را ممکن است کسب نماییم می توانیم در حوزه صادرات نیز وارد شویم.	جایگاه کشور در بازارهای صادراتی		
-	برنامه های مرتبط با سند		
-	در نظر گرفتن شاخص کمی به منظور کاربردی نمودن فناوری ها		
در زمینه صادرات باید برنامه کشوری نظیر ترکیه و امارات و پاکستان را که در برنامه صادرات وزارت نیرو هستند دیده شود. صادرات برق از نظر اقتصادی زیر سوال است و باید دید که ادامه خواهد داشت یا خیر.	سایر		



<p>به ترتیب:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• میدل های انرژی های تجدیدپذیر</li> <li>• میدل های مورد استفاده در صنایع تولید انرژی</li> <li>• میدل های مورد استفاده در حمل و نقل ریلی</li> <li>• جبران سازه های توان پایین</li> <li>• FACTS و HVDC با اولویت کمتر هستند زیرا بازار کمتری دارند</li> </ul>	<p>حوزه های اولویت دار</p>		
<p>تونایی رقابت در زمینه تولید و بهره برداری را داریم و می توانیم مزیت رقابتی در منطقه داشته باشیم. می توانیم با استفاده از دانش بهره برداری در این زمینه رقابتی شویم و بهره بردار تجهیزات برای کشورهای منطقه شویم.</p>	<p>تونایی و ظرفیت لازم جهت رقابت</p>	<p>مدیر تحقیق و توسعه شرکت مکو</p>	<p>مهندس جوکار</p>
<p>در زمینه تولید و بهره برداری میدل های انرژی های تجدیدپذیر می توانیم به جایگاه مناسبی دست یابیم اما در زمینه طراحی چنین توانایی نداریم.</p>	<p>جایگاه و رتبه کشور در منطقه</p>		
<p>صادرات محصول میتوانیم به جایگاه خوبی دست پیدا کنیم می توانیم صادرات خدمات داشته باشیم و حتی در منطقه در زمینه خدمات به کشورهایی که حتی توان بهره برداری از تجهیزات را نیز ندارند جایگاه نخست را کسب کنیم.</p>	<p>جایگاه کشور در بازارهای صادراتی</p>		
<p>با توجه به برنامه کشور عربستان برای تولید 41GW برق از انرژی خورشیدی تا سال ۲۰۳۲ می توانیم بازار خدماتی خوبی داشته باشیم و دانش بهره برداری خود را صادر کنیم.</p>	<p>برنامه های مرتبط با سند</p>		
<p>برای تجهیزاتی که نداریم بهتر است به جای تعیین شاخص به دنبال کسب بیشتر سهم بازار باشیم.</p>	<p>در نظر گرفتن شاخص کمی به منظور کاربردی نمودن فناوری ها</p>		
<p>بیشتر به دنبال بهبود فناوری ها باشیم نه توسعه دولت می تواند نهادهای درگیر در پروژه ها را ملزم به برقراری ارتباط و واگذاری درصدی از سود خود با دانشگاه ها و مراکز تحقیقاتی نماید.</p>	<p>سایر</p>		
<p>- در زمینه های FACTS و HVDC به دانش تدوین مشخصات فنی دست یابیم و بهره برداری نماییم.</p> <p>- در زمینه میدل ها و ادوات CUPS می توان وارد طراحی و مونتاژ شد.</p> <p>- در زمینه ادوات سیستم حمل و نقل با ساختار ساده می توانیم تولید در سطح مونتاژ داشته باشیم.</p> <p>- در زمینه سیستم تحریک استاتیک نیز در سطح تعمیرات نگهداری باشیم خوب است</p>	<p>سطح انتظار از تجهیزات الکترونیک قدرت در افق ۱۰ ساله</p>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• میدل های انرژی های تجدیدپذیر</li> <li>• ادوات CUPS</li> </ul>	<p>حوزه های اولویت دار</p>	<p>دانشگاه تربیت مدرس</p>	<p>دکتر یزدیان</p>
<p>در طراحی تجهیزات می توانیم رقابتی شویم.</p>	<p>تونایی و ظرفیت لازم جهت رقابت</p>		
<p>-</p>	<p>جایگاه و رتبه کشور در منطقه</p>		
<p>می توانیم بازارهای منطقه را در زمینه صادرات دانش بهره داری و میدل های انرژی های تجدیدپذیر و CUPS و همچنین طراحی آنها به دست آوریم.</p>	<p>جایگاه کشور در بازارهای صادراتی</p>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• توانمندی تولید میدل های مورد نیاز در سند انرژی های تجدیدپذیر را داریم.</li> </ul>	<p>برنامه های مرتبط با سند</p>		

-	در نظر گرفتن شاخص کمی به منظور کاربردی نمودن فناوری ها		
در نظر گرفتن تعرفه هایی به منظور ایجاد محرک و بسترسازی برای حرکت صنعت به سمت استفاده از ادوات الکترونیک قدرت .	سایر		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- تدوین مشخصات فنی و تعیین جایگاه مورد استفاده و نوع تجهیز در ادوات FACTS و HVDC</li> <li>- دستیابی به دانش طراحی در حوزه ادوات CUPS</li> <li>- دستیابی به توانایی تکنولوژی ساخت مبدل های در حد ۱۰۰ یا ۲۰۰ کیلوولت</li> <li>- ساخت قطعات اولویت دار در سیستم های حمل و نقل و سیستم تحریک استاتیک</li> </ul>	سطح انتظار از تجهیزات الکترونیک قدرت در افق ۱۰ ساله	دانشگاه صنعتی اصفهان	دکتر کارشناس
<ul style="list-style-type: none"> <li>• مبدل های انرژی های تجدیدپذیر</li> <li>• ادوات CUPS</li> </ul>	حوزه های اولویت دار		
کسب توانایی رقابت در افق چشم انداز بعید به نظر می رسد.	توانایی و ظرفیت لازم جهت رقابت		
-	جایگاه و رتبه کشور در منطقه		
بعید است که رقابتی شویم که بتوانیم جایگاه صادراتی پیدا کنیم. می توانیم دانش بهره برداری و خدمات صادر نماییم.	جایگاه کشور در بازارهای صادراتی		
با توجه به سند انرژی ای تجدیدپذیر توانایی بالفعل ساخت مبدل ها را می توانیم کسب نماییم اما بالقوه شدن توانمندی ساخت منوط به رقابتی شدن است.	برنامه های مرتبط با سند		
تا افق چشم انداز: به میزان ۲-۳٪ انرژی کل تولیدی کشور از طریق ادوات FACTS و HVDC و CUPS به کنترل درآمده باشند.	در نظر گرفتن شاخص کمی به منظور کاربردی نمودن فناوری ها		
می توانیم به دانش تعمیرات و نگهداری در زمینه های FACTS و HVDC دست یابیم.	سایر		
با توجه به رشد متوسط ۵٪ سالانه در مصرف و توان و وجود مشکلات در تامین منابع مورد نیاز به نظر می رسد مناسب ترین راه حل برای افزایش انتقال توان در آینده استفاده از ادوات FACTS می باشد که البته باید بر روی ساخت آن کار شود.	سطح انتظار از تجهیزات الکترونیک قدرت در افق ۱۰ ساله	معاون فروش و خدمات مشترکین	دکتر یاقوتی
در زمینه انرژی های تجدیدپذیر به ویژه انرژی باد با توجه به اینکه ابعاد توانی بالا نیست و می توانیم با تمرکز بر روی این حوزه رقابتی شده و صادرات داشته باشیم، خوب است دانش فنی آن را کسب نموده و بر روی ساخت تمرکز نماییم.			
در زمینه HVDC به نظر می رسد با توجه به ساختار شبکه برق کشور خیلی نیازمند این ادوات نباشیم مگر در حالی که بخواهیم به کشورهای بزرگی همچون روسیه صادرات داشته باشیم. در زمینه تحریک استاتیک ژنراتور حجم کاربرد زیادی انتظار نمی رود.	حوزه های اولویت دار		
مبدل های انرژی های تجدیدپذیر ادوات FACTS	توانایی و ظرفیت لازم جهت رقابت		

-	جایگاه و رتبه کشور در منطقه		
میتوانیم صادرات در زمینه مبدل‌های انرژی‌های تجدیدپذیر داشته باشیم. اما به راحتی نمی‌توانیم بازار منطقه را بگیریم و بیشتر بازار داخل را باید مدنظر قرار دهیم.	جایگاه کشور در بازارهای صادراتی		
توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و استفاده از ادوات FACTS در برنامه صنعت برق کشور می‌باشد لذا حرکت به این سمت و سو نیاز جدی کشور است.	برنامه‌های مرتبط با سند		
-	در نظر گرفتن شاخص کمی به منظور کاربردی نمودن فناوری‌ها		
-	سایر		

## ۲-۵- چشم انداز و اهداف کلان توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در کشور

جهت گیری های کلان و نیازهای صنعت برق کشور برای کاهش تلفات انرژی، بهبود عملکرد و صادرات برق به کشورهای همسایه و همچنین اشاره موکد و مکرر اسناد بالادستی در زمینه توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در کشور و وجود زیرساخت‌های مناسب، الزام برنامه‌ریزی و سرمایه گذاری جهت برداشتن گامی رو به جلو در راستای تحقق این اهداف را به وجود می‌آورد.

به علاوه، با نگاهی به برنامه های کلان و زیرساخت‌های کشورهای منطقه دیده می‌شود که اغلب، برنامه‌ای در زمینه توسعه این فناوری‌ها ندارند، بنابراین با توجه به زیرساخت‌ها و پتانسیل‌های داخلی می‌توان انتظار دستیابی به یک جایگاه مناسب در زمینه هریک از فناوری‌های مورد مطالعه، در سطح منطقه داشت. البته با توجه به اینکه سطح ایده آل دستیابی به هریک از فناوری‌ها متفاوت می‌باشد نمی‌توان یک سطح کلی را برای تمامی آنها متصور شد بنابراین سطوح دستیابی برای هر یک از فناوری‌ها به صورت مجزا در اهداف کلان مشخص و تدوین می‌گردند.

البته، با توجه به مطالعات صورت گرفته در زمینه الزامات بالادستی و نظرات خبرگان می‌توان دریافت که جهت گیری کلان کشور در زمینه انرژی نیز همانند کشورهای مورد مطالعه به سمت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر بوده و ورود به این حیطه را اجتناب ناپذیر می‌نماید. همچنین از منظر خبرگان در زمینه‌های تحقیق و توسعه در دانشگاه‌ها و ساخت و تولید در صنعت؛ پتانسیل داخلی از سطح بالقوه مطلوبی برخوردار است و می‌تواند بستر مناسبی برای رشد و رقابتی شدن در طراحی و تولید

بومی در این حوزه باشند. جمع بندی نتایج حاصل از اسناد بالادستی، نظرات خبرگان و مطالعه سایر کشورها در قالب بیانیه چشم انداز و اهداف کلان در ادامه ارائه شده است:

### چشم انداز توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت:

با اتکا به خداوند متعال، در راستای تحقق جهت گیری های کلان صنعت برق در زمینه توسعه انرژی های تجدیدپذیر، کاهش تلفات انرژی، بهبود بهره وری، قابلیت اطمینان و پایداری شبکه و افزایش صادرات برق به کشورهای همسایه، حوزه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت کشور با تکیه بر توانمندی متخصصان داخلی، قطب فناوری الکترونیک قدرت منطقه در سال ۱۴۰۴ خواهد بود.

با توجه به اینکه عبارت کلیدی چشم انداز توسعه فناوری الکترونیک قدرت کشور، قطب فناوری الکترونیک قدرت در منطقه در سال ۱۴۰۴ است و سایر عبارتهای چشم انداز جنبه توصیفی دارند، لذا به منظور قطب شدن کشور در زمینه فناوری الکترونیک قدرت در منطقه لازم است اهدافی کلان در این راستا در نظر گرفته شود که عبارتند از:

### اهداف کلان توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت:

- ❖ دستیابی به جایگاه نخست مصرف در بازار داخلی با قابلیت رقابتی بین المللی
- ❖ پیشتازی در طراحی، تولید و بهره برداری از تجهیزات تولید شده بومی در میان کشورهای منطقه
- ❖ دستیابی به سهمی از بازارهای بین المللی به ویژه بازارهای منطقه
- ❖ برخورداری مراکز آموزشی و پژوهشی کشور از دانش روز دنیا در زمینه فناوری های جدید و نوظهور با رویکرد ساخت نمونه های آزمایشگاهی

## نتیجه گیری

در این گزارش به عنوان یکی از گزارشات مرحله سوم پروژه تدوین سند راهبردی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق، به منظور ترسیم آینده روشن و مطلوب برای تجهیزات الکترونیک قدرت تحت شمول سند مذکور، با استفاده از مفهوم چشم انداز و بررسی چشم انداز اسناد کشورهای پیشرو و در حال توسعه در این زمینه، به ترسیم چشم انداز مطلوب و معقول پرداخته شد. لذا پس از ارائه مرور ادبیات تدوین چشم انداز و اهداف کلان در فصل اول، در فصل دوم با استفاده از الگوهای اخذ شده از مطالعات تطبیقی و نظرات خبرگان این حوزه و در راستای الزامات اخذ شده از اسناد بالادستی برای این سند، به جمع بندی و تدوین چشم انداز تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق پرداخته شد.

## مراجع

[۱]- دیوید، فرد آر؛ مدیریت استراتژیک، ترجمه دکتر علی پارسائیان و دکتر سید محمد اعرابی، ۱۳۸۱.

[۲]- پیرس و راینسون، برنامه‌ریزی و مدیریت راهبردی، ترجمه دکتر سهراب خلیلی شورینی، ۱۳۸۳.

[3]-Allison, M., Kaye, J., 1998. Strategic Planning for Nonprofit Organizations.

[4]-Kaplan, R.S., Norton, D.P., 1۹۹۶. The balanced scorecard: translating strategy into action. Harvard Business Press.

## فهرست مطالب

۳- فصل اول: مرور ادبیات اولویت بندی فناوری و سبک اکتساب فناوری.....	۳
۱-۱- مقدمه.....	۳
۲-۱- مرور ادبیات روش های تصمیم گیری چند شاخصه.....	۴
۱-۲-۱- فرآیند تصمیم گیری چند شاخصه.....	۱۳
۲-۲-۱- فرایند تحلیل سلسله مراتبی.....	۱۹
۳-۲-۱- ماتریس جذابیت و توانمندی.....	۲۳
۳-۱- مدل های اکتساب فناوری.....	۲۶
۱-۳-۱- مدل کیه زا.....	۲۶
۲-۳-۱- مدل فلوید (ای دی لیتل).....	۳۱
۳-۳-۱- مدل فورد.....	۳۲
۴-۳-۱- مدل تایید-بیسنت-پاویت.....	۳۴
۵-۳-۱- مدل گیلبرت.....	۳۵
۶-۳-۱- مقایسه مدل ها.....	۳۸
۴-۱- نتیجه گیری و مندولوژی منتخب.....	۳۹
۲- فصل دوم معیارهای ارزیابی و اولویت بندی تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق.....	۴۳
۱-۲- مقدمه.....	۴۳
۲-۲- معیارهای ارزیابی تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق.....	۴۴
۳-۲- اولویت بندی تجهیزات الکترونیک قدرت لایه اول بر اساس معیارهای ارزیابی.....	۴۷
۴-۲- معیارهای اولویت بندی سطح دوم تجهیزات الکترونیک قدرت.....	۵۲
۵-۲- اولویت بندی تجهیزات الکترونیک قدرت سطح دوم بر اساس معیارهای ارزیابی.....	۵۳

### ۳- فصل سوم سبک اکتساب فناوری های اولویت دار تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق. ۵۷.

- ۳-۱- مقدمه ..... ۵۷
- ۳-۲- تشریح مدل سبک اکتساب ..... ۵۷
- ۳-۲-۱ اجزاء مدل اکتساب فناوری ..... ۵۸
- ۳-۳- ارزیابی معیارهای سبک اکتساب ..... ۶۱
- ۳-۳-۱ معیار حجم بازار ..... ۶۲
- ۳-۳-۲ معیار چرخه عمر فناوری ..... ۶۳
- ۳-۳-۳ شکاف تکنولوژیک ..... ۹۸
- ۳-۳-۴ استراتژیک بودن فناوری ..... ۹۹
- ۳-۴- نتیجه گیری و انتخاب روش مناسب اکتساب ..... ۱۰۰
- نتیجه گیری ..... ۱۰۴
- پیوست شماره ۱ ..... ۱۰۵
- پیوست شماره ۲ ..... ۱۱۴
- مراجع ..... ۱۲۸



## فهرست اشکال

- شکل (۱-۱): دسته‌بندی شرایط حاکم بر مسأله تصمیم‌گیری ..... ۸
- شکل (۲-۱): جایگاه تصمیم‌گیری چندشاخصه نسبت به تصمیم‌گیری چندمعیاره ..... ۱۰
- شکل (۳-۱): خط‌کش اندازه‌گیری کیفی ..... ۱۱
- شکل (۴-۱): فرآیند تصمیم‌گیری چندشاخصه ..... ۱۳
- شکل (۵-۱): فرایند تعریف مسئله ..... ۱۴
- شکل (۶-۱): مثالی از سلسله مراتب یک مساله تصمیم‌گیری ..... ۲۱
- شکل (۷-۱): تقسیم‌بندی ماتریس جذابیت-قابلیت ..... ۲۳
- شکل (۸-۱): تقسیم‌بندی ماتریس از طریق خطوط مورب ..... ۲۶
- شکل (۹-۱): متدولوژی اولویت‌بندی و اکتساب فناوری‌های اولویت‌دار ..... ۴۱
- شکل (۱-۲): درخت فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت ..... ۴۵
- شکل (۲-۲): درخت فناوری پالایش شده ..... ۵۱
- شکل (۳-۲): ماتریس جذابیت و توانمندی ..... ۵۵
- شکل (۱-۳): مدل سبک اکتساب فناوری‌های اولویت‌دار ..... ۶۰
- شکل (۲-۳): مراحل چرخه عمر تکنولوژی ..... ۶۴
- شکل (۳-۳): تعداد مقالات منتشر شده در سایت IEEE در زمینه باد ..... ۶۵
- شکل (۴-۳): نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه شده در زیر شاخه‌های مربوط به الکترونیک قدرت سیستم باد ..... ۶۶
- شکل (۵-۳): میزان بودجه درخواستی برای سرمایه‌گذاری در صنعت باد ایالات متحده ..... ۶۷
- شکل (۶-۳): میزان بودجه واحد تحقیق و توسعه در انرژی باد و سهم بودجه باد در آن، در کشورهای عضو OECD ..... ۶۹

- شکل (۷-۳): مشارکت هریک از عوامل تولید برق بادی از جمله مبدل الکترونیک قدرت در قیمت کل.. ۷۴
- شکل (۸-۳): مقایسه درصد مشارکت توربین باد در هزینه کل تولید برق بادی در نواحی فراساحلی و غیر فراساحلی ..... ۷۵
- شکل (۹-۳): متوسط هزینه سرمایه گذاری اولیه تولید برق بادی در کشورهای اروپایی ..... ۷۵
- شکل (۱۰-۳): میزان قیمت تولید برق بادی در کشور امریکا به تفکیک ظرفیت هر توربین باد..... ۷۶
- شکل (۱۱-۳): تعداد مقالات منتشر شده در سایت IEEE در زمینه فتوولتاییک و اینورتر آن ..... ۷۷
- شکل (۱۲-۳): تعداد کل پتنتهای منتشر شده در زمینه فتوولتاییک و اینورتر فتوولتاییک ..... ۷۸
- شکل (۱۳-۳): اهداف تحقیق و توسعه در زمینه الکترونیک قدرت فتوولتاییک کشور آلمان ..... ۸۱
- شکل (۱۴-۳): بودجه واحد تحقیق و توسعه فتوولتاییک (درصدی از فروش کل) ..... ۸۲
- شکل (۱۵-۳): تولیدکنندگان اینورترهای فتوولتاییک ..... ۸۲
- شکل (۱۶-۳): میزان تولیدی اینورتر فتوولتاییک در ده شرکت برتر جهان (بر حسب مگاوات) ..... ۸۵
- شکل (۱۷-۳): درصد مشارکت کشورها در تولید اینورتر فتوولتاییک ..... ۸۶
- شکل (۱۸-۳): مقدار متوسط قیمت تمام شده برای نصب فتوولتاییک در کشور امریکا ..... ۸۶
- شکل (۱۹-۳): مقدار متوسط قیمت تمام شده برای کشور امریکا، ژاپن و آلمان ..... ۸۷
- شکل (۲۰-۳): درصد مشارکت قیمت هر یک از مولفه های سیستم فتوولتاییک ..... ۸۸
- شکل (۲۱-۳): میزان قیمت تولید سیستم فتوولتاییک در کشور امریکا به تفکیک توان مبدل ..... ۸۸
- شکل (۲۲-۳): نمودار تجمعی اختراعات ثبت شده در زمینه DSTATCOM ..... ۸۹
- شکل (۲۳-۳): نمودار تجمعی مقالات ژورنال چاپ شده در زمینه DSTATCOM ..... ۹۰
- شکل (۲۴-۳): نمودار تجمعی مقالات کنفرانسی چاپ شده در زمینه DSTATCOM ..... ۹۰
- شکل (۲۵-۳): نمودار تجمعی اختراعات ثبت شده در زمینه DVR ..... ۹۱
- شکل (۲۶-۳): نمودار تجمعی مقالات ژورنال چاپ شده در زمینه DVR ..... ۹۲

- شکل (۳-۲۷): نمودار تجمعی مقالات کنفرانسی ثبت شده در زمینه DVR ..... ۹۲
- شکل (۳-۲۸): نمودار تجمعی مقالات ژورنالی ارائه شده در زمینه TSC ..... ۹۳
- شکل (۳-۲۹): نمودار تجمعی مقالات کنفرانسی ارائه شده در زمینه TSC ..... ۹۳
- شکل (۳-۳۰): نمودار فراوانی تجمعی تعداد مقالات منتشر شده در کنفرانس‌ها و مجلات IEEE و ELSEVIER در زمینه مبدل‌های SFC مورد استفاده در نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای و گازی ..... ۹۴
- شکل (۳-۳۱): نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه شده در کلیه زیر شاخه‌های مربوط به الکترونیک قدرت سیستم SFC نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای و گازی ..... ۹۵
- شکل (۳-۳۲): نمودار فراوانی تجمعی تعداد مقالات منتشر شده در کنفرانس‌ها و مجلات IEEE در زمینه سیستم‌های تحریک ..... ۹۶
- شکل (۳-۳۳): نمودار فراوانی تجمعی تعداد کل مقالات منتشر شده در زمینه سیستم‌های تحریک ..... ۹۶
- شکل (۳-۳۴): نمودار فراوانی تجمعی کلیه پتنت‌های ارائه شده در زیر شاخه‌های مربوط به الکترونیک قدرت سیستم‌های تحریک ..... ۹۷

## فهرست جداول

- جدول (۱-۱): ماتریس تصمیم‌گیری چند شاخصه ..... ۱۱
- جدول (۲-۱): نحوه ارزش‌گذاری شاخص‌ها نسبت به یکدیگر ..... ۲۲
- جدول (۳-۱): عوامل مؤثر بر سبک مناسب اکتساب فناوری ..... ۲۷
- جدول (۴-۱): انتخاب روش مناسب همکاری فناورانه ..... ۲۹
- جدول (۵-۱): ماتریس فورده انتخاب روش دستیابی به فناوری بر اساس پنج معیار مؤثر ..... ۳۳
- جدول (۶-۱): تعیین سبک اکتساب مدل تایید-بیسنت-پاویت ..... ۳۴
- جدول (۷-۱): انواع روش‌های همکاری فناورانه در مدل تایید-بیسنت-پاویت ..... ۳۴
- جدول (۸-۱): ماتریس انتخاب سیستم و روش مناسب انتقال فناوری گیلبرت ..... ۳۷
- جدول (۹-۱): مقایسه مدل‌های اکتساب فناوری از منظر روش‌های پیشنهادی ..... ۳۸
- جدول (۱۰-۱): مقایسه مدل‌های اکتساب فناوری از نظر جامعیت ..... ۳۹
- جدول (۱-۲): اوزان هریک از معیارهای اولویت‌بندی ..... ۴۹
- جدول (۲-۲): اولویت بندی فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت ..... ۵۰
- جدول (۳-۲): توانمندی فعلی و جذابیت هر یک از تجهیزات ..... ۵۴
- جدول (۱-۳): حجم بازار تجهیزات الکترونیک قدرت اولویت‌دار ..... ۶۳
- جدول (۲-۳): کد بین‌المللی زیر شاخه‌های مرتبط به الکترونیک قدرت در باد ..... ۶۵
- جدول (۳-۳): کمپانی‌های برتر در زمینه باد و ظرفیت مبدل‌های قدرت آنها ..... ۷۰
- جدول (۴-۳): سهم تولید کنندگان برتر توربین باد در جهان ..... ۷۲
- جدول (۵-۳): سهم تولید کنندگان برتر در زمینه باد در کشور آمریکا [۴۲] ..... ۷۳
- جدول (۶-۳): قیمت تمام شده برای نصب توربین بادی در کشورهای مختلف در سال ۲۰۱۰ ..... ۷۴
- جدول (۷-۳): شرکتها و موسسات پیشرو در انتشار پتنت در زمینه فتوولتاییک و اینورتر آن ..... ۷۹

- جدول (۳-۸): برنامه‌های کوتاه مدت تحقیق و توسعه فتوولتایک کشور امریکا ..... ۷۹
- جدول (۳-۹): برنامه‌های میان مدت تحقیق و توسعه فتوولتایک کشور امریکا ..... ۸۰
- جدول (۳-۱۰): برنامه‌های بلند مدت تحقیق و توسعه فتوولتایک کشور امریکا ..... ۸۰
- جدول (۳-۱۱): کمپانی‌های برتر در زمینه اینورتر فتوولتایک در سال ۲۰۱۳ ..... ۸۳
- جدول (۳-۱۲): کد بین‌المللی زیر شاخه‌های مرتبط به مبدل SFC نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای و گازی ..  
..... ۹۴
- جدول (۳-۱۳): کد بین‌المللی زیر شاخه‌های مرتبط به سیستم‌های تحریک ژنراتور ..... ۹۷
- جدول (۳-۱۴): چرخه عمر تجهیزات الکترونیک قدرت اولویت‌دار ..... ۹۸
- جدول (۳-۱۵): شکاف تکنولوژیک تجهیزات الکترونیک قدرت اولویت‌دار ..... ۹۹
- جدول (۳-۱۶): میزان استراتژیک بودن فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت اولویت‌دار ..... ۱۰۰
- جدول (۳-۱۷): سبک اکتساب مناسب هر یک از فناوری‌های تجهیزات الکترونیک قدرت اولویت‌دار ..... ۱۰۱

## فصل اول

مرور ادبیات اولویت‌بندی فناوری و سبک اکتساب

فناوری

## ۱- فصل اول: مرور ادبیات اولویت‌بندی فناوری و سبک اکتساب فناوری

### ۱-۱- مقدمه

یکی از موضوعات مهم در برنامه‌ریزی توسعه فناوری، اولویت‌بندی فناوری‌ها در تمامی حوزه‌های فناورانه است. این امر از آن جهت دارای اهمیت است که پرداختن به همه فناوری‌های روز با توجه به تعدد موضوعات مطرح و نیز با در نظر گرفتن محدودیت منابع (منابع مالی، انسانی، زمان و ...)، امکان‌پذیر نخواهد بود. در حوزه تجهیزات الکترونیک قدرت نیز با توجه به گستردگی این فناوری و کاربردهای متنوع آن و عدم امکان سرمایه‌گذاری در همه انواع تجهیزات الکترونیک قدرت، اولویت‌بندی فناوری‌ها از اهمیتی ویژه‌ای برخوردار است. برخی کشورها نیز برای توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت اولویت‌بندی را انجام داده و بر اساس آن منابع خود را در جهت توسعه تجهیزات الکترونیک قدرت اولویت‌دار تخصیص داده‌اند. اولویت‌بندی فناوری‌ها کارکردهای فراوانی دارد که عبارتند از:

- تعریف پروژه‌های پژوهشی دارای اولویت بر اساس نیازهای فعلی و آینده
- انسجام و هماهنگی بین موضوعات پژوهشی در راستای نیل به اهداف تعیین شده
- ایجاد یک چارچوب تعامل و همکاری فی‌مابین تمامی ذی‌نفعان علی‌الخصوص مراکز پژوهشی و صنعت
- تخصیص منابع مالی و انسانی به صورت هدفمند در جهت پروژه‌های اولویت‌دار
- بسترسازی جهت تدوین، توجیه و تصویب برنامه و بودجه‌های سالیانه
- تمرکز سیاست‌ها و اقدامات حمایتی در جهت فناوری‌های اولویت‌دار

حال با توجه به مزایای اولویت‌بندی و تدوین ارکان جهت‌ساز، روش‌های مختلفی در ادبیات اولویت‌بندی فناوری همچون روش‌های اولویت‌بندی جذابیت - توانمندی با روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، آینده‌پژوهی، روش لیتل و ... وجود دارد. در این مطالعه با توجه به این که از ماتریس جذابیت و توانمندی جهت اولویت‌بندی فناوری استفاده شده است و به منظور تحلیل

جذابیت فناوری معیارهای مختلفی در نظر گرفته شده است، از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده شده است. در این فصل ادبیات تصمیم‌گیری چند معیاره به عنوان یکی از روش‌های اولویت‌بندی فناوری به اختصار بیان شده است. در این روش با توجه به مجموعه‌ای از معیارها، گزینه‌های مورد بررسی اولویت‌بندی می‌شوند. همچنین به منظور بیان متدولوژی اکتساب فناوری مروری بر ادبیات اکتساب فناوری در این بخش صورت پذیرفته است. در انتهای این فصل با توجه به مرور ادبیات اولویت‌بندی و اکتساب فناوری، روش منتخب جهت اولویت‌بندی و اکتساب فناوری‌های اولویت‌دار بیان شده است.

## ۱-۲- مرور ادبیات روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه<sup>۱</sup>

روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره<sup>۲</sup> به طور وسیع در دهه‌ی ۱۹۶۰ توسعه پیدا کردند. روش‌های کلاسیک مانند الکت<sup>۳</sup> محصول همین پیشرفت‌ها هستند. در دهه‌ی ۱۹۷۰ روش‌های جدید و نسخه‌های اصلاح شده‌ی روش‌های موجود توسعه پیدا کرد و در نهایت در دهه‌ی ۱۹۸۰ با استفاده از رایانه، در کاربرد و نتایج حاصل از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره تحول سریعی رخ داد.

به طور عام، روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر چند بخش اصلی هستند؛ تعیین گزینه‌های مختلف برای انتخاب، انتخاب معیارهای ارزیابی گزینه‌های مختلف و تعیین نتایج ارزیابی هر یک از گزینه‌ها، براساس معیارهای ارزیابی. در نتیجه‌ی این بررسی یک ماتریس که عموماً تحت عنوان ماتریس تصمیم خوانده می‌شود، به دست می‌آید.

علی‌رغم اینکه روش‌های مختلفی با عنوان تصمیم‌گیری چند معیاره شناخته می‌شوند (مانند روش‌های بهینه‌سازی و یا روش‌های رتبه‌بندی)، گام‌هایی که باید در مسیر تصمیم‌گیری برداشته شوند بسیار به هم شبیه هستند. این گام‌ها عبارتند از تعریف مسئله، تعیین و تبیین گزینه‌ها، انتخاب معیارها، تشکیل و مقداردهی ماتریس تصمیم، تعیین وزن معیارها، اولویت‌بندی گزینه‌ها و تصمیم‌گیری.

---

1. Multiple Attribute Decision Making (MADA)  
2. Multiple Criteria Decision Making (MCDA)  
3. ELECTRE



لینکوف<sup>۱</sup> و دیگران روش تصمیم‌گیری در سازمان‌های مختلف مرتبط با محیط زیست را در ایالات متحده و اروپا ارائه می‌کنند. آن‌ها بیان می‌کنند که علی‌رغم اینکه فرآیند تصمیم‌گیری اغلب بر مبنای مدل‌سازی فیزیکی و بعد بهینه‌سازی مهندسی بنا شده است، سازمان‌های متولی مسائل زیست محیطی در حال حرکت به سمت استفاده از ابزارهای تصمیم‌گیری تحلیلی، به خصوص روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره هستند. آن‌ها همچنین ارتباط بین گام‌های مختلف ذکر شده در بالا برای تصمیم‌گیری چند معیاره و فرآیندهای برنامه‌ریزی در سطح عمومی را تبیین کرده‌اند.

در حوزه‌ی انرژی، نیاز به در نظر گرفتن شاخص‌های زیست‌محیطی، تکنولوژیک و اجتماعی در برنامه‌ریزی انرژی، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره را رونق بخشیده است. پوهکار و رامچاندرا<sup>۲</sup> در بین روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چند معیاره، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی<sup>۳</sup>، روش پرومته<sup>۴</sup> و روش الکت<sup>۵</sup> را پرستفاده‌ترین روش‌ها در برنامه‌ریزی انرژی می‌دانند.

روش الکت<sup>۵</sup> بر مبنای تعیین اولویت‌های بالاتر بین هر جفت از گزینه‌های مختلف عمل می‌کند. سپس ماتریس‌های توافق<sup>۶</sup> و تنافر<sup>۷</sup> برای انتخاب یا رتبه‌بندی بین گزینه‌های مختلف تشکیل داده می‌شوند. بکالی و دیگران<sup>۸</sup> نشان داده‌اند که این روش به خوبی در برنامه‌ریزی انرژی مورد استفاده قرار گرفته است. آن‌ها یک برنامه‌ی عملیاتی را برای توسعه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر در مقیاس منطقه‌ای، با استفاده از رویکرد چند معیاره با دوازده معیار ارزیابی، بررسی کرده‌اند. این معیارها در چهار دسته سازگاری با شرایط سیاسی و حقوقی، سازگاری با شرایط تکنولوژیک و اقتصادی، سازگاری با تقاضای انرژی پیش‌بینی شده و تطابق با محدودیت‌های زیست محیطی طبقه‌بندی شده‌اند.

روش الکت<sup>۵</sup>، همچنان که گئورگوپولو و دیگران<sup>۹</sup> گزارش کرده‌اند، برای تدوین استراتژی انرژی در جزیره‌ی کرت<sup>۱۰</sup> مورد استفاده قرار گرفته است. در این بررسی چهار دسته معیار اقتصادی، سیاسی، تکنولوژیک و زیست محیطی برای ارزیابی و

- 1.Linkov
- 2.Pohekar and Ramachandran
- 3.Analytical Hierarchy Process (AHP)
- 4.PROMETHEE
- 5.ELECTRE
- 6.Concordance Matrix
- 7.Discordance Matrix
- 8.Beccali et al.
9. Georgopoulou et al.
- 10.Crete Island

مقایسه گزینه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای انتخاب بین گزینه‌های مختلف در سیاست‌های انرژی در سطح منطقه‌ای، خصوصاً در مناطقی که دارای منابع فراوان انرژی‌های تجدیدپذیر هستند مورد تأکید این پژوهش است. استفاده از این روش‌ها، در این موارد، وارد کردن معیارهای زیست‌محیطی را، به مانند معیارهای فنی، اقتصادی و سیاسی، برای تحلیل ممکن می‌کند. به هر حال، این نکته مورد تأکید قرار گرفته است که ما با تکنیک‌های "تصمیم‌یار" مواجه هستیم و نه با روش‌های "تصمیم ساز"؛ به عبارت دیگر، به کار بردن این روش‌ها تنها یکی از گام‌های لازم برای تصمیم‌گیری را تشکیل می‌دهند.

از طرف دیگر، استفاده از روش پرومته نیز در حال افزایش است. کاوالارو<sup>۱</sup> یک نظام یکپارچه چندمعیاره<sup>۲</sup> برای ارزیابی گزینه‌ها مطرح می‌کند که روش پرومته به عنوان مبنای توسعه‌ی این نظام قرار دارد. او این نظام را با استفاده از معیارهای اقتصادی، تکنولوژیک، زیست‌محیطی و اجتماعی برای مقایسه بین گزینه‌های مختلف در مورد منطقه ایتالیایی مسینا<sup>۳</sup> به کار برده است. این نکته که در این مورد جریان خالص<sup>۴</sup> (که برابر تفاضل بین جریان مثبت و منفی تعریف می‌شود) برای رسیدن به رتبه‌بندی در بین گزینه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد حائز اهمیت است.

اضافه بر این‌ها، ترکیبی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، که به صورت موازی با یکدیگر و یا به دنبال هم به کار برده می‌شوند، نیز ممکن است انتخاب مناسبی برای برنامه‌ریزی باشد. لوکن<sup>۵</sup> ترکیب‌های مختلف در استفاده از این روش‌ها مانند استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی در کنار پرومته، یا فرایند تحلیل سلسله مراتبی توأم با تاپسیس<sup>۶</sup>، و فرایند تحلیل سلسله مراتبی در کنار برنامه‌ریزی آرمانی<sup>۷</sup> را در ادبیات مورد اشاره قرار می‌دهد.

پیش از ورود به بحث در رابطه با موضوع تصمیم‌گیری چندشاخصه، بررسی ابزارهای عام تصمیم‌گیری و تعیین جایگاه تصمیم‌گیری چند معیاره خالی از لطف نیست. در این مطالعه، منظور از تصمیم‌گیری، انتخاب از میان چند جایگزین است. این رویکرد کاربرد فراوانی در انواع مسائل مربوط به تصمیم‌گیری در حوزه‌های مختلف دارد. در مسائلی که ملاحظات مربوط به

1. Cavallaro

2. Multicriteria integrated system

3. Messina

4. Net flow

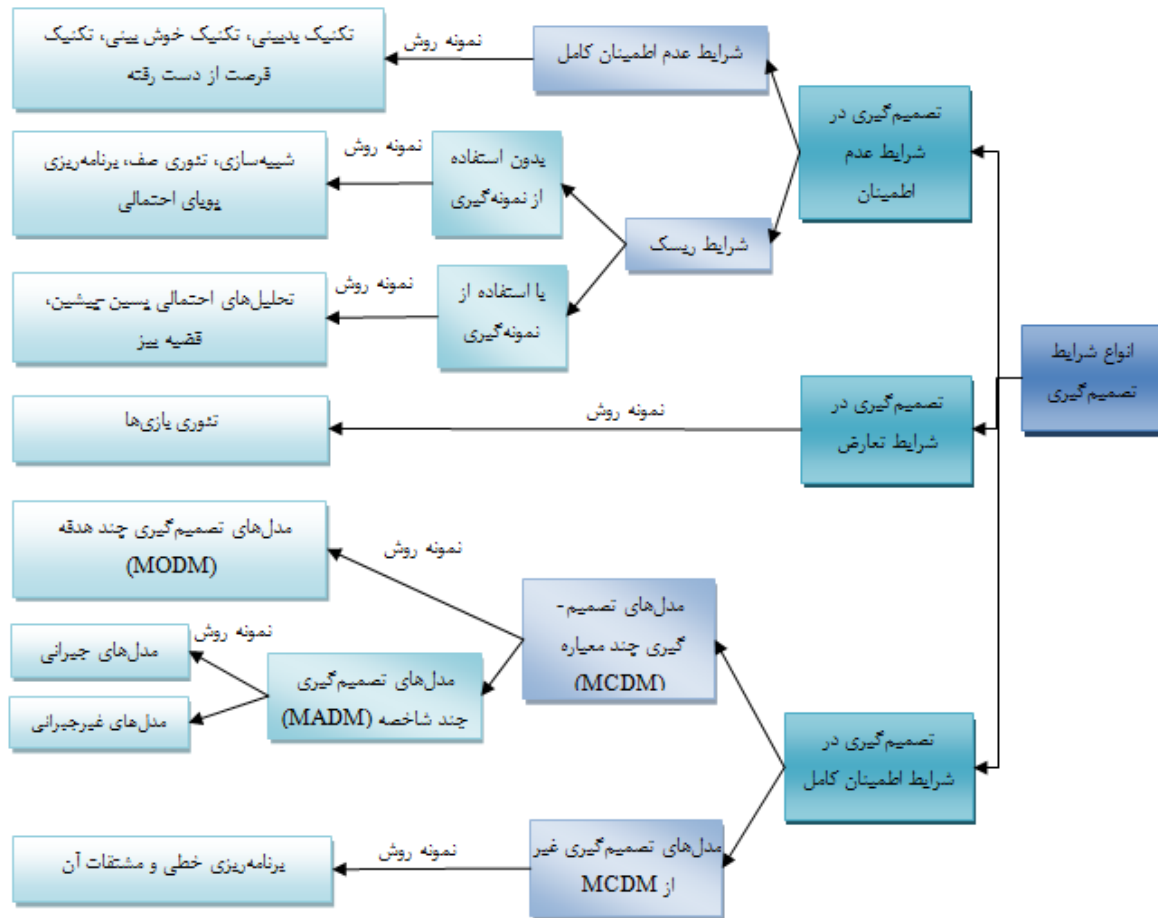
5. Loken

6. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

7. Goal Programming (GP)

توسعه‌ی پایدار در تصمیم‌گیری‌ها مطرح باشد، استفاده از این رویکرد بسیار متداول است. توانایی اصلی این رویکرد در ساختاریختی به مسائل و دخیل کردن وجوه مختلف مسئله در تصمیم‌گیری است. بنابراین، این رویکرد نیز گزینه‌ای محتمل برای استفاده در حل مسئله‌ی حاضر به نظر می‌رسد. در ادامه، جایگاه تصمیم‌گیری چند شاخصه در میان تکنیک‌های ریاضی تصمیم‌گیری نشان داده می‌شود. سپس به معرفی تصمیم‌گیری چند شاخصه پرداخته می‌شود.

فنون ریاضی تصمیم‌گیری، یکی از با ارزش‌ترین دستاوردهای فعالیت پژوهشگران است که غالباً تحت عناوین "تحقیق در عملیات"، "پژوهش عملیاتی" و یا "تکنیک‌های کمی تصمیم‌گیری" در محافل علمی مطرح می‌شوند. در نگرش فرآیندی به تصمیم‌گیری، محور تأکید و کاربرد این فنون به ایجاد مدل از مسئله تصمیم، ارزیابی راه‌حل‌های ممکن و گزینش بهترین یا رضایت‌بخش‌ترین راه‌حل مربوط می‌شود. بررسی مفروضات و رویکرد تکنیک‌های اولیه تصمیم‌گیری، حکایت از ساده‌سازی و ناتوانی در مد نظر قرار دادن تمام ابعاد مترتب بر مسائل تصمیم دارد. اما در حال حاضر، روش‌های نوین تصمیم‌گیری کمتر به ساده‌سازی پرداخته و علاوه بر مدل‌سازی و آنالیز جنبه‌های ایستا، به خوبی قادر به لحاظ نمودن جنبه‌های دینامیک مسائل تصمیم می‌باشند. به عبارت دیگر در گذر زمان همراه با افزایش درجه پیچیدگی و تنوع مسائل تصمیم‌گیری، روش‌های تصمیم‌گیری نیز متنوع و از توانمندی‌های بیشتری برخوردار گردیده‌اند. همچنین نتایج گزارش شده از کاربرد این روش‌ها به خوبی دلالت بر استفاده گسترده از آن‌ها در حوزه‌های مختلف تصمیم‌گیری دارد. اما باید توجه داشت که هر یک از روش‌های تصمیم‌گیری با توجه به مفروضات و رویکرد خاص خود در برخی شرایط تصمیم، نسبت به دیگر روش‌ها ارجحیت دارد. در شکل زیر، دسته‌بندی شرایط حاکم بر مسئله تصمیم‌گیری بر مبنای میزان اطلاعات موجود در خصوص عوامل تأثیرگذار بر تصمیم‌گیری به همراه برخی از مهم‌ترین روش‌های قابل استفاده در هر شرایط نشان داده شده است.



شکل (۱-۱): دسته‌بندی شرایط حاکم بر مسأله تصمیم‌گیری

همان‌گونه که در شکل (۱-۱) مشخص است تصمیمات اخذ شده از سوی افراد بسته به میزان دانش و اطلاعات آن‌ها در مورد وضعیت تصمیم‌گیری به سه دسته تقسیم می‌شوند. تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان، دلالت بر نوعی از تصمیم‌گیری دارد که به دلیل وجود متغیرهای غیرقابل کنترل، پیامدهای انتخاب هر گزینه یا تصمیم، مشخص نخواهد بود. این شرایط نیز به نوبه خود به دو دسته تقسیم می‌شود:

- تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان کامل

- تصمیم‌گیری در شرایط ریسک

در شرایط عدم اطمینان کامل، تصمیم‌گیرنده هیچ نوع اطلاعاتی در خصوص متغیرهای غیرقابل کنترل ندارد و لذا مشخص نیست که در آینده چه شرایط و وضعیتی رخ می‌دهد و حتی پیش‌بینی وضعیت آتی به صورت احتمالی نیز میسر نیست. در این

نوع از شرایط تصمیم‌گیری، می‌توان از تکنیک‌هایی نظیر تکنیک بدبینی<sup>۱</sup>، تکنیک خوش‌بینی<sup>۲</sup> و تکنیک فرصت از دست رفته استفاده کرد. به طور کلی در این تکنیک‌ها دیدگاه‌های مختلفی نسبت به شرایط آتی و پیامدهای هر تصمیم متصور شده و گزینه بهینه برگزیده می‌شود.

تصمیم‌گیری در شرایط ریسک شبیه حالت عدم اطمینان است، با این تفاوت که تصمیم‌گیرنده قادر به تعیین احتمال رخداد متغیرهای غیرقابل کنترل می‌باشد. به عبارت دیگر از دیدگاه ریاضی، تابع توزیع احتمالی وقوع متغیرهای غیرقابل کنترل مشخص است؛ لذا از این طریق می‌توان آن‌ها را تجزیه و تحلیل کرد. در این شرایط، مدل‌های احتمالی قابل استفاده بوده و همان‌گونه که در شکل بالا، نشان داده شده است، به دو دسته بدون استفاده و با استفاده از نمونه‌گیری، تقسیم می‌شوند.

در شرایط تعارض تصمیم‌گیری، به علت وجود تعارض بین منافع دو رقیب، یک تصمیم به عنوان متغیر غیرقابل کنترل برای یک تصمیم‌گیرنده تلقی می‌شود. در این شرایط فرض بر آن است که رقبا تصمیم‌گیرنده، همگی منطقی بوده و هر یک سعی بر آن دارد که بیشترین سود یا کمترین ضرر ممکنه را متحمل شود. از نقطه نظر روش‌های تصمیم‌گیری، این نوع تصمیم‌گیری تحت عنوان تئوری بازی‌ها<sup>۳</sup> بررسی می‌شود.

در تصمیم‌گیری در شرایط اطمینان کامل، کلیه متغیرهای تأثیرگذار بر تصمیم، ثابت فرض می‌شوند. به عبارت دیگر در این شرایط، تصمیم‌گیرنده با اطمینان، پیامدهای انتخاب هر گزینه را می‌داند و لذا برای این شرایط از تصمیم‌گیری، متغیرهای غیرقابل کنترل وجود ندارد. روش‌های ریاضی تصمیم‌گیری در این حوزه به دو دسته مدل‌ها و فنون تصمیم‌گیری چند معیاره و مدل‌ها و فنون غیر چند معیاره تقسیم می‌شوند. در دسته اول، دو یا چند معیار به طور هم‌زمان برای انتخاب تصمیم مد نظر قرار می‌گیرد؛ اما در دسته دوم، تنها یک معیار که غالباً تحت عنوان حداکثر نمودن سود یا حداقل نمودن هزینه بیان می‌شود، مبنای تصمیم‌گیری است. در این دسته، روش‌های متنوعی نظیر برنامه‌ریزی خطی و مشتقات آن ارائه شده است.

مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره نیز به دو دسته مدل‌های تصمیم‌گیری چند هدفی<sup>۴</sup> و مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه تقسیم می‌شوند. در مدل‌های تصمیم‌گیری چند هدفی، چندین هدف به طور هم‌زمان جهت بهینه شدن مد نظر قرار می‌گیرند.

1. Maximin
2. Maximax
3. Games theory
4. Multi-Objective Decision Making (MODM)

مقیاس سنجش برای هر هدف ممکن است با مقیاس سنجش برای سایر اهداف متفاوت باشد. به عنوان مثال، یک هدف می‌تواند حداکثر نمودن سود باشد که بر حسب واحد پول سنجیده می‌شود و هدف دیگر حداقل استفاده از ساعات نیروی کار باشد. از طرفی این اهداف در برخی موارد در تضاد با یکدیگر هستند و در یک جهت حرکت نمی‌کنند. مثلاً تصمیم‌گیرنده از یک سو تمایل دارد رضایت کارکنان را افزایش دهد و از سوی دیگر، خواستار حداقل نمودن هزینه‌های حقوق و دستمزد است. به هر حال در این زمینه کاراترین روش تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی آرمانی است.

در مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه تصمیم‌گیری با لحاظ نمودن معیارهای مختلف (و معمولاً متعارض) در فضای جواب گسسته صورت می‌پذیرد. همان‌طور که در زیر نیز پیداست، تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در دسته‌ی بزرگ‌تری از تکنیک‌ها با نام تصمیم‌گیری چند شاخصه قرار می‌گیرند.



شکل (۲-۱): جایگاه تصمیم‌گیری چندشاخصه نسبت به تصمیم‌گیری چندمعیاره

تصمیم‌گیری چند شاخصه معمولاً توسط ماتریس نشان داده شده در جدول (۱-۱) نمایش داده می‌شود.

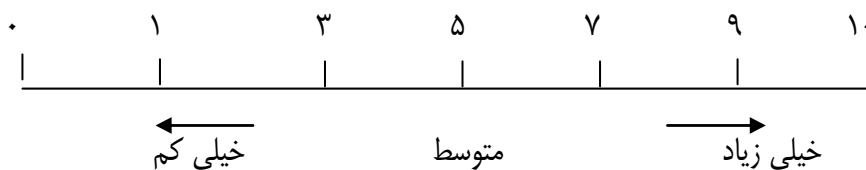
جدول (۱-۱): ماتریس تصمیم‌گیری چند شاخصه

ماتریس تصمیم‌گیری چند شاخصه				
شاخص گزینه	$X_1$	$X_2$	...	$X_n$
$A_1$	$r_{11}$	$r_{12}$	...	$r_{1n}$
$A_2$	$r_{12}$	$r_{22}$	...	$r_{2n}$
			$r_{ij}$	
$A_m$	$r_{m1}$	$r_{m2}$	...	$r_{mn}$

$A$ ، بیانگر گزینه  $z$  ام و  $r_{ij}$  نشان‌دهنده ارزیابی گزینه  $i$  ام بر مبنای معیار  $z$  ام باشد

معیارها در مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه، می‌تواند از مقیاس‌های مختلف و غالباً متعارض باشند. در این بین، گزینه‌ای بهتر خواهد بود که ایده‌آل هر معیار را تأمین نماید؛ اگرچه این امر در اغلب مواقع غیر ممکن است. به هر حال از لحاظ ریاضی، بهترین گزینه در یک مدل تصمیم‌گیری چند شاخصه، یک گزینه ذهنی  $A^*$  خواهد بود که مرجح‌ترین ارزش یا مطلوبیت را از هر معیار کسب نماید.

یکی دیگر از موضوعات مورد توجه در مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه، مقیاس اندازه‌گیری معیارها است که به صورت کمی و کیفی وجود دارد. به علاوه در معیارهای کمی نیز مقیاس اندازه‌گیری ممکن است متفاوت باشد (مانند هزینه بر حسب ریال و وزن بر حسب کیلوگرم). در اندازه‌گیری معیارهای کیفی، از مقیاس‌های فاصله‌ای و رتبه‌ای استفاده می‌شود. برای این کار خط کش زیر پیشنهاد می‌شود:



شکل (۳-۱): خط‌کش اندازه‌گیری کیفی

این نوع اندازه‌گیری برای معیارهایی با جنبه مثبت مانند "استحکام" (که هر چه بیشتر باشد مطلوب‌تر خواهد بود) به صورت فوق تعریف می‌شود. مقدار صفر بیانگر حداقل ارزش ممکن و مقدار ۱۰ مشخص‌کننده حداکثر ارزش ممکن از معیار مورد نظر است. در صورتی که معیار جنبه منفی داشت، پیشنهاد می‌شود سؤال را عکس کرده تا معیار جنبه مثبت پیدا کند چرا که ذهن انسان در مورد جنبه مثبت بهتر ارزیابی می‌کند. برای مثال معیار هزینه کمتر را می‌توان به هزینه بیشتر تبدیل کرد؛ در این صورت اگر پاسخ دهنده جواب ۹ را انتخاب کند، باید آن را به ۱ و اگر ۳ را انتخاب کند، به ۷ تبدیل کرد.

مسائل تصمیم‌گیری چند شاخصه، بسیار متنوع هستند؛ اما با وجود این تنوع، در ویژگی‌های زیر مشترک می‌باشند:

الف - گزینه‌ها: در مسائل تصمیم‌گیری چند شاخصه، تعداد محدودی گزینه جهت اولویت، انتخاب و یا دسته‌بندی مورد بررسی قرار می‌گیرند. معمولاً واژه گزینه مترادف با واژه‌های انتخاب<sup>۱</sup>، خط مشی<sup>۲</sup>، اقدام<sup>۳</sup> و یا کاندیدا است.

ب - معیارهای چندگانه: هر مسئله از نوع تصمیم‌گیری چند شاخصه، دارای معیارهای چندگانه می‌باشد. در این معیارها پس از ارائه توسط تصمیم‌گیرنده و ارزیابی گزینه‌ها بر مبنای آن، سرانجام گزینه برتر انتخاب یا اولویت‌بندی می‌گردد. تعداد معیارها به ماهیت مسئله بستگی دارد.

ج - واحدهای بی‌مقیاس: هر معیار نسبت به معیار دیگر دارای مقیاس اندازه‌گیری متفاوتی است. لذا به دلیل با معنی بودن محاسبات و نتایج از طریق روش‌های علمی، داده‌ها بی‌مقیاس می‌شوند، به گونه‌ای که اهمیت نسبی آن‌ها حفظ شود.

د - وزن معیار: تمام روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه، مستلزم وجود اطلاعاتی است که بر اساس اهمیت نسبی هر معیار بدست آمده باشند. این اطلاعات معمولاً دارای مقیاس ترتیبی یا اصلی هستند. وزن‌های مربوط به معیارها می‌تواند مستقیماً توسط تصمیم‌گیرنده و یا به وسیله روش‌های علمی به معیارها تخصیص داده شود. در واقع وزن‌ها میزان اهمیت نسبی هر معیار را در تصمیم‌گیری مربوطه بیان می‌کند.



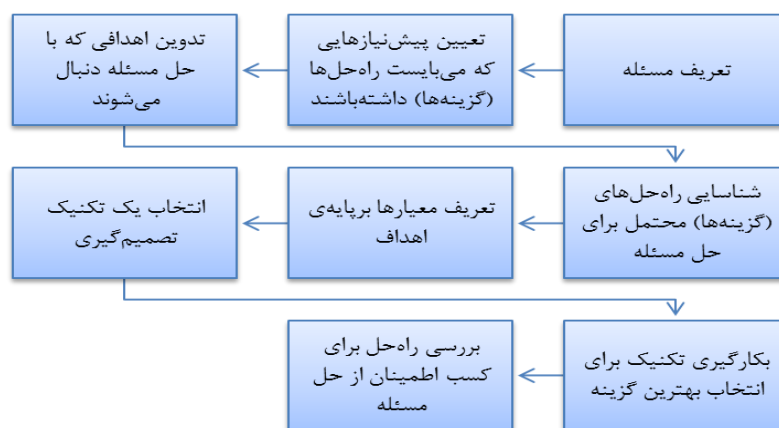
## ۱-۲-۱ فرآیند تصمیم‌گیری چند شاخصه

اولین اولویت در تصمیم‌گیری، تعیین تصمیم‌گیران و ذی‌نفعان در تصمیم است. منظور از ذی‌نفع هر شخص یا گروهی است که بر فرآیند تصمیم‌گیری تأثیرگذار بوده یا از آن اثرپذیر باشد. با تعیین تصمیم‌گیران در ابتدای فرآیند تصمیم‌گیری می‌توان از بروز عدم توافق بر سر تعریف مسئله، پیش‌نیازها، اهداف و معیارها پیشگیری کرد. با وجود عدم حضور پیوسته‌ی تصمیم‌گیر(ان) در انجام ارزیابی، بازخوردهای<sup>۱</sup> دریافتی از آنها برای قدم‌های زیر در فرآیند ضروری است:

- تعریف مسئله
- تعیین پیش‌نیازها
- تعیین اهداف
- توسعه‌ی معیارهای ارزیابی

شکل (۴-۱) نشان‌دهنده‌ی فرآیند تصمیم‌گیری چند شاخصه است. فرآیند از قدم اول به سمت قدم‌های بعدی است؛ اما با

دریافت اطلاعات جدید، در هر قدمی می‌توان به عقب حرکت کرد.

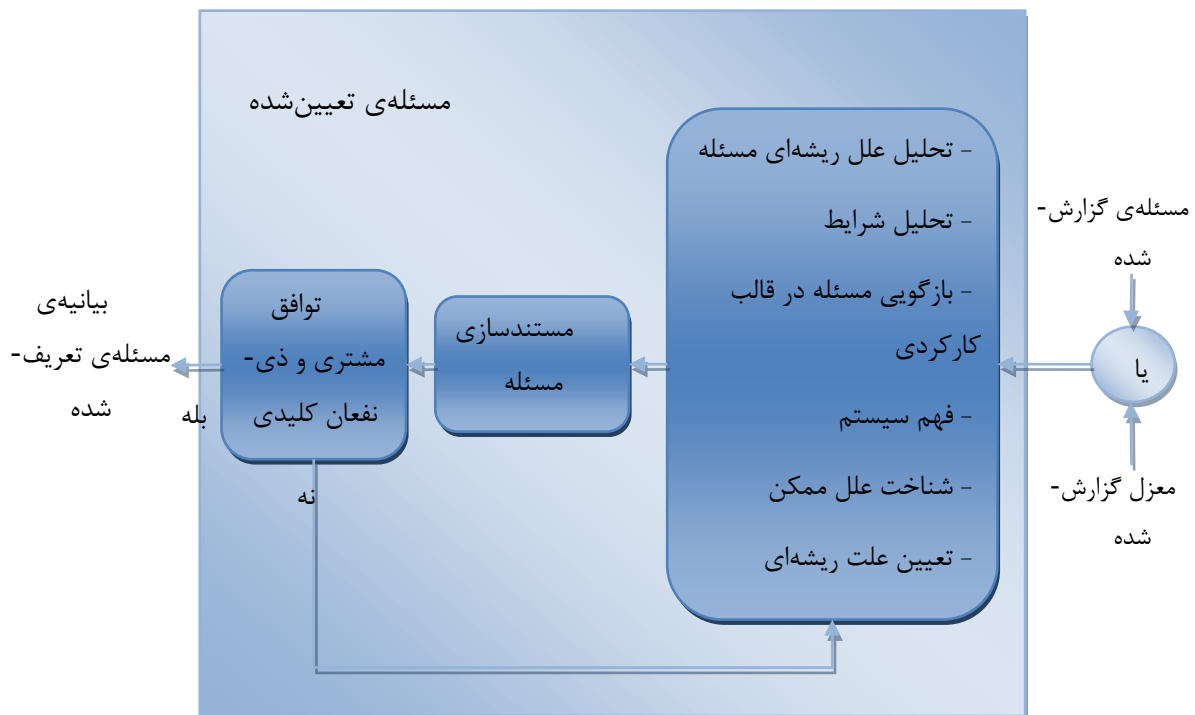


شکل (۴-۱): فرآیند تصمیم‌گیری چندشاخصه

### قدم ۱: تعریف مسئله

تعریف مسئله اولین قدم اساسی در یک تصمیم‌گیری خوب است. این فرآیند می‌بایست حداقل، علل ریشه‌ای، فرض‌های محدودکننده، مرز سیستم و سازمان و ملاحظات ذی‌نفعان را تعیین کند. هدف از تعریف مسئله، بیان ملاحظات بصورت واضح و در قالب یک بیانیه‌ی مسئله‌ی تک‌جمله‌ای و توصیف‌کننده‌ی شرایط اولیه و مطلوب است. توافق تصمیم‌گیران و تحلیل‌گران بر روی یک بیانیه‌ی مسئله‌ی مکتوب ضروری است. این کار به منظور حصول اطمینان از اتفاق نظر همه بر مسئله‌ای که می‌بایست حل شود، انجام می‌شود.

نکته‌ی کلیدی در توسعه‌ی یک بیانیه‌ی مسئله‌ی مناسب، پرسش‌سوال‌ات کافی در رابطه با مسئله است. این کار به منظور حصول اطمینان از پاسخ‌گویی به مسئله‌ی ذی‌نفعان صورت می‌گیرد. با وجود ذی‌نفعان می‌توان از آن‌ها تقاضای بررسی بیانیه‌ی مسئله به همراه شرایط فعلی و مطلوب کرد. این اقدام یک بررسی خارجی را پیش از تعیین پیش‌نیازها و اهداف فراهم می‌آورد.



شکل (۵-۱): فرآیند تعریف مسئله

## قدم ۲: تعیین پیش نیازها

پیش نیازها، شرایطی است که راه حل های قابل پذیرش باید دارا باشند. پیش نیازها تشریح کننده ی کارهایی هستند که راه حل می بایست برای مسئله انجام دهد. برای مثال، یک پیش نیاز می تواند تولید حداقل ۱۰ واحد در روز توسط یک فرآیند باشد. در این صورت هر گزینه ای با تنها ۹ واحد تولید در روز، حذف خواهد شد. نیازی به استفاده از پیش نیازهایی که میان گزینه ها تفاوتی ایجاد نمی کنند، نیست.

## قدم ۳: تدوین اهداف

اهداف، بیانیه های گسترده ای از ارزش های برنامه ریزی شده مطلوب و مورد علاقه است. مثال هایی از اهداف عبارتند از:

- کاهش خطر تشعشعات روی کارگران

- کاهش هزینه ها

- کاهش ریسک عمومی

اهداف از حداقل های ضروری (پیش نیازها) فراتر رفته و به خواسته ها و مطلوب ها میل می کند. می اهداف را باید بصورت مثبت بیان کرد (بجای استفاده از واژه ی نباید از واژه ی باید استفاده شود). به علت استفاده ی اهداف در تعیین گزینه های برتر (یعنی تعریف مطلوب مسئله با جزئیات بیشتر)، آن ها مقدم بر گزینه ها تعیین می شوند.

گاهی اهداف متعارض هستند. این موضوع نه غیرمعمول بوده و نه موجب ایجاد نگرانی می شود. در خلال تعریف اهداف، رفع تعارض میان آن ها و تعیین اهمیت نسبی آن ها ضروری نیست. ممکن است، فرآیند تدوین اهداف منجر به تعیین پیش نیازهای جدید یا بازنگری شده یا پیش نیازهایی که باید به اهداف تبدیل گردند، شود. در هر مطالعه ای، فهم پیش نیازها و اهداف، برای تعیین گزینه ها مهم است.

## قدم ۴: شناسایی راه حل ها

راه حل‌ها (گزینه‌ها) رویکردهای مختلفی را به منظور تبدیل شرایط فعلی به شرایط مطلوب پیشنهاد می‌کنند. تیم تصمیم‌گیری، پیش‌نیازها و اهداف را ارزیابی کرده و گزینه‌هایی که پیش‌نیازها را دارا بوده و اهداف را در حد امکان برآورده می‌کنند پیشنهاد می‌دهد. عموماً، توانایی گزینه‌ها در دارا بودن پیش‌نیازها و برآورده ساختن اهداف متفاوت است. گزینه‌هایی که دارای پیش‌نیازها نبوده می‌بایست برای مطالعات بعدی جدا شوند. در صورت عدم برآورده شدن پیش‌نیازی برای یک گزینه، سه عمل زیر قابل انجام است:

- حذف گزینه

- تغییر یا حذف پیش‌نیاز

- بازگویی پیش‌نیاز بصورت یک هدف

توصیف هر گزینه می‌بایست نشان‌دهنده‌ی راه حل مسئله‌ی تعریف‌شده توسط آن باشد. همچنین، توصیف هر گزینه، دربرگیرنده‌ی تفاوت آن با دیگر گزینه‌ها است.

### قدم ۵: تعریف معیارها

معمولاً هیچ گزینه‌ای در رابطه با همه‌ی اهداف بهترین نخواهد بود. این موضوع، علت مقایسه‌ی گزینه‌ها با یکدیگر است. بهترین گزینه، نزدیک‌ترین آن‌ها به اهداف است. معیارهای تصمیم‌گیری که میان گزینه‌ها ایجاد تفاوت می‌کنند، می‌بایست بر پایه‌ی اهداف بنا شوند. تعریف معیارها بصورت شاخص‌هایی برای اندازه‌گیری اهداف ضروری است. این تعریف معیارها نمایانگر میزان حصول اهداف پروژه توسط هر یک از گزینه‌ها است.

هر معیار می‌بایست نمایانگر موضوعی مهم بوده و به دیگر معیارها وابسته نباشد. هر معیار باید در میان گزینه‌های مختلف بطور معنی‌داری تمایز ایجاد کند. برای مثال، در صورت هم‌رنگ بودن همه‌ی گزینه‌ها در یک مسئله‌ی تصمیم‌گیری یا بی‌تفاوت بودن رنگ گزینه‌ها برای تصمیم‌گیر، رنگ یک معیار نخواهد بود.

شرایط مورد نیاز برای مجموعه‌ی معیارها:

- کامل (شامل همه‌ی اهداف)

- عملیاتی (معنادار برای فهم تصمیم‌گیر از عواقب هر گزینه)

- غیر تکراری (پرهیز از بازشماری)

- تعداد کم (برای قابل کنترل ماندن ابعاد مسئله)

استفاده از تعداد کمی از ابعاد ممیزهای (منظور معیارهاست) واقعی، منجر به تحلیل مسئله‌ی قابل فهم‌تری خواهد شد؛ چرا که، از پیچیدگی مسئله کاسته شده است. هر هدف حداقل یک معیار ایجاد خواهد کرد. در صورتی که هدفی منجر به تعریف هیچ معیاری نشود، می‌بایست حذف شود.

برخی روش‌ها برای تسهیل در انتخاب معیارها قابل استفاده هستند:

- طوفان فکری

- میزگرد (مجمع)<sup>۱</sup>

- روش معکوس

- معیارهای از پیش تعیین شده

طوفان فکری: ابزاری مهم است که به وسیله‌ی گروه پشتیبان (تیم تحلیل‌گر)، برای تعیین، تحلیل و توسعه‌ی مسئله، گزینه‌های ممکن و معیارها بکار گرفته می‌شود. طوفان فکری تکنیکی برای استفاده‌ی غیر محسوسات<sup>۲</sup> در تولید ایده‌ها است. لازم به بیان است که تفکر خلاق و متفاوت، در این گام، ضروری است. در فرآیند طوفان فکری هیچ ایده‌ای در فرآیند در ابتدا مورد انتقاد قرار نگرفته و همگی ایده‌ها ضبط می‌شوند. پس از اتمام طوفان فکری، ایده‌ها پذیرش، پالایش، ترکیب و یا کنار گذاشته می‌شوند.

میزگرد: در این تکنیک از اعضای تیم بطور جداگانه درباره‌ی اهداف و معیارهای مربوط به آن‌ها پرسیده می‌شود. کسب

اطلاعات اولیه در رابطه با ایده‌ها می‌بایست بدون قضاوت انجام پذیرد (همگی ایده‌ها پیش از شروع انتقادها ضبط می‌گردد).

1.Round Robin

2.subconscious

در صورت تفاوت زیاد در رتبه و موقعیت افراد شرکت کننده، استفاده از روش نظامی می تواند مفید باشد. در روش نظامی، از افراد با رتبه‌ی پایین تر، زودتر سؤال می شود. این عمل به منظور جلوگیری از تحت تاثیر قرار گرفتن افراد از افراد با رتبه‌ی بالاتر صورت می پذیرد.

روش معکوس: در این روش، اعضای تیم گزینه‌های موجود را در نظر گرفته، تفاوت میان آن‌ها را تعیین کرده و معیارهای نمایانگر این تفاوت‌ها را توسعه می دهند.

معیارهای از پیش تعیین شده: ذی نفعان و تصمیم گیران برخی از معیارها را فراهم می کنند. معیارها، همچنین می توانند از راه مرور ادبیات و مطالعه‌ی کارهای انجام شده‌ی مشابه، تعیین اعتبار تعریف شوند.

ورودی‌ها از تصمیم گیران برای توسعه‌ی معیارهای مناسب ضروری هستند. همچنین، تایید تصمیم گیر، پیش از بکارگیری معیارها در ارزیابی گزینه‌ها حیاتی است.

### قدم ۶: انتخاب یک تکنیک تصمیم گیری

ابزارهای تحلیل تصمیم، فرآیندهای منطقی (پرونده‌های نظام مند) برای اعمال تفکر منتقدانه (ارزیابانه) بر اطلاعات، داده‌ها و تجارب برای اتخاذ تصمیمی متعادل، زمانی که انتخاب میان گزینه‌ها ناواضح باشد، هستند. ابزارهای تحلیل تصمیم، اعمال مهارت‌های تفکر منتقدانه برای تجمیع پاسخ‌ها به سؤالات مطرح درباره‌ی مسئله را از راه‌های نظام مند فراهم می کنند. قدم‌های موجود در این روش‌ها عبارتند از تبیین هدف، ارزشیابی گزینه‌ها، ارزیابی ریسک و فایده‌ها و تصمیم گیری. این قدم‌ها معمولاً شامل امتیازدهی به معیارها و گزینه‌ها نیز هستند.

از میان ابزارهای تصمیم گیری چند شاخصه، نمی توان یک ابزار را بهترین آن‌ها دانست. هر یک از ابزارهای تصمیم گیری برای شرایط خاصی از تصمیم گیری مناسب هستند. همان طور که بیان شد، بطور کلی می توان ابزارهای تصمیم گیری را به دو دسته‌ی کیفی و کمی تقسیم کرد. در هر یک از دسته‌های ابزارهای تصمیم گیری، ابزارهای متعددی یافت می شود. با توجه به شرایط مسئله، میزان کاربرد ابزار در زمینه‌ی مورد مطالعه و انتظارات تحلیل گران و تصمیم گیران از ابزار، مناسب ترین آن‌ها برای مسئله‌ی مورد نظر انتخاب می شود. در بخش‌های بعدی به معرفی این ابزارها پرداخته می شود.

### قدم ۷: بکارگیری ابزار

با توجه به شرایط مسئله، گزینه‌ها می‌توانند به وسیله‌ی روش‌های کمی، کیفی و ترکیب آن‌ها ارزیابی شوند. در بکارگیری ابزار، در صورت برابر نبودن اهمیت نسبی معیارها، به هر یک از آن‌ها وزنی اختصاص داده می‌شود. با انجام این کار، رتبه‌بندی گزینه‌ها به اهداف مورد نظر نزدیک‌تر خواهد بود. همچنین، تحلیل حساسیت و عدم قطعیت را می‌توان به منظور افزایش کیفیت فرآیند تصمیم‌گیری بکار گرفت. در این قدم، تحلیل‌گران مجرب فهم مورد نیاز از ابزار انتخابی را برای تصمیم‌گیران فراهم می‌کنند.

### قدم ۸: بررسی راه‌حل

پس از انتخاب بهترین گزینه توسط فرآیند تصمیم‌گیری، گزینه‌ی منتخب برای حصول اطمینان از برآورده‌سازی هدف مسئله، می‌تواند بررسی شود. گزینه‌ی نهایی، می‌بایست شرایط مطلوب را برآورده ساخته، پیش‌نیازها را دارا بوده و اهداف را به بهترین وجه حاصل کند. پس از اعتبارسنجی گزینه‌ی منتخب، تیم پشتیبان تصمیم‌گیری می‌تواند آن را به عنوان گزینه‌ی منتخب پیشنهاد دهند.

## ۱-۲-۲ فرایند تحلیل سلسله مراتبی

در علم تصمیم‌گیری که در آن انتخاب یک راهکار از بین راهکارهای موجود و یا اولویت‌بندی راهکارها مطرح است، چند سالی است که روش‌های "تصمیم‌گیری با شاخص‌های چندگانه"<sup>۱</sup> جای خود را باز کرده‌اند. از این میان، روش تحلیل سلسله مراتبی<sup>۲</sup> بیش از سایر روش‌ها در علم مدیریت مورد استفاده قرار گرفته است. فرایند تحلیل سلسله مراتبی یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چندمنظوره است که اولین بار توسط توماس ال. ساعتی عراقی‌الاصول در دهه ۱۹۷۰ ابداع گردید. فرایند تحلیل سلسله مراتبی منعکس‌کننده رفتار طبیعی و تفکر انسانی است. این تکنیک، مسائل پیچیده را بر اساس آثار متقابل آن‌ها مورد بررسی قرار می‌دهد و آن‌ها را به شکلی ساده تبدیل کرده و به حل آن می‌پردازد.

فرایند تحلیل سلسله مراتبی، هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم‌گیری روبروست می‌تواند استفاده گردد. معیارهای مطرح شده می‌تواند کمی و کیفی باشند. اساس این روش تصمیم‌گیری بر مقایسه‌های زوجی نهفته است. تصمیم‌گیرنده با فراهم آوردن درخت سلسله مراتبی تصمیم آغاز می‌کند؛ درخت سلسله مراتبی تصمیم، عوامل مورد

1. MADM

2. AHP

مقایسه و گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را نشان می‌دهد. سپس یک سری مقایسه‌های زوجی انجام می‌گیرد. این مقایسه‌ها وزن هر یک از فاکتورها را در راستای گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم نشان می‌دهد. در نهایت منطبق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به گونه‌ای ماتریس‌های حاصل از مقایسه‌ها زوجی را با یکدیگر تلفیق می‌سازد که تصمیم بهینه حاصل آید.

### اصول فرایند تحلیل سلسله مراتبی

توماس ساعتی چهار اصل زیر را به عنوان اصول فرآیند تحلیل سلسله مراتبی بیان نموده و کلیه محاسبات، قوانین و مقررات را بر این اصول بنا نهاده است. این اصول عبارتند از:

- شرط معکوسی: اگر ترجیح عنصر A بر عنصر B برابر n باشد، ترجیح عنصر B بر عنصر A برابر  $1/n$  خواهد بود.
- اصل همگنی: عنصر A با عنصر B باید همگن و قابل مقایسه باشند. به بیان دیگر برتری عنصر A بر عنصر B نمی‌تواند بی‌نهایت یا صفر باشد.
- وابستگی: هر عنصر سلسله مراتبی به عنصر سطح بالاتر خود می‌تواند وابسته باشد و به صورت خطی این وابستگی تا بالاترین سطح می‌تواند ادامه داشته باشد.
- انتظارات: هر گاه تغییر در ساختمان سلسله مراتبی رخ دهد پروسه ارزیابی باید مجدداً انجام گیرد.

### مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی

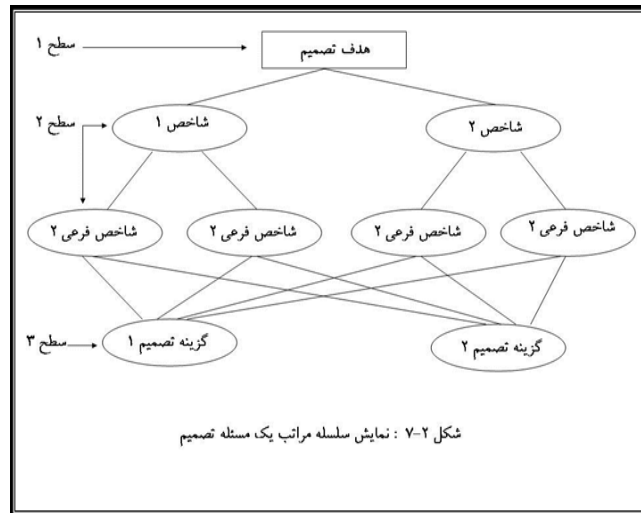
بکارگیری این روش مستلزم چهار قدم عمده زیر است:

#### الف) مدل سازی

در این قدم، مسأله و هدف تصمیم‌گیری به صورت سلسله مراتبی از عناصر تصمیم که با هم در ارتباط می‌باشند، درآورده می‌شود. عناصر تصمیم شامل «شاخص‌های تصمیم‌گیری» و «گزینه‌های تصمیم» است. فرایند تحلیل سلسله مراتبی نیازمند شکستن یک مسأله با چندین شاخص به سلسله مراتبی از سطوح است. سطح بالا بیانگر هدف اصلی فرایند تصمیم‌گیری است.



سطح دوم، نشان‌دهنده شاخص‌های عمده و اساسی (که ممکن است به شاخص‌های فرعی و جزئی‌تر در سطح بعدی شکسته شود) می‌باشد. سطح آخر گزینه‌های تصمیم را ارائه می‌کند. در شکل زیر سلسله مراتب یک مساله تصمیم نشان داده شده است.



شکل (۱-۶): مثالی از سلسله مراتب یک مساله تصمیم‌گیری

(ب) قضاوت ترجیحی (مقایسات زوجی)

در این مرحله باید بین گزینه‌های مختلف تصمیم، بر اساس هر شاخص و قضاوت در مورد اهمیت شاخص تصمیم با انجام مقایسات زوجی، بعد از طراحی سلسله مراتب مساله تصمیم، مقایسه صورت پذیرد. تصمیم‌گیرنده باید مجموعه ماتریس‌هایی که به طور عددی اهمیت یا ارجحیت نسبی شاخص‌ها را نسبت به یکدیگر و هر گزینه تصمیم را با توجه به شاخص‌ها نسبت به سایر گزینه‌ها اندازه‌گیری می‌نماید، ایجاد کند. این کار با انجام مقایسات دو به دو بین عناصر تصمیم (مقایسه زوجی) و از طریق تخصیص امتیازات عددی که نشان‌دهنده ارجحیت یا اهمیت بین دو عنصر تصمیم است، صورت می‌گیرد.

برای انجام این کار معمولاً از مقایسه گزینه‌ها با شاخص‌های  $i$  ام نسبت به گزینه‌ها یا شاخص‌های  $j$  ام استفاده می‌شود که در جدول ۱-۲ نحوه ارزش‌گذاری شاخص‌ها نسبت به هم نشان داده شده است.

(ج) محاسبات وزن‌های نسبی

تعیین وزن «عناصر تصمیم» نسبت به هم از طریق مجموعه‌ای از محاسبات عددی؛ قدم بعدی در فرایند تحلیل سلسله مراتبی انجام محاسبات لازم برای تعیین اولویت هر یک از عناصر تصمیم با استفاده از اطلاعات ماتریس‌های مقایسه زوجی است. خلاصه عملیات ریاضی در این مرحله به صورت زیر است.

مجموع اعداد هر ستون از ماتریس مقایسه زوجی را محاسبه کرده، سپس هر عنصر ستون را بر مجموع اعداد آن ستون تقسیم می‌کنیم. ماتریس جدیدی که بدین صورت بدست می‌آید، «ماتریس مقایسه نرمال شده» نامیده می‌شود. میانگین اعداد هر سطر از ماتریس مقایسه نرمال شده را محاسبه می‌کنیم. این میانگین وزن نسبی عناصر تصمیم با سطرهای ماتریس را ارائه می‌کند.

#### جدول (۱-۲): نحوه ارزش‌گذاری شاخص‌ها نسبت به یکدیگر

ارزش ترجیحی	وضعیت مقایسه‌ی I نسبت به J	توضیح
۱	اهمیت برابر	گزینه یا شاخص I نسبت به J اهمیت برابر دارند و یا ارجحیتی نسبت به هم ندارند.
۳	نسبتاً مهم‌تر	گزینه یا شاخص I نسبت به J کمی مهم‌تر است.
۵	مهم‌تر	گزینه یا شاخص I نسبت به J مهم‌تر است.
۷	خیلی مهم‌تر	گزینه یا شاخص I دارای ارجحیت خیلی بیشتری از J است.
۹	کاملاً مهم	گزینه یا شاخص I مطلقاً از J مهم‌تر و قابل مقایسه با J نیست.

(د) ادغام وزن‌های نسبی

به منظور رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم، در این مرحله بایستی وزن نسبی هر عنصر را در وزن عناصر بالاتر ضرب کرد تا وزن نهایی آن بدست آید. با انجام این مرحله برای هر گزینه، مقدار وزن نهایی بدست می‌آید.

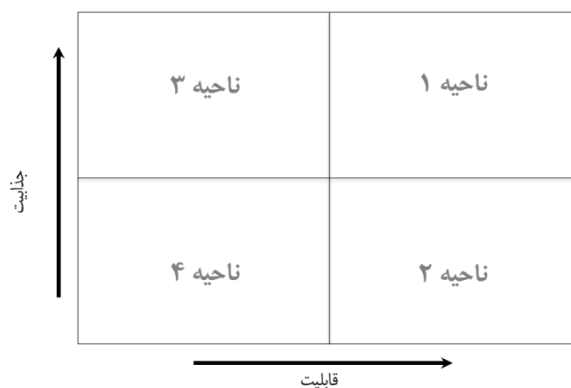
تقریباً تمامی محاسبات مربوط به فرایند تحلیل سلسله مراتبی بر اساس قضاوت اولیه تصمیم‌گیرنده که در قالب ماتریس مقایسات زوجی ظاهر می‌شود، صورت می‌پذیرد و هر گونه خطا و ناسازگاری در مقایسه و تعیین اهمیت بین گزینه‌ها و شاخص‌ها نتیجه نهایی به دست آمده از محاسبات را مخدوش می‌سازد. نرخ ناسازگاری<sup>۱</sup> وسیله‌ای است که سازگاری را مشخص ساخته و نشان می‌دهد که تا چه حد می‌توان به اولویت‌های حاصل از مقایسه اعتماد کرد. برای مثال اگر گزینه A نسبت به B

1. Inconsistency Ratio (I.R)

مهم‌تر (ارزش ترجیحی ۵) و B نسبت به C مهم‌تر (ارزش ترجیحی ۳) باشد، آنگاه باید انتظار داشت A نسبت به C خیلی مهم‌تر (ارزش ترجیحی ۷ یا بیشتر) ارزیابی گردد یا اگر ارزش ترجیحی A نسبت به B، ۲ و B نسبت به C، ۳ باشد آنگاه ارزش A نسبت به C باید ارزش ترجیحی ۴ را ارائه کند. شاید مقایسه دو گزینه امری ساده باشد، اما وقتی که تعداد مقایسه‌ها افزایش یابد اطمینان از سازگاری مقایسه‌ها به راحتی میسر نبوده و باید با به‌کارگیری نرخ ناسازگاری به این اعتماد دست یافت. تجربه نشان داده است که اگر نرخ ناسازگاری کمتر از  $0/10$  باشد سازگاری مقایسه‌ها قابل قبول بوده و در غیر این صورت مقایسه‌ها باید تجدیدنظر شود.

### ۱-۲-۳ ماتریس جذابیت و توانمندی

براساس دو معیار جذابیت و قابلیت، به اولویت‌بندی توسعه فناوری در هر یک از حوزه‌های فناورانه پرداخته می‌شود. طبیعی است که هرچه میزان جذابیت و قابلیت یک حوزه بالاتر باشد، تصمیم‌گیران تمایل بیشتری به انتخاب آن از خود نشان می‌دهند (شکل ۱-۷)



شکل (۱-۷): تقسیم‌بندی ماتریس جذابیت-قابلیت

با تقسیم ماتریس فوق به چهار ناحیه، نتایج زیر حاصل می‌گردد:

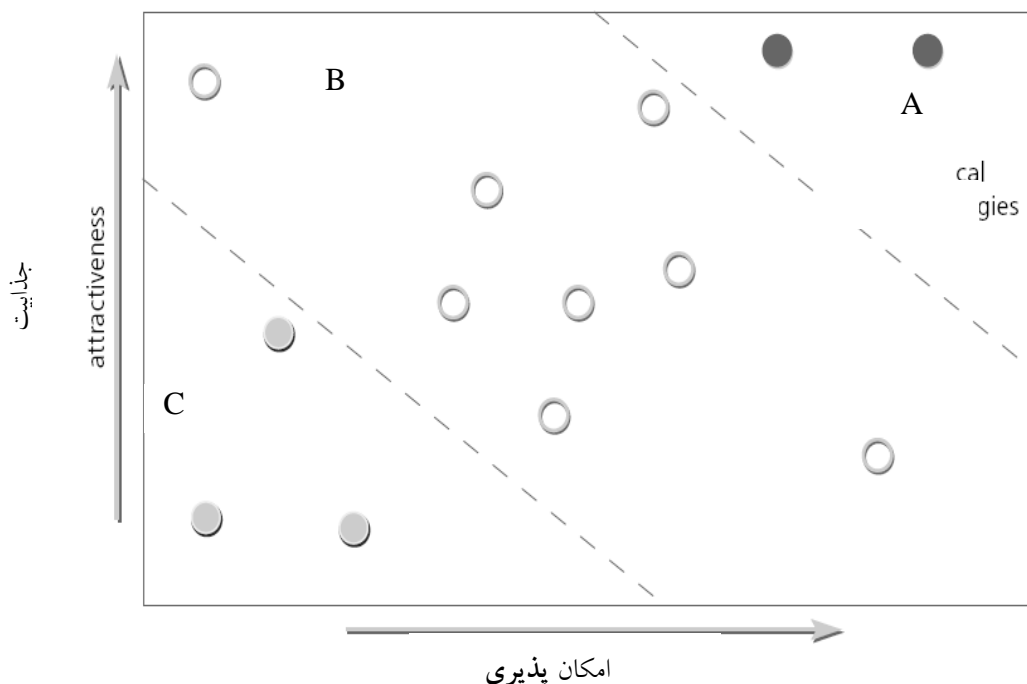
- ناحیه ۱ در بردارنده حوزه‌هایی است که امکان ساخت با طراحی بومی (به‌صورت جزئی یا کامل) آنها در ۵ سال آینده وجود دارد و از جذابیت بالایی برخوردار هستند. در این زمینه دولت بایستی حمایت‌های لازم را در توسعه حوزه‌های فناورانه به‌عمل بیاورد.

- ناحیه ۲ شامل حوزه‌هایی از فناوری است که در ظرف ۵ سال آینده قابلیت ساخت آنها در کشور می‌تواند فراهم شود، اما جذابیت آنها پایین است. در این رابطه، لزومی به حمایت دولت در توسعه این بخش‌ها نیست و با فراهم آمدن قابلیت، توسعه این حوزه‌ها نیز به‌وقوع می‌پیوندد.
  - ناحیه ۳ مشتمل بر حوزه‌هایی می‌شود که اگر چه جذابیت بالایی دارند اما تا ۵ سال آینده امکان ساخت بومی آنها در کشور ایجاد نخواهد شد. در این حوزه‌ها، دولت باید با پیروی هوشمندانه، به‌دنبال کردن پیشروان فناوری پرداخته تا در آینده دور، امکان تولید بومی آنها نیز محقق شود.
  - ناحیه ۴ نیز بخش‌هایی را دربر دارد که نه جذابیت بالایی دارند و نه امکان ساخت آنها ظرف ۵ سال آینده ایجاد شدنی است. این حوزه‌ها از حیطة‌ی تمرکز خارج هستند.
- حوزه‌هایی که با توجه به این اولویت‌دهی و نیز نظر تصمیم‌گیران در نواحی قابل قبول قرار می‌گیرند، به عنوان اجزای برگزیده برای توسعه انتخاب می‌شوند. سایر حوزه‌ها (قرار گرفته در نواحی غیرقابل قبول) برای تصمیم‌گیری در مورد وضعیت نهایی‌شان به گام بعدی که سنجش بحرانی بودن و وابستگی به مواد خاص است منتقل می‌شوند.
- از مزیت‌های روش ماتریس جذابیت-قابلیت می‌توان به عدم تلفیق این دو نوع معیار، و در نتیجه عدم وزن‌دهی یکسان آنها در تصمیم‌گیری اشاره کرد. چرا که در نظر برخی ممکن است قابلیت دستیابی به فناوری مهم‌تر باشد و از منظر برخی دیگر جذابیت فناوری. در این روش می‌توان هر فناوری را از نظر جذابیت و امکان‌پذیری، در ماتریس دید و فناوری دارای جایگاه مناسب را انتخاب نمود. مزیت پراهمیت دیگر این روش، واگذاری تصمیم نهایی به تصمیم‌گیرنده است؛ اکثر روش‌های تصمیم‌گیری ریاضی تصمیم نهایی را خود اتخاذ کرده و آنرا به تصمیم‌گیرنده ارائه می‌کنند که این کار در بعضی موارد منجر به غیر منطقی شدن تصمیم می‌شود. پس در اینجا تصمیم نهایی به تصمیم‌گیرنده واگذار می‌شود و تیم مشاور تنها بعنوان تصمیم‌ساز جواب‌ها را ارائه می‌نماید.
- در اکثر موارد تکنولوژی‌ها در سطح ماتریس گسترده می‌شوند. جهت انتخاب از میان آنها، پیشنهادهای مبنی بر تقسیم‌بندی ماتریس به چند ناحیه ارایه شده است.

روش‌های مختلفی برای تقسیم‌بندی ماتریس به نواحی مختلف از جمله تقسیم آن به چهار ناحیه، تقسیم به سه ناحیه از طریق ترسیم خطوط مستقیم و تقسیم به چند ناحیه از طریق ترسیم کمان وجود دارد که در بالا به تقسیم‌بندی به چهار ناحیه بیان گردید.

در تقسیم‌بندی ماتریس به سه ناحیه از طریق خطوط مورب (شکل ۸-۱)، ماتریس به نحوی تقسیم‌بندی می‌شود که تکنولوژی‌های با جذابیت و امکان‌پذیری بالا در یک ناحیه، با جذابیت و امکان‌پذیری بسیار کم در یک ناحیه و سایرین در ناحیه وسط قرار گیرند. به دلیل اهمیت هر دو موضوع امکان‌پذیری و جذابیت در اکثر موارد انتخاب تکنولوژی، این نوع تقسیم‌بندی مقبولیت بیشتری در میان تصمیم‌گیران دارد و لذا بیشتر از این نوع تقسیم‌بندی استفاده می‌شود. لذا در این پروژه نیز از این نوع تقسیم‌بندی استفاده می‌گردد.

براین اساس ماتریس به سه ناحیه تقسیم می‌شود که ناحیه A، ناحیه‌ای است که در آن هم جذابیت بالا و هم امکان‌پذیری بالاست. کاربردها و تکنولوژی‌هایی که در این ناحیه قرار گیرند، اولویت‌دار خواهند بود. این حوزه‌ها، حوزه‌هایی هستند که هم جذابیت انجام R&D برای آن‌ها بالاست و هم امکان‌پذیری انجام R&D به اندازه‌ای هست که بتوان برای آن حوزه اولویت قائل شده و روی آن سرمایه‌گذاری کرد.



شکل (۸-۱): تقسیم‌بندی ماتریس از طریق خطوط مورب

در مقابل، ناحیه C ناحیه‌ای است که هم جذابیت و هم امکان‌پذیری آن پایین است؛ لذا حوزه‌های تکنولوژی واقع شده در این قسمت باید حذف گردند و غیر اولویت‌دار شناخته شوند.

اما ناحیه B، ناحیه‌ای است که بسته به موضوع مورد بحث و محدودیت‌های مختلف اعم از مالی، زمانی و ... بایستی مورد تصمیم‌گیری قرار گیرد. به عنوان مثال اگر چنانچه تعداد بسیار کمی از تکنولوژی‌ها در ناحیه A قرار گیرد و شرکت مورد نظر، منابع کافی برای انجام R&D در حوزه‌های بیشتری را داشته باشد، می‌توان خط میان ناحیه A و B را کمی جابجا نمود تا تعدادی از تکنولوژی‌های واقع شده در ناحیه B وارد ناحیه A شود.

## ۱-۳- مدل‌های اکتساب فناوری

مدل‌های اکتساب فناوری به تعیین روش‌های دستیابی به فناوری شناسایی شده و انتخاب شده می‌پردازد. بدین معنی که تعیین می‌کند که توسعه فناوری از کدام یک از سبک‌های توسعه داخلی، همکاری با سایر شرکت‌ها یا مؤسسات و یا خرید محصول فناوری انجام شود. در این قسمت درباره عوامل راهبردی مؤثر بر انتخاب نوع اکتساب و ارتباط آن با انتخاب فناوری‌ها و زمان توسعه و معرفی آن‌ها بحث می‌شود. در ادبیات مدل‌های مختلفی برای انتخاب روش اکتساب فناوری معرفی شده‌اند. در ادامه به بررسی مدل‌ها و نظریاتی که در ادبیات مدیریت فناوری پیرامون انتخاب روش مناسب اکتساب فناوری ارائه شده‌اند پرداخته می‌شود.

### ۱-۳-۱ مدل کیه‌زا<sup>۱</sup>

از مدل کیه‌زا (2001) در دو زمینه مختلف می‌توان استفاده نمود: سبک‌های مختلف اکتساب فناوری و نحوه انتخاب سبک مناسب؛ روش‌های مختلف همکاری برای اکتساب فناوری و چگونگی انتخاب روش مناسب همکاری اکتساب فناوری [۱].

کیهزا سه سبک کلی را برای توسعه فناوری و اکتساب آن مطرح می‌کند که عبارتند از توسعه داخلی فناوری، توسعه مشارکتی فناوری و خرید محصول فناوری. شش عامل راهبردی برای انتخاب بین این سه سبک مطرح می‌شود که عبارتند از:

- دسترسی به منابع خارجی قابل قبول
- زمان دستیابی به فناوری
- اهمیت انحصاری و اختصاصی بودن فناوری
- ضرورت و اهمیت یادگیری از منبع بیرونی
- هزینه‌های توسعه فناوری
- ریسک فنی یا میزان آشنایی با فناوری

جدول (۳-۱) به جمع‌بندی عوامل مؤثر بر تصمیم‌گیری بین این سه حالت می‌پردازد.

جدول (۳-۱): عوامل مؤثر بر سبک مناسب اکتساب فناوری

عوامل	توسعه داخلی	توسعه مشارکتی فناوری	خرید محصول فناوری
زمان دستیابی به فناوری	*	**	***
اهمیت اختصاصی و انحصاری بودن فناوری	***	**	*
اهمیت و پتانسیل یادگیری	**	***	*
هزینه‌های توسعه فناوری	*	**	*
ریسک فنی و میزان آشنایی با فناوری	*	**	***

ستاره‌ها نشان دهنده اولویت استفاده از سبک اکتساب براساس معیارهای مختلف است (\*\*\*) اولویت یک - \*\* اولویت دو - \* اولویت سه

با مشخص شدن سبک مناسب، چنانچه تصمیم به عدم توسعه داخلی فناوری بوده و همکاری و یا خرید محصول فناوری در اولویت باشد، به چهارده روش مختلف می‌توان عمل نمود که این روش‌ها در ادامه بیان می‌گردند.

روش‌های مختلف همکاری و یا خرید برای اکتساب فناوری، به شرح ذیل است:

تملك شركتى<sup>۱</sup>: بنگاهى يك بنگاه ديگر را به تملك خود در مى آورد تا بتواند به فناورى يا شايستگى فناورانه مورد نظر دست يابد.

تملك آموزشى<sup>۲</sup>: بنگاهى جهت اكتساب فناورى، متخصصين مربوطه را استخدام و يا شركت كوچك ديگر را به منظور در اختيار گرفتن افراد برخوردار از توانمندى هاى فناورانه و يا شايستگى هاى مديرى تى خريدارى مى كند.

ادغام<sup>۳</sup>: در اين روش بنگاه با بنگاهى ديگرى كه داراى فناورى و يا شايستگى فناورانه مورد نظر مى باشد ادغام شده و بنگاه جديدى از ادغام اين دو مورد به وجود مى آيد.

خريد حق امتياز<sup>۴</sup>: شركت امتياز توليد فناورى خاصى را به دست مى آورد.

مشاركت با سهام<sup>۵</sup>: در اين روش شركت اول سهام شركت دوم را كه داراى فناورى يا شايستگى فناورانه بوده مى خرد ولى بر آن كنترل مديرى ندارد.

سرمايه گذارى مشترك<sup>۶</sup>: شركت ها از طريق سهام، سرمايه گذارى مشترك رسمى صورت داده و شركت سومى به وجود مى آيد و هدف مشخص نوآورى فناورى دنبال مى شود.

تحقيق و توسعه مشترك<sup>۷</sup>: يك شركت با شركت هاى ديگر توافق مى كند كه مشتركاً روى يك فناورى و يا حوزه فناورانه فعاليت نمايند و هيچ گونه شراكتى در مالكيت به وجود نمى آيد.

قرارداد تحقيق و توسعه<sup>۸</sup>: شركت مى پذيرد كه مؤسسات تحقيقاتى، دانشگاه و يا شركت هاى نوآور كوچك در زمينه فناورى مشخص تحقيق نموده و هزينه هاى آن را بپردازد.

- 1.Acquisition
- 2.Educational Acquisition
- 3.Merger
- 4.Licensing
- 5.Minority Equity
- 6.Joint Venture
- 7.Joint R&D
- 8.R&D Contract



سرمایه‌گذاری در تحقیقات<sup>۱</sup>: شرکت در زمینه تحقیقات اکتشافی در مؤسسات تحقیقاتی، دانشگاه یا شرکت‌های کوچک نوآور سرمایه‌گذاری نموده و فرصت‌ها و ایده‌ها را دنبال می‌نماید.

اتحاد<sup>۲</sup>: شرکت منابع فناورانه را با شرکت‌های دیگر به اشتراک گذاشته و نیل به هدف کلی نوآوری فناورانه را تعقیب می‌کند.

کنرسیوم<sup>۳</sup>: چندین مؤسسه و شرکت مشترکاً تلاش می‌کنند به هدف کلی نوآوری فناورانه نیل شوند.

ایجاد شبکه<sup>۴</sup>: شرکت شبکه‌ای از روابط را برقرار می‌سازد تا در همراهی با شتاب نوآوری فناورانه قرار داشته و فرصت‌ها و روندهای تکاملی را دنبال نماید.

برون‌سپاری<sup>۵</sup>: بنگاه فعالیت‌های فناورانه را از خود خارج نموده و صرفاً به خرید محصول فناوری اکتفا می‌کند.

خرید خدمات مشاوره‌ای: شرکت در راستای توسعه فناوری فعالیت نموده و در این مسیر از خدمات مشاوره‌ای یک شرکت دارنده فناوری استفاده می‌نماید.

بر اساس نظر کیزا روش مناسب همکاری سازمانی با توجه به سه فاکتور (مشخصه) اصلی هدف همکاری، محتوی (مفهوم - مفاد) همکاری و نوع شناسی همکاران انتخاب می‌شود.

جدول (۱-۴): انتخاب روش مناسب همکاری فناورانه

عوامل	حالات هر عامل	اولویت‌ها (نیازها)	روش پیشنهادی
هدف همکاری	وسیع	همکاری طولانی مدت، کنترل بالا- متوسط، رسمیت متوسط- بالا	تملك شركتى، سرمايه‌گذاري مشترك

1. Research Funding
2. Alliance
3. Consortium
4. Networking
5. Outsourcing

عوامل	حالات هر عامل	اولویت‌ها (نیازها)	روش پیشنهادی	
	محدود و مشخص	همکاری کوتاه مدت، کنترل متوسط-پایین، کمترین تأثیر بر شرکت	اتحاد، برون سپاری	
	حداکثر کردن یادگیری	انعطاف‌پذیری بالا، کنترل پایین، رسمیت پایین، کمترین تأثیر بر سازماندهی و منابع انسانی شرکت	اتحاد، ایجاد شبکه، سرمایه‌گذاری مشترک	
محتوی (مفهوم-مفاد) همکاری و فناوری مورد تعامل	قابلیت تعریف	خوب	نیاز خاصی نمی‌باشد	
		بد	رسمیت بالا، انعطاف بالا	
	آشنایی با فناوری و بازار	هیچ کدام	-	تملك آموزشی
		بازار یا فناوری	-	سرمایه‌گذاری مشترک، اتحاد
		بازار و فناوری	کنترل بالا، رسمیت بالا	تملك شرکتي
	ارتباط با مزیت رقابتی	بالا	کنترل بالا، رویکرد بلندمدت	تحقیق و توسعه
		پایین	انعطاف‌پذیری بالا، کاهش زمان و هزینه ایجاد همکاری، کاهش تأثیر بر سازمان	برن سپاری
	چرخه عمر فناوری	مرحله تکامل	انعطاف بالا، کنترل پایین	برن سپاری
		مرحله اولیه	کنترل بالا، انعطاف متوسط - بالا، رویکرد بلندمدت	مشارکت با سهام
	میزان ریسک	بالا	انعطاف بالا، کمترین تأثیر بر شرکت، رسمیت پایین	سرمایه‌گذاری مشترک، اتحاد
		پایین	نیاز خاصی نمی‌باشد	-
	قابلیت حفاظت از فناوری	ضعیف	کنترل بالا، رسمیت بالا	تملك شرکتي، ادغام
		محکم - بسته	نیاز خاصی نمی‌باشد	-
	مرحله نوآوری	ابتدا	انعطاف بالا، کنترل پایین	برن سپاری، اتحاد
		انتهای	رسمیت بالا، کمترین هزینه / زمان	برن سپاری
	میزان سرمایه‌گذاری	بالا	کنترل بالا	تملك شرکتي، ادغام

عوامل	حالات هر عامل	اولویت‌ها (نیازها)	روش پیشنهادی
قابلیت تقسیم	پایین	نیاز خاصی نمی‌باشد	-
	پایین	یکپارچه‌سازی پایین، کمترین تأثیر بر شرکت	برن سپاری
	بالا	نیاز خاصی نمی‌باشد.	سرمایه‌گذاری مشترک
نحوه ارتباط با شرکت	عمودی	کمترین هزینه / زمان، مدت زمان کوتاه / متوسط، انعطاف - پذیری بالا، رسمیت متوسط بالا	برن سپاری، اتحاد
	افقی	رسمیت پایین، انعطاف‌پذیری بالا، مدت زمان متوسط - بالا	اتحاد، سرمایه‌گذاری مشترک
ملیت همکاران	متفاوت	انعطاف‌پذیری بالا، کنترل پایین، کمترین تأثیر بر شرکت	برن سپاری
	یکسان	نیاز خاصی نمی‌باشد	-
زینته فعالیت	یکسان	نیاز خاصی نمی‌باشد	-
	متفاوت	کنترل بالا، رسمیت بالا	تملك شركتی، ادغام
اندازه / قدرت همکاران	متفاوت	نیاز خاصی نمی‌باشد	-
	یکسان	نیاز خاصی نمی‌باشد	-

نوع شناسی همکاران

### ۱-۳-۲ مدل فلویید<sup>۱</sup> (ای دی لیتل)

بر اساس نظریه فلویید، علل اصلی عدم توسعه فناوری در داخل شرکت به دو دلیل عمده محدود می‌شود:

- بالا بودن هزینه و زمان توسعه داخلی در مقابل اکتساب خارجی

- عملی نبودن توسعه داخلی

اولین دلیل به این صورت است که ممکن است منافع راهبردی حاصل از فناوری، هزینه و زمان دستیابی به فناوری را از

طریق توسعه آن در داخل شرکت توجیه نکند.

دومین دلیل، خرید فناوری از خارج شرکت، حالتی است که قابلیت توسعه فناوری در داخل شرکت وجود نداشته باشد. شرکت‌ها منابع محدودی در اختیار داشته و توسعه بعضی از فناوری‌ها برای آن‌ها حتی اگر از نظر هزینه توجیه داشته باشد امکان‌پذیر نیست. در این شرایط شاید بهتر باشد که با مشارکت دیگران نسبت به توسعه فناوری و کاستن هزینه‌های مربوطه اقدام نمود و یا آن‌را از شرکتی که فناوری مورد نظر را قبلاً توسعه داده است خریداری نماید.

در مدل فلویید، از مقایسه اهمیت راهبردی فناوری با هزینه و زمان توسعه آن، سبک مناسب اکتساب فناوری انتخاب می‌گردد. در مورد فناوری پایه‌ای<sup>۱</sup> که هزینه کمی صرف توسعه آن می‌شود و اثر راهبردی پایینی دارد، خرید آن چه با روش حق امتیاز و چه از طریق خرید قطعات مورد نیاز انتخابی منطقی است.<sup>۲</sup>

در مورد توسعه فناوری‌های پیشگام<sup>۳</sup> در صورتی که با هزینه پایینی قابل انجام بوده و منافع راهبردی شرکت را در برگیرد، تهیه آن در داخل شرکت انتخابی منطقی است. در این حالت هزینه‌ها پایین و منافع حاصله بسیار زیاد است. از این گذشته توسعه فناوری در داخل شرکت به شما این اجازه را می‌دهد که از طریق ثبت حق مالکیت معنوی<sup>۴</sup> فعالیت‌های خود منافع بیشتری به دست آورید.

در نهایت، در فناوری‌های کلیدی<sup>۵</sup>، اگر هزینه‌ی توسعه آن پایین باشد می‌توان از دو روش خرید و توسعه داخلی به توسعه فناوری پرداخت. اگر هم هزینه توسعه بالا باشد همکاری فناوری گزینه‌ی مناسب خواهد بود.

## ۱-۳-۳ مدل فورد<sup>۶</sup>

در سال ۱۹۹۸، دی فورد ماتریسی برای انتخاب روش دستیابی به فناوری پیشنهاد کرد. در این ماتریس پنج روش اکتساب فناوری و پنج معیار یا عامل مؤثر بر انتخاب روش مناسب اکتساب فناوری مطرح می‌شود.

1.Base Technology

۲.در این حالت کسب حق امتیاز نوعی خرید محسوب می‌شود.

3.Pacing Technology

4.patent

5.Key Technology

6.Ford

جدول (۵-۱): ماتریس فورده انتخاب روش دستیابی به فناوری بر اساس پنج معیار موثر

	توانایی نسبی بنگاه در فناوری	ضرورت دستیابی سریع به فناوری	ضرورت تملک فناوری در درون سازمان	اثر رقابتی فناوری	دوره عمر فناوری
توسعه درون‌زا	بالا	کمترین	بالاترین	حیاتی	پیدایش
همکاری مشترک	↑	کم	↑	حیاتی یا پایه	ابتدای رشد
واگذاری بخشی از فعالیت‌ها به صورت پیمانکاری	↑	کم	↑	حیاتی یا پایه	ابتدای رشد
خرید حق امتیاز	پایین	بالا	کمترین	حیاتی یا پایه	بلوغ
خرید محصول فناوری <sup>۱</sup>	پایین	بالاترین	کاملاً غیر ضروری	خارجی	همه مراحل

بر اساس این مدل:

هر قدر توانایی نسبی یک بنگاه در یک فناوری کاهش یابد، ضرورت خرید از خارج افزایش می‌یابد. این موضوع می‌تواند دلایل متعددی از جمله افزایش هزینه‌های تولید و یا خارج بودن فناوری از حیطه توانایی‌های اصلی بنگاه داشته باشد.

با افزایش ضرورت دستیابی سریع به فناوری، گرایش تصمیم‌گیری به خرید فناوری افزایش می‌یابد که به دلیل زمان‌بر بودن توسعه داخلی فناوری می‌باشد.

با کاهش یافتن میزان ضرورت تملک فناوری در داخل بنگاه، توصیه به اکتساب فناوری با تأمین فناوری از خارج مطرح می‌شود. در این راستا و در حالت عدم ضرورت تملک فناوری، خرید محصول نهایی فناوری روش مناسب‌تری خواهد بود.

با افزایش اثر رقابتی (راهبردی) فناوری، تصمیم‌گیری به سمت توسعه داخلی فناوری گرایش بیشتری می‌یابد. این توصیه به جهت پرهیز از وابستگی به دهنده فناوری مطرح شده که معمولاً در جریان انتقال فناوری پیش می‌آید.

در رابطه با دوره عمر فناوری، هر قدر فناوری به مرحله بلوغ خود نزدیک تر می‌شود، روش انتقال فناوری لیسانس روش مناسب اکتساب فناوری خواهد بود [۲].

### ۱-۳-۴ مدل تایید-بیست-پاویت<sup>۱</sup>

در این مدل سه سبک برای اکتساب فناوری مطرح می‌شود و در سبک همکاری نیز ۶ ساز و کار اکتساب عنوان می‌شود. چگونگی تعیین سبک اکتساب با توجه به دو معیار نوع فناوری و نوع بازار معین می‌شود که در جدول (۱-۶) زیر نشان داده شده است.

جدول (۱-۶): تعیین سبک اکتساب مدل تایید-بیست-پاویت

نوع فناوری				
غیر مرتبط	مرتبط	اصلی		
		توسعه داخلی	اصلی	نوع بازار
	همکاری		مرتبط	
خرید			غیر مرتبط	

با انتخاب سبک همکاری فناورانه، هفت روش اکتساب فناوری مطرح می‌شود. انتخاب این روش‌ها با در نظر داشتن دوره همکاری و نیز کنار هم قرار دادن مزایا و معایب هر روش در مورد مطالعه به انجام می‌رسد [۳].

جدول (۱-۷): انواع روش‌های همکاری فناورانه در مدل تایید-بیست-پاویت

معایب	مزایا	دوره همکاری	نوع همکاری
هزینه‌های جستجو، کیفیت محصول و عملکرد	کاهش هزینه و ریسک، کاهش زمان اولیه	کوتاه مدت	قرارداد فرعی (برون سپاری) / تأمین از بیرون <sup>۲</sup>
هزینه و محدودیت‌های قرارداد	اکتساب فناوری	ثابت	لیسانس
نشت دانش، مشخص شدن تفاوت‌ها	به اشتراک گذاشته شدن تخصص‌ها، استانداردها و سرمایه‌گذاری	میان مدت	کنسرسیوم
احتمال گیرافتادن، نشت دانش	تعهد پایین، دسترسی به بازار	متغیر و منعطف	اتحاد راهبردی <sup>۱</sup>

1. Tidd-Bessant-Pavitt

2. Subcontract/Supplier Relations

معایب	مزایا	دوره همکاری	نوع همکاری
دوگانگی در راهبرد طرفین، تفاوت‌های فرهنگی	دانش فنی مکمل، اعمال مدیریت	بلندمدت	سرمایه‌گذاری مشترک
ناکارآمدی‌های حضور ساکن در شبکه	یادگیری پویا و بالقوه	بلندمدت	ایجاد شبکه

## ۱-۳-۵ مدل گیلبرت<sup>۲</sup>

گیلبرت با داشتن یک رویکرد سیستمی به انتقال فناوری می‌کوشد مدلی برای انتخاب روش مناسب انتقال فناوری ارائه کند. در این مدل چهار نوع سیستم انتقال فناوری مطرح می‌گردد.

### سیستم‌های عمومی<sup>۳</sup>

در سیستم‌های عمومی، فناوری به عنوان یک موضوع تجاری و سودآور تلقی نمی‌شود و از این رو دارنده فناوری داوطلبانه آن را در اختیار دیگران قرار می‌دهد. در سیستم عمومی انتقال فناوری نیازی به توافق و قرارداد نیست. روش‌های انتقال فناوری با سیستم عمومی عبارتند از:

- انتشار<sup>۴</sup>: انتقال داوطلبانه اطلاعات فنی به بخش عمومی
- استخدام<sup>۵</sup>
- آموزش و تحصیل<sup>۶</sup>
- کپی آزاد<sup>۷</sup>: کپی مجانی و آزاد از اسناد و مدارک فنی
- دوره‌های مطالعاتی<sup>۸</sup>

- 1.Strategic Alliance
- 2.Gillbert
- 3.Public Domain Systems
- 4.Disclosure
- 5.Recruitment
- 6.Training & Education
- 7.Free Coping
- 8.Study Tours

## سیستم‌های غیرفعال<sup>۱</sup>

در این سیستم‌ها حالت یک‌طرفه حاکم بوده و گیرنده فناوری در موضع انفعالی قرار می‌گیرد. به همین جهت گیرنده فناوری مجبور است فناوری را تحت شرایط و مشخصات استاندارد و معمول بگیرد. این وضعیت زمانی مشاهده می‌شود که منبع فناوری از قدرت مذاکره و چانه‌زنی بالایی برخوردار بوده و هزینه‌های مذاکره و انتخاب روش مناسب انتقال فناوری نسبت به ارزش فناوری قابل توجه می‌باشند. روش‌های انتقال فناوری با سیستم غیرفعال عبارتند از:

- خرید کالاگونه فناوری<sup>۲</sup>

- ليسانس استاندارد<sup>۳</sup>

- فرانچیز<sup>۴</sup>

## سیستم‌های همکاری<sup>۵</sup>

در این سیستم‌ها ارتباط و تعامل دوسویه و فعالی بین دو طرف وجود داشته و هر یک از دو طرف نقش مؤثر و تعیین‌کننده‌ای در انتقال فناوری ایفا می‌کنند. روش‌های انتقال فناوری با سیستم همکاری عبارتند از:

- خرید جامع‌تر فناوری<sup>۶</sup>

- ليسانس تقویت‌شده<sup>۷</sup>

- مشارکت سهامی<sup>۸</sup>

- سرمایه‌گذاری مشترک<sup>۹</sup>

- 1.Passive Systems
- 2.Commodity Purchase
- 3.Standard Licensing
- 4.Franchise
- 5.Cooperative Systems
- 6.Bundled Purchases
- 7.Enhanced License
- 8.Equity Investment
- 9.Joint Venture



- ادغام<sup>۱</sup>سیستم‌های ضد رقابتی<sup>۲</sup>

در این سیستم بدون توجه به نظرات، انتظارات و درخواست‌های منبع فناوری انتقال فناوری صورت می‌گیرد. چنین سیستمی کارکرد بازار فناوری را تخریب نموده و چالش‌هایی را در ارتباط با مالکیت معنوی فناوری مطرح می‌سازد. روش‌های انتقال فناوری با سیستم ضد رقابتی عبارتند از:

- جذب کارکنان کلیدی<sup>۳</sup>- شبیه‌سازی (تقلید)<sup>۴</sup>- اختلاس<sup>۵</sup>- جاسوسی ضد صنعتی<sup>۶</sup>

مطابق مدل گیلبرت، ابتدا سیستم مناسب انتقال فناوری تعیین شده و سپس یکی از روش‌های انتقال فناوری با سیستم انتخاب شده پیشنهاد می‌شود. این نظریه چگونگی انتخاب سیستم مناسب انتقال فناوری را به خوبی تعیین نموده است ولی در ارتباط با انتخاب روش جزئی‌تر داخل سیستم‌ها، راهکار مشخصی ارائه نکرده است. انتخاب سیستم و روش مناسب انتقال فناوری با استفاده از ماتریس زیر و مبتنی بر دو فاکتور اصلی صورت می‌گیرد: توان و تمایل گیرنده فناوری به برآوردن خواست‌های منبع فناوری و کنترل منبع فناوری بر استفاده از فناوری.

جدول (۸-۱): ماتریس انتخاب سیستم و روش مناسب انتقال فناوری گیلبرت

توان و تمایل گیرنده فناوری در برآوردن خواست‌های منبع فناوری	۳	۳. سیستم‌های همکاری	۲. سیستم‌های غیرفعال
	۴	۴. سیستم‌های ضد رقابتی	۱. سیستم‌های عمومی

1. Mergers
2. Anticompetitive Systems
3. Raiding key Staff
4. Imitation
5. Misappropriation
6. Industrial Espionage

	خبر	بله
	کنترل منبع فناوری بر استفاده از فناوری خود	

### ۱-۳-۶ مقایسه مدل‌ها

هر یک از مدل‌های اکتساب فناوری بررسی شده در این قسمت دسته‌ای از روش‌های اکتساب فناوری را پیشنهاد کردند.

جدول (۹-۱) به مقایسه سطح پوشش هر کدام از این مدل‌ها از منظر روش‌های پیشنهادی می‌پردازد.

جدول (۹-۱): مقایسه مدل‌های اکتساب فناوری از منظر روش‌های پیشنهادی

روش‌های اکتساب فناوری													مدل‌های اکتساب فناوری		
خرید محصول	برون سپاری	خرید خدمات فنی مهندسی	شبکه	کنسرسیوم	لیسانس	مشارکت با سهام	سرمایه‌گذاری در تحقیقات	قرارداد تحقیق و توسعه	تملک فردی	اتحاد	سرمایه‌گذاری مشترک	ادغام		تملک شرکتی	تحقیق و توسعه داخلی
*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	کیه‌زا
*					*			*			*			*	فورد
*							*							*	لیتل
*					*	*			*		*	*	*		گیلبرت
*				*	*	*		*			*			*	تاید-بیسنت-پاویت

همچنین با در نظر داشتن ۱۱ ویژگی زیر به عنوان خصوصیات مطلوب برای یک مدل اکتساب فناوری، می‌توان مدل‌ها را از

منظر جامعیت نیز با یکدیگر مقایسه نمود. جدول (۱۰-۱) زیر نمایشگر وضعیت هر مدل از لحاظ برخورداری از این ویژگی‌ها

است.

جدول (۱-۱۰): مقایسه مدل‌های اکتساب فناوری از نظر جامعیت

مدل‌های اکتساب فناوری	ویژگی‌های مدل اکتساب										
	توجه به عامل زمان (پویایی)	توجه به ویژگی‌های فناوری	توجه به شرایط دهنده فناوری	توجه به ویژگی‌ها و شرایط گیرنده فناوری	جامعیت معیارهای مورد استفاده	جامعیت روش‌های اکتساب مورد استفاده	تمایز قائل شدن میان سبک اکتساب و روش اکتساب	وجود الگوریتم اجرایی مشخص برای تصمیم‌گیری	قابلیت ارتقاء برای استفاده در سطح بخشی و ملی	فراوانی استفاده در پروژه‌های داخل کشور	تناسب و تطابق با شرایط صنعت برق
کیه‌زا											
فورد											
لیتل											
گیلبرت											
تایید-بیست-پاویت											

با توجه به جدول (۱-۱۰)، مدل کیه‌زا از بیشترین جامعیت نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار است. با این وجود، انتخاب مدل مناسب وابسته به مورد مطالعاتی و نیازهای اکتساب فناوری در آن موضوع است.

#### ۱-۴- نتیجه‌گیری و متدولوژی منتخب

به منظور اولویت بندی و انتخاب سبک مناسب فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت با توجه مرور ادبیات اولویت‌بندی و اکتساب فناوری ارائه شده در ابتدای این فصل، مطابق شکل زیر اقدام شده است.

به صورت کلی جهت اولویت‌بندی فناوری‌های تجهیزات الکترونیک قدرت، با در نظر گرفتن درخت فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت ترسیم شده در فاز دوم پروژه و با در گرفتن معیارهای اولویت‌بندی کاربرد، با روش تحلیل سلسله مراتبی به عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، کاربردهای مختلف تجهیزات الکترونیک قدرت اولویت‌بندی شده‌اند. سپس با توجه به اولویت‌بندی کاربردها و همچنین نظرات اعضای محترم کمیته راهبردی در زمینه فناوری‌های هر یک از کاربردها، درخت فناوری مورد پالایش قرار گرفته است و سایر تحلیل‌های بعدی روی درخت فناوری پالایش شده صورت گرفته است.

در گام دوم با در نظر گرفتن درخت فناوری پالایش شده و معیارهای اولویت‌بندی فناوری (سطح دوم) با روش تحلیل سلسله مراتبی جذابیت هر یک از فناوری‌های اولویت‌دار مشخص گردید و از طرفی توانمندی کشور در هر یک از فناوری‌های تجهیزات الکترونیک قدرت (براساس گزارش پتانسیل سنجی همین پروژه و همچنین نظرات خبرگان) نیز مشخص شد. در نهایت با توجه به جذابیت و توانمندی هر یک از تجهیزات الکترونیک قدرت، ماتریس جذابیت و توانمندی<sup>۱</sup> ترسیم شد و فناوری‌های اولویت‌دار مشخص گردید.

در گام انتهایی به منظور تعیین سبک اکتساب مناسب فناوری‌های اولویت‌دار با توجه به مرور ادبیات اکتساب فناوری در فصل اول این گزارش، الگوریتم منتخب اکتساب فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت با در نظر گرفتن معیارهایی از قبیل چرخه عمر فناوری، شکاف تکنولوژیک، حجم بازار داخلی و استراتژیک بودن فناوری تدوین گردید که به صورت مفصل در بخش اکتساب فناوری شرح داده شده است و در انتها با توجه به شرایط موجود در کشور خروجی‌های الگوریتم اکتساب با شرایط داخلی تطبیق داده شد و سبک اکتساب مناسب برای هر فناوری اولویت‌دار پیشنهاد گردیده است.

۱. توضیحات مربوط به ماتریس جذابیت و توانمندی در بخش ۱-۲-۳ بیان شده است.



شکل (۹-۱): متدولوژی اولویت‌بندی و اکتساب فناوری‌های اولویت‌دار

## فصل دوم

معیارهای ارزیابی و اولویت‌بندی تجهیزات الکترونیک

قدرت در شبکه برق

## ۲- فصل دوم معیارهای ارزیابی و اولویت‌بندی تجهیزات الکترونیک قدرت در

### شبکه برق

#### ۲-۱- مقدمه

پس از شناسایی انواع فناوری‌های تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق، نیاز است که معیارهای کلیدی که در ترجیحات سیاست‌گذار جهت اولویت‌بندی این گزینه‌ها لحاظ می‌شود، پیشنهاد گردد. در این بخش معیارهای مهم، در جهت یافتن تجهیزات الکترونیک قدرت اولویت‌دار مطابق با درخت فناوری، در مقایسه با سایر گزینه‌ها، ارائه شده و سپس نتایج حاصل از اولویت‌بندی و همچنین جمع‌بندی سطح ایده‌آل دستیابی به فناوری تجهیزات موردنظر با توجه به نظرات خبرگان بیان گردیده است. در ادامه با توجه به نتایج به دست آمده از جمع‌بندی سطح ایده‌آل دستیابی به فناوری‌های اولویت‌دار و به منظور اولویت‌بندی، تجهیزات لایه زیرین درخت فناوری پالایش شده و نتایج اولویت‌بندی با استفاده از معیارهای متناسب با این لایه، برای تجهیزات باقی مانده ارائه گردیده است.

به طور کلی برای تعیین این معیارها می‌توان از چهار روش بیان شده در ذیل، استفاده نمود:

**روش راند رابین<sup>۱</sup>:** اساس این روش بر پایه نظرات نخبگان و کارشناسان است، به گونه‌ای که درجه اولویت‌بندی نظرات از پایین به بالا است، به این معنی که ابتدا کارشناسان رده‌های پایین‌تر نظرات خود را بیان می‌کنند، سپس نظرات نخبگان و کارشناسان رده‌های بالا گرفته می‌شود و کلیه نظرات مورد نقد و بررسی قرار می‌گیرد.

**روش طوفان فکری<sup>۲</sup>:** این روش همانند روش راند رابین است با این تفاوت که نظرات کارشناسان بدون هیچ‌گونه اولویت‌بندی بیان می‌گردد و مورد نقد و بررسی قرار می‌گیرد.

1.Round Robin  
2.Brain Storming

**روش معکوس:** در طول فرآیند بررسی گزینه‌ها، تفاوت میان آن‌ها شناخته شده و بر اساس این تفاوت‌ها معیارهایی جهت مقایسه بدست می‌آید.

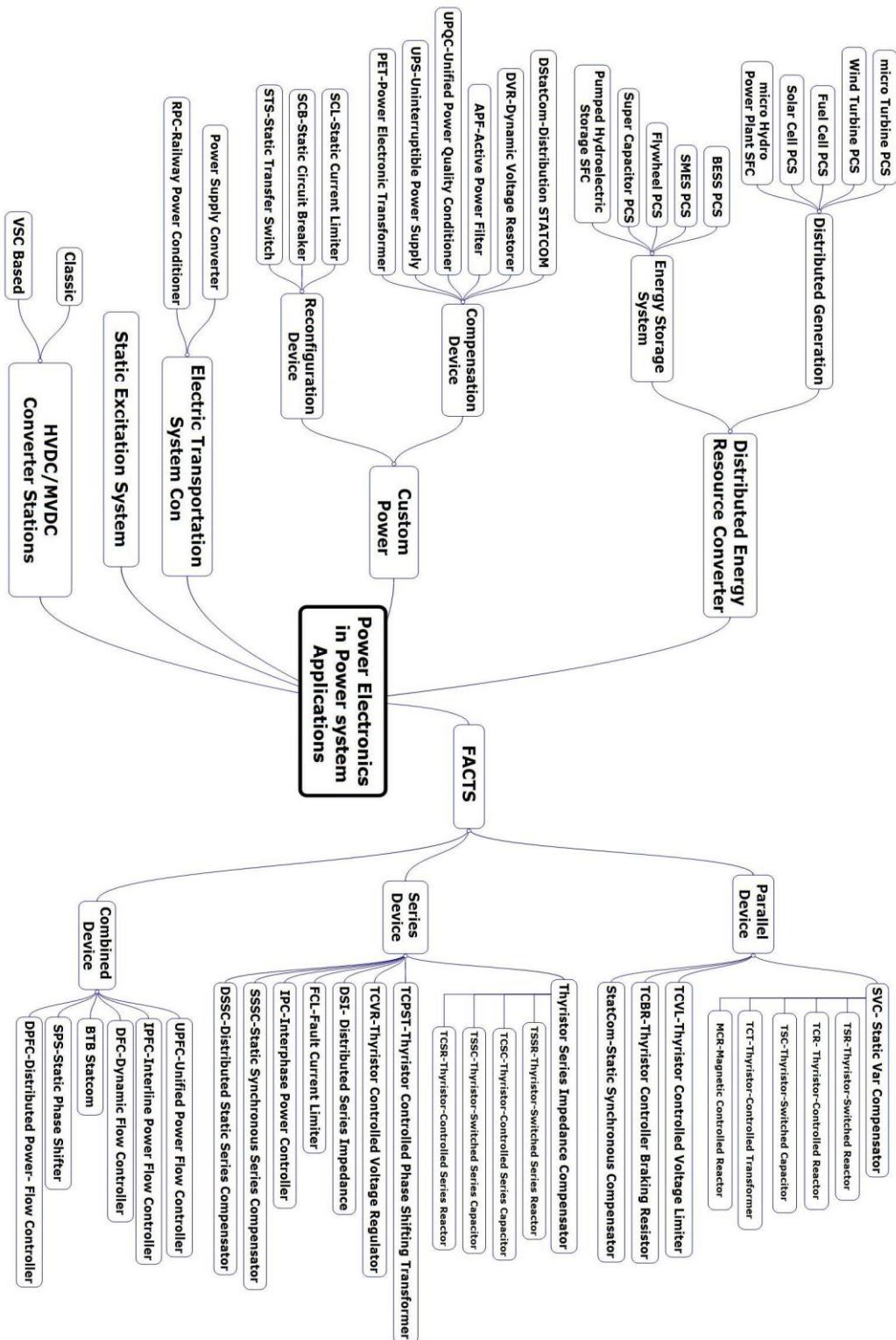
**روش معیارهای از پیش تعیین شده:** این روش بر مبنای استفاده از مطالعات قبلی که در این حوزه انجام گرفته است که معیارهایی را برای مقایسه موضوع مورد بررسی بدست آورده و استفاده کرده‌اند.

در این مطالعه برای بدست آوردن معیارها از سه روش طوفان فکری، روش معکوس و روش معیارهای از پیش تعیین شده استفاده شده است.

## ۲-۲- معیارهای ارزیابی تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق

در گزارش پیشین حوزه‌های مختلف فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق، مورد بررسی قرار گرفت و درخت فناوری آن‌ها ترسیم گردید که در این گزارش بر مبنای ۱۰ معیاری که با نظر کمیته راهبری تایید گردیده است تجهیزات الکترونیک قدرت سطح اول که در مطالعات درخت فناوری نهایی شده است و در شکل (۱-۲) زیر نشان داده شده است اولویت بندی شده اند.





شکل (۱-۲): درخت فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت

همان‌طور که در شکل ۱-۲ مشاهده می‌شود ۶ سرگروه تجهیزات در لایه اول (کاربرد تجهیزات الکترونیک قدرت) جهت اولویت‌بندی شناسایی شده است و در ادامه معیارهای اولویت‌بندی معرفی خواهد شد.

**ایجاد مزیت رقابتی برای کشور:** منظور میزان ایجاد مزیت رقابتی حاصل از توسعه فناوری هریک از تجهیزات الکترونیک قدرت در بازارهای منطقه‌ای و بین‌المللی برای کشور می‌باشد.

**وابستگی به مواد، تجهیزات و فناوری‌های خاص:** منظور میزان وابستگی ساخت هریک از تجهیزات الکترونیک قدرت به مواد، تجهیزات و فناوری‌های خاص می‌باشد که ممکن است دسترسی به آن‌ها چالش برانگیز شود.

**اهمیت کاربرد فناوری با توجه به جهت‌گیری‌های کلان صنعت برق:** منظور میزان اهمیت هر یک از تجهیزات و فناوری‌ها با توجه به جهت‌گیری‌های کلان صنعت برق کشور در جهت تحقق آرمان‌های صنعت برق می‌باشد.

**حجم بازار داخلی:** میزان حجم بازار بالقوه و بالفعل هریک از تجهیزات و فناوری‌های الکترونیک قدرت در کشور است.

**نرخ رشد بازار جهانی:** منظور میزان پیش‌بینی رشد تقاضای جهانی برای هریک از تجهیزات و فناوری‌های الکترونیک قدرت است.

**پتانسیل صادرات:** با توجه به کاربردهای مختلف هر یک از تجهیزات الکترونیک قدرت و مزیت‌های نسبی بالقوه و بالفعل کشور در زمینه تولید این تجهیزات، پتانسیل صادرات هر یک از تجهیزات و فناوری‌های الکترونیک قدرت در کشور یک معیار جذابیت تلقی می‌شود.

**سهولت دسترسی به فناوری:** فناوری‌های مختلف گاه‌با پیچیدگی‌های مختلف مواجه می‌باشند که سهولت دسترسی به آن‌ها را دچار مشکل می‌کند. لذا میزان سهولت دسترسی به فناوری نیز با توجه به توانمندی‌های بالقوه و بالفعل کشور به عنوان یک معیار می‌تواند تلقی شود.

**سرریز دانشی:** منظور از سرریز دانشی تاثیر ارتقا توانمندی فناورانه کشور در زمینه تجهیزات الکترونیک قدرت بر توسعه سایر صنایع و فناوری‌ها است.

**گسترده‌گی کاربرد:** منظور گستره کاربرد فناوری در حیطه شبکه برق و سایر صنایع است.

تاثیر فناوری بر مسائل زیست محیطی: منظور تبعات مثبت و منفی فرآیند تولید و استفاده از تجهیزات قدرت بر

محیط زیست می‌باشد.

## ۲-۳- اولویت‌بندی تجهیزات الکترونیک قدرت لایه اول بر اساس معیارهای

### ارزیابی

پس از مطالعه و بررسی انواع معیارهای ارزیابی و انواع تجهیزات الکترونیک قدرت در کشور، و با توجه به مرور ادبیات و متدولوژی تصمیم‌گیری چندمعیاره بیان شده در فصول قبل، جهت اولویت‌بندی تجهیزات الکترونیک قدرت مراحل زیر انجام می‌پذیرد:

گام اول: تعیین خبرگان حوزه تجهیزات الکترونیک قدرت جهت انجام وزن‌دهی به معیارهای مقایسه با پر کردن پرسشنامه و با روش تحلیل سلسله مراتبی

گام دوم: تعیین امتیاز و رتبه بندی تجهیزات الکترونیک قدرت بر اساس هر یک از معیارهای اولویت بندی

گام سوم: تلفیق اوزان معیارها و رتبه‌های تجهیزات مذکور در هر معیار و بدست آمدن رتبه‌بندی نهایی

پس از معرفی تفصیلی هر یک از معیارهای مقایسه، در گام اول با روش تحلیل سلسله مراتبی اوزان درخت معیارها بر اساس نظرات خبرگان محاسبه شده است. پس از شناسایی خبرگان صنعت و دانشگاه در حوزه تجهیزات الکترونیک قدرت پرسشنامه‌ای (پیوست شماره ۱) برای حدود ۱۷۰ نفر ارسال گردید و ۲۶ نفر از متخصصین این حوزه پس از پاسخ به پرسشنامه به صورت کامل پرسشنامه را ارسال نمودند که عبارتند از:

- دکتر فرهنگی (عضو هیئت علمی دانشگاه تهران - عضو کمیته راهبری تدوین سند)
- دکتر نبوی نیایکی (عضو هیئت علمی دانشگاه مازندران)
- دکتر یزدیان (عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرس - عضو کمیته راهبری تدوین سند)

- دکتر مختاری (عضو هیئت علمی دانشگاه شریف)
- دکتر آراسته (عضو هیئت علمی جهاد دانشگاهی دانشگاه علم و صنعت - عضو کمیته راهبری تدوین سند)
- مهندس هوشانفر (مدیرعامل شرکت پارس توان آمود - عضو کمیته راهبری تدوین سند)
- دکتر یاقوتی (معاون فروش و خدمات مشترکین شرکت توزیع تهران - عضو کمیته راهبری تدوین سند)
- دکتر ترکمن (عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی)
- دکتر آقابابایی (عضو هیئت علمی دانشگاه علوم دریایی امام خمینی)
- دکتر پرکار (کارشناس ارشد مطالعات تخصصی در دفتر برنامه ریزی شبکه شرکت توانیر)
- دکتر نصیری قیداری (عضو هیئت علمی دانشگاه شریف)
- دکتر دهقان (عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی قم)
- دکتر منفرد (عضو هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد)
- دکتر کارشناس (عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی اصفهان - عضو کمیته راهبری تدوین سند)
- دکتر قره پتیان (عضو هیئت علمی دانشگاه امیرکبیر)
- دکتر بانان عباسی (مدیرکل دفتر توسعه مدیریت و تحول اداری وزارت نیرو)
- دکتر پرنیانی (عضو هیئت علمی دانشگاه شریف - عضو کمیته راهبری تدوین سند)
- دکتر حسینی (عضو هیئت علمی دانشگاه سهند تبریز)
- دکتر فتحی (عضو هیئت علمی دانشگاه امیرکبیر)
- مهندس جوکار (مدیر تحقیق و توسعه شرکت مکو)

- دکتر ششیکانی (عضو هیئت علمی دانشگاه شهیدبهشتی)
- دکتر جورابیان (عضو هیئت علمی دانشگاه شهید چمران اهواز)
- دکتر بنایی (عضو هیئت علمی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان)
- دکتر عجمی (عضو هیئت علمی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان)
- دکتر صباحی (عضو هیئت علمی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان)
- مهندس قربانعلی افجه (نماینده دکتر طیبی هیئت علمی جهاد دانشگاهی دانشگاه علم و صنعت)

پس از مشخص شدن خبرگان جداول زوجی روش تحلیل سلسله مراتبی، تهیه شده است. همان طور که در بخش‌های قبلی نیز اشاره شد، اساس روش تحلیل سلسله مراتبی بر مبنای مقایسات زوجی قرار دارد. بنابراین پس از تشکیل درخت معیارها، معیارهای موجود در هر سطح نسبت به معیارهای هر ستون مورد مقایسه قرار می‌گیرند. این کار توسط خبرگان انجام می‌شود. بدین ترتیب، جداول مقایسه‌ای ایجاد می‌گردند. مقایسات زوجی و امتیازدهی مربوطه براساس جدول استاندارد شده توماس. ال. ساعتی در نرم‌افزار اکسپرت چویس انجام می‌گیرد.

پس از اعمال نظرات خبرگان در نرم افزار و محاسبه، اوزان هر یک از معیارها در بازه عددی (۹-۱) بدست آمد. که در جدول (۲-۱) اوزان هر یک از معیارها نشان داده شده است.

جدول (۲-۱): اوزان هریک از معیارهای اولویت‌بندی

وزن اخذ شده	معیار
۵/۸۸	ایجاد مزیت رقابتی
۶/۶۶	وابستگی به تجهیزات و فناوری خاص
۶/۸۶	اهمیت کاربرد
۶/۹۳	حجم بازار داخلی
۶/۶۸	نرخ رشد بازار جهانی
۶/۳۸	پتانسیل صادرات

وزن اخذ شده	معیار
۶/۱۷	سهولت دسترسی به فناوری
۶/۳۵	سرریز دانش
۷/۲۹	گسترده‌گی کاربرد
۶/۳۳	تأثیرات زیست محیطی

در گام دوم و سوم با توجه به اوزان هر یک از معیارها که در گام اول بدست آمد رتبه‌بندی هر یک از تجهیزات الکترونیک قدرت با توجه به نظرات خبرگان مشخص گردید. برای این منظور در پرسشنامه (پیوست شماره ۱) با توجه به هر یک از معیارها جدولی ترسیم گردید که در آن کاربرد سطح اول درخت فناوری با یکدیگر با توجه به آن معیار مورد مقایسه قرار گرفتند. سپس در گام نهایی با تلفیق اوزان هر یک از معیارها و رتبه‌بندی تجهیزات الکترونیک قدرت سطح اول بر اساس هر یک از ۱۰ معیار اولویت‌بندی، با استفاده از نرم افزار تحلیل سلسله مراتبی رتبه بندی تجهیزات مذکور به دست آمد، که در جدول (۲-۲) به ترتیب رتبه‌بندی نهایی بر مبنای نظرات تمامی خبرگان و کمیته راهبری ارائه شده است. همان طور که در جدول (۲-۲) نیز مشخص است مبدل‌های انرژی‌های تجدیدپذیر با توجه به جمع‌بندی تمامی نظرات خبرگان و نظرات اعضای محترم کمیته راهبری در رتبه اول قرار دارد.

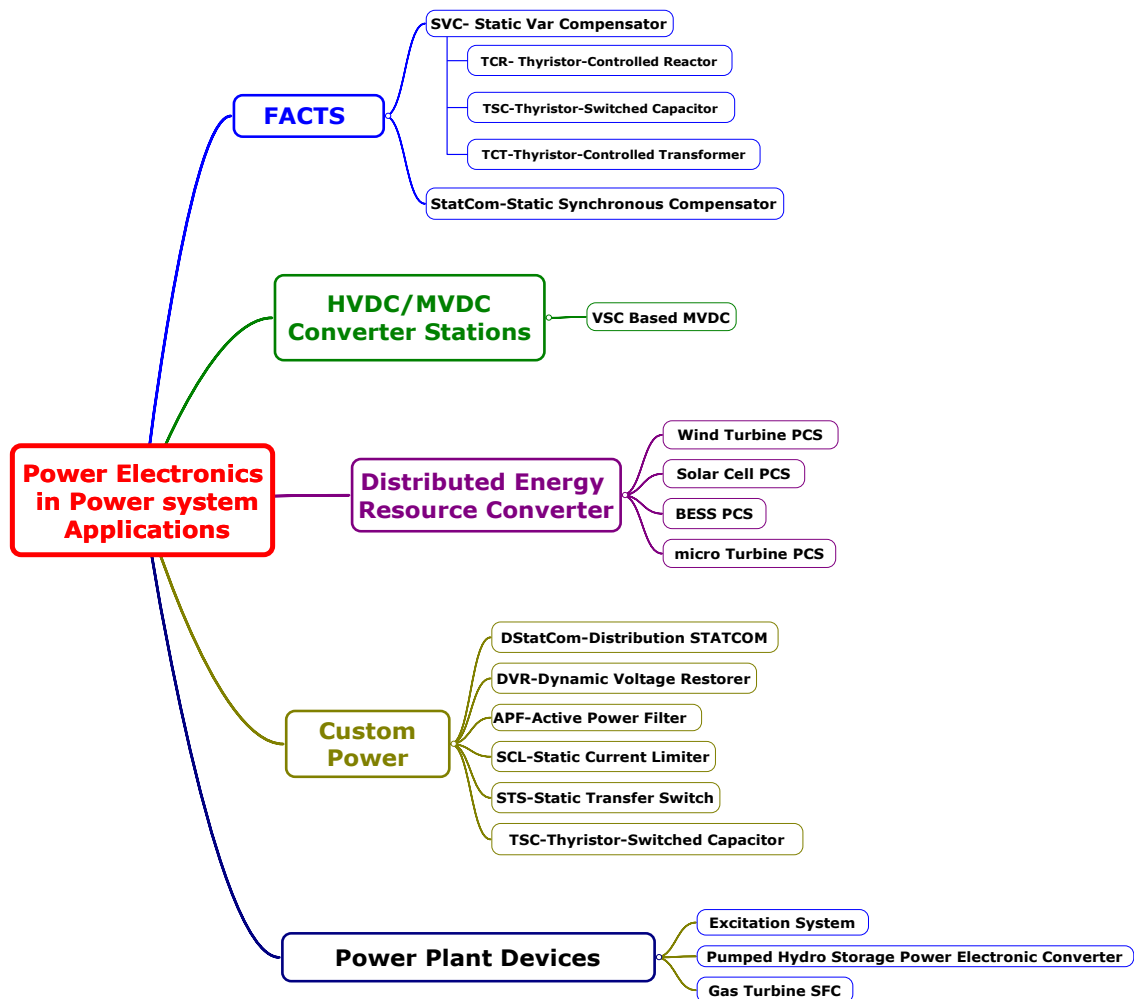
جدول (۲-۲): اولویت بندی فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت

Static Excitation System	Electric Transportation System	DER	CUPS	HVDC/MVDC	FACTS	
۴	۲	۱	۳	۶	۵	نظرات تمامی پاسخ دهندگان
۴	۳	۱	۲	۶	۵	نظرات کمیته راهبری

با توجه به گسترده‌گی فناوری‌های الکترونیک قدرت ذیل ۶ کاربرد ترسیم شده در درخت فناوری، با توجه به نظرات اعضای محترم کمیته راهبری مقرر گردید درخت فناوری براساس اولویت‌بندی کاربرد (اولویت‌بندی سطح اول) پالایش گردد. بدین

منظور به عنوان مثال در حوزه کاربرد FACTS که در اولویت بندی کاربرد در رده پنجم قرار گرفته است و اهمیت پایینی دارد، از حدود ۲۵ فناوری زیرمجموعه این کاربرد چهار فناوری در درخت فناوری پالایش شده در نظر گرفته شد و در خصوص سایر این فناوری ها نیز به همین ترتیب پالایشی صورت گرفت که در شکل (۲-۲) درخت فناوری پالایش شده نشان داده شده است. سپس با توجه به نظر اعضای محترم کمیته راهبری در جلسه مورخ ۱۳۹۳/۸/۲۱، مقرر گردید تا در رابطه با نحوه اولویت بندی در هر شاخه نیز به اولویت بندی زیر شاخه ها پرداخته شود. لذا ضمن پالایش درخت فناوری به منظور تعیین گزینه های اولویت بندی لایه دوم درخت فناوری، معیارهای مورد نیاز برای این موضوع نیز اخذ گردید.

در ادامه درخت فناوری پالایش شده با توجه به نظرات اعضای محترم کمیته راهبری در شکل (۲-۲) و همچنین معیارهای تعیین شده به منظور اولویت بندی تجهیزات باقی مانده برای دستیابی به دانش طراحی و ساخت، ارائه شده است.



شکل (۲-۲): درخت فناوری پالایش شده

## ۲-۴- معیارهای اولویت بندی سطح دوم تجهیزات الکترونیک قدرت

پس از اولویت بندی کاربردهای الکترونیک قدرت در سطح اول در این قسمت با توجه به اینکه در سطح دوم لازم است تا فناوری‌های هر یک از کاربردها براساس درخت فناوری پالایش شده اولویت بندی شوند، لذا معیارهای ذیل برای اولویت بندی انتخاب شده است.

**حجم بازار داخلی:** منظور میزان حجم ریالی بازار بالفعل برای هر یک از تجهیزات و فناوری‌های الکترونیک قدرت در کشور است.

**نرخ رشد بازار:** منظور میزان پیش بینی رشد تقاضا برای هر یک از تجهیزات و فناوری‌های الکترونیک قدرت در افق ۱۰ ساله است.

**سهولت دستیابی به فناوری:** فناوری‌های مختلف گاها با پیچیدگی‌های مختلف مواجه می باشند که سهولت دسترسی به آن‌ها را دچار مشکل می کند. لذا میزان سهولت دسترسی به فناوری نیز با توجه به توانمندی‌های بالقوه و بالفعل کشور به عنوان یک معیار می تواند تلقی شود.

**پتانسیل فعلی کشور:** منظور میزان توانمندی کشور در زمینه‌های دانش فنی و ساخت هر یک از این تجهیزات است<sup>۱</sup>.

**ارزش افزوده:** منظور ما به التفاوت قیمت فروش و قیمت تمام شده ساخت برای هر یک از تجهیزات مورد نظر (درصد استاندارد بین المللی) است.

**پتانسیل صادرات:** میزان ظرفیت صادرات هر یک از تجهیزات الکترونیک قدرت تولید شده در داخل کشور به بازارهای منطقه ای و بین المللی.

۱. پتانسیل فعلی کشور در گزارش پتانسیل سنجی و براساس نظرات خبرگان به تفصیل بیان شده است.



## ۲-۵- اولویت بندی تجهیزات الکترونیک قدرت سطح دوم بر اساس معیارهای

### ارزیابی

همانند اولویت بندی سطح اول تجهیزات، پس از شناسایی خبرگان صنعت و دانشگاه در حوزه تجهیزات الکترونیک قدرت پرسشنامه سطح دوم (پرسشنامه شماره ۲) برای ۴۰ نفر ارسال گردید و ۱۲ نفر از متخصصین این حوزه پس از پاسخ به پرسشنامه به صورت کامل پرسشنامه را ارسال نمودند که اسامی این افراد عبارتند از:

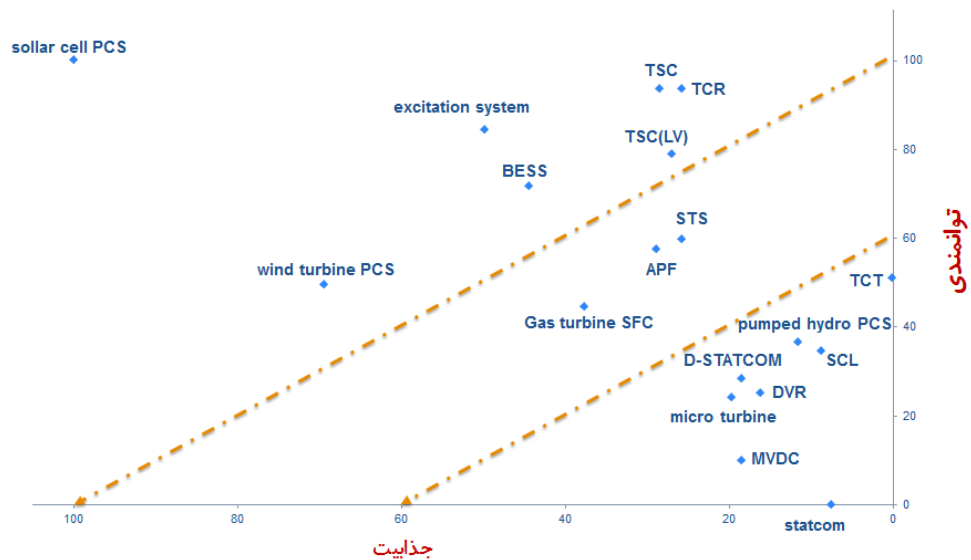
- دکتر قره پتیان (معاون پژوهشی پژوهشگاه نیرو)
- دکتر فرهنگی (عضو هیئت علمی دانشگاه تهران)
- دکتر نبوی نیاکی (عضو هیئت علمی دانشگاه مازندران)
- دکتر آراسته (عضو هیئت علمی جهاددانشگاهی دانشگاه علم و صنعت)
- دکتر کارشناس (عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی اصفهان)
- دکتر منفرد (عضو هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد)
- دکتر صباحی (عضو هیئت علمی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان)
- دکتر بنایی (عضو هیئت علمی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان)
- دکتر یاقوتی (معاون فروش و خدمات مشترکین شرکت توزیع تهران)
- دکتر فرجاه (عضو محترم هیئت علمی دانشگاه شیراز)
- مهندس هوشانفر (مدیرعامل شرکت پارس توان آمود)
- مهندس جوکار (مدیر تحقیق و توسعه شرکت مکو)

با جمع‌بندی جداول مقایسات زوجی خبرگان، تعیین جذابیت هر یک از فناوری‌ها با روش تحلیل سلسله مراتبی رتبه‌بندی گردید و با توجه به توانمندی کشور در هر یک از تجهیزات و ترسیم و تحلیل نمودار جذابیت توانمندی متناظر با آن محاسبه گردید.

جدول (۲-۳): توانمندی فعلی و جذابیت هر یک از تجهیزات

تجهیز	جذابیت تجهیز (نرمال) (۱۰۰)	توانمندی فعلی (نرمال) (۱۰۰)
Solar cell PCS	۱۰۰	۱۰۰
Wind turbine PCS	۶۹	۴۹/۵۵
Excitation system	۵۰	۸۴/۳۸
Battery Energy Storage PCS	۴۴	۷۱/۷۳
Gas turbine SFC	۳۸	۴۴/۶۸
APF- Active Power Filter	۲۹	۵۷/۴۷
TSC-Thyristor-Switched Capacitor	۲۸	۹۳/۶۱
TSC-(for LV systems	۲۷	۷۸/۸۹
STS-Static Transfer Switch	۲۶	۵۹/۷۵
TCR- Thyristor-Controlled Reactor	۲۵	۹۳/۶۱
Micro turbine PCS	۱۹	۲۴/۱۳
DSTATCOM- Distribution STATCOM	۱۸	۲۸/۳۹
VSC/CSC Based Medium Voltage DC	۱۸	۱۰/۱۸
DVR- Dynamic Voltage Restorer	۱۶	۲۵/۲۲
Pumped hydro storage Power electronic devices	۱۲	۳۶/۶۲
SCL- Static Current Limiter	۹	۳۴/۴۸
STATCOM	۷	.
TCT- Thyristor-Controlled Transformer	.	۵۱/۰۸

ماتریس جذابیت توانمندی متناظر با جدول (۳-۲)، در شکل (۳-۲) ارائه شده است.



شکل (۳-۲): ماتریس جذابیت و توانمندی

با توجه به ماتریس فوق و براساس نظرات کمیته راهبری و ادبیات بیان شده در بخش مرور ادبیات، خطوط خط چین در نمودار ترسیم گشت و تجهیزات در سه اولویت قرار گرفتند. تجهیزات solar cell PCS، wind turbine PCS، Excitation system، TSC، TCR، TSC(LV)، BESS، اولویت دسته اول و تجهیزات STS، APF، Gas turbine SFC، micro turbine، MVDC، D-STATCOM، SCL، TCT، اولویت دوم و سایر تجهیزات باقی مانده اولویت دسته سوم محسوب می‌شوند.

با نگاهی به اولویت بندی‌های روش‌های اول و دوم می‌توان ملاحظه نمود که نتایج اولویت‌بندی این دو روش تقریباً یکسان و نزدیک به هم است. لذا با توجه به نتایج به دست آمده از روش اخیر، تجهیزات دسته اول و دوم اولویت‌های ساخت و مبنای ادامه کار قرار خواهند گرفت و با توجه به نظر اعضای محترم کمیته راهبری تجهیزات D-STATCOM و DVR که در دسته سوم قرار گرفتند نیز در قالب تجهیزات لایه دوم در نظر گرفته خواهند شد.

## فصل سوم

سبک اکتساب فناوری‌های اولویت‌دار تجهیزات

الکترونیک قدرت در شبکه برق

## ۳- فصل سوم سبک اکتساب فناوری‌های اولویت‌دار تجهیزات الکترونیک قدرت در

### شبکه برق

#### ۳-۱- مقدمه

به منظور تصمیم‌گیری درباره نحوه اکتساب فناوری، به طور معمول معیارها و عواملی دخیل هستند که باید طی فرآیند انتخاب روش مناسب اکتساب فناوری، مدنظر قرار گیرند. این معیارها و عوامل اغلب ناظر بر ویژگی‌های فناوری، دارنده فناوری، ویژگی‌ها و اهداف گیرنده فناوری، بازار و شرایط محیطی می‌باشند. از طرف دیگر به صورت کلی سه سبک برای توسعه تکنولوژی و اکتساب آن وجود دارد که عبارتند از:

- توسعه داخلی (درون‌زا) تکنولوژی

- توسعه مشارکتی تکنولوژی (همکاری تکنولوژیکی)

- خرید محصول تکنولوژی

در این بخش سبک اکتساب هر یک از فناوری‌های اولویت‌دار که در بخش قبل مشخص گردید با توجه به مجموعه معیارهایی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

#### ۳-۲- تشریح مدل سبک اکتساب

امروزه یکی از مهم‌ترین تصمیمات راهبردی پیش روی محیط رقابت جهانی، موضوع اکتساب فناوری می‌باشد. اهمیت این که اکتساب فناوری، از چه روشی انجام گیرد، بسیاری از کشورهای در حال توسعه را بر آن داشته که انواع مختلف روش‌های اکتساب فناوری را مورد ارزیابی قرار داده و در پی انتخاب سودمندترین آن‌ها (از جوانب مختلف) باشند. هر چقدر رویه مورد استفاده برای

انتخاب روش اکتساب فناوری کاراتر و عقلانی‌تر باشد، منجر به مزیت‌های بیشتری برای اکتساب کننده خواهد شد. به هر صورت انتخاب روش مناسب اکتساب فناوری پیش از هر چیز یک مسئله تصمیم‌گیری است و به همین جهت تصمیم‌گیرنده با لحاظ مجموعه‌ای از معیارها و محدودیت‌ها اقدام به انتخاب روش مناسب می‌نماید. بنابراین هر مدلی برای انتخاب روش مناسب اکتساب فناوری می‌بایست جنبه‌های فوق را مورد توجه قرار دهد.

در این قسمت به تشریح مدل اکتساب فناوری‌های اولویت‌دار تجهیزات الکترونیک قدرت با توجه به ادبیات ارائه شده در فصل اول و تدوین الگوریتمی جدید به منظور تعیین سبک اکتساب مناسب، پرداخته شده است. بدین منظور در بدو امر به شرح ویژگی‌های کلی مدل پرداخته و سپس مدل نهایی ارائه می‌گردد.

### ۳-۲-۱ اجزاء مدل اکتساب فناوری

در این قسمت به شرح یکایک اجزا و عناصر این مدل و نقش آن‌ها در مدل می‌پردازیم:

**چرخه عمر فناوری (عام):** پرسشی که در گام ابتدایی مدل انتخاب روش اکتساب فناوری، مطرح می‌شود، این است که فناوری در حالت عام، در چه مرحله‌ای از چرخه عمر خود قرار دارد. مطابق با پاسخ این پرسش، روش برخورد با فناوری تغییر می‌کند. در مدل ارائه شده فراخور وضعیت فناوری در چرخه عمر، سه حالت زیر به وجود می‌آید:

چنانچه معلوم شود فناوری در مرحله معرفی قرار دارد. "سبک خرید" حذف شده و تنها سبک "تحقیق و توسعه داخلی" و روش همکاری "تحقیق و توسعه مشترک" معنا پیدا می‌کنند. بدیهی است که دلیل این امر عدم امکان‌پذیری سبک خرید و برخی دیگر از روش‌های همکاری می‌باشد.

اگر فناوری مذکور در مراحل رشد و بلوغ باشد، تصمیم‌گیری منوط به پرسش از حجم بازار خواهد بود که در بند بعدی به آن خواهیم پرداخت.

سرانجام اگر فناوری در مرحله پیری و افول باشد، از آنجا که این به معنای معرفی فناوری رقیب در بازار است، پاسخ پرسش بعدی بدیهی می‌گردد به این صورت که چرخه عمر محصول نیز در حالت افول قرار می‌گیرد و در نتیجه سبک تحقیق و توسعه

حذف می‌گردد. دلیل این مساله این است که چرخه عمر فناوری در حالت افول بوده، رقبا در حال خارج شدن از بازار و فروش فناوری هستند، از سوی دیگر عاقلانه نیست که بر روی یک فناوری از رده خارج، که در سطح بین‌المللی کنار نهاده شده است، تحقیق و توسعه انجام شود شکل (۱-۳).

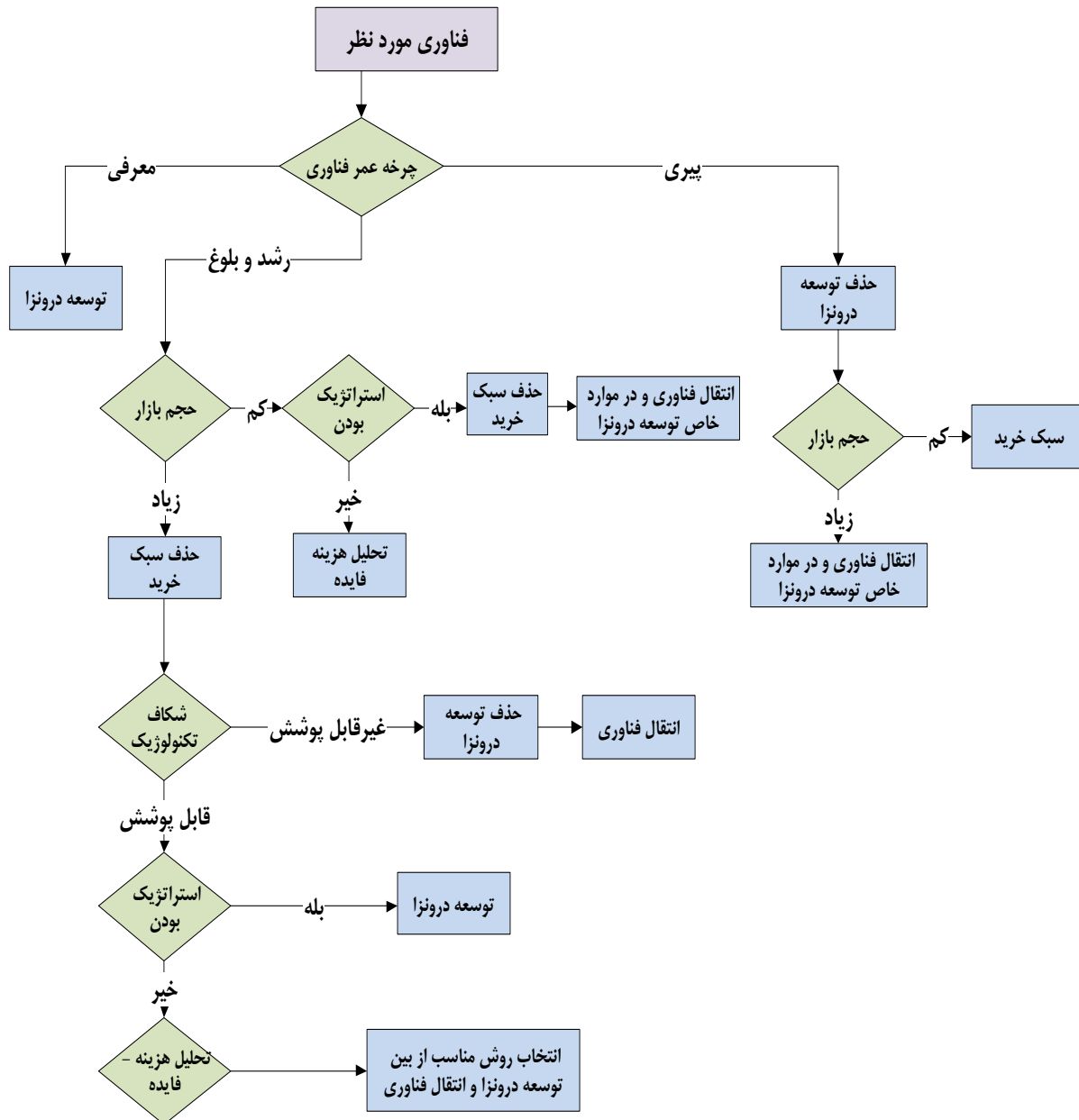
**حجم بازار داخل:** با توجه به مطالب فوق در حالت‌های مختلفی پرسش از حجم بازار داخل ضرورت پیدا می‌کند. حالت اول زمانی است که چرخه عمر فناوری عام در مرحله افول خود قرار دارد، حالت‌های دوم و سوم نیز ناظر بر وضعیتی است که طی آن چرخه عمر محصول در بازار بین‌الملل، در مرحله رشد و بلوغ یا افول باشد. پاسخ به این پرسش دو خروجی را به وجود می‌آورد: حالت اول حکایت از کم بودن حجم بازار داخل داشته و رقم پرداختی بابت خرید آن قابل توجه نمی‌باشد که در این صورت سبک خرید محصول فناوری پیشنهاد می‌شود.

حالت دوم ناظر بر با ارزش بودن بازار داخلی است که در این صورت به دلایلی چون بازار جذاب داخل، لزوم عدم خروج مقادیر بالای ارز از کشور، لزوم افزایش فرصت‌های شغلی در کشور، سبک خرید حذف شده و ادامه فلوچارت از دو حالت زیر خارج نیست: اولاً زمانی که در سطوح بالاتر مدل، سبک تحقیق و توسعه حذف شده باشد که طی آن روش‌های همکاری مدنظر قرار می‌گیرند و پرسش‌های بعدی بر مبنای آن مطرح می‌شوند.

ثانیاً زمانی که در سطوح بالاتر مدل، سبک تحقیق و توسعه حذف نشده باشد، که در این صورت شکاف فناورانه مورد پرسش واقع می‌شود شکل (۱-۳).

**شکاف فناورانه:** هدف از طرح این معیار، بررسی امکان تحقیق و توسعه در مسیرهایی است که این سبک از میان روش‌های اکتساب حذف نشده باشد. در صورتی که شکاف فناورانه غیرقابل پوشش باشد، سبک تحقیق و توسعه حذف می‌گردد و چنانچه شکاف فناورانه قابل پوشش باشد، سبک تحقیق و توسعه در کنار روش‌های همکاری معنادار مورد بررسی قرار می‌گیرد.

با توجه به موارد ذکر شده مدل سبک اکتساب فناوری‌های اولویت‌دار در شکل (۱-۳) نشان داده شده است که به فراخور نیاز و با توجه به موضوع مورد بحث از برخی از قسمت‌های آن استفاده شده است.



شکل (۳-۱): مدل سبک اکتساب فناوری های اولویت دار



### ۳-۳- ارزیابی معیارهای سبک اکتساب

به منظور اکتساب فناوری‌های اولویت‌دار تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق معیارهایی از قبیل حجم بازار داخلی، میزان شکاف تکنولوژیکی، چرخه عمر فناوری و میزان استراتژیک بودن فناوری در این قسمت مورد بررسی قرار خواهد گرفت. بدین منظور اولاً با توجه به پاسخ‌های پرسشنامه‌ای (پرسشنامه شماره ۲) که برای اولویت‌بندی فناوری‌های اولویت‌دار برای خبرگان فرستاده شده و ثانياً با توجه به منابع علمی و اطلاعات موجود در کشور میزان اهمیت هر یک از این معیارها برای فناوری‌های اولویت‌دار تجهیزات الکترونیک قدرت مورد بررسی قرار گرفته است.

تجهیزات اولویت‌دار الکترونیک قدرت که در فصل قبل بدان اشاره گردید عبارتند از:

Solar cell PCS ➤

Wind turbine PCS ➤

Excitation system ➤

TSC ➤

TCR ➤

TSC(LV) ➤

BESS ➤

Gas turbine SFC ➤

APF ➤

STS ➤

STS ➤

D-STATCOM ➤

DVR ➤

### ۳-۳-۱ معیار حجم بازار

برای سنجش میزان فرصت‌های کسب و کار جهت تأمین تقاضای داخل می‌توان از معیار حجم بازار تکنولوژی در داخل کشور و میزان رشد این بازار استفاده نمود. منظور از حجم بازار، میزان حجم ریالی بازار بالفعل برای هر یک از تجهیزات و فناوری‌های الکترونیک قدرت در کشور می‌باشد. در ادامه حجم بازار هر یک از فناوری‌های تجهیزات الکترونیک قدرت بیان می‌گردد.

با توجه به تصویب سند انرژی‌های تجدیدپذیر کشور در شورای عالی انقلاب فرهنگی و مبنای عمل قرار گرفتن این سند به عنوان اصلی‌ترین برنامه کشور به منظور جهت‌دهی به فعالیت‌های موجود در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر، عمل به این سند در کشور مورد اهتمام ویژه قرار دارد. بر اساس این سند بخش انرژی‌های تجدیدپذیر ملزم است در افق ۱۴۰۴ به میزان ده هزار مگاوات از انواع انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور نصب نماید. از طرفی با توجه به اینکه اهم ظرفیت کشور در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر در حوزه انرژی‌های بادی و خورشیدی می‌باشد، لذا حجم بازار بسیار زیادی برای انرژی‌های بادی و خورشیدی و بالتبع آن مبدل‌های توربین بادی و خورشیدی وجود دارد.

در حوزه تجهیزات نیروگاهی، با توجه به اینکه برنامه‌های بسیاری در کشور در زمینه احداث نیروگاه‌های جدید و نوسازی نیروگاه‌های موجود وجود دارد، لذا حجم بازار خوبی در زمینه Excitation system و Gas turbine SFC وجود دارد. علاوه بر موارد فوق همچنین وجود بازارهای فرامرزی در زمینه ساخت و صادرات نیروگاه نیز سبب می‌شود در زمینه تجهیزات فوق علاوه بر بازار داخلی، بازار مناسبی در سایر کشورها نیز برای کشور مهیا باشد.

در زمینه تجهیز SVC با توجه به ارتباط این تجهیز با موضوع انرژی‌های تجدیدپذیر و تسهیل ارتباط آن‌ها به شبکه افزایش حجم انرژی‌های تجدیدپذیر، نیاز به تجهیز SVC نیز افزایش خواهد یافت. از سوی دیگر علاوه بر کاربرد SVC در انرژی‌های تجدیدپذیر، این فناوری در سایر حوزه‌ها همچون صنعت فولاد نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جهت محاسبه میزان حجم بازار داخلی تجهیزات الکترونیک قدرت اولویت‌دار علاوه بر موارد گفته شده، با استخراج نظرات متخصصین این حوزه از پرسشنامه (پیوست شماره ۲) اولویت‌بندی، میزان حجم بازار هر یک از این تجهیزات در جدول (۱-۳) ارائه شده است.

جدول (۱-۳): حجم بازار تجهیزات الکترونیک قدرت اولویت‌دار

TSC(LV)	TCR	TSC	Excitation system	Wind turbine PCS	Solar cell PCS	تجهیز الکترونیک قدرت اولویت‌دار
روبه افزایش	روبه افزایش	روبه افزایش	زیاد	زیاد	زیاد	حجم بازار
DVR	D-STATCOM	STS	APF	Gas turbine SFC	BESS	تجهیز الکترونیک قدرت اولویت‌دار
کم	کم	متوسط رو به پایین	کم	متوسط رو به بالا	زیاد	حجم بازار

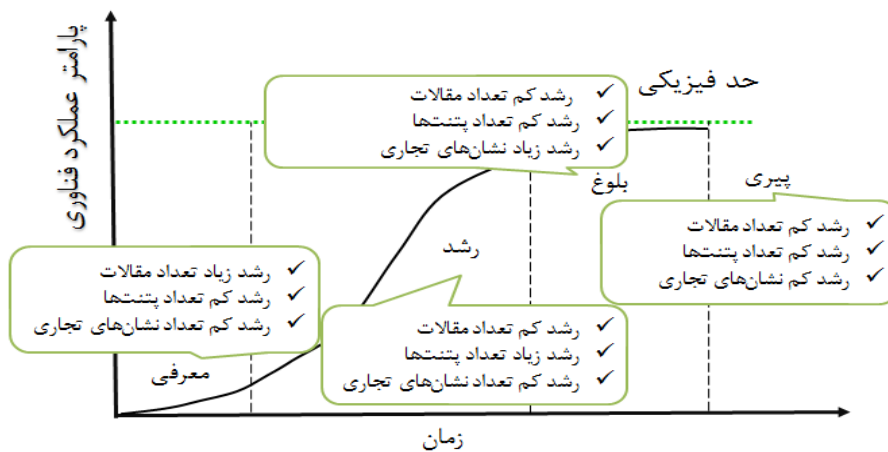
### ۳-۳-۲ معیار چرخه عمر فناوری

هر تکنولوژی دارای عمری است که به صورت یک منحنی ترسیم می‌شود چرخه عمر تکنولوژی به طور کلی میزان تقاضا برای یک فناوری در طول زمان را بیان می‌دارد. این نمودار دارای چهار بخش اصلی معرفی، رشد، بلوغ و افول است که در شکل (۲-۳) نشان داده شده است.

هر فناوری، چرخه عمر خود را از مرحله معرفی که اولین ایده‌ها و مفاهیم در مورد آن مطرح می‌شود آغاز می‌کند. این مرحله عموماً در دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی صورت می‌گیرد. در این مرحله بیشترین تعداد مقالات علمی در رابطه با آن موضوع منتشر می‌شود.

زمانی که فناوری مورد نظر قابلیت استفاده صنعتی و تجاری داشته باشد؛ مرحله رشد فناوری در مراکز تحقیق و توسعه صنعتی آغاز می‌شود. این مرحله تا زمانی که فناوری مورد نظر، به مرحله ای برسد که بتوان با استفاده از آن محصول و یا خدمات جدیدی را ارائه کرد ادامه می‌یابد. در این مرحله حجم مقالات به تدریج کاهش می‌یابد و تعداد پتنت‌های مرتبط با آن فناوری افزایش می‌یابد.

پس از مرحله رشد، فناوری وارد مرحله بلوغ می‌شود. در این مرحله سطح فناوری تغییر عمده‌ای نمی‌کند و تغییرات آن در حد بهینه سازی‌های محدودی خواهد بود که در خود صنعت صورت می‌گیرد. در این مرحله از عمر فناوری، مقالات و پتنت‌ها کاهش یافته و در عوض نشان‌های تجاری و شرکت‌هایی که در رابطه با آن فناوری تاسیس می‌شوند، افزایش می‌یابد. با گذشت زمان و ورود فناوری‌های رقیب که قابلیت‌های جدیدی را ارائه می‌کنند، تقاضا برای فناوری قدیمی کمتر شده و مرحله افول آغاز می‌شود. رشد منفی مقالات، پتنت‌ها و نشان‌های تجاری از ویژگی‌های این دوره چرخه عمر فناوری است. با توجه به توضیحات فوق، چرخه عمر فناوری را می‌توان به شرح زیر در نظر گرفت:



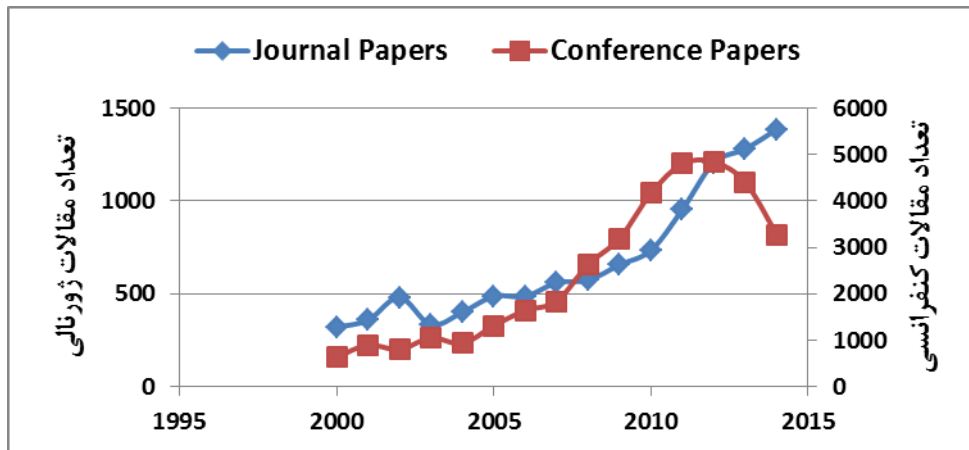
شکل (۲-۳): مراحل چرخه عمر تکنولوژی

در ادامه با توجه به مطالب فوق چرخه عمر فناوری‌های از تجهیزات الکترونیک قدرت اولویت‌دار تعیین می‌گردد. برای این منظور در ابتدا روند مقالات، پتنت‌ها و ... برای هر یک از فناوری‌ها بررسی شده است و در انتهای بررسی تمامی فناوری‌ها چرخه عمر تک تک فناوری‌ها بیان شده است.

### ۳-۲-۱- بررسی چرخه عمر فناوری در زمینه باد

#### الف) بررسی مقالات منتشر شده در زمینه باد

طبق آمار انجمن مهندسی برق و الکترونیک امریکا (IEEE) از سال ۲۰۰۰ تا کنون، تحقیقات در زمینه توربین بادی نرخ صعودی داشته است. همانطور که در شکل ۳-۳ نشان داده شده است، تعداد مقاله‌های مجلات چاپ شده از حدود ۲۳۰ مقاله به حدود ۱۳۸۵ مقاله در سال ۲۰۱۴ رسیده است. این افزایش نشان‌دهنده توجه بخش تحقیقات در زمینه صنعت باد است.



شکل (۳-۳): تعداد مقالات منتشر شده در سایت IEEE در زمینه باد

### ب) بررسی پتنت‌های منتشر شده در زمینه باد

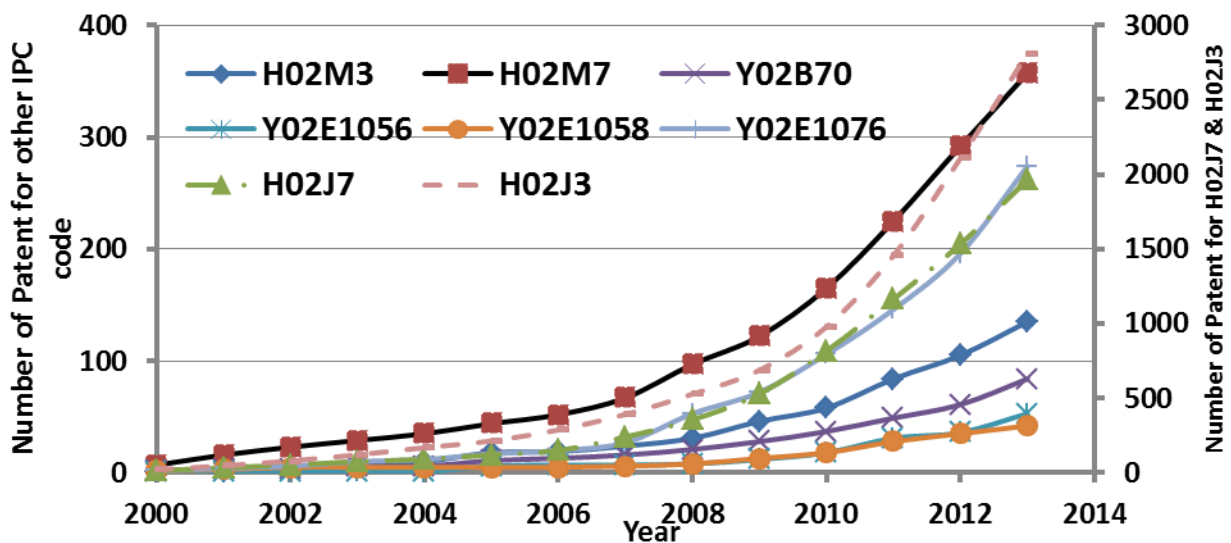
جستجوگر اداره ثبت اختراعات اروپا [۴] یکی از کامل‌ترین بانک‌های اطلاعاتی پتنت‌های بین‌المللی است که اطلاعات مربوط به پتنت‌های اروپا، انگلیس، سازمان جهانی مالکیت فکری و ژاپن و حدود ۹۰ کشور دیگر را دارد. در این سایت امکان جستجوی پتنت‌ها با داشتن کد CPC و یا IPC مربوط به هر گروه از پتنت‌های مربوطه فراهم است. در زمینه الکترونیک قدرت سیستم‌های بادی چندین زیرگروه مشارکت دارند. کد این زیر گروه‌ها به همراه توضیح مشخصات آنها در جدول زیر آورده شده است.

جدول (۲-۳): کد بین‌المللی زیر شاخه‌های مرتبط به الکترونیک قدرت در باد

مشخصات	کد زیر گروه
مبدل‌های dc به dc	H02M3
مبدل‌های ac به dc	H02M7
باتری شارژر، مدار گیت درایو، مسایل الکترونیکی و ارتباطی در کنترل توربین باد و توربین توان کوچک	H02J7
مدیریت و بهره‌وری بهینه از انرژی باد توسط الکترونیک قدرت، ساختار بندی بهینه سیستم	Y02B73
جنبه‌های الکترونیک قدرت مشترک با سولار	Y02E1056

مشخصات	کد زیر گروه
کنترل MPPT	Y02E1058
جنبه‌های الکترونیک قدرت باد، اتصال به شبکه	Y02E1076
مسائل مربوط به پاور سیستم و کنترل توان اکتیو و راکتیو توربین باد، مسائل پایداری، کاهش تلفات و...	H02J3

با بررسی در زیر گروه‌های مذکور از بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳، نتایج در قالب شکل ۳-۴ به نمایش در آمده است.



شکل (۳-۴): نمودار فراوانی پتنت‌های ارائه شده در زیر شاخه‌های مربوط به الکترونیک قدرت سیستم باد

محور افقی نمایانگر سال، محور عمودی سمت راست مربوط به کدهای H02J3 و H02J7 و محور عمودی سمت چپ مربوط به کد سایر زیرگروه‌ها است. همانگونه که مشخص است، خطوط دارای نقطه چین یعنی کدهای H02J3 (مسائل پاور سیستم) و H02J7 (مسائل الکترونیکی و ارتباطی) بیشترین آمار پتنت‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. پس از آن زیرگروه H02M7 (مبدل ac-dc) و در پی آن Y02E1076 (مسائل پاور الکترونیک باد در اتصال به شبکه) و H02M3 (مبدل dc-dc) و Y02B73 (مدیریت و بهره‌وری انرژی) و Y02E1056 (مسائل ترکیب با سولار) و Y02E1058 (کنترل MPPT) در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند.

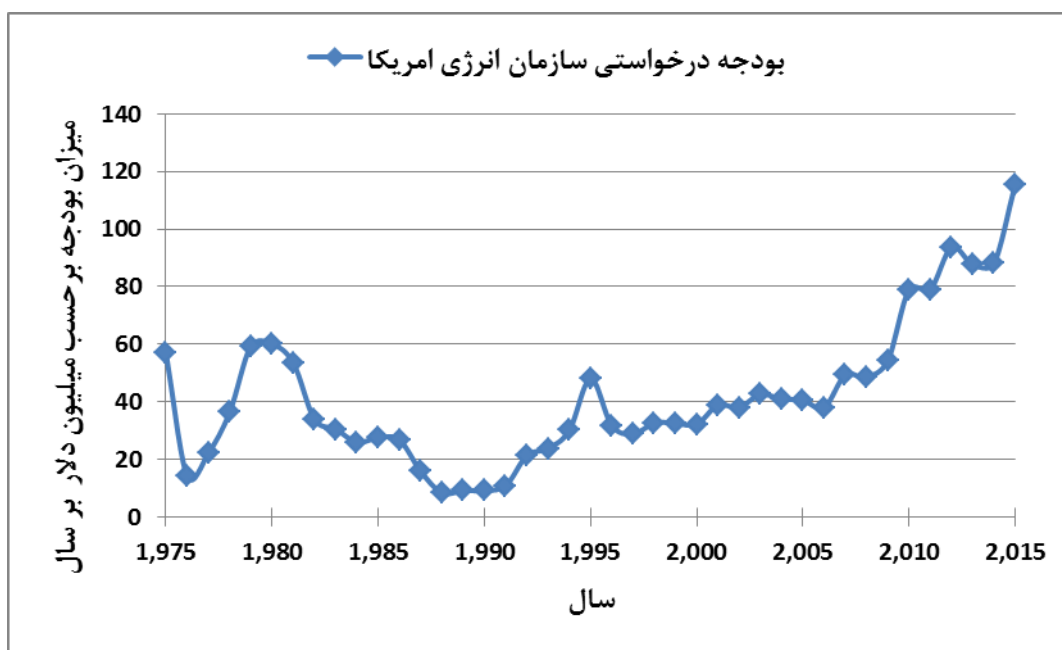
همانگونه که مشاهده می‌شود از سال ۲۰۰۵ شیب نمودارها افزایش پیدا کرده است و این عامل نشان از نو ظهور بودن الکترونیک قدرت در صنعت باد است. مساله‌ی کنترل هرچه بهتر مبدل، افزایش راندمان و کاهش تلفات از اولویت‌های مطرح شده در این زیر گروه است که این امر به گسترش الکترونیک قدرت نیازمند است. بحث‌های ارتباطی و الکترونیکی مربوط به

کنترل سویچ‌های قدرت و همچنین به کارگیری مبدل‌های بادی توان کوچک نیز اولویت دوم مطرح شده است. البته یکی از عوامل بالا بودن تعداد پنت‌ها در این زمینه، گستردگی کاربرد است. مباحث استفاده صحیح از توربین بادی توان کوچک برای مصارف پزشکی، تجاری و... در رتبه سوم است که توپولوژی مبدل‌های الکترونیک قدرت برای افزایش توان و راندمان، کاهش استرس سویچ‌ها، رگولاسیون ولتاژ، ماژولاریتی و .. پنت‌های فراوانی را به خود اختصاص داده است.

### ج) نرخ بودجه درخواستی برای گسترش واحد تحقیق و توسعه صنعت باد

در مورد بودجه واگذار شده به بخش باد آماری ارائه نشده است اما در مورد بودجه درخواستی از دولت برای صنعت باد می‌توان به اطلاعات ارایه شده در این زمینه رجوع کرد. طبق آماری که وزارت انرژی امریکا در سال ۲۰۱۴ ارائه نمود سرمایه گذاری در بخش باد روندی صعودی دارد.

نرخ بودجه درخواستی برای تحقیق و توسعه در صنعت باد از سال ۱۹۷۵ تا کنون توسط وزارت انرژی امریکا در شکل ۳-۵ نشان داده شده است [۵]. این نرخ تا سال ۲۰۱۳ افزایش یافته و پس از یک کاهش ناگهانی در سال ۲۰۱۳ دوباره روایی رو به افزایش را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۵): میزان بودجه درخواستی برای سرمایه‌گذاری در صنعت باد ایالات متحده

در سال ۲۰۱۴ وزارت انرژی ایالات متحده بودجه ۸۸/۲ میلیون دلاری برای برنامه بادی اختصاص داد تا هزینه فناوری باد را کاهش داده و بهره‌وری تولید برق از توان بادی را شدت بخشد. این بودجه به منظور اقدامات زیر درخواست شده است:

توسعه تولید باد در نواحی فراساحلی؛ ساخت مزارع بادی فراساحل و توسعه بهره‌برداری از انرژی باد به صورت خانگی از زمره این فعالیت‌ها می‌باشد.

تحقیق و توسعه در زمینه بهینه‌سازی نیروگاه باد؛ برای عملکرد بهینه نیروگاه‌های باد، برنامه‌های توسعه و تحقیق متفاوتی در نظر گرفته شده است. برنامه‌های شبیه‌سازی مناسب برای محاسبات آیرودینامیکی پیچیده توربین باد، شناسایی و بهبود فاکتورهای موثر در افزایش ظرفیت توربین‌های باد، و همچنین افزایش مشارکت انرژی باد در مطالعات سیستم‌های قدرت از جمله این فعالیت‌ها هستند.

ساخت واحدهای تحقیق و توسعه؛ به منظور ایجاد رقابت در صنعت توربین باد و همچنین کاهش هزینه تولید، این کشور در نظر دارد تا بر خلاقیت‌های موثر واحدهای تحقیق و توسعه تمرکز بیشتری کند.

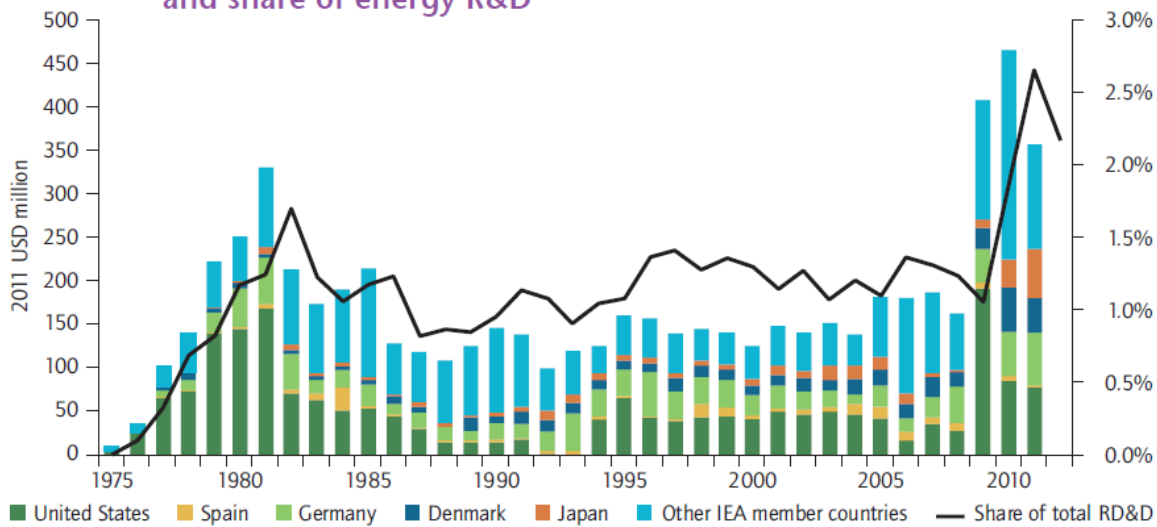
اتصال به شبکه؛ مسائل اتصال به شبکه و مطالعات انتقال توان و توسعه ابزارهای پیش‌بینی برای اپراتورهای شبکه صدور گواهینامه و استانداردها؛ بررسی و تحلیل پیامدهای زیست محیطی، بررسی و تست تجهیزات در آزمایشگاه‌های ملی برای مصارف اکادمیک و صنعتی

در گزارش [۶] بیان شده است که نرخ بودجه اختصاص یافته به واحد تحقیق و توسعه همچنان نسبت به سایر تکنولوژی‌های انرژی پایین است (در حدود ۱ الی ۲ درصد از کل بودجه تحقیق و توسعه)؛ هرچند در سال‌های اخیر مطابق شکل ۳-۶ شاهد افزایش اختصاصی بودجه به واحد تحقیق و توسعه بخش باد در کشورهای عضو سازمان اقتصاد و توسعه انرژی بوده ایم. در سال ۲۰۱۱ مقدار مشارکت بودجه تحقیق و توسعه به عدد ۲/۲ درصد افزایش یافت که تقریباً معادل با ۳۵۷ میلیون دلار امریکا است. همچنین در تحلیل چشم اندازهای آتی در بخش تحقیقات در سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ اشاره به افزایش درصد مشارکت باد در بخش تحقیق و توسعه دارد. علت این افزایش مشارکت را ناشی از رسیدن باد به سطحی بالا از خلاقیت در تکنولوژی می‌داند که در آن بدون حمایت‌های بیشتر دولتی امکان پیشروی میسر نیست. مشخص نمودن حمایت مالی مشخص برای واحد تحقیق و توسعه به وضوح اهداف بلند مدت کشورها و شرکت‌های حوزه صنعت باد را آشکار می‌سازد.



در بین سالهای ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ در حوزه صنعتی، در حدود ۵ درصد از درآمد هر شرکت به بخش تحقیق و توسعه اختصاص داده می‌شد. اما شرکت‌های خصوصی تمایل به امتیازات کوتاه مدت در بخش تحقیق و توسعه دارند تا سود سرمایه‌گذاری خود را با اطمینان و قطعیت بیشتری دریافت کنند. تحقیقات بنیادین طولانی مدت، معمولاً بر عهده بخش عمومی (غیرخصوصی) است که در نگاه اول هدف تامین منافع عمومی را دنبال می‌کند. هماهنگی بین تمام گروه‌ها، دولتی و خصوصی به خصوص در زمینه فراساحلی می‌تواند منافع فراوانی را به همراه داشته باشد. نکته مهم دیگر اینکه اختصاص یک بودجه قطعی برای بخش تحقیق و توسعه و همچنین افزایش ۲ الی ۵ برابری این بودجه برای اطمینان از بهره‌برداری کامل از پتانسیل باد امری لازم و ضروری به نظر می‌رسد. همچنین گسترش مکان‌ها و مراکزی برای تست و آزمایشات بر روی توربین‌های بادی از دیگر چالش‌های پیشرو است. کشورهایی از قبیل آلمان، انگلستان، امریکا دست به اقداماتی در این زمینه زده‌اند.

#### OECD member country funding for wind energy R&D and share of energy R&D



شکل (۳-۶): میزان بودجه واحد تحقیق و توسعه در انرژی باد و سهم بودجه باد در آن، در کشورهای عضو OECD

#### (د) معرفی شرکت‌های توربین بادی

شرکت‌های بزرگ تولید کننده‌ی توربین‌های بادی از کشور چین، هند، دانمارک، امریکا و آلمان می‌باشند که این شرکت‌ها در کشورهای گوناگونی توربین‌های خود را نصب کرده‌اند. رنج توربین‌های بادی این شرکت‌ها نیز تا حدودی با یکدیگر متفاوت است. در جدول ۳-۳ نوع مبدل توربین‌های بادی هر یک از شرکت‌ها آورده شده است. اطلاعات این جدول از وبسایت این شرکت‌ها در سال ۲۰۱۳ استخراج شده است.

جدول (۳-۳): کمپانی‌های برتر در زمینه باد و ظرفیت مبدل‌های قدرت آنها

شرکت	بازار اصلی	توان توربین	نوع سیستم
Vestas	آلمان-دانمارک-کانادا-استرالیا-ایتالیا-هند-بریتانیا-اسپانیا	۳ مگاوات	مقیاس جزئی
		۲ مگاوات	مقیاس جزئی
		۳/۳ مگاوات	مقیاس کامل
Gamesa	اسپانیا-چین-ایتالیا	۲-۲/۵ مگاوات	مقیاس جزئی
		۱/۸ مگاوات	بدون مبدل ژنراتور رتور سیم‌بندی
		۵ مگاوات	مقیاس کامل
Enercon	استرالیا-آلمان-کانادا-هند-پرتغال	۴/۵ مگاوات	مقیاس کامل
		۳-۲ مگاوات	مقیاس کامل
		۸۰۰-۹۰۰ کیلووات	بدون مبدل
GE Wind	امریکا-ایتالیا-ژاپن-هلند-پرتغال-بریتانیا	۲-۱ مگاوات	مقیاس جزئی
		۳ مگاوات	مقیاس کامل
Siemens	بریتانیا-ایرلند	۶ مگاوات	مقیاس کامل
		۳/۶ مگاوات	مقیاس کامل
		۳ مگاوات	مقیاس کامل
		۲/۳ مگاوات	مقیاس کامل
Suzlon	هند	۲ مگاوات	بدون مبدل رتور سیم‌بندی
		۱/۲۵ مگاوات	بدون مبدل مغناطیس دائم
Repower	آلمانی	۵ مگاوات	مقیاس جزئی
		۲ مگاوات	مقیاس جزئی
Mitsubishi	ژاپن-امریکا	۲ مگاوات	مقیاس کامل
		۱ مگاوات	بدون مبدل مغناطیس دائم
Ecotecnia	اسپانیا	۲ مگاوات ۱/۶۷ مگاوات	مقیاس جزئی مقیاس جزئی
Nordex	هلند	۲/۵ مگاوات	مقیاس جزئی
		۲/۳ مگاوات	مقیاس جزئی

## ۵) وضعیت بازار تولید سیستم توربین بادی در جهان

طبق گزارش [۷] در سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹ قیمت سیستم توربین بادی به علت افزایش تقاضای جهانی، افزایش قیمت مواد و سایر عوامل افزایش پیدا کرد. به منظور کاهش قیمت تمام شده، با افزایش بازدهی و ظرفیت مبدل‌ها تلاش شد تا هزینه‌های نگهداری و عملکرد سیستم کاهش یابد. همچنین عرضه بیش از حد در بازار جهانی باز هم بر کاهش قیمت سیستم توربین بادی تاثیر داشت و به همین دلیل میزان رقابت باد با سوخت فسیلی افزایش پیدا کرد. البته صنعت باد با چالش‌های فراوانی نیز مواجه بود. فشار دولت‌ها برای کاهش قیمت سیستم باد، افزایش رقابت بین تولیدکنندگان سیستم باد در کنار قیمت پایین سوخت فسیلی و سیاست‌های مبتنی بر کاهش حمایت از صنعت باد که به علت مشکلات اقتصادی شکل گرفته بود از جمله این فشارها به حساب می‌آید. در سال ۲۰۰۸ باز هم قیمت سیستم باد در حدود ۲۰-۲۵ درصد در غرب و بیشتر از ۳۵ درصد در چین افت کرد تا اینکه در سال ۲۰۱۲ به یک ثبات رسید. هزینه بهره‌برداری و نگهداری از توربین بادی به علت رقابت بین شرکت‌ها در بهبود عملکرد و افزایش بازدهی توربین‌های بادی باز هم شاهد افت چشمگیری بود. در نتیجه قیمت تمام شده برای توربین‌های خشکی از نظر اقتصادی قابل رقابت و حتی در برخی موارد کمتر از تولید برق به روش‌های مرسوم سنتی است. کشورهای استرالیا، هند و آمریکا جز این کشورها به حساب می‌آیند. قیمت تولید برق از روش فراساحلی در حدود دو برابر خشکی است.

در جدول ۳-۴ میزان مشارکت سازندگان توربین بادی در تولید و نصب توربین‌های بادی در سراسر جهان در طول سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۳ آورده شده است [۸-۱۱]. ده شرکت برتر دنیا در سال ۲۰۱۰، ۲۰۱۱، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ به ترتیب در حدود ۷۵، ۷۷، ۷۸ و ۷۰ درصد از تولیدات انرژی باد را به خود اختصاص داده‌اند. شرکت Vestas از کشور دانمارک از سال ۲۰۰۰ برترین سازنده توربین بادی در جهان بوده است. پس از آن شرکت GE-Wind به علت رقابت بسیار شدید در کشور آمریکا رتبه دوم را به خود اختصاص داده است. شرکت‌های Siemens و Enercon هر دو از کشور آلمان رتبه‌ی خود را در جدول حفظ کرده‌اند و شرکت Suzlon از هند روندی صعودی در سالیان اخیر داشته است. سایر شرکت‌های برتر مانند Gamesa از اسپانیا، Goldwind، United Power، Sinovel و Mingyang همگی از کشور چین در رتبه‌های ۵ تا ۱۰ قرار گرفته‌اند. در سال ۲۰۱۲ در حدود ۵۵۰ شرکت در سرتاسر جهان به ساخت قطعات سیستم توربین بادی پرداخته‌اند و به این ترتیب با کاهش هزینه‌های حمل و نقل در این سال رو به رو بوده‌ایم.

جدول (۳-۴): سهم تولید کنندگان برتر توربین باد در جهان

Manufacturer	Turbine Installation (MW)								
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
GE Wind	2,040	2,249	3,245	4,487	2,538	3,749	3,128	7,001	2,329
Siemens	634	1,043	---	1,612	2,846	2,304	2,560	4,291	2,611
Vestas	3,217	4,028	4,665	7,483	5,039	5,780	5,160	6,323	4,622
Gamesa	1,487	2,278	3,042	2,902	2,115	2,577	3,250	2,755	1,940
Repower	368	470	608	---	---	---	3,007	2,122	2,329
Nordex	299	485	811	913	1,269	1,562	---		1,164
Suzlon	703	1,102	2,839	2,149	2,038	2,695	3,088	3,342	1,870
Enercon	1,637	2,131	2,839	2,418	3,769	2,812	3,169	3,703	3,458
Gold Wind	---	426	1,419	967	4,231	3,710	3,535	2,710	3,881
Sinovel	---	---	---	1,209	---	4,335	3,657	1,445	---
United power	---	---	---	---	1,538	1,640	3,007	2,122	1,411
Ming Yang	---	---	---	---	1,346	---	1,462	1,219	---
Other									
<b>TOTAL</b>	<b>11,531</b>	<b>14,703</b>	<b>20,285</b>	<b>26,872</b>	<b>38,467</b>	<b>39,059</b>	<b>40,636</b>	<b>45,169</b>	<b>35,289</b>

با این وجود، در مجموع در سالیان اخیر تولید کنندگان صنعت باد با آسیب‌های فراوانی از قبیل افزایش قیمت مواد اولیه، کاهش حمایت‌های دولتی، تولید بیش از حد توربین در کنار کنسل شدن پروژه‌های فراوان، کاهش نیروی کار و ورشکستگی بانک‌ها در ایالات متحده و همچنین تعطیلی شرکت‌های کوچک تامین کننده تجهیزات توربین بادی به علت عدم قطعیت سیاست گذاری‌های کلان روبه رو شد. شرکت Vestas هزاران نیروی خود را که در بخش تولید توربین‌های با سایز kW کار می‌کردند اخراج کرد [۱۲]. شرکت Sinovel در حدود ۳۵۰ تن از نیروهای خود را اخراج کرد [۱۳]. همچنین بسیاری از تولید کنندگان به خصوص در کشور چین به مرز و آستانه فروپاشی رسیده اند و به علت افزایش بیش از حد ظرفیت سازندگان

کوچک از گرده بازار خارج شده‌اند [۱۴]. شرکت Suzlon هند پروژه‌های سه سال در دست اجرای خود را از دست داد و با بدهی‌های عظیمی رو به رو شد [۱۵].

نکته قابل توجه اینکه آمار نشان می‌دهد شرکت‌های سازنده توربین‌های بادی توان کوچک تقریباً در این چند سال از عرصه کنار رفته و تولیدکنندگان توربین‌های بزرگتر روالی رو به گسترش داشته‌اند. البته بازار شرکت‌ها بستگی به تعاملات سیاسی و برنامه‌ریزی‌های کلان آن کشور دارد. برای مثال سهم تولید سازندگان توربین بادی در ایالات متحده به گونه دیگری است که در جدول ۳-۵ نشان داده شده است [۱۶]. همانطور که مشخص است، برخی از شرکت‌های معتبر در سطح جهانی از قبیل Enercon در لیست طرف قرارداد کشور امریکا نیست.

جدول (۳-۵): سهم تولید کنندگان برتر در زمینه باد در کشور امریکا [۱۶]

Manufacturer	Turbine Installations (MW)									
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
GE Wind	1,431	1,146	2,342	3,585	3,995	2,543	2,006	5,016	984	
Siemens	0	573	863	791	1,162	828	1,233	2,638	87	
Vestas	699	439	948	1,120	1,489	221	1,969	1,818	4	
Gamesa	50	74	494	616	600	566	154	1,341	0	
REpower	0	0	0	94	330	68	172	595	0	
Mitsubishi	190	128	356	516	814	350	320	420	0	
Nordex	0	0	3	0	63	20	288	275	0	
Clipper	3	0	48	470	605	70	258	250	0	
Acciona	0	0	0	410	204	99	0	195	0	
Suzlon	0	92	198	738	702	413	334	187	0	
Other	2	2	2	23	43	41	86	398	12	
<b>TOTAL</b>	<b>2,374</b>	<b>2,453</b>	<b>5,253</b>	<b>8,362</b>	<b>10,005</b>	<b>5,220</b>	<b>6,819</b>	<b>13,133</b>	<b>1,087</b>	

### و) قیمت مبدل‌های توربین بادی

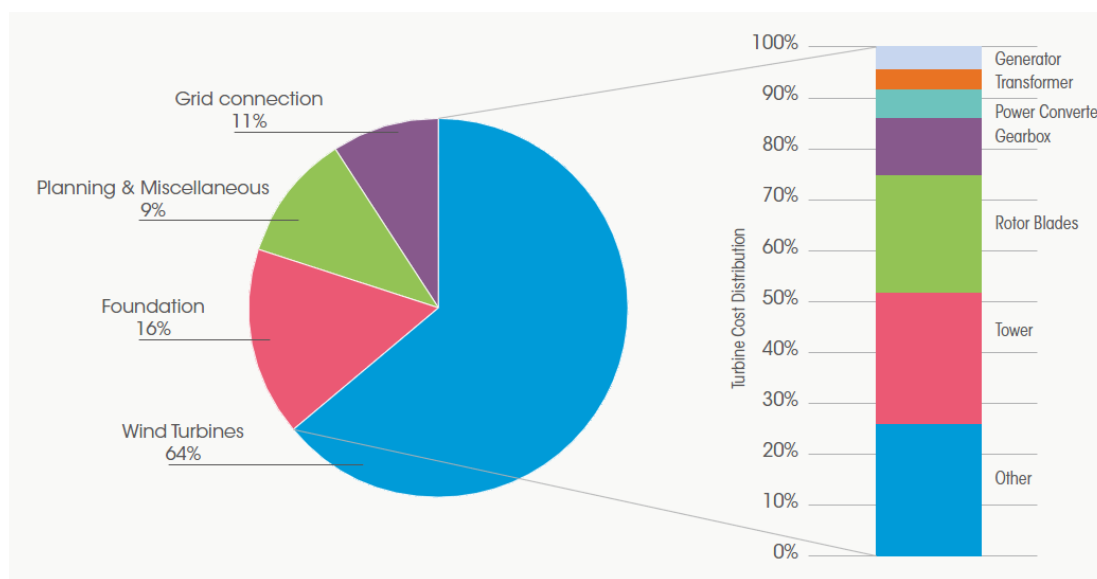
طبق تحقیقات [۱۷] در زمینه قیمت تمام شده سیستم توربین بادی و اجزای تشکیل دهنده آن که در سال ۲۰۱۲ منتشر شد، قیمت کل نصب سیستم توربین بادی در سال ۲۰۱۰ به صورت جدول ۳-۶ است. همانطور که مشخص است، در کشورهای چین و هند برای توربین‌های بادی غیرفرا ساحلی، در حدود ۱۳۰۰ الی ۱۴۵۰ دلار بر کیلووات در سال ۲۰۱۰ است. در کشورهای اروپایی این قیمت بالاتر بوده و در حدود ۱۸۵۰ تا ۲۱۰۰ دلار بر کیلووات است. در کشورهای امریکای شمالی قیمت در حدود ۲۰۰۰ تا ۲۲۰۰ دلار بر کیلووات متغیر است. همچنین برای نواحی فراساحلی قیمت در حدود ۲ برابر سایر توربین‌های

بادی است که در حدود ۴۰۰۰ الی ۴۵۰۰ دلار بر کیلوات ساعت تمام شده است. سایر قیمت‌ها در جدول ۳-۶ مشخص شده است.

جدول (۳-۶): قیمت تمام شده برای نصب توربین بادی در کشورهای مختلف در سال ۲۰۱۰

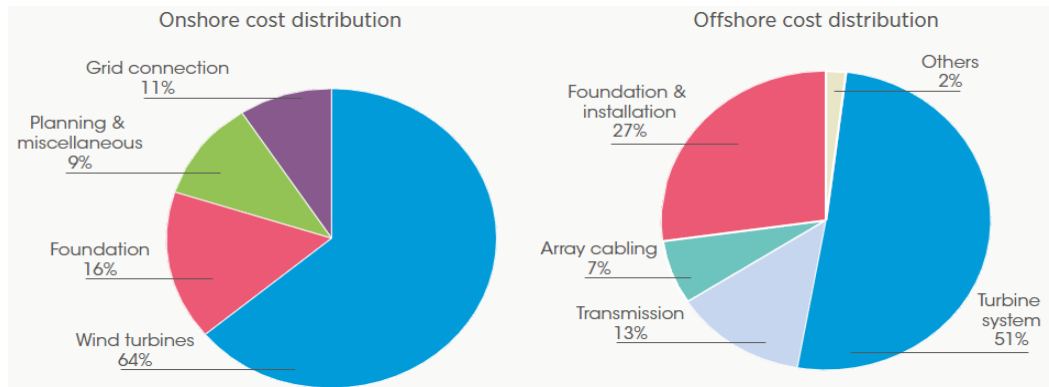
	Installed cost (2010 USD/kW)	Capacity factor (%)	Operations and maintenance (USD/kWh)	LCOE* (USD/kWh)
<b>Onshore</b>				
China/India	1 300 to 1 450	20 to 30	n.a.	0.06 to 0.11
Europe	1 850 to 2 100	25 to 35	0.013 to 0.025	0.08 to 0.14
North America	2 000 to 2 200	30 to 45	0.005 to 0.015	0.07 to 0.11
<b>Offshore</b>				
Europe	4 000 to 4 500	40 to 50	0.027 to 0.048	0.14 to 0.19

شکل ۳-۷ میزان مشارکت هزینه‌ی هر یک از مولفه‌های سیستم بادی برای نواحی غیرفرا ساحلی را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشخص است، در حدود ۶۴ درصد از هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، صرف توربین بادی می‌شود. مطابق دیگرام سمت راست شکل ۳-۷، هزینه تمام شده برای مبدل الکترونیک قدرت در حدود ۵ درصد از هزینه توربین بادی و به عبارت دیگر در حدود ۳/۲ درصد از کل هزینه سرمایه‌گذاری اولیه تمام شده برای سیستم بادی در نواحی غیر فرا ساحلی است. قیمت ژنراتور و ترانسفرمر در حدود ۳/۴ و ۳/۳ درصد از توربین بادی و به عبارت دیگر ۲/۱۷ و ۲/۱۱ درصد از کل هزینه سرمایه‌گذاری اولیه را دارند.



شکل (۳-۷): مشارکت هریک از عوامل تولید برق بادی از جمله مبدل الکترونیک قدرت در قیمت کل

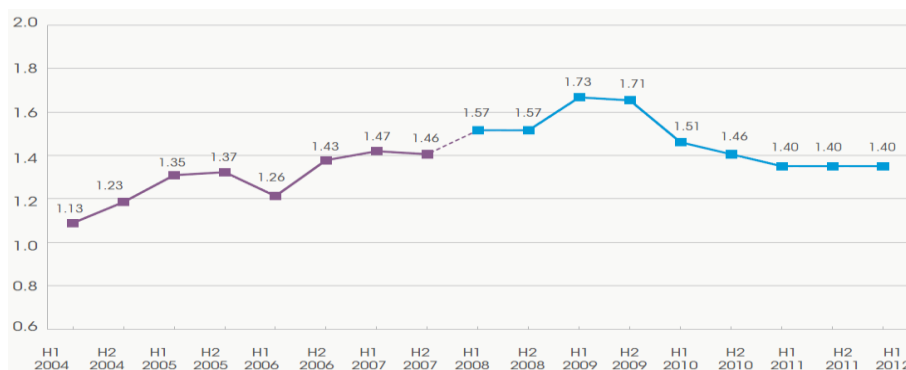
در شکل ۳-۸ مقایسه‌ای بین هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بین توربین‌های بادی فراساحلی و غیرفراساحلی شده‌است. همانطور که مشخص است درصد مشارکت هزینه توربین بادی در نواحی فراساحلی در حدود ۵۱ درصد است که درصد مشارکت کمتری نسبت به نواحی غیرفراساحلی (۶۴ درصد) دارد.



شکل (۳-۸): مقایسه درصد مشارکت توربین باد در هزینه کل تولید برق بادی در نواحی فراساحلی و غیرفراساحلی

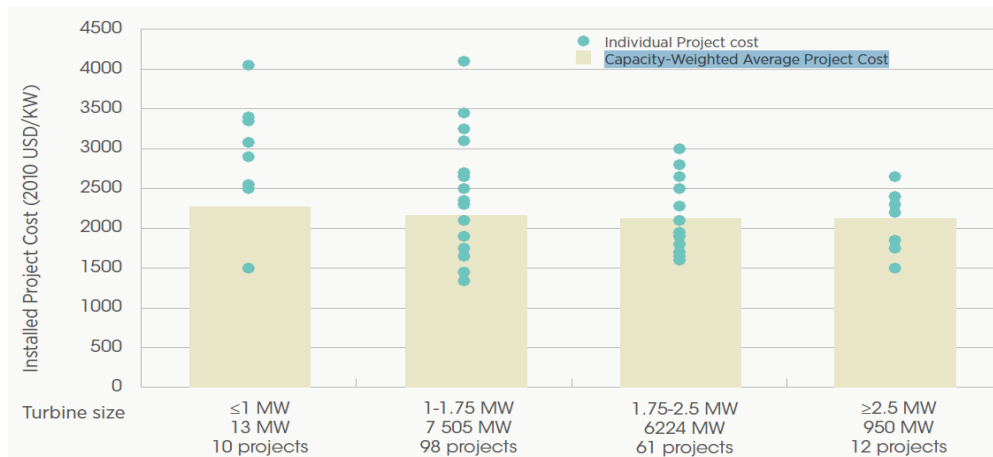
مرجع [۱۷] کاهش قیمت ۱۰ الی ۳۰ درصدی را برای هزینه اولیه توربین بادی پیش‌بینی کرده است. دلایل ذکر شده برای این کاهش قیمت عبارتند از: بهبود در زنجیره تامین، افزایش مقیاس اقتصادی تولیدکنندگان، رقابت و سرمایه‌گذاری بیشتر در بخش تحقیق و توسعه.

در شکل ۳-۹ قیمت تمام شده برای توربین بادی از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۲ بر حسب دلار سال ۲۰۱۰ آمریکا بر مگاوات ساعت نشان داده‌است. تا سال ۲۰۰۹ قیمت توربین بادی به تدریج روایی صعودی داشته است. اما پس از سال ۲۰۰۹ افزایش تعداد قراردادهای بسته شده در اروپا و آمریکا باعث کاهش قیمت شده است.



شکل (۳-۹): متوسط هزینه سرمایه‌گذاری اولیه تولید برق بادی در کشورهای اروپایی

در شکل ۳-۱۰ اریز هزینه‌های صورت گرفته برای اجرای پروژه‌های توربین بادی در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ بر اساس توان توربین بادی به کار رفته در آنها دسته بندی شده است. همانگونه که مشخص است در حدود ۱۰ پروژه با توربین بادی زیر ۱ مگاوات اجرا شده است که در مجموع حدود ۱۳ مگاوات برق از این طریق تولید شده است. هزینه تمام شده در حدود ۲۳۰۰ دلار بر کیلووات ساعت بوده است. همانگونه که مشخص است بیشترین توربین مورد استفاده دارای توان ۱-۱/۷۵ مگاوات بوده و توربین‌های توان بالاتر در رتبه‌های بعدی قرار دارند. همچنین کمترین قیمت مربوط به توربین‌های بالای ۲/۵ مگاوات است که در حدود ۲۰۵۰ دلار بر مگاوات تمام شده است.



شکل (۳-۱۰): میزان قیمت تولید برق بادی در کشور امریکا به تفکیک ظرفیت هر توربین باد

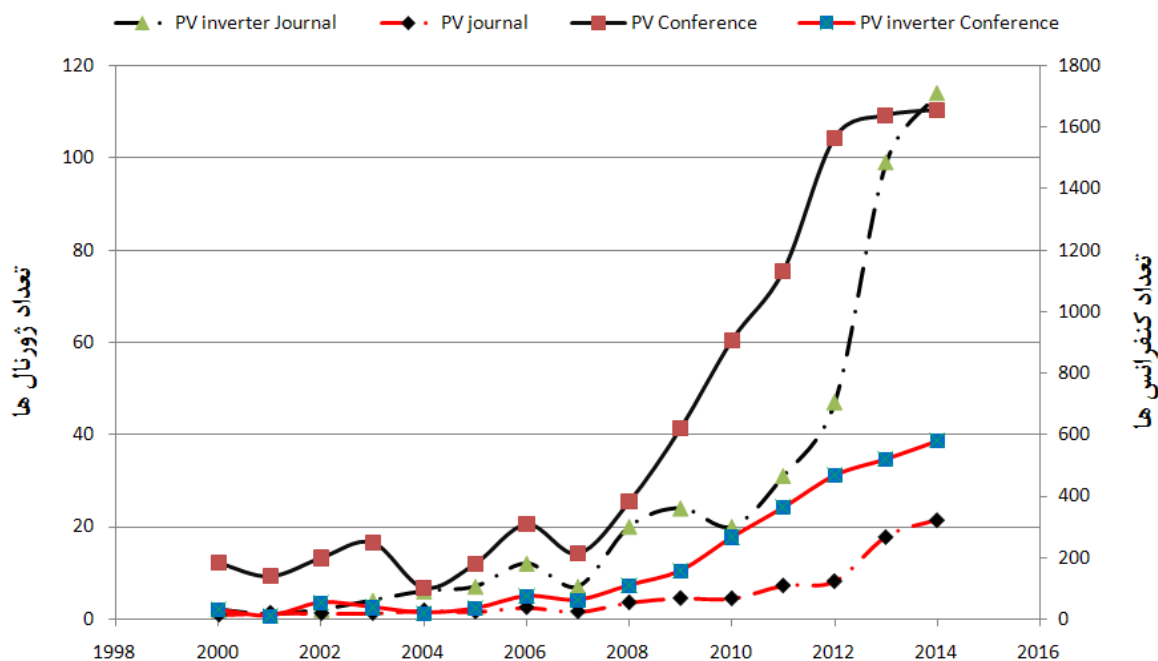
در مرجع [۱۷] کاهش ۱۰ الی ۱۵ درصدی برای مبدل الکترونیک قدرت باد، ژنراتور، ترانسفرمر و سیستم کنترل تا سال ۲۰۲۰ پیش‌بینی کرده است. علت این کاهش قیمت افزایش بازدهی مبدل‌ها در کنار تلاش‌های مراکز تحقیق و توسعه است. یکی از علل کاهش قیمت سیستم توربین‌های به کار رفته در نواحی فرا ساحلی ناشی از پیشرفت تکنولوژی الکترونیک قدرت، استاندارد سازی طراحی کابل‌های HVDC، کاربرد عایق XLPE در کابل‌های HVDC و همچنین توسعه خطوط انتقال زیر دریا خواهد بود.

### ۳-۲-۲-۳- بررسی چرخه عمر فناوری در زمینه فتوولتائیک

#### الف) بررسی مقالات منتشر شده در زمینه فتوولتائیک



طبق آمار انجمن مهندسی برق و الکترونیک امریکا (IEEE) از سال ۲۰۰۰ تا کنون، تحقیقات در زمینه فتوولتائیک و اینورتر به کار رفته در آن نرخ صعودی داشته است. همانطور که در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده است این افزایش نشان دهنده توجه بخش تحقیقات در زمینه صنعت فتوولتائیک است.



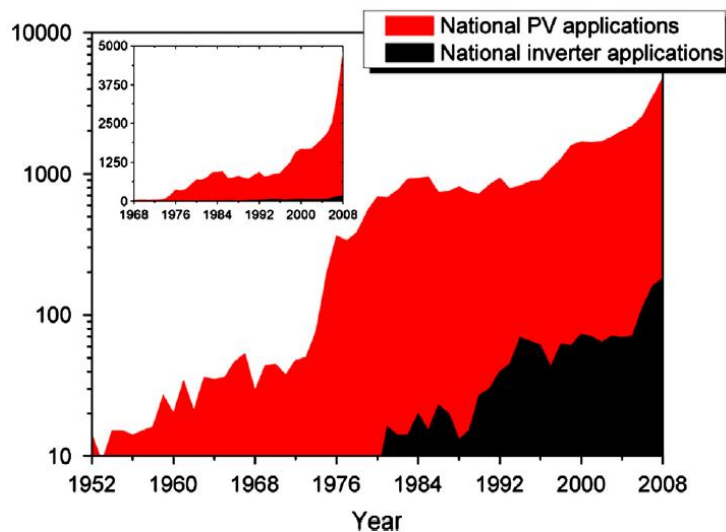
شکل (۳-۱۱): تعداد مقالات منتشر شده در سایت IEEE در زمینه فتوولتائیک و اینورتر آن

### ب) بررسی پتنت‌های منتشر شده در زمینه فتوولتائیک

بررسی پتنت‌های منتشر شده در زمینه فناوری فتوولتائیک و تحلیل جنبه‌های تحقیق و توسعه اهمیت زیادی در درک دینامیک بازار دارد که برای قانون‌گذاران و سیاست‌گذاران این عرصه امری ضروری به شمار می‌آید. نرخ رشد پتنت‌ها و همچنین افزایش مشارکت شرکت‌ها شاخص مناسبی برای توسعه بازار فتوولتائیک است. همچنین مشخص سازی چشم-اندازهای جهانی نسبت به توسعه صنعت فتوولتائیک و جهت‌گیری‌های واحدهای تحقیق و توسعه نیز از طریق بررسی پتنت‌ها میسر است.

مرجع [۱۸] به بررسی پتنت‌های منتشر شده در زمینه فتوولتائیک پرداخته است. در این تحقیق منظور از national patent تمامی پتنت‌های منتشر شده در زمینه فتوولتائیک است. همچنین منظور از international patent در این مرجع،

پتنت‌هایی است که در کشورهای مختلف اما با یک موضوع کاملاً مشابه چاپ شده‌اند. افزایش تعداد پتنت‌های مشترک میان کشورها نشان از افزایش تعاملات تجاری و انتقال دانش فنی فتوولتاییک به سایر نقاط جهان را نشان می‌دهد. در شکل ۳-۱۲ تعداد کل پتنت‌های منتشر شده در زمینه فتوولتاییک و همچنین اینورترهای فتوولتاییک نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است تعداد پتنت‌ها رشد فراوانی (به صورت نمایی) داشته است.



شکل (۳-۱۲): تعداد کل پتنت‌های منتشر شده در زمینه فتوولتاییک و اینورتر فتوولتاییک

کمپانی و موسسه‌های برتری که در انتشار پتنت در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ در صنعت فتوولتاییک پیشگام بوده‌اند در جدول ۳-۷ مشخص شده‌اند. در زمینه اینورتر مشاهده می‌کنیم که شرکت SMA، جنرال الکترونیک، پاناسونیک، میتسوبیسی، سامسونگ، فراون هوفر و بوش در زمینه اینورترها فعالیت داشته‌اند.

## جدول (۷-۳): شرکت‌ها و موسسات پیشرو در انتشار پتنت در زمینه فتوولتاییک و اینورتر آن

Company/Institution		PV	Inverter	Total
1 Samsung	KR	281	6	287
2 Sanyo/Panasonic/Matsushita	JP	270	15	285
3 Sharp	JP	267	10	277
4 Canon	JP	229	18	247
5 Fuji	JP	189	0	189
6 LG	KR	172	0	172
7 Sony	JP	140	0	140
8 Applied Materials	US	96	0	96
9 DuPont	US	89	0	89
10 SunPower <sup>a</sup>	US	83	0	83
11 Semiconductor Energy Lab	US	78	0	78
12 Industrial Technology Res. Inst.	TW	77	1	78
13 Kyocera	JP	77	0	77
14 Seiko Epson	JP	67	2	69
15 Konarka Technologies	US	67	0	67
16 Schott Solar	DE	67	0	67
17 Sumitomo Chemical	JP	66	0	66
18 SMA Solar Technology <sup>a</sup>	DE	0	65	65
19 General Electric	US	64	14	78
20 Fraunhofer Gesellschaft	DE	60	6	66
21 Jusung	KR	55	0	55
22 Mitsubishi Electric	JP	54	11	65
23 Korea Electronics Telecomm	KR	51	0	51
24 Toshiba	JP	50	2	52
25 Trina Solar	CN	52	0	52
Total top25		2701	150	2851

## ج) حوزه‌های تحقیق و توسعه پیرامون فتوولتاییک

حوزه‌های تحقیق و توسعه صنعت فتوولتاییک یکی از اصلی‌ترین مباحث نقشه راه این صنعت محسوب می‌شوند. در برنامه‌های کوتاه مدت (۱-۳ ساله) (جدول ۸-۳)، میان مدت (۴-۱۰ ساله) (جدول ۹-۳) و بلند مدت (۱۱-۲۰ ساله) (جدول ۱۰-۳) مربوط به تحقیق و توسعه در صنعت فتوولتاییک که در نقشه‌ی راه صنعت فتوولتاییک امریکا تدوین شده است به اهمیت این حوزه‌ها اشاره شده و در هر یک از این برنامه‌ها نقش دولت و نقش صنعت از یکدیگر تفکیک شده است [۱۹].

## جدول (۸-۳): برنامه‌های کوتاه مدت تحقیق و توسعه فتوولتاییک کشور امریکا

نقش صنعت	نقش دولت
توسعه تجهیزات پیشرفته تولید PV بهبود در تمام فرآیند ساخت قطعه توسعه واحدهای تحقیق و توسعه توسعه و گسترش قطب‌های علمی توسعه پکیج فتوولتاییک برای کاهش قیمت افزایش ضریب اطمینان فتوولتاییک	افزایش تاکید دولت در مشارکت واحدهای تحقیق و توسعه با واحدهای صنعتی حمایت از واحدهای دانش بنیان و قطب‌های علمی

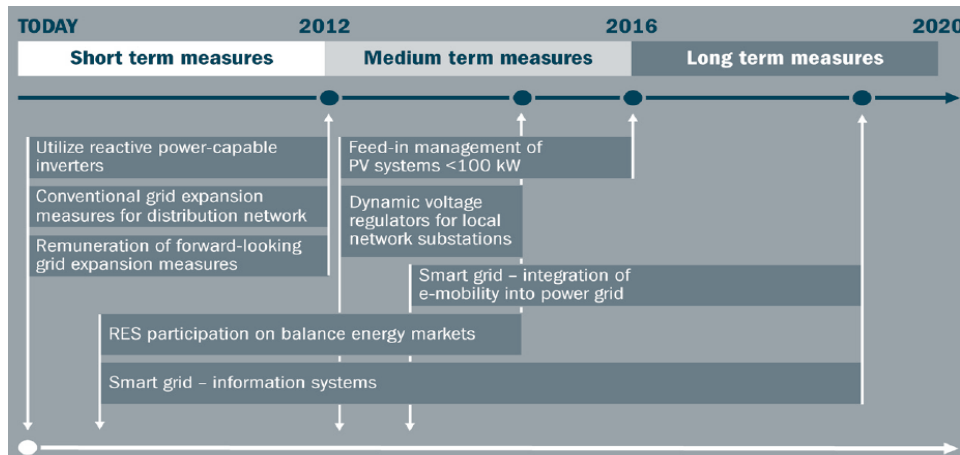
## جدول (۳-۹): برنامه‌های میان مدت تحقیق و توسعه فتوولتاییک کشور امریکا

نقش دولت	نقش صنعت
حمایت از تحقیق و توسعه برای افزایش عمر مفید فتوولتاییک تشویق به ادامه فعالیت‌های تحقیق و توسعه حمایت بیشتر از قطب‌های علمی	توسعه مدل برای تولید عمده فتوولتاییک کاهش مصرف سیلیکون برای فتوولتاییک توسعه استانداردهای تجهیزات صنعت فتوولتاییک تحقیق بر بروی پکیج فیلم نازک توسعه ساخت مدول‌های مجتمع توسعه فتوولتاییک‌های سایز کوچک و نصب آسان استانداردسازی فتوولتاییک‌های متمرکز نیروگاهی توانمند سازی قطب‌های علمی برای ساخت کامل

## جدول (۳-۱۰): برنامه‌های بلند مدت تحقیق و توسعه فتوولتاییک کشور امریکا

نقش دولت	نقش صنعت
حمایت از طرح‌های اساسی در زمینه تولید مواد حمایت بیشتر از قطب‌های علمی	ساخت مواد جدید برای افزایش راندمان ساخت مواد جدید برای کاهش قیمت ایجاد کنترل کیفی برای تست محصولات همگام شدن صنعت و بخش تحقیقات

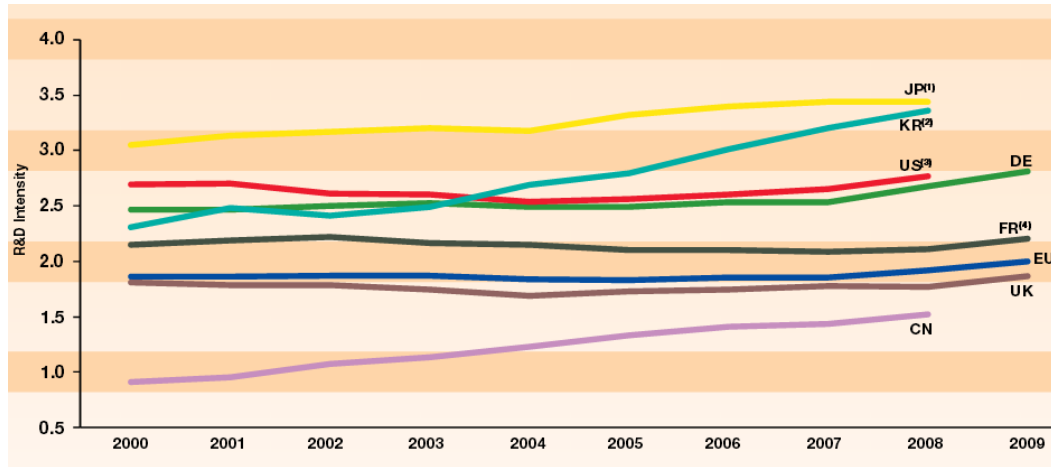
همچنین مرجع [۲۰] به بررسی جزئی‌تری در مسایل و چالش‌های پیشروی واحدهای تحقیق و توسعه در کشور آلمان پرداخته است. در این مرجع که مربوط به نقشه راه فتوولتاییک کشور آلمان تا سال ۲۰۲۰ است، برنامه توسعه بخش الکترونیک قدرت مشخص شده که در شکل ۳-۱۳ نشان داده شده است.



شکل (۳-۱۳): اهداف تحقیق و توسعه در زمینه الکترونیک قدرت فتوولتاییک کشور آلمان

#### د) سهم بودجه واحدهای تحقیق و توسعه در زمینه فتوولتاییک

طبق نتایج [۲۱] مطابق شکل ۳-۱۴ صنعت فتوولتاییک منابع چندانی برای واحد تحقیق و توسعه و فتوولتاییک‌های جدید سرمایه‌گذاری نکرده است. در حدود ۱/۵ درصد از بودجه فروش فتوولتاییک به بخش تحقیق و توسعه اختصاص داده شده است. در سال ۲۰۰۹ در برخی کشورها حدود ۶ تا ۷ درصد از فروش به واحد تحقیق و توسعه اختصاص یافت [۲۲]. این در حالی است که در شرکت‌های خصوصی و به خصوص در کشور چین نرخ بسیار کمتری در حدود کمتر از یک درصد از فروش به توسعه واحد تحقیق و توسعه اختصاص داده شده است. البته با افزایش سطح نفوذ فتوولتاییک اهمیت به واحدهای تحقیق و توسعه افزایش می‌یابد. در شکل زیر سهم اختصاص داده شده به واحد تحقیق و توسعه در کشورهای مختلف نشان داده شده است [۲۳]. در نقشه راه و سند توسعه فتوولتاییک کشور آلمان تا سال ۲۰۲۰، نه هدف اصلی بیان شده است که یکی از آنها افزایش سهم واحد تحقیق و توسعه تا مرز ۵ درصد در سال ۲۰۲۰ می‌باشد. [۲۰]



شکل (۳-۱۴): بودجه واحد تحقیق و توسعه فتوولتاییک (درصدی از فروش کل)

### ه) شرکت‌های سازنده اینورتر فتوولتاییک در دنیا

در شکل ۳-۱۵ دسته بندی جامعی از شرکت‌های برتر تولیدکننده اینورتر فتوولتاییک ارائه شده است. شرکت SMA،

ABB و Power one جز پیشگامان این صنعت محسوب می‌شوند [۲۴].



شکل (۳-۱۵): تولیدکنندگان اینورترهای فتوولتاییک

و) معرفی شرکت‌های مبدل فتوولتاییک

جدول (۱۱-۳): کمپانی‌های برتر در زمینه اینورتر فتوولتاییک در سال ۲۰۱۳

شرکت	کشور	بازار ۲۰۱۳ (%)	توان مبدل	توضیحات
SMA[48]	آلمان	۱۶/۳	۲-۵ کیلووات ۱/۱-۵ کیلووات ۵-۶۶ کیلووات ۱۰۰-۱۱۲۰ کیلووات	اینورتر سینوسی (مصارف شهری) متصل به شبکه (مصارف شهری) اینورتر تجاری کوچک اینورتر تجاری بزرگ
ABB	سوئیس	۱۲/۲	۲۵۰-۳۰۰ وات ۲-۲/۵ کیلووات ۳-۸ کیلووات ۱۰-۱۲ کیلووات ۲۰-۳۰ کیلووات ۵۰-۳۳۰ کیلووات ۱۰۰-۴۰۰ کیلووات تا ۱۴۰۰ کیلووات ۳/۶-۴/۶ کیلووات	میکرو اینورتر (با ترانس HF) اینورتر رشته ای (dc-dc و ترانس HF) اینورتر رشته ای (dc-dc و بدون ترانس) اینورتر رشته ای (با dc-dc و ترانس HF مازولار) اینورتر رشته ای بدون ترانس و HF اینورتر مرکزی با ترانس آهنی اینورترهای مازولار موازی اینورتر برای هر فاز و ترانس چند ورودی اینورتر دارای باتری
Sungrow	چین	۱۱/۶	۱/۵-۳۰ کیلووات ۳۰ کیلووات تا ۱/۲ مگاوات	بدون ترانس با سایز کوچک و متوسط کاربرد نیروگاهی
Omron Aso	ژاپن	۱۰/۹	۳-۱۰ کیلووات	مبدل‌های توان پایین
TMEIC	ژاپن	۵/۵	۱/۸ مگاوات ۷۰۰-۱۰۰ کیلووات	اینورتر مرکزی اینورتر چندسطحی
TBEA	ژاپن	۴/۶	۲۵۰ و ۱۲۵۰ کیلووات ۱۰۰ و ۲۵۰ و ۵۰۰ کیلووات	اینورتر مرکزی بدون ترانسفرمر اینورتر مرکزی با ترانسفرمر
KACO	آلمان	۳/۸	۲۵۰ وات ۱-۹ کیلووات ۹-۶۰ کیلووات ۲۵-۵۵۰ کیلووات کمتر از ۲ کیلووات	مصارف ماهواره و فضایی مصارف شهری مصارف تجاری اینورترهای متمرکز نیروگاهی اینورتر غیرمتصل به شبکه
Growatt	چین	۳/۶	۱۵۰-۶۰۰ وات ۷۰۰-۳۵۰ وات	اینورتر سینوسی بهبود یافته اینورتر سینوسی بهبود یافته و شارژر

شرکت	کشور	بازار ۲۰۱۳ (%)	توان مبدل	توضیحات
			۱۵۰-۳۰۰۰ وات	اینورتر سینوسی خالص
			۳۰۰-۱۰۰۰۰ وات	اینورتر سینوسی خالص و شارژر
Tabuchi Electric	ژاپن	۳/۶	۱-۱۰ کیلووات	کاربرد شهری
			۱۰-۲۵ کیلووات	کاربرد صنعتی
			۲-۲۰ کیلووات	اینورترهای دارای باتری
Advanced Energy Industries	امریکا	۳/۶	۲-۵/۲ کیلووات	اینورتر رشته‌ای مصارف شهری
			تا ۵۰۰ کیلووات	مصارف تجاری و مقیاس متوسط

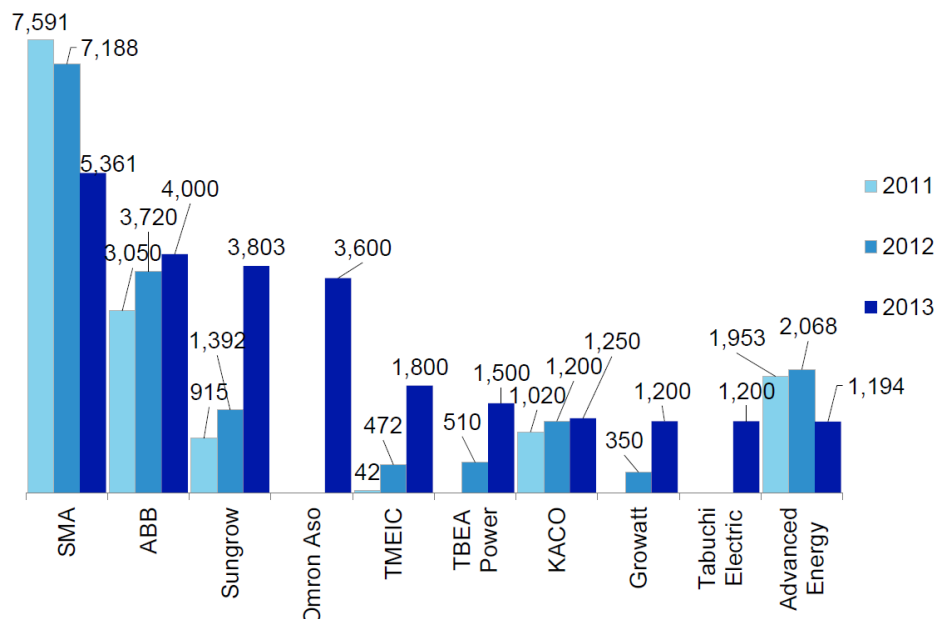
### ز) وضعیت بازار تولید فتوولتاییک

مرجع [۱۸] گسترش فتوولتاییک در بازار جهانی را ناشی از توسعه سه بخش اصلی می‌داند. الف) سلول خورشیدی سیلیکونی که بسیار در صنعت هوافضا مورد استفاده قرار می‌گرفت. ب) مدول‌های فتوولتاییک زمینی برای کاربرد در حالت جدا از شبکه ج) برنامه‌های نصب فتوولتاییک‌های مقیاس بزرگ بر روی بام‌ها. افزایش بی سابقه نرخ رشد بازار فتوولتاییک به خصوص در دهه اخیر باعث افزایش چشمگیری در فروش صنعتی فتوولتاییک شده است [۲۲]. علت اصلی این افزایش، برنامه نصب فتوولتاییک در پشت بام‌ها و اختصاص تعرفه دولتی برای عموم بوده است. همچنین افزایش نرخ رشد صنعت فتوولتاییک به معنای افزایش نرخ رشد تولید فتوولتاییک می‌باشد. البته باید اشاره کرد که رشد تولید فتوولتاییک سریع‌تر از فروش آن بوده است و به همین دلیل قیمت آن کاهش پیدا کرده است. بازار فتوولتاییک در اختیار کشورهای آلمان، ژاپن، امریکا و چین قرار دارد. البته در سالیان اخیر فرانسه، ایتالیا، جمهوری چک، هندوستان، اسپانیا و بلژیک نیز به زمره سازندگان فتوولتاییک پیوسته اند.

شکل ۳-۱۶ میزان تولید کمپانی‌های برتر اینورتر فتوولتاییک را از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ نشان می‌دهد. سال ۲۰۱۳ تفاوت-های زیادی با سال ۲۰۱۲ داشت. در سال ۲۰۱۳ شرکت SMA یکی از شرکت‌های چینی Jianguo Zerversolar را خرید. همچنین شرکت ABB شرکت Power One و شرکت Advanced Energy شرکت Refusol را خرید. در سال ۲۰۱۲ شش کمپانی قادر بودند تا بیشتر از نیمی از بازار را پوشش دهند اما در سال ۲۰۱۳ مجموع شرکت‌های ادغام شده تنها ۳۲ درصد از کل بازار را به خود اختصاص دادند [۲۵].

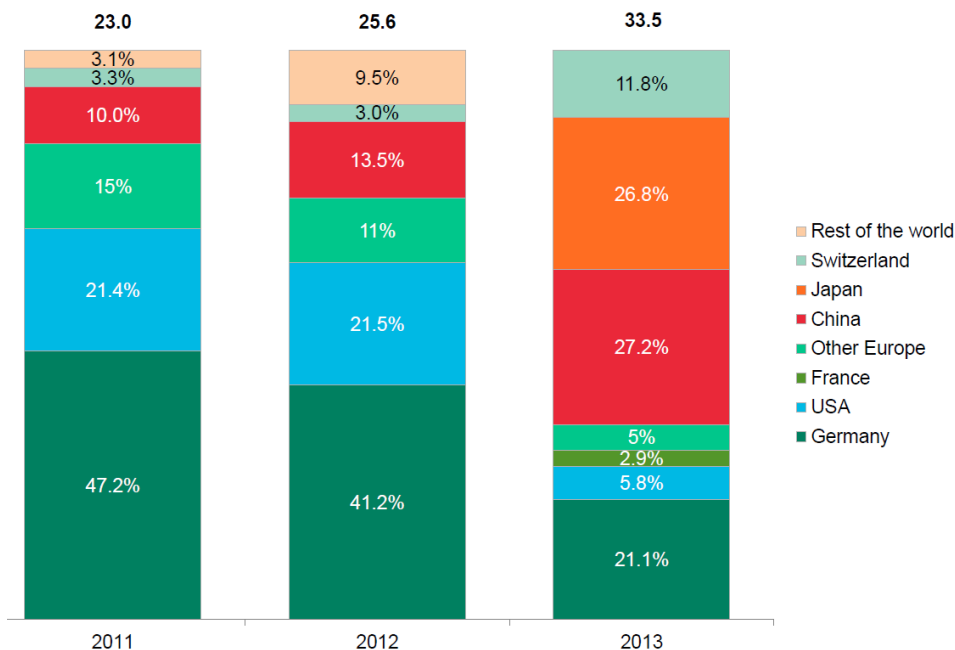


هرچند در میان ده شرکت برتر دو شرکت Omron و Tabuchi از کشور ژاپن هستند اما هر دوی آنها تنها در بازار ژاپن محصولاتشان را عرضه کردند. همچنین حذف چندین شرکت اروپایی از لیست ده شرکت برتر مانند Fronius و SolarMax که به علت کاهش تقاضا در اروپا در سال ۲۰۱۳ عرضه وسیعی نداشتند. همچنین شرکت چینی Sungrow که در رتبه سوم تولید اینورتر قرار دارد نسبت به سال ۲۰۱۲ در حدود ۱۷۳ درصد رشد داشته است اما در حدود ۹۲/۳ از محصولاتش را به بازار چین عرضه کرده است. شرکت SMA همچنان در رتبه اول جای دارد هرچند نسبت به سال ۲۰۱۲ در حدود ۲۵ درصد کاهش تولید داشته است ولی با این حال ۱۲ درصد از بازار را به خود اختصاص داده است. علت این کاهش و همچنین خرید شرکت چینی، انتقال تقاضا از اروپا به آسیا بیان شده است. در حال حاضر دو کشور چین و ژاپن رقیب اصلی SMA در جهان محسوب می‌شوند [۲۵].



شکل (۳-۱۶): میزان تولیدی اینورتر فتوولتاییک در ده شرکت برتر جهان (بر حسب مگاوات)

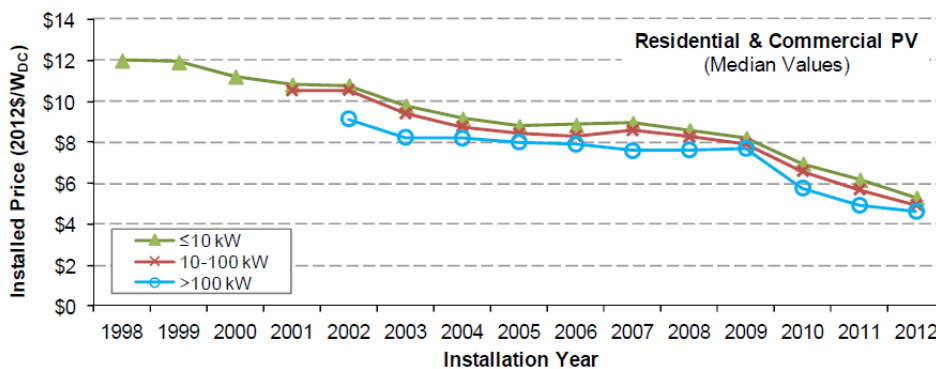
همانطور که در شکل ۳-۱۷ نشان داده شده است، در سال ۲۰۱۳ شرکت SMA در آلمان در حدود ۲۵ درصد کاهش مشارکت داشت و به این ترتیب شرکت‌های چینی با مجموعاً ۲۷/۲ درصد از تولید کل رتبه اول کشورهای تولیدکننده اینورتر فتوولتاییک را به خود اختصاص دادند. دلیل این مساله یکی قیمت پایین بازار و دیگری اولویت به تولید محلی برآورد شده است



شکل (۳-۱۷): درصد مشارکت کشورها در تولید اینورتر فتوولتاییک

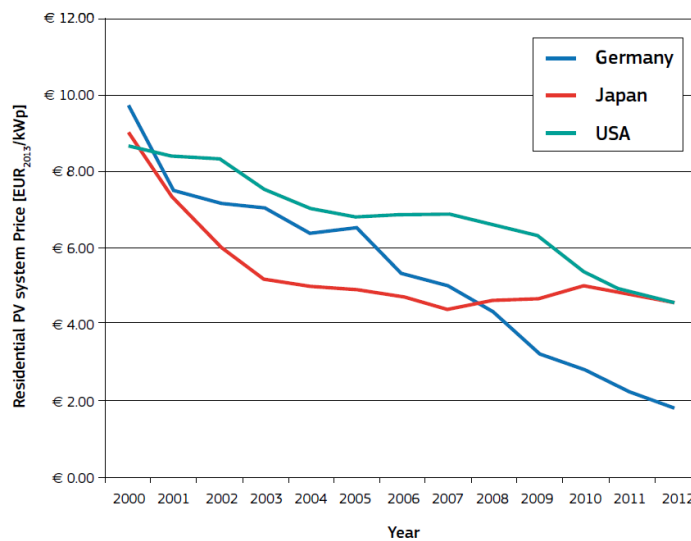
### ح) قیمت مبدل‌های فتوولتاییک

مرجع [۲۶] قیمت تمام‌شده برای سیستم فتوولتاییک را در طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۲ برای مبدل‌های مختلف در کشور آمریکا مطابق شکل ۳-۱۸ نشان می‌دهد. قیمت‌ها روندی نزولی داشته و در سال ۲۰۱۲ به حدود ۵/۳ دلار بر وات برای توان‌های کمتر از ۱۰ کیلووات، ۴/۹ دلار بر وات برای رنج توانی ۱۰ تا ۱۰۰ کیلووات و ۴/۶ دلار بر وات برای توان‌های بیشتر از ۱۰۰ کیلووات رسیده است.



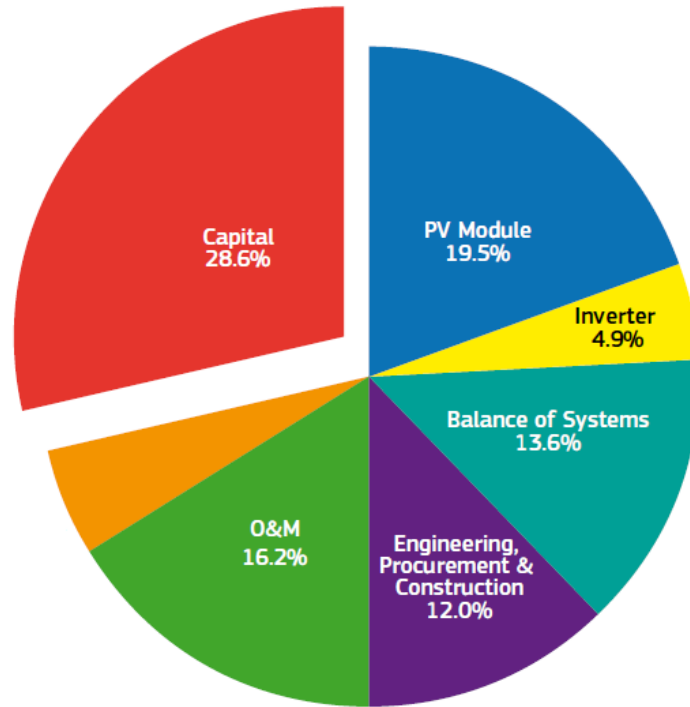
شکل (۳-۱۸): مقدار متوسط قیمت تمام شده برای نصب فتوولتاییک در کشور آمریکا

همچنین قیمت متوسط تولید برق از روش فتوولتائیک در کشورهای آلمان و ژاپن نیز در شکل ۳-۱۹ نشان داده شده است [۲۷]. همانگونه که در این شکل مشخص است، هزینه تولید برق فتوولتائیک در کشور ژاپن و آمریکا تقریباً در سال ۲۰۱۲ به یکدیگر نزدیک بوده و قیمت کشور آلمان از بقیه کمتر است و در حدود کمتر از ۲ یورو بر وات تعیین شده است.



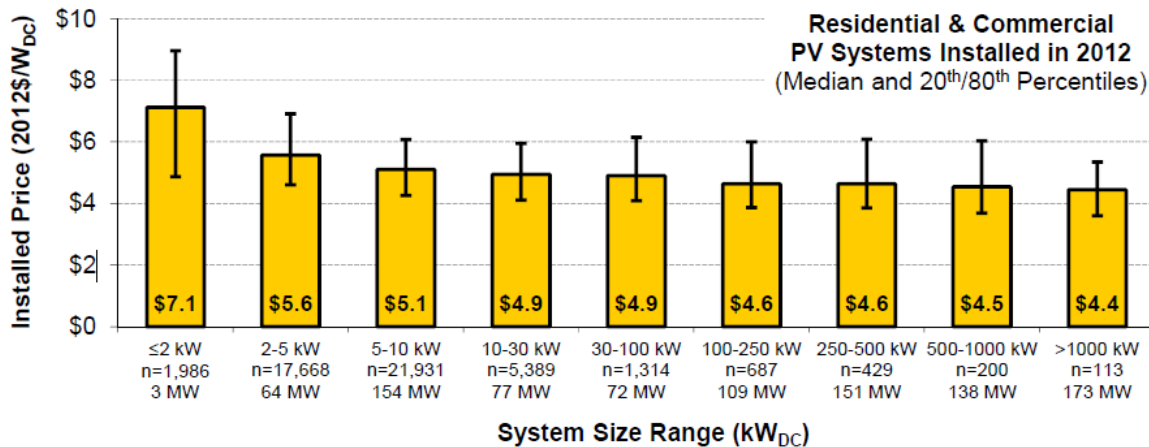
شکل (۳-۱۹): مقدار متوسط قیمت تمام شده برای کشور آمریکا، ژاپن و آلمان

شکل ۳-۲۰ میزان مشارکت هزینه‌ی هر یک از مولفه‌های سیستم فتوولتائیک را نشان می‌دهد. در حدود ۵ درصد از کل هزینه به اینورتر اختصاص دارد [۲۷].



شکل (۳-۲۰): درصد مشارکت قیمت هر یک از مولفه های سیستم فتوولتاییک

در شکل ۳-۲۱ ریز هزینه های صورت گرفته برای اجرای پروژه های فتوولتاییک در سال ۲۰۱۲ بر اساس توان مبدل به کار رفته در آنها دسته بندی شده است [۲۶]. همانگونه که مشخص است کمترین هزینه و بیشترین توان تولیدی در حدود ۴/۴ دلار بروات و ۱۷۳ مگاوات است که توسط مبدل های بزرگتر از ۱ مگاوات تولید شده است. همچنین بیشترین تعداد مبدل به کار رفته (در حدود ۲۱۹۳۱ عدد) مربوط به مبدل با توان ۵-۱۰ کیلووات است که در حدود ۵/۱ دلار بر وات هزینه دارد.

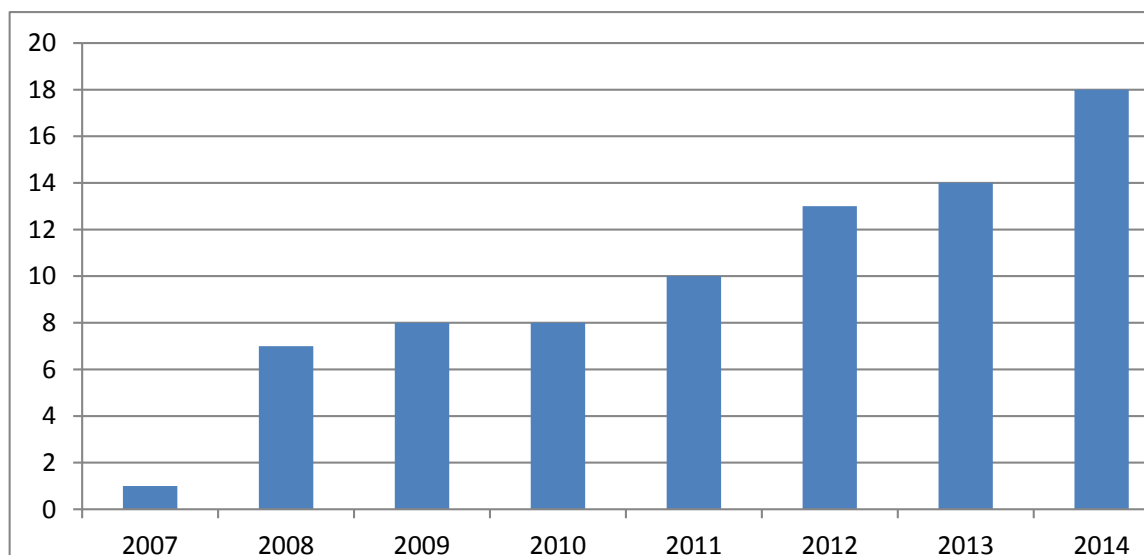


شکل (۳-۲۱): میزان قیمت تولید سیستم فتوولتاییک در کشور آمریکا به تفکیک توان مبدل

### ۳-۲-۳- بررسی چرخه عمر فناوری DSTATCOM

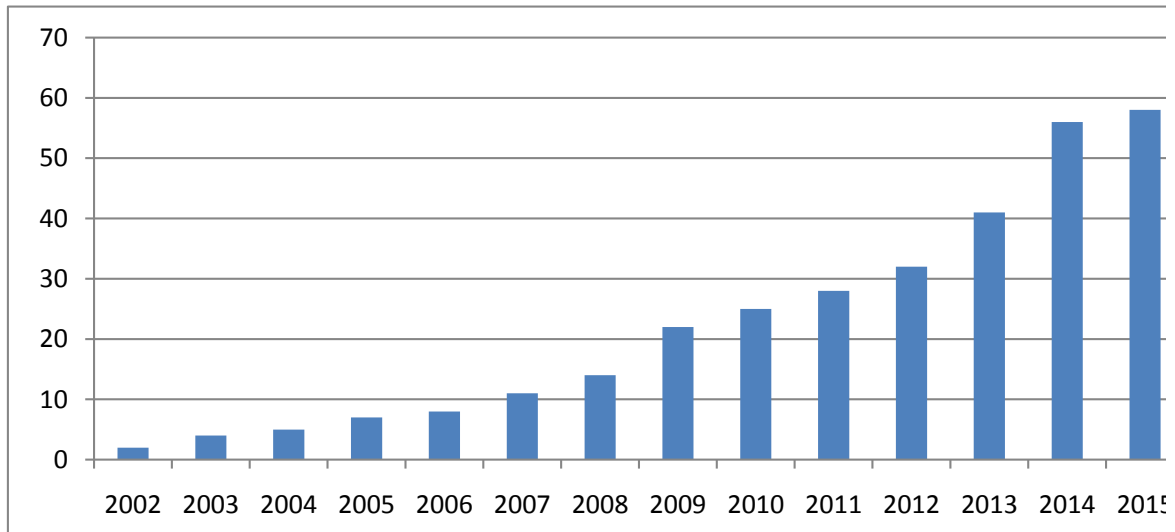
#### الف) اختراعات ثبت شده [۲۸] و مقالات ارائه شده [۲۹] در زمینه DSTATCOM

نمودار تجمعی تعداد اختراعات ثبت شده در زمینه DSTATCOM در سال‌های مختلف در شکل زیر نشان داده شده است. از شکل ۲۲-۳ مشاهده می‌شود که روند ثبت اختراعات در زمینه DSTATCOM از سال ۲۰۰۷ آغاز شده و در سال ۲۰۰۸ جهشی رخ داده است که بیان کننده افزایش توجه بازار به این تجهیز در آن سال می‌باشد. از سال ۲۰۰۸ تا کنون نیز تنها چند اختراع در این زمینه ثبت شده و روند یکنواختی مشاهده شده است.

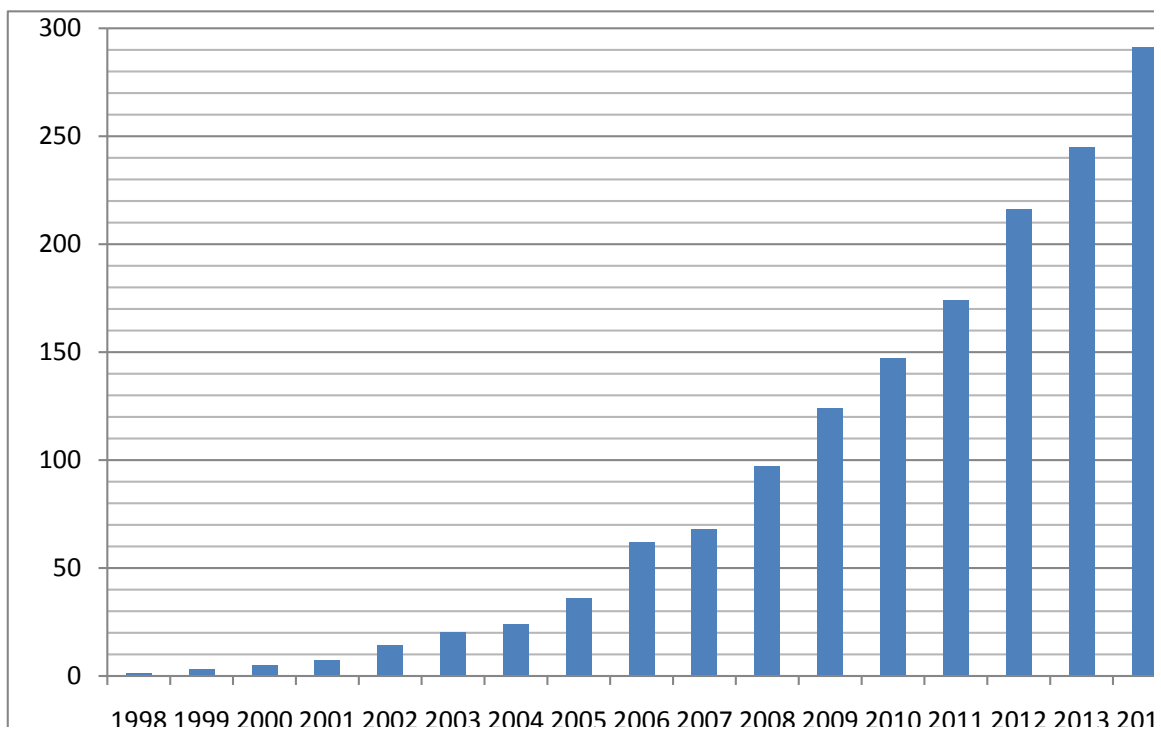


شکل (۲۲-۳): نمودار تجمعی اختراعات ثبت شده در زمینه DSTATCOM

نمودارهای تجمعی مقالات ژورنالی و کنفرانسی چاپ شده در زمینه DSTATCOM نیز بترتیب در شکل ۲۳-۳ و شکل ۲۴-۳ نشان داده شده اند. روند چاپ مقالات DSTATCOM از سال ۲۰۰۲ آغاز شده و در سال میلادی گذشته (۲۰۱۴) بیشترین تعداد مقالات در این زمینه به چاپ رسیده است که اکثر این مقالات مربوط به نحوه کنترل و ملزومات ساخت DSTATCOM است.



شکل (۳-۲۳): نمودار تجمعی مقالات ژورنال چاپ شده در زمینه DSTATCOM



شکل (۳-۲۴): نمودار تجمعی مقالات کنفرانسی چاپ شده در زمینه DSTATCOM

طبق شکل ۳-۲۴ و برخلاف مقالات ژورنال، روند چاپ مقالات کنفرانسی در زمینه DSTATCOM از سال ۱۹۹۸ آغاز

شده و از سال ۲۰۰۷ سرعت بیشتری پیدا کرده است. همانطور که در قبلاً هم گفته شد، از آنجایی که هدف از ارائه مقالات

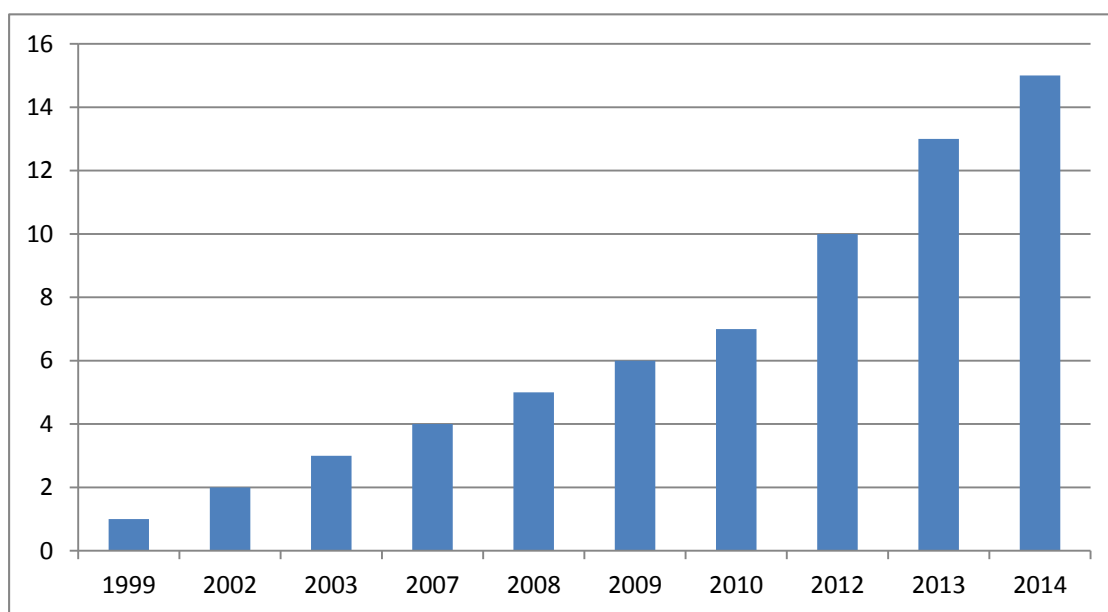
کنفرانس معرفی زمینه های تحقیقاتی دانشگاهها و موسسات میباشد، بنابر نمودار بالا می توان نتیجه گرفت که موضوع DSTATCOM هنوز هم از موضوعات مورد توجه محافل علمی می باشد.

### ۳-۲-۴- بررسی چرخه عمر فناوری DVR

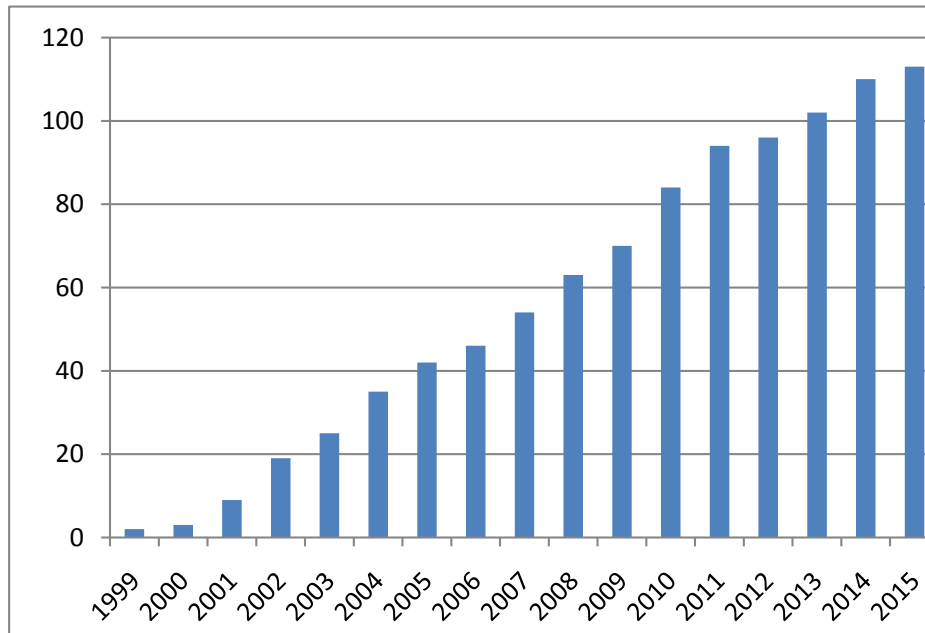
#### الف) بررسی اختراعات [۲۸] و مقالات چاپ شده [۲۹] در زمینه DVR

نمودار تجمعی اختراعات ثبت شده در زمینه DVR در شکل ۳-۲۵ نشان داده شده است. روند ثبت اختراعات از سال ۱۹۹۹ تقریباً با رشد یکنواختی آغاز شده و در سال های اخیر رشد سریعتری پیدا کرده است.

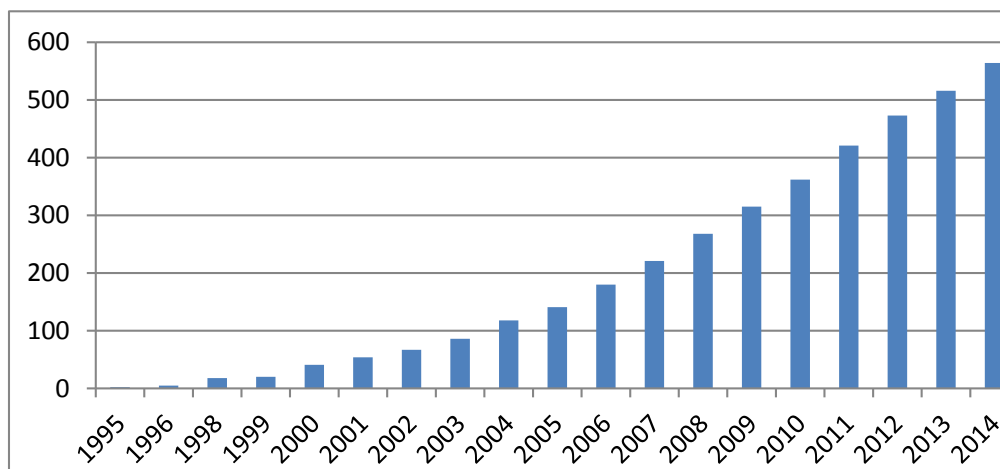
نمودار تجمعی مقالات ژورنالی و کنفرانسی در زمینه DVR نیز به ترتیب در شکل ۳-۲۶ و شکل ۳-۲۷ نشان داده شده اند. روند چاپ مقالات ژورنال از سال ۱۹۹۹ آغاز و تا کنون تقریباً سیر یکنواختی داشته است. روند چاپ مقالات کنفرانس نیز تقریباً بصورت همزمان، از سال ۱۹۹۵ آغاز شده اما سیر صعودی داشته است که حکایت از افزایش توجهات محافل علمی به موضوع DVR دارد.



شکل (۳-۲۵): نمودار تجمعی اختراعات ثبت شده در زمینه DVR



شکل (۳-۲۶): نمودار تجمعی مقالات ژورنال چاپ شده در زمینه DVR



شکل (۳-۲۷): نمودار تجمعی مقالات کنفرانسی ثبت شده در زمینه DVR

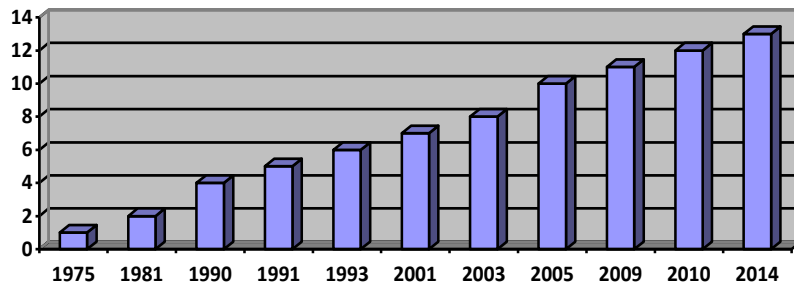
### ۳-۲-۵- بررسی چرخه عمر فناوری TSC

#### الف) بررسی مقالات

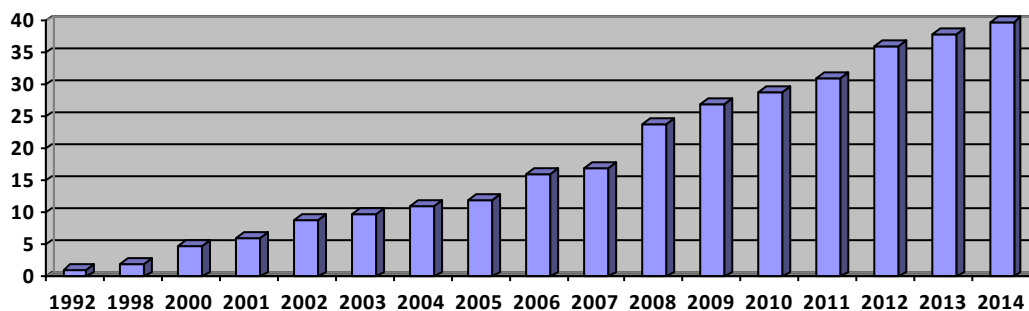
نتایج بررسی ژورنال‌های ارائه شده در زمینه TSC توسط IEEE در شکل ۳-۲۸ نشان داده شده است. روند مقالات از سال ۱۹۷۵ آغاز شده، این روند بسیار کند بوده بطوریکه پس از هر چند سال یک یا دو مقاله در این زمینه به چاپ رسیده است. این روند حکایت از آن دارد که نوآوری چندان‌ی در این زمینه وجود نداشته و این موضوع تقریباً به بلوغ رسیده است. نتایج



بررسی مقالات کنفرانسی در این زمینه که توسط IEEE چاپ شده اند نیز در شکل ۳-۲۹ نشان داده شده است. از سال ۲۰۰۰ تا کنون هر ساله چند مقاله در این زمینه به چاپ رسیده است. از آنجایی که هدف اصلی ارائه کنفرانسها معرفی موضوع و زمینه کاری دانشگاهها می باشد، بنابراین استفاده از TSC هنوز هم مورد توجه دانشگاهها و مراکز علمی است.



شکل (۳-۲۸): نمودار تجمعی مقالات ژورنالی ارائه شده در زمینه TSC



شکل (۳-۲۹): نمودار تجمعی مقالات کنفرانسی ارائه شده در زمینه TSC

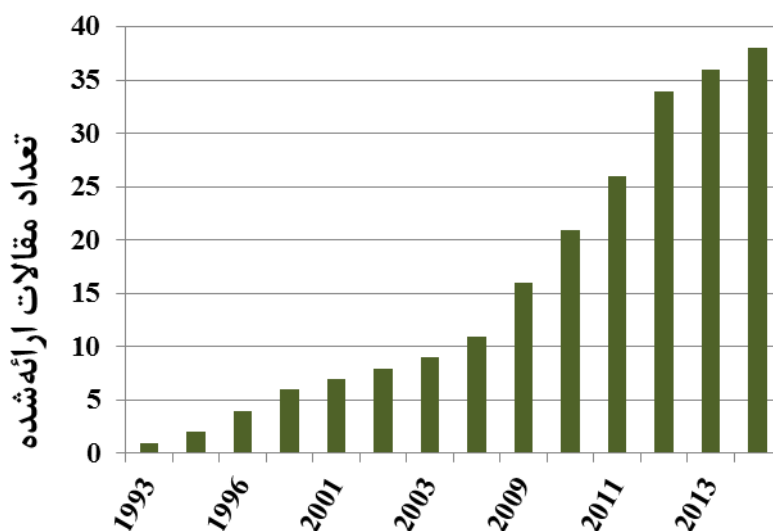
در بررسی اختراعات ثبت شده در رابطه با TSC مشاهده شد که در زمینه استفاده از این تجهیز در شبکه های توزیع تقریباً اختراعی ثبت نشده و اکثر اختراعات مربوط به استفاده از این تجهیز در سیستم انتقال می باشد.

### ۳-۲-۳-۶- بررسی چرخه عمر فناوری SFC های نیروگاهی

#### الف) بررسی مقالات منتشر شده در زمینه SFC های نیروگاهی

بر اساس آمار استخراج شده از پایگاههای اطلاعاتی IEEE و ELSEVIER، در زمینه مبدل های SFC مورد استفاده در نیروگاههای تلمبه ذخیره ای و گازی، از سال ۱۹۹۳ تا کنون ۳۸ مقاله در مجلات و کنفرانسها به چاپ رسیده است. نمودار

فراوانی تجمعی تعداد مقالات چاپ شده بر حسب سال، در شکل ۳-۳۰ نشان داده شده است. با توجه به این نمودار، این مبحث در سال‌های اخیر نسبت به سال‌های قبل از سال ۲۰۰۹، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است.



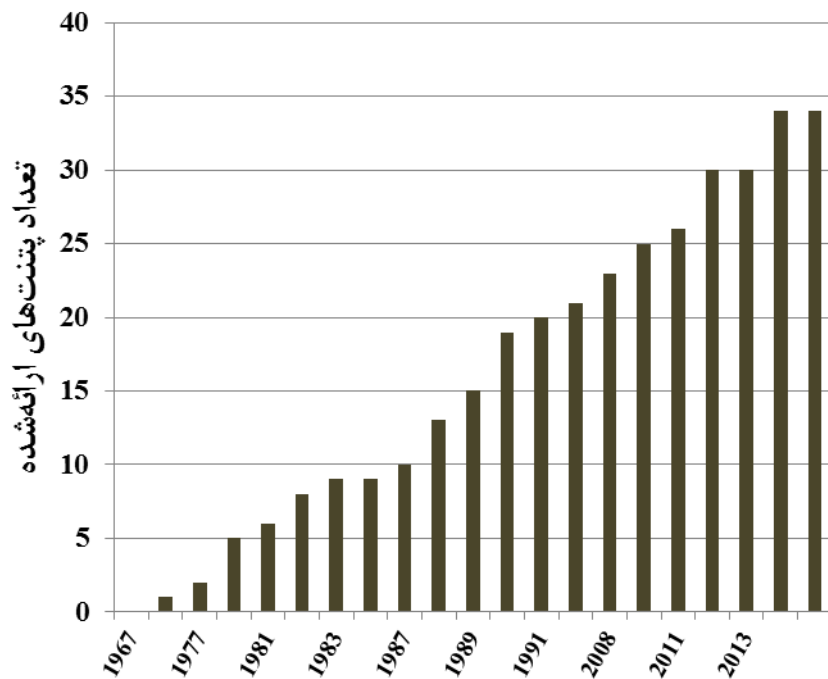
شکل (۳-۳۰): نمودار فراوانی تجمعی تعداد مقالات منتشر شده در کنفرانس‌ها و مجلات IEEE و ELSEVIER در زمینه مبدل‌های SFC مورد استفاده در نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای و گازی

### ب) بررسی پنت‌های منتشر شده در زمینه مبدل‌های SFC نیروگاهی

سایت جستجوگر اداره ثبت اختراعات اروپا [۳۰] امکان جستجوی پنت‌ها با داشتن کد CPC و یا IPC مربوط به هر گروه از پنت‌های مربوطه فراهم است. در زمینه مبدل SFC نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای و گازی، چندین زیرگروه مشارکت دارند. کد این زیر گروه‌ها به همراه توضیح مشخصات آنها در جدول ۳-۱۲ آورده شده است.

جدول (۳-۱۲): کد بین‌المللی زیر شاخه‌های مرتبط به مبدل SFC نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای و گازی

مشخصات	کد زیر گروه
راه‌اندازی موتورهای الکتریکی یا مبدل‌های الکترونیکی	H02P1
ساختارهای به کار گرفته شده در تنظیم یا کنترل سرعت یا گشتاور دو یا چند موتور الکتریکی	H02P5
کنترل ژنراتورهای الکتریکی به منظور بدست آوردن خروجی مطلوب	H02P9
تبدیل توان ac به ac، به منظور تغییر اندازه ولتاژ، فرکانس و تعداد فازها	H02M5
کنترل نیروگاه	F03B15

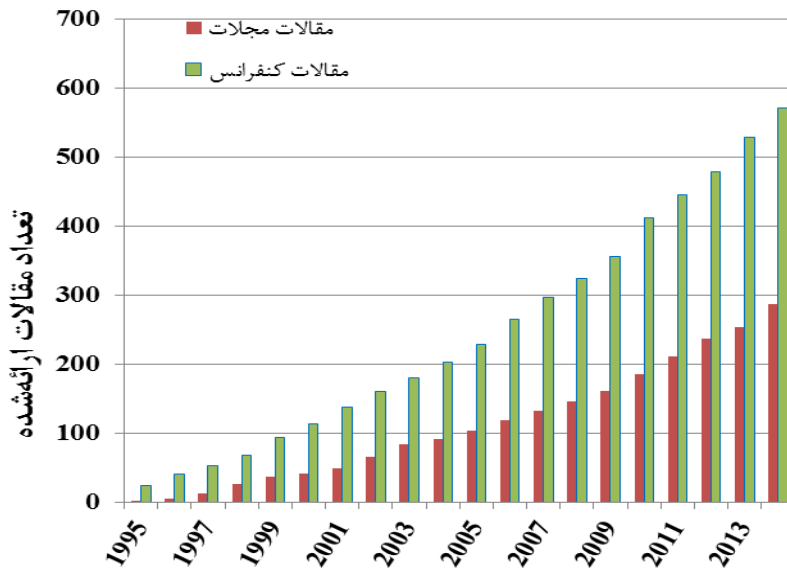


شکل (۳-۳۱): نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه شده در کلیه زیر شاخه‌های مربوط به الکترونیک قدرت سیستم SFC نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای و گازی

نتیجه بررسی پنت‌های ثبت شده در شکل ۳-۳۱ نشان داده شده است. بیشترین آمار پنت‌ها مربوط به زیر گروه H02P9 (کنترل ژنراتورها به منظور استخراج توان مطلوب) می‌باشد. همچنین در چند سال اخیر پنت‌های منتشر شده در این گروه، روند روبه‌رشدی داشته است. پس از آن، زیر گروه H02M5 (تبدیل توان ac/ac به منظور کنترل، ولتاژ، فرکانس و تعداد فاز) بیشترین پنت‌های ثبت شده را به خود اختصاص داده است.

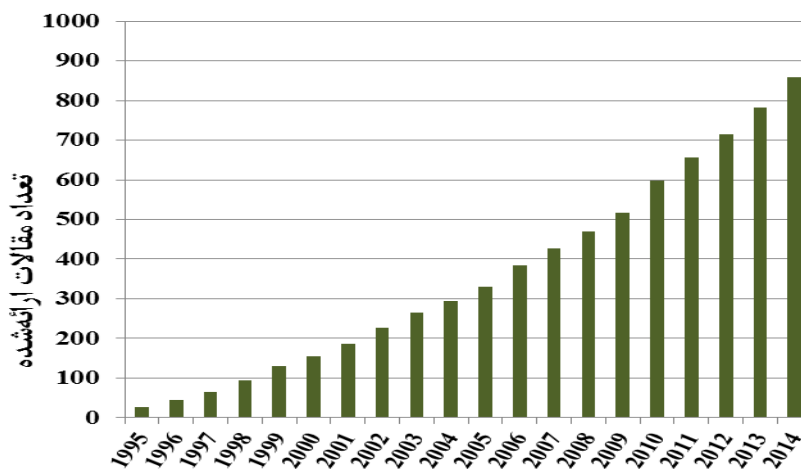
### ج) بررسی مقالات ارائه شده در راستای سیستم‌های تحریک

شکل ۳-۳۲، نمودار فراوانی تجمعی تعداد مقالات ارائه شده در مجلات و کنفرانس‌های زیرشاخه انجمن مهندسی برق آمریکا (IEEE) از سال ۱۹۹۵ تا سال ۲۰۱۴ را نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار، تحقیقات در زمینه سیستم‌های تحریک ماشین سنکرون، روند تقریباً صعودی داشته است. به طوری که در سال ۲۰۱۴ بیشترین تعداد مقاله در مجلات IEEE چاپ شده است. در مجموع در این بازه زمانی، ۲۸۷ مقاله در مجلات و ۵۷۲ مقاله در کنفرانس‌ها به چاپ رسیده است.



شکل (۳-۳۲): نمودار فراوانی تجمعی تعداد مقالات منتشر شده در کنفرانس‌ها و مجلات IEEE در زمینه

#### سیستم‌های تحریک



شکل (۳-۳۳): نمودار فراوانی تجمعی تعداد کل مقالات منتشر شده در زمینه سیستم‌های تحریک

#### (د) بررسی پتنت‌های منتشر شده در زمینه سیستم‌های تحریک

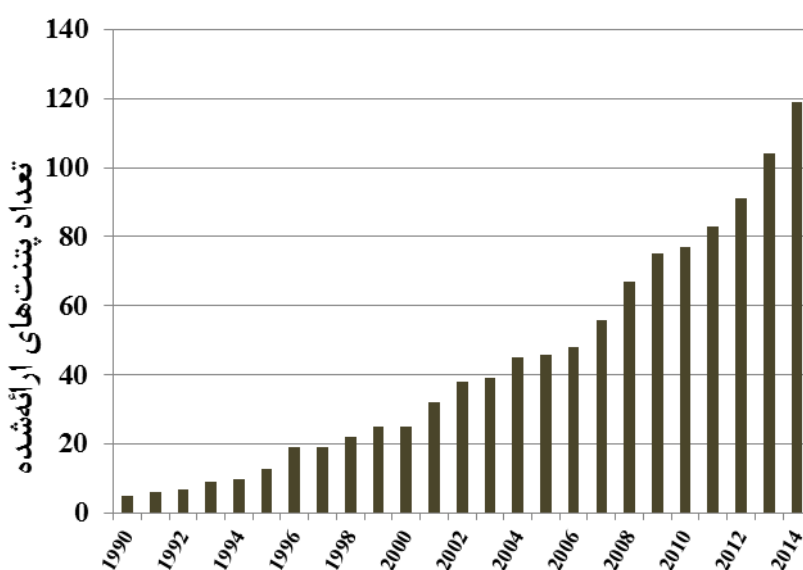
در جدول ۳-۱۳، کدهای مربوط به زیرگروه‌هایی که در زمینه سیستم‌های تحریک مبتنی بر الکترونیک قدرت، مشارکت

دارند، به همراه توضیح هر زیرگروه آورده شده است.

جدول (۳-۱۳): کد بین‌المللی زیر شاخه‌های مرتبط به سیستم‌های تحریک ژنراتور

مشخصات	کد زیر گروه
ساختارهای خاص کنترل ژنراتور	H02P2101
کنترل ژنراتورهای الکتریکی به منظور بدست آوردن خروجی مطلوب	H02P9
مدارهای مغناطیسی	H02K1
ژنراتورها و موتورهای سنکرون	H02K19

شکل ۳-۳۴، مجموع کل پتنت‌های ارائه‌شده، به صورت منحنی فراوانی تجمعی نشان داده شده است. از این منحنی‌ها مشاهده می‌شود که بیشترین پنت‌های منتشرشده، مربوط به زیرشاخه H02P9 (کنترل ژنراتورها به منظور استخراج توان مطلوب)، می‌باشد و سه زیرگروه دیگر، H02K1، H02K19، H02P2101 تقریباً آمار یکسانی در زمینه سیستم‌های تحریک دارند.



شکل (۳-۳۴): نمودار فراوانی تجمعی کلیه پتنت‌های ارائه شده در زیر شاخه‌های مربوط به الکترونیک قدرت

### سیستم‌های تحریک

همانگونه که مشاهده می‌شود، شیب مربوط به منحنی‌ها در سال‌های اخیر، اندکی افزایش داشته است که بیانگر گرایش

تحقیقات به سمت سیستم‌های تحریک مبتنی بر الکترونیک قدرت است.

### ۳-۲-۷- جمع‌بندی چرخه عمر فناوری

با توجه به مطالب پیش گفته چرخه عمر فناوری هر یک از فناوری‌های تجهیزات الکترونیک قدرت مطابق جدول ۳-۱۴ به صورت خلاصه در شبکه برق نشان داده شده است. لازم به ذکر با توجه به اینکه اطلاعاتی در خصوص برخی از این تجهیزات در دسترس نبوده است چرخه عمر این فناوری‌ها به صورت کیفی مشخص شده است.

جدول (۳-۱۴): چرخه عمر تجهیزات الکترونیک قدرت اولویت‌دار

TSC(LV)	TCR	TSC	Excitation system	wind turbine PCS	solarcell PCS	تجهیز الکترونیک قدرت اولویت‌دار
بلوغ	بلوغ	بلوغ	بلوغ	رشد و بلوغ	رشد	چرخه عمر تکنولوژی
DVR	D-STATCOM	STS	APF	Gas turbine SFC	BESS	تجهیز الکترونیک قدرت اولویت‌دار
رشد	رشد	رشد	رشد	بلوغ	رشد	چرخه عمر تکنولوژی

### ۳-۳-۳ شکاف تکنولوژیک

شکاف تکنولوژیک عبارت است از فاصله میان سطح توانمندی فناورانه بالقوه کشور در افق زمانی مورد نظر و حداقل سطح توانمندی مطلوب، در ارتباط با فناوری منتخب. بر اساس اینکه این فاصله وجود داشته باشد شکاف قابلیت پوشش نخواهد داشت و در صورتی که فاصله وجود نداشته باشد، شکاف قابلیت پوشش دارد. در جدول (۳-۱۵) قابلیت پوشش و یا عدم قابلیت پوشش فناوری‌های اولویت‌دار تجهیزات الکترونیک قدرت نشان داده شده است.

با توجه به اینکه از منظر پایه دانشی تمام تجهیزات الکترونیک قدرت اولویت‌دار پایه‌ی مشابه و یکسانی دارند و از طرفی حوزه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در کشور ما حوزه نوظهوری نمی‌باشد و فعالیت‌های فراوانی در این زمینه در کشور انجام شده است، شکاف تکنولوژیکی قابل ملاحظه‌ای در زمینه توسعه این تجهیزات در کشور وجود ندارد و در صورت حمایت‌های دولتی و در نظر گرفتن بودجه کافی می‌توان موجبات توسعه این تجهیزات را فراهم آورد.<sup>۱</sup> علاوه بر موارد فوق الذکر خبرگان و متخصصان این حوزه در مصاحبه‌ها بر وجود دانش کافی در زمینه توسعه تجهیزات الکترونیک قدرت در صورت

۱. در گزارش پتانسیل‌سنجی نیز به صورت مفصل توانمندی کشور احصا شده است

وجود بازار مناسب و حمایت‌های کافی اذعان داشته‌اند. در جدول ۳-۱۵ شکاف تکنولوژی تجهیزات الکترونیک قدرت نشان داده شده است.

جدول (۳-۱۵): شکاف تکنولوژیک تجهیزات الکترونیک قدرت اولویت‌دار

TSC(LV)	TCR	TSC	Excitation system	wind turbine PCS	solarcell PCS	تجهیز الکترونیک قدرت اولویت‌دار
قابل پوشش	قابل پوشش	قابل پوشش	قابل پوشش	قابل پوشش	قابل پوشش	شکاف تکنولوژیک
DVR	D-STATCOM	STS	APF	Gas turbine SFC	BESS	تجهیز الکترونیک قدرت اولویت‌دار
قابل پوشش	قابل پوشش	قابل پوشش	قابل پوشش	قابل پوشش	قابل پوشش	شکاف تکنولوژیک

### ۳-۳-۴ استراتژیک بودن فناوری

بر حسب اهمیت فناوری برای کشور، فناوری‌ها را می‌توان به دو گروه ذیل تقسیم‌بندی نمود:

- فناوری‌های کلیدی یا استراتژیک

- فناوری‌های متعارف یا معمولی

لفظ "فناوری کلیدی یا استراتژیک" به فناوری‌هایی اطلاق می‌شود که در تحقق اهداف استراتژیک نقش کلیدی ایفا نمایند. همچنین فناوری‌های متعارف یا معمولی عبارتند از فناوری‌هایی که تسلط بر آن‌ها ارزش زیادی ندارد. در ادامه انواع فناوری‌های اولویت‌دار تجهیزات الکترونیک قدرت از حیث میزان استراتژیک بودن در جدول ۳-۱۶ نشان داده شده است.

به صورت کلی با توجه به اینکه هیچیک از فناوری‌های تجهیزات الکترونیک قدرت کاربردهای امنیتی ندارند و همچنین به لحاظ پدافند غیر عاملی موضوعات مهمی نمی‌باشند، این تجهیزات استراتژیک به حساب نمی‌آیند. تنها در زمینه تجهیزات نیروگاهی با توجه به اینکه کشور در این زمینه با تحریم‌های فراوانی روبرو است و از طرفی نیاز مبرم کشور به این تجهیزات برای ساخت نیروگاه این تجهیزات را استراتژیک در نظر گرفته می‌شوند.

جدول (۳-۱۶): میزان استراتژیک بودن فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت اولویت‌دار

TSC(LV)	TCR	TSC	Excitation system	wind turbine PCS	solarcell PCS	تجهیز الکترونیک قدرت اولویت‌دار
خیر	خیر	خیر	بله	خیر	خیر	استراتژیک بودن فناوری
DVR	D-STATCOM	STS	APF	Gas turbine SFC	BESS	تجهیز الکترونیک قدرت اولویت‌دار
خیر	خیر	خیر	خیر	بله	خیر	استراتژیک بودن فناوری

### ۳-۴- نتیجه گیری و انتخاب روش مناسب اکتساب

با توجه به مدل اکتساب فناوری‌های اولویت‌دار و اطلاعات بیان شده در قسمت قبل در ارتباط با چرخه عمر فناوری، حجم بازار، میزان استراتژیک بودن فناوری و شکاف تکنولوژیک؛ از بین روش‌های سه‌گانه اکتساب فناوری‌های اولویت‌دار (سبک خرید، توسعه درونزا و انتقال فناوری) در جدول (۳-۱۷) نتایج اکتساب فناوری‌های اولویت‌دار تجهیزات الکترونیک قدرت با توجه به الگوریتم اکتساب فناوری بیان شده است.

این الگوریتم در برخی شرایط اقدام به حذف یکی از روش‌های سبک اکتساب می‌نماید و تصمیم‌گیری در خصوص روش منتخب می‌بایست با توجه به شرایط موجود در کشور صورت پذیرد. در ادامه پس از جدول (۳-۱۷) به صورت مشخص سبک اکتساب منتخب در هر یک از فناوری‌های اولویت‌دار تجهیزات الکترونیک قدرت با تطبیق با شرایط موجود در کشور بیان شده است.



جدول (۳-۱۷): سبک اکتساب مناسب هر یک از فناوری‌های تجهیزات الکترونیک قدرت اولویت‌دار

انواع تجهیزات الکترونیک قدرت اولویت دار	چرخه عمر فناوری	حجم بازار	شکاف تکنولوژیک	استراتژیک بودن	سبک اکتساب مناسب
Solar cell PCS	رشد و بلوغ	زیاد	قابل پوشش	خیر	حذف سبک خرید و آنالیز هزینه فایده برای انتخاب از میان روش‌های توسعه درون‌زا، انتقال تکنولوژی
wind turbine PCS	رشد و بلوغ	زیاد	قابل پوشش	خیر	حذف سبک خرید و آنالیز هزینه فایده برای انتخاب از میان روش‌های توسعه درون‌زا، انتقال تکنولوژی
Excitation system	رشد و بلوغ	زیاد	قابل پوشش	بله	تحقیق و توسعه درون‌زا
TSC	رشد و بلوغ	رو به افزایش	قابل پوشش	خیر	حذف سبک خرید و آنالیز هزینه فایده برای انتخاب از میان روش‌های توسعه درون‌زا، انتقال تکنولوژی
TCR	رشد و بلوغ	رو به افزایش	قابل پوشش	خیر	حذف سبک خرید و آنالیز هزینه فایده برای انتخاب از میان روش‌های توسعه درون‌زا، انتقال تکنولوژی
TSC(LV)	رشد و بلوغ	رو به افزایش	قابل پوشش	خیر	حذف سبک خرید و آنالیز هزینه فایده برای انتخاب از میان روش‌های توسعه درون‌زا، انتقال تکنولوژی
BESS	رشد و بلوغ	زیاد	قابل پوشش	خیر	حذف سبک خرید و آنالیز هزینه فایده برای انتخاب از میان روش‌های توسعه درون‌زا، انتقال تکنولوژی
Gas turbine SFC	رشد و بلوغ	رو به افزایش	قابل پوشش	بله	تحقیق و توسعه درون‌زا
APF	رشد و بلوغ	کم	قابل پوشش	خیر	آنالیز هزینه فایده برای انتخاب از میان روش‌های توسعه درون‌زا، انتقال تکنولوژی
STS	رشد و بلوغ	متوسط	قابل پوشش	خیر	آنالیز هزینه فایده برای انتخاب از میان روش‌های توسعه درون‌زا، انتقال تکنولوژی
D-STATCOM	رشد و بلوغ	کم	قابل پوشش	خیر	آنالیز هزینه فایده برای انتخاب از میان روش‌های توسعه درون‌زا، انتقال تکنولوژی
DVR	رشد و بلوغ	کم	قابل پوشش	خیر	آنالیز هزینه فایده برای انتخاب از میان روش‌های توسعه درون‌زا، انتقال تکنولوژی

در ادامه به تفکیک در خصوص سبک اکتساب مناسب هر یک از فناوری‌های اولویت‌دار با تطبیق با شرایط موجود در کشور

بحث شده است و سبک اکتساب مناسب بیان گردیده است.

**الف) مبدل‌های تجدیدپذیر**

با توجه به تصویب سند انرژی‌های تجدیدپذیر کشور در شورای عالی انقلاب فرهنگی و مبنای عمل قرار گرفتن این سند به عنوان اصلی‌ترین برنامه کشور به منظور جهت‌دهی به فعالیت‌های موجود در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر، عمل به این سند در کشور مورد اهتمام ویژه‌ای قرار دارد. بر اساس این سند بخش انرژی‌های تجدیدپذیر ملزم است در افق ۱۴۰۴ به میزان ده هزار مگاوات از انواع انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور نصب نماید. از طرفی با توجه به اینکه اهم ظرفیت کشور در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر در حوزه انرژی‌های بادی و خورشیدی می‌باشد، لذا حجم بازار بسیار زیادی برای انرژی‌های بادی و خورشیدی و بالتبع آن مبدل‌های توربین بادی و خورشیدی وجود دارد. همان‌طور که از جدول بالا مشخص است تجهیزات مبدل‌های توربین باد و سلول خورشیدی عمدتاً به دلیل حجم بازار فراوانی که دارند، سبک خرید فناوری از آن‌ها حذف گردیده است و دو روش تحقیق و توسعه درون‌زا و انتقال فناوری باقی‌مانده است که با توجه به تحلیل هزینه-فایده هر یک از این فناوری‌ها روش منتخب در هر یک انتخاب می‌شود. لازم به ذکر است در خصوص مبدل‌های بادی DFIG قرارداد انتقال دانش فنی توسط شرکت مپنا با طرف اروپایی منعقد گردیده است. همچنین در زمینه مبدل‌های خورشیدی با توجه به اینکه در پژوهشگاه نیرو پروژه نقشه راه توسعه فناوری انرژی خورشیدی در دست انجام بوده و استراتژی غالب در آن سند بر فناوری ساخت پنل‌های خورشیدی متمرکز است لذا استراتژی اکتساب فناوری مبدل انرژی خورشیدی با توجه به حجم بازار عمده پیش‌بینی شده می‌تواند هر یک از روش‌های تحقیق و توسعه درون‌زا یا انتقال فناوری باشد. در زمینه مبدل ژنراتور مغناطیس دائم توربین بادی، مبدل فتوولتایک مگاواتی و ذخیره ساز انرژی باتری مگاواتی، با توجه به عدم وجود بازار در کوتاه مدت و ریسک سرمایه‌گذاری بالا، استراتژی کسب دانش فنی در این تجهیزات انجام پروژه‌های تحقیقاتی مورد حمایت دولت می‌باشد.

### ب) تجهیزات نیروگاهی

در حوزه تجهیزات نیروگاهی، با توجه به وجود برنامه‌های بسیاری در کشور در زمینه احداث نیروگاه‌های جدید و نوسازی نیروگاه‌های موجود و همچنین بازارهای فرامرزی در زمینه ساخت و صادرات نیروگاه، لذا حجم بازار خوبی برای این تجهیزات وجود دارد. از طرفی با توجه به استراتژیک بودن این تجهیزات و نیاز کشور به آن‌ها لازم است کشور به صورت تحقیق و توسعه داخلی یا در صورت امکان انتقال فناوری به دانش این تجهیزات دست پیدا کند. با توجه به سبکه شرکت‌هایی نظیر مپنا و آب نیرو در امکان انتقال فناوری در زمینه تولید تجهیزات نیروگاهی، لازم است با همکاری این شرکت‌ها پروژه‌های تحقیق و توسعه یا انتقال فناوری در این زمینه تعریف شود.

### ج) SVC

در زمینه تجهیز SVC بازار عمده موجود بخش فولاد بوده است. با توجه به توسعه نیروگاه‌های بادی و خورشیدی فرصت‌های جدید قابل پیش‌بینی برای بازار SVC ایجاد شده است. با توجه به حجم بازار و در نظر گرفتن الگوریتم اکتساب فناوری، سبک مناسب اکتساب این فناوری‌ها انتقال فناوری و توسعه درون‌زا خواهد بود. در خصوص دستیابی به دانش فنی SVC تاکنون هزینه‌های قابل توجهی صورت گرفته و پروژه SVC با ظرفیت ۱۷ مگاوار در پژوهشگاه نیرو در دست اقدام است. با توجه به اینکه در این پروژه طراحی کلیه بخش‌ها توسط متخصصین داخلی انجام گردیده حجم دانش فنی مطلوبی وجود دارد که گزینه انتقال فناوری را رد می‌کند.

### د) سایر تجهیزات اولویت‌دار

در زمینه سایر تجهیزات اولویت‌دار نظیر DVR، STS، DSTATCOM و ... در حوزه الکترونیک قدرت با توجه به اینکه بازار بالفعلی در حال حاضر برای این تجهیزات در کشور وجود ندارد و ایجاد این بازار نیازمند تدوین استانداردها و دستورالعمل‌ها از طرف وزارت نیرو است و در یک پروسه زمانی ممکن است بازاری بالقوه‌ای برای این تجهیزات بوجود آید و همچنین این بازار بالقوه با عدم قطعیت مواجه است در راستای ایجاد قابلیت در کشور باید مجموعه‌ای از پروژه‌های پایلوت تحقیق و توسعه تعریف بشود. علاوه بر موارد فوق با توجه به اینکه این تجهیزات غالباً به صورت طراحی مورد به مورد ساخته می‌شود و خط تولیدی برای آن‌ها وجود ندارد، روش مناسب اکتساب این فناوری‌ها انجام پروژه‌های تحقیقاتی با توجه به زمان مناسب موجود در نظر گرفته می‌شود.

## نتیجه گیری

به منظور اولویت بندی فناوری تجهیزات مورد بررسی در سند توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق، در این گزارش پس از ارائه مرور ادبیات متدولوژی اولویت بندی و سبک اکتساب فناوری در فصل اول، در فصل دوم اولویت بندی تجهیزات سطوح اول و دوم مندرج در درخت فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت با استفاده از نظرات خبرگان ارائه شد. سپس در فصل سوم با استفاده از مدل سبک اکتساب فناوری های اولویت دار، به تعیین سبک اکتساب مناسب برای هر یک از فناوری تجهیزات اولویت دار پرداخته شد.

## پیوست شماره ۱

سند راهبردی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق

پرسشنامه ارزیابی اولویت بندی (سطح اول)

نام و نام خانوادگی:

تحصیلات:

سمت:

شماره تماس:

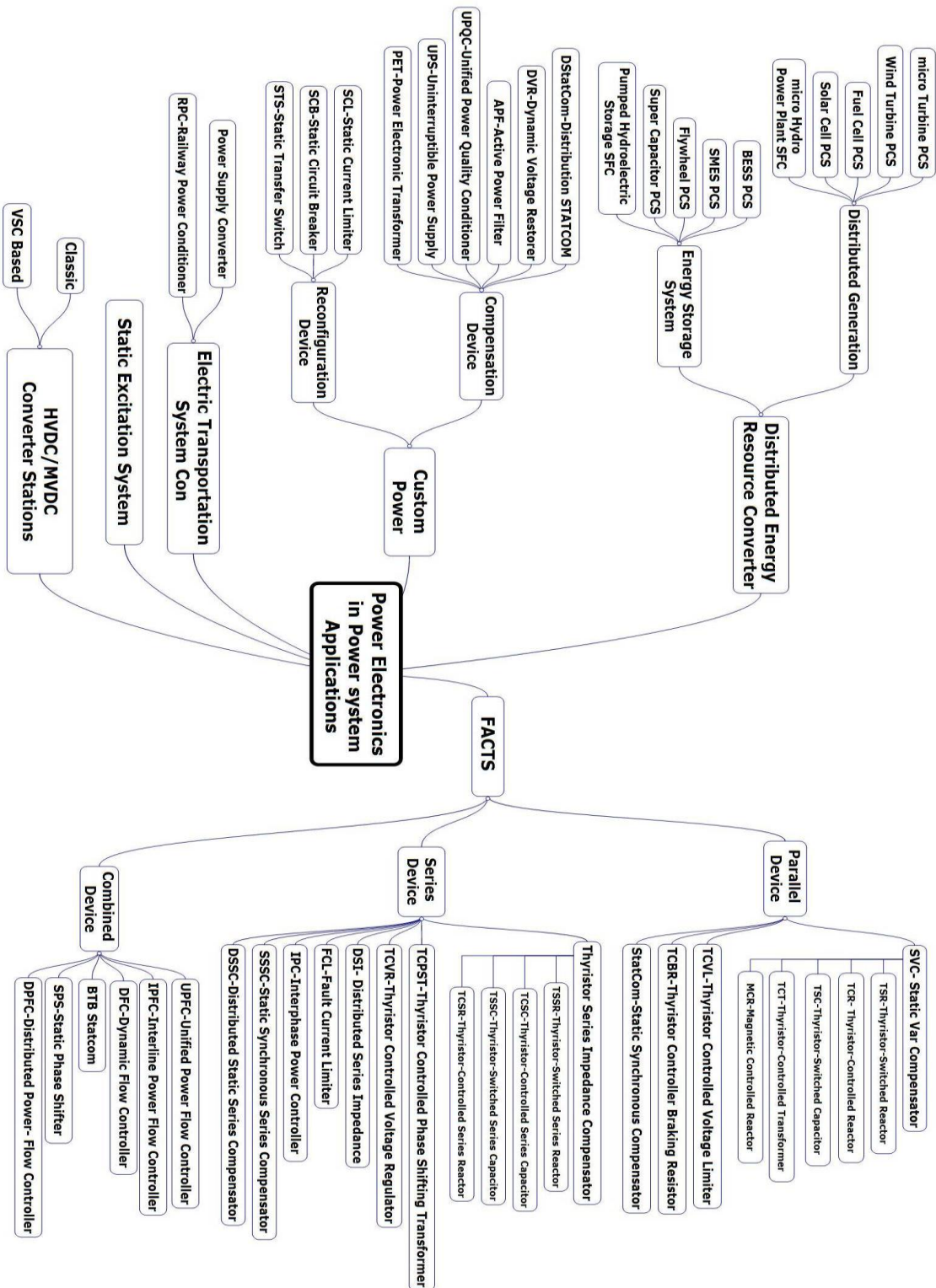
آدرس پست الکترونیکی:

### معیارها و درخت فناوری

معیارهای اولویت بندی در جدول زیر نشان داده شده است



درخت فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شکل زیر نشان داده شده است. در این درخت براساس کاربردهای تجهیزات الکترونیک قدرت زیرفناوری ها نشان داده شده است که در این سطح از اولویت بندی تنها به سطح اول کاربرد توجه شده است.

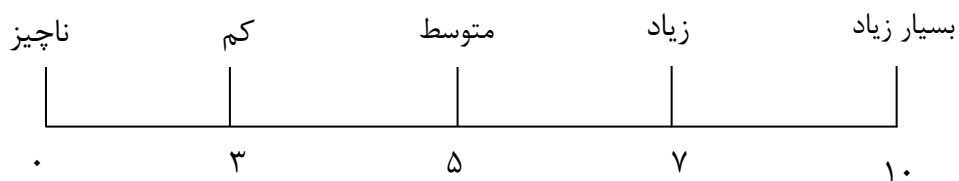


## ۱-۱- وزن دهی به معیارها

درجداول بخش بعد، امتیاز (وزن) معیارهای مختلف مشخص می‌گردد.

امتیازدهی گزینه‌های مختلف به روش مستقیم و به صورت عددی مابین ۰ تا ۱۰ انجام می‌گیرد. (امتیاز بیشتر اهمیت بیشتر

معیار را نشان می‌دهد)



جدول (۱-۱). امتیازدهی معیارهای اصلی جهت اولویت‌بندی تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق

معیارها	امتیازدهی هریک از معیارها
ایجاد مزیت رقابتی	
وابستگی به تجهیزات و فناوری خاص	
اهمیت کاربرد	
حجم بازار داخلی	
نرخ رشد بازار جهانی	
پتانسیل صادرات	
سهولت دسترسی به فناوری	
سرریز دانش	
گسترده‌گی کاربرد	
تأثیرات زیست محیطی	



## ۱- معیار ایجاد مزیت رقابتی

به منظور مقایسه تجهیزات از منظر معیار ایجاد مزیت رقابتی به صورت کیفی، از امتیازدهی گزینه‌های مختلف به روش مستقیم و به صورت عددی مابین ۰ تا ۱۰ استفاده می‌نماییم (امتیاز بیشتر اهمیت بیشتر معیار را نشان می‌دهد).

ایجاد مزیت رقابتی	تجهیز
	FACTS
	HVDC/MVDC
	CUPS
	DER
	Electric Transportation System
	Static Excitation System

## ۲- معیار وابستگی به تجهیزات و

به منظور مقایسه تجهیزات از منظر معیار وابستگی به تجهیزات و فناوری خاص به صورت کیفی، از امتیازدهی گزینه‌های مختلف به روش مستقیم و به صورت عددی مابین ۰ تا ۱۰ استفاده می‌نماییم (امتیاز بیشتر اهمیت بیشتر معیار را نشان می‌دهد).

وابستگی به تجهیزات و فناوری خاص	تجهیز
	FACTS
	HVDC/MVDC
	CUPS
	DER
	Electric Transportation System
	Static Excitation System

## ۳- معیار اهمیت کاربرد

به منظور مقایسه تجهیزات از منظر معیار اهمیت کاربرد به صورت کیفی، از امتیازدهی گزینه‌های مختلف به روش مستقیم و به صورت عددی مابین ۰ تا ۱۰ استفاده می‌نماییم (امتیاز بیشتر اهمیت بیشتر معیار را نشان می‌دهد).

اهمیت کاربرد	تجهیز
	FACTS
	HVDC/MVDC
	CUPS
	DER
	Electric Transportation System
	Static Excitation System

## ۴- معیار حجم بازار داخلی

به منظور مقایسه تجهیزات از منظر معیار حجم بازار داخلی به صورت کیفی، از امتیازدهی گزینه‌های مختلف به روش مستقیم و به صورت عددی مابین ۰ تا ۱۰ استفاده می‌نماییم (امتیاز بیشتر اهمیت بیشتر معیار را نشان می‌دهد).

حجم بازار داخلی	تجهیز
	FACTS
	HVDC/MVDC
	CUPS
	DER
	Electric Transportation System
	Static Excitation System

## ۵- معیار نرخ رشد بازار جهانی

به منظور مقایسه تجهیزات از منظر معیار نرخ رشد بازار جهانی به صورت کیفی، از امتیازدهی گزینه‌های مختلف به روش مستقیم و به صورت عددی مابین ۰ تا ۱۰ استفاده می‌نماییم (امتیاز بیشتر اهمیت بیشتر معیار را نشان می‌دهد).

نرخ رشد بازار جهانی	تجهیز
	FACTS
	HVDC/MVDC
	CUPS
	DER
	Electric Transportation System
	Static Excitation System

## ۶- معیار پتانسیل صادرات

به منظور مقایسه تجهیزات از منظر معیار پتانسیل صادرات به صورت کیفی، از امتیازدهی گزینه‌های مختلف به روش مستقیم و به صورت عددی مابین ۰ تا ۱۰ استفاده می‌نماییم (امتیاز بیشتر اهمیت بیشتر معیار را نشان می‌دهد).

پتانسیل صادرات	تجهیز
	FACTS
	HVDC/MVDC
	CUPS
	DER
	Electric Transportation System
	Static Excitation System

## ۷- معیار سهولت دسترسی به فناوری

به منظور مقایسه تجهیزات از منظر معیار سهولت دسترسی به فناوری به صورت کیفی، از امتیازدهی گزینه‌های مختلف به روش مستقیم و به صورت عددی مابین ۰ تا ۱۰ استفاده می‌نماییم (امتیاز بیشتر اهمیت بیشتر معیار را نشان می‌دهد).

سهولت دسترسی به فناوری	تجهیز
	FACTS
	HVDC/MVDC
	CUPS
	DER
	Electric Transportation System
	Static Excitation System

## ۸- معیار سرریز دانشی

به منظور مقایسه تجهیزات از منظر معیار سرریز دانشی به صورت کیفی، از امتیازدهی گزینه‌های مختلف به روش مستقیم و به صورت عددی مابین ۰ تا ۱۰ استفاده می‌نماییم (امتیاز بیشتر اهمیت بیشتر معیار را نشان می‌دهد).

سرریز دانشی	تجهیز
	FACTS
	HVDC/MVDC
	CUPS
	DER
	Electric Transportation System
	Static Excitation System

## ۹- معیار گستردگی کاربرد

به منظور مقایسه تجهیزات از منظر معیار گستردگی کاربرد به صورت کیفی، از امتیازدهی گزینه‌های مختلف به روش مستقیم و به صورت عددی مابین ۰ تا ۱۰ استفاده می‌نماییم (امتیاز بیشتر اهمیت بیشتر معیار را نشان می‌دهد).

گستردگی کاربرد	تجهیز
	FACTS
	HVDC/MVDC
	CUPS
	DER
	Electric Transportation System
	Static Excitation System

## ۱۰- معیار تاثیرات زیست محیطی

به منظور مقایسه تجهیزات از منظر معیار تاثیرات زیست محیطی به صورت کیفی، از امتیازدهی گزینه‌های مختلف به روش مستقیم و به صورت عددی مابین ۰ تا ۱۰ استفاده می‌نماییم (امتیاز بیشتر اهمیت بیشتر معیار را نشان می‌دهد).

سریز دانشی	تجهیز
	FACTS
	HVDC/MVDC
	CUPS
	DER
	Electric Transportation System
	Static Excitation System

## پیوست شماره ۲

سند راهبردی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق

### پرسشنامه ارزیابی اولویت بندی

نام و نام خانوادگی:

تحصیلات:

سمت:

شماره تماس:

آدرس پست الکترونیکی:

### ۱- معیارها

**حجم بازار داخلی:** میزان حجم بازار بالقوه و بالفعل هریک از تجهیزات و فناوری‌های الکترونیک قدرت در کشور می‌باشد.

**نرخ رشد بازار:** منظور میزان پیش بینی رشد تقاضا برای هریک از تجهیزات و فناوری‌های الکترونیک قدرت می‌باشد.

**سهولت دستیابی:** فناوری‌های مختلف گاه با پیچیدگی‌های مختلف مواجه می‌باشند که سهولت دسترسی به آن‌ها را دچار مشکل می‌کند. لذا میزان سهولت دسترسی به فناوری نیز با توجه به توانمندی‌های بالقوه و بالفعل کشور به عنوان یک معیار می‌تواند تلقی شود.

**پتانسیل فعلی کشور:** منظور میزان توانمندی کشور در زمینه‌های دانش فنی و ساخت هریک از این تجهیزات می‌باشد.

**ارزش افزوده:** منظور ما به التفاوت قیمت فروش و قیمت تمام شده ساخت برای هریک از تجهیزات مورد نظر می‌باشد.

**پتانسیل صادرات:** میزان ظرفیت صادرات هر یک از تجهیزات الکترونیک قدرت تولید شده در داخل کشور به بازارهای منطقه ای و بین المللی.

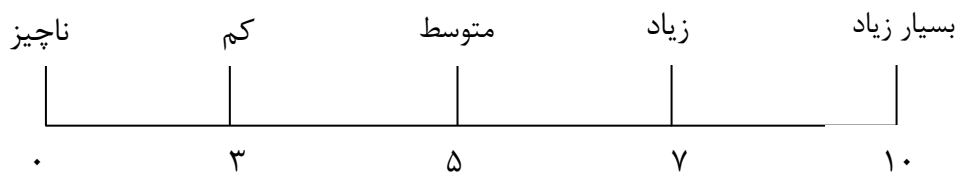
**قابلیت رقابت کشور در این زمینه:** منظور میزان ایجاد مزیت رقابتی توسعه فناوری هریک از تجهیزات الکترونیک قدرت در بازارهای منطقه‌ای و بین المللی برای کشور می‌باشد.

## ۱-۱- وزن دهی به معیارها

درجداول بخش بعد، امتیاز (وزن) معیارهای مختلف مشخص می‌گردد.

امتیازدهی گزینه‌های مختلف به روش مستقیم و به صورت عددی مابین ۰ تا ۱۰ انجام می‌گیرد. (امتیاز بیشتر اهمیت بیشتر

معیار را نشان می‌دهد)

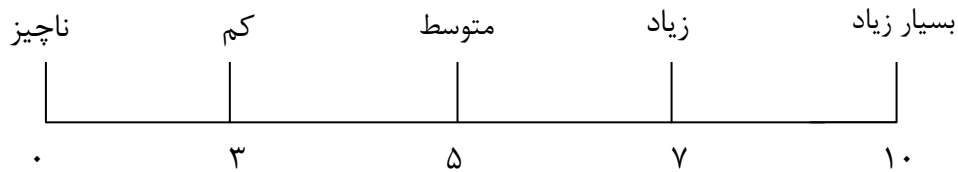


جدول (۱-۱). امتیازدهی معیارهای اصلی جهت اولویت‌بندی تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق

معیارها	امتیازدهی هر یک از معیارها
حجم بازار داخلی	
نرخ رشد بازار	
سهولت دستیابی	
پتانسیل فعلی کشور	
ارزش افزوده	
پتانسیل صادرات	
قابلیت رقابت کشور در این زمینه	



به منظور مقایسه تجهیزات از منظر معیار سهولت دستیابی به صورت کیفی، از امتیازدهی گزینه‌های مختلف به روش مستقیم و به صورت عددی مابین ۰ تا ۱۰ استفاده می‌نماییم (امتیاز بیشتر اهمیت بیشتر معیار را نشان می‌دهد). لذا با توجه به شناخت خود از تجهیزات، میزان پیچیدگی دستیابی به فناوری ساخت هر یک از تجهیزات را مشخص نمایید.



جدول (۱-۲). ارزیابی سهولت دستیابی به تجهیزات

تجهیز	ارزیابی سهولت دستیابی
Wind turbine Power Conditioning System	
Sollar cell Power Conditioning System	
Micro turbine Power Conditioning System	
Battery Energy Storage System Power Conditioning System	
TCT- Thyristor-Controlled Transformer	
TSC-Thyristor-Switched Capacitor (FACTS)	
TCR- Thyristor-Controlled Reactor	
STATCOM	
HVDC	
DSTATCOM- Distribution STATCOM	
DVR- Dynamic Voltage Restorer	
APF- Active Power Filter	
SCL- Static Current Limiter	
STS-Static Transfer Switch	
TSC-Thyristor-Switched Capacitor (CUPS)	

ارزیابی سهولت دستیابی	تجهیز
	Excitation system
	Pumped hydro storage
	Gas turbine Power Conditioning System

## ۲- مبدل‌های انرژی‌های تجدیدپذیر

جدول (۳-۱). تعیین هریک از کمیت‌های مورد بررسی در زمینه هریک از تجهیزات الکترونیک قدرت

Battery Energy Storage System Power Conditioning System	Micro turbine Power Conditioning System	Sollar cell Power Conditioning System	Wind turbine Power Conditioning System	تجهیز	کمیت
				تعداد*	ظرفیت (تعداد) موردنیاز در ۱۰ سال آینده در داخل کشور
				ظرفیت) (MW	رنج قیمت هرواحد
					نرخ رشد بازار در ۱۰ سال آینده در داخل کشور
				%	درصد ارزش افزوده*
				تعداد	پیش بینی ظرفیت (تعداد) صادرات به سایر کشورها
				ظرفیت (MW)	

\* به منظور سهولت در پاسخگویی میزان حجم موردنیاز از تجهیزات بر اساس دو واحد تعداد و مگاوات در نظر گرفته شده است که به دلخواه به

یکی از آن‌ها پاسخ دهید.

\* منظور از درصد ارزش افزوده، درصد استاندارد بین المللی در زمان حال می‌باشد.

یکی از گام‌های موردنیاز برای اولویت‌بندی تجهیزات ارزیابی میزان توانمندی بالفعل کشور در هریک از حوزه‌های فناورانه بر مبنای شاخص بین المللی " ارزیابی آمادگی تکنولوژی " می‌باشد. که به اقتضای تجهیزات مورد بررسی در این سند، مورد پایش و بومی‌سازی قرار گرفته است. در ابتدایی‌ترین سطح مورد بررسی، آگاهی از کاربرد تجهیز در نظر گرفته شده است، در این سطح تنها اطلاع از چگونگی استفاده و بهره‌برداری از تجهیز وجود دارد. در سطوح بالاتر، با توجه به افزایش سطح توانمندی کشور در حوزه‌های مورد بررسی، سطح تدوین مشخصات فنی تجهیز برای ارائه به سازنده، سپس سطح طراحی و ساخت نمونه

<sup>1</sup> Technology Readiness Assessment (TRA)

پایلوت در محیط آزمایشگاهی و تست نمونه ساخت شده در یک محیط عملیاتی و سپس سطح طراحی و ساخت نمونه عملیاتی و تست تجهیز در محیط صنعتی در نظر گرفته شده است. و در سطوح بالاتر که کشور وارد سطح ساخت تجهیز شده است، سطح ساخت تجهیز در حد مونتاژ، و سطح طراحی و ساخت کاملاً بومی و طراحی داخلی قطعات در نظر گرفته شده است. جدول (۲-۲)، با توجه به توضیحات مذکور، به منظور ارزیابی میزان توانمندی بالفعل کشور در زمینه هریک از تجهیزات الکترونیک قدرت تدوین شده است.

جدول (۴-۱). میزان توانمندی بالفعل کشور

Battery Energy Storage System Power Conditioning System	Micro turbine Power Conditioning System	Sollar cell Power Conditioning System	Wind turbine Power Conditioning System	پتانسیل بالفعل
				آگاهی از کاربرد تجهیز
				تدوین مشخصات فنی تجهیز
				طراحی و ساخت نمونه آزمایشگاهی
				طراحی و ساخت نمونه عملیاتی
				ساخت تجهیز در حد مونتاژ
				طراحی و ساخت کاملاً بومی

## ۲- ادوات Custom Power

جدول (۵-۱) تعیین هریک از کمیت‌های مورد بررسی در زمینه هریک از تجهیزات الکترونیک قدرت

TSC-Thyristor Switched Capacitor	SCL-Static Current Limiter	APF-Active Power Filter	DVR-Dynamic Voltage Restorer	D-Statcom	تجهیز	کمیت
					تعداد*	ظرفیت (تعداد) مورد نیاز در ۱۰ سال آینده در داخل کشور
					ظرفیت	

					(MVAR, MVA)	
						رنج قیمت هرواحد
						نرخ رشد بازار در ۱۰ سال آینده در داخل کشور
					%	درصد ارزش افزوده*
					تعداد	پیش بینی ظرفیت (تعداد) صادرات به سایر کشورها
					ظرفیت (MVAR, MVA)	

\* به منظور سهولت در پاسخگویی میزان حجم موردنیاز از تجهیزات بر اساس دو واحد تعداد و ظرفیت در نظر گرفته شده است که به دلخواه به

یکی از آن‌ها پاسخ دهید.

\* منظور از درصد ارزش افزوده، درصد استاندارد بین المللی در زمان حال می‌باشد.

یکی از گام‌های موردنیاز برای اولویت‌بندی تجهیزات ارزیابی میزان توانمندی بالفعل کشور در هریک از حوزه‌های فناورانه بر مبنای شاخص بین المللی " ارزیابی آمادگی تکنولوژی " می‌باشد. که به اقتضای تجهیزات مورد بررسی در این سند، مورد پایش و بومی‌سازی قرار گرفته است. در ابتدایی‌ترین سطح مورد بررسی، آگاهی از کاربرد تجهیز در نظر گرفته شده است، در این سطح تنها اطلاع از چگونگی استفاده و بهره برداری از تجهیز وجود دارد. در سطوح بالاتر، با توجه به افزایش سطح توانمندی کشور در حوزه‌های مورد بررسی، سطح تدوین مشخصات فنی تجهیز برای ارائه به سازنده، سپس سطح طراحی و ساخت نمونه پایلوت در محیط آزمایشگاهی و تست نمونه ساخت شده در یک محیط عملیاتی و سپس سطح طراحی و ساخت نمونه عملیاتی و تست تجهیز در محیط صنعتی در نظر گرفته شده است. و در سطوح بالاتر که کشور وارد سطح ساخت تجهیز شده است، سطح ساخت تجهیز در حد مونتاژ، و سطح طراحی و ساخت کاملاً بومی و طراحی داخلی قطعات در نظر گرفته شده است. جدول (۲-۳)، با توجه به توضیحات مذکور، به منظور ارزیابی میزان توانمندی بالفعل کشور در زمینه هریک از تجهیزات الکترونیک قدرت تدوین شده است.

<sup>1</sup> Technology Readiness Assessment (TRA)

جدول (۱-۶) میزان توانمندی بالفعل کشور

TSC-Thyristor Switched Capacitor	SCL-Static Current Limiter	APF-Active Power Filter	DVR-Dynamic Voltage Restorer	D-Statcom	پتانسیل بالفعل
					آگاهی از کاربرد تجهیز
					تدوین مشخصات فنی تجهیز
					طراحی و ساخت نمونه آزمایشگاهی
					طراحی و ساخت نمونه عملیاتی
					ساخت تجهیز در حد مونتاز
					طراحی و ساخت کاملاً بومی

### ۳- ادوات Power Plant Devices

جدول (۱-۷). تعیین هریک از کمیت‌های مورد بررسی در زمینه هریک از تجهیزات الکترونیک قدرت

Gas turbine Power Conditioning System	Pumped hydro storage	Excitation system	تجهیز	کمیت
			تعداد*	ظرفیت (تعداد) موردنیاز در ۱۰ سال آینده در داخل کشور
			ظرفیت ( $V_{DCmax}$ , $I_{DCmax}$ ) (MVA)	
				رنج قیمت هرواحد
				نرخ رشد بازار در ۱۰ سال آینده در داخل کشور
			%	درصد ارزش افزوده*
			تعداد	پیش بینی ظرفیت

			ظرفیت ( $V_{DCmax}$ , $I_{DCmax}$ ) (MVA)	(تعداد) صادرات به سایر کشورها
--	--	--	---	----------------------------------

\* به منظور سهولت در پاسخگویی میزان حجم مورد نیاز از تجهیزات بر اساس دو واحد تعداد و ظرفیت در نظر گرفته شده است که به دلخواه به یکی از آن‌ها پاسخ دهید.

\* منظور از درصد ارزش افزوده، درصد استاندارد بین المللی در زمان حال می‌باشد.

یکی از گام‌های مورد نیاز برای اولویت‌بندی تجهیزات ارزیابی میزان توانمندی بالفعل کشور در هریک از حوزه‌های فناورانه بر مبنای شاخص بین المللی " ارزیابی آمادگی تکنولوژی " می‌باشد. که به اقتضای تجهیزات مورد بررسی در این سند، مورد پایش و بومی‌سازی قرار گرفته است. در ابتدایی‌ترین سطح مورد بررسی، آگاهی از کاربرد تجهیز در نظر گرفته شده است، در این سطح تنها اطلاع از چگونگی استفاده و بهره برداری از تجهیز وجود دارد. در سطوح بالاتر، با توجه به افزایش سطح توانمندی کشور در حوزه‌های مورد بررسی، سطح تدوین مشخصات فنی تجهیز برای ارائه به سازنده، سپس سطح طراحی و ساخت نمونه پایلوت در محیط آزمایشگاهی و تست نمونه ساخت شده در یک محیط عملیاتی و سپس سطح طراحی و ساخت نمونه عملیاتی و تست تجهیز در محیط صنعتی در نظر گرفته شده است. و در سطوح بالاتر که کشور وارد سطح ساخت تجهیز شده است، سطح ساخت تجهیز در حد مونتاژ، و سطح طراحی و ساخت کاملاً بومی و طراحی داخلی قطعات در نظر گرفته شده است. جدول (۴-۲)، با توجه به توضیحات مذکور، به منظور ارزیابی میزان توانمندی بالفعل کشور در زمینه هریک از تجهیزات الکترونیک قدرت تدوین شده است.

جدول (۱-۸). میزان توانمندی بالفعل کشور

Gas turbine Power Conditioning System	Pumped hydro storage	Excitation system	پتانسیل بالفعل
			آگاهی از کاربرد تجهیز
			تدوین مشخصات فنی تجهیز
			طراحی و ساخت نمونه آزمایشگاهی
			طراحی و ساخت نمونه

<sup>1</sup> Technology Readiness Assessment (TRA)

Gas turbine Power Conditioning System	Pumped hydro storage	Excitation system	پتانسیل بالفعل
			عملیاتی
			ساخت تجهیز در حد مونتاژ
			طراحی و ساخت کاملاً بومی

## ۴- ادوات FACTS

جدول (۹-۱). تعیین هریک از کمیت‌های مورد بررسی در زمینه هریک از تجهیزات الکترونیک قدرت

STATCOM	TCT- Thyristor-Controlled Transformer	TSC-Thyristor-Controlled Reactor	TCR- Thyristor-Controlled Reactor	تجهیز	کمیت
					ظرفیت (تعداد)
				تعداد*	مورد نیاز در ۱۰ سال آینده در داخل کشور
				ظرفیت (MVAR, MVA)	رنج قیمت هر واحد
					نرخ رشد بازار در ۱۰ سال آینده در داخل کشور
				%	درصد ارزش افزوده*
				تعداد	پیش بینی ظرفیت (تعداد) صادرات به سایر کشورها
				ظرفیت (MVAR, MVA)	

\* به منظور سهولت در پاسخگویی میزان حجم مورد نیاز از تجهیزات بر اساس دو واحد تعداد و ظرفیت در نظر گرفته شده است که به دلخواه به

یکی از آن‌ها پاسخ دهید.

\* منظور از درصد ارزش افزوده، درصد استاندارد بین المللی در زمان حال می‌باشد.



یکی از گام‌های موردنیاز برای اولویت‌بندی تجهیزات ارزیابی میزان توانمندی بالفعل کشور در هریک از حوزه‌های فناوریانه بر مبنای شاخص بین‌المللی "ارزیابی آمادگی تکنولوژی"<sup>۱</sup> می‌باشد. که به اقتضای تجهیزات مورد بررسی در این سند، مورد پایش و بومی‌سازی قرار گرفته است. در ابتدایی‌ترین سطح مورد بررسی، آگاهی از کاربرد تجهیز در نظر گرفته شده است، در این سطح تنها اطلاع از چگونگی استفاده و بهره‌برداری از تجهیز وجود دارد. در سطوح بالاتر، با توجه به افزایش سطح توانمندی کشور در حوزه‌های مورد بررسی، سطح تدوین مشخصات فنی تجهیز برای ارائه به سازنده، سپس سطح طراحی و ساخت نمونه پایلوت در محیط آزمایشگاهی و تست نمونه ساخت شده در یک محیط عملیاتی و سپس سطح طراحی و ساخت نمونه عملیاتی و تست تجهیز در محیط صنعتی در نظر گرفته شده است. و در سطوح بالاتر که کشور وارد سطح ساخت تجهیز شده است، سطح ساخت تجهیز در حد مونتاژ، و سطح طراحی و ساخت کاملاً بومی و طراحی داخلی قطعات در نظر گرفته شده است. جدول (۵-۲)، با توجه به توضیحات مذکور، به منظور ارزیابی میزان توانمندی بالفعل کشور در زمینه هریک از تجهیزات الکترونیک قدرت تدوین شده است.

جدول (۱-۱). میزان توانمندی بالفعل کشور

STATCOM	TCT- Thyristor- Controlled Transformer	TSC-Thyristor- Controlled Reactor	TCR- Thyristor- Controlled Reactor	پتانسیل بالفعل
				آگاهی از کاربرد تجهیز
				تدوین مشخصات فنی تجهیز
				طراحی و ساخت نمونه آزمایشگاهی
				طراحی و ساخت نمونه عملیاتی
				ساخت تجهیز در حد مونتاژ
				طراحی و ساخت کاملاً بومی

<sup>1</sup> Technology Readiness Assessment (TRA)

## ۵- ادوات HVDC/MVDC Converter Stations

جدول (۱-۱۱) تعیین هریک از کمیت‌های مورد بررسی در زمینه هریک از تجهیزات الکترونیک قدرت

VSC Based MVDC	کمیت	
	تعداد*	ظرفیت (تعداد) موردنیاز در ۱۰ سال آینده در داخل کشور
	ظرفیت (MW و KV)	رنج قیمت هرواحد
		نرخ رشد بازار در ۱۰ سال آینده در داخل کشور
	%	درصد ارزش افزوده*
	تعداد	پیش بینی ظرفیت (تعداد) صادرات به سایر کشورها
	ظرفیت (MW و KV)	

\* به منظور سهولت در پاسخگویی میزان حجم موردنیاز از تجهیزات بر اساس دو واحد تعداد و ظرفیت در نظر گرفته شده است که به دلخواه به

یکی از آن‌ها پاسخ دهید.

\* منظور از درصد ارزش افزوده، درصد استاندارد بین المللی در زمان حال می‌باشد.

یکی از گام‌های موردنیاز برای اولویت‌بندی تجهیزات ارزیابی میزان توانمندی بالفعل کشور در هریک از حوزه‌های فناورانه بر مبنای شاخص بین المللی " ارزیابی آمادگی تکنولوژی " می‌باشد. که به اقتضای تجهیزات مورد بررسی در این سند، مورد پایش و بومی‌سازی قرار گرفته است. در ابتدایی‌ترین سطح مورد بررسی، آگاهی از کاربرد تجهیز در نظر گرفته شده است، در این سطح تنها اطلاع از چگونگی استفاده و بهره برداری از تجهیز وجود دارد. در سطوح بالاتر، با توجه به افزایش سطح توانمندی کشور در حوزه‌های مورد بررسی، سطح تدوین مشخصات فنی تجهیز برای ارائه به سازنده، سپس سطح طراحی و ساخت نمونه پایلوت در محیط آزمایشگاهی و تست نمونه ساخت شده در یک محیط عملیاتی و سپس سطح طراحی و ساخت نمونه عملیاتی

<sup>1</sup> Technology Readiness Assessment (TRA)

و تست تجهیز در محیط صنعتی در نظر گرفته شده است. و در سطوح بالاتر که کشور وارد سطح ساخت تجهیز شده است، سطح ساخت تجهیز در حد مونتاژ، و سطح طراحی و ساخت کاملاً بومی و طراحی داخلی قطعات در نظر گرفته شده است. جدول (۶-۲)، با توجه به توضیحات مذکور، به منظور ارزیابی میزان توانمندی بالفعل کشور در زمینه هریک از تجهیزات الکترونیک قدرت تدوین شده است.

جدول (۱-۱۲) میزان توانمندی بالفعل کشور

VSC Based MVDC	پتانسیل بالفعل
	آگاهی از کاربرد تجهیز
	تدوین مشخصات فنی تجهیز
	طراحی و ساخت نمونه آزمایشگاهی
	طراحی و ساخت نمونه عملیاتی
	ساخت تجهیز در حد مونتاژ
	طراحی و ساخت کاملاً بومی

## مراجع

- [1] Chiesa, V., 2001. R & D strategy and organisation: managing technical change in dynamic contexts. Imperial College Pr.
- [2] Ford, D., 1988. Develop your technology strategy. Long Range Planning 21, 85-95.
- [3] Tidd, J., Bessant, J.R., 2009. Managing innovation: integrating technological, market and organizational change. Wiley Chichester.
- [۴] E. P. Office, ed, 2013.
- [۵] Energy.gov, "Wind Program Budget. Retrieved from Office of Energy Efficiency and Renewable Energy," 2014.
- [۶] I. E. Agency, "Technology Roadmap: Wind Energy. ۲۰۱۳ ",
- [۷] REN21, "Renewables 2013 global status report," 2013.
- [۸] T. s. portal. (2013). *Global market share of the world's leading wind turbine manufacturers in 2013, based on sales in gigawatts*. Available:  
<http://www.statista.com/statistics/272813/market-share-of-the-leading-wind-turbine-manufacturers-worldwide/>
- [۹] G. t. media. (2013). *A Record Year for World Wind Power in 2012*. Available:  
<http://www.greentechmedia.com/articles/read/A-Record-Year-for-World-Wind-Power-in-2012>
- [۱۰] C. Tech. (2013). *WIND TURBINE MANUFACTURERS - GLOBAL MARKET SHARES*  
Available: <http://www.cleantechinvestor.com/portal/wind-energy/10502-wind-turbine-manufacturers-global-market-shares.html>
- [۱۱] M. A. a. P. Maegaard, "Worldwide Wind Turbine Market and Manufacturing Trends," 2008.

- [۱۲] Reuters. (2013). *Tax break extension breathes new life into U.S. wind Power*. Available: <http://www.reuters.com/article/2013/01/03/us-usa-fiscal-greentech-idUSBRE90201020130103>
- [۱۳] Bloomberg. (2012). *Sinovel to Put 351 Workers on Leave Amid Slup in Turbine Sales*. Available: <http://www.bloomberg.com/news/2012-11-15/sinovel-to-put-351-workers-on-leave-amid-slump-in-turbine-sales.html>
- [۱۴] S. a. Sawyer, "Global Wind Report–Annual Market Update 2012," 2013.
- [۱۵] B. News. (2012). *Wind Turbine Manufacturer Suzlon to Default on Bond Debt*. Available: <http://www.bloomberg.com/news/2012-10-11/suzlon-energy-said-to-plan-default-today-on-209-million-of-debt.html>
- [۱۶] E. E. a. R. Energy., "2013 Wind Technology Market Report," 2013.
- [۱۷] I. R. E. Agency, "RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES," 2012.
- [۱۸] C. Breyer, C. Birkner, J. Meiss, J. C. Goldschmidt, and M. Riede, "A top-down analysis: Determining photovoltaics R&D investments from patent analysis and R&D headcount," *Energy Policy*, vol. 62, pp. 1570-1580, 2013.
- [۱۹] s. e. power, "the US photovoltaic industry roadmap " 2003.
- [۲۰] R. B. S. C. a. P. AG, "Directions for the solar economy: PV-Roadmap 2020," 2010.
- [۲۱] M. Frondel, N. Ritter, C. M. Schmidt, and C. Vance, "Economic impacts from the promotion of renewable energy technologies: The German experience," *Energy Policy*, vol. 38, pp. 4048-4056, 2010.
- [۲۲] C. Breyer and A. Gerlach, "Global overview on grid-parity," *Progress in photovoltaics: Research and Applications*, vol. 21, pp. 121-136, 2013.

- [۲۳] E. Union, "Analysis Part I: Investment and performance in R&D – Investing in the future," 2011.
- [۲۴] G. Research. (2013). Global Inverter Taxonomy 2013. Available:  
<http://www.greentechmedia.com/research/report/the-global-pv-inverter-landscape-2013>
- [۲۵] B. N. E. Finance, "PV production 2013: an all-Asian affair," 2014.
- [۲۶] N. D. Galen Barbose, Samantha Weaver, Ryan Wiser, "Tracking the Sun VI," Environmental Energy Technologies Division, Lawrence Berkeley National Laboratory 2012.
- [۲۷] J. S. a. p. report, "PV Status report 2013," 2013.
- [۲۸] [http://worldwide.espacenet.com/classification?locale=en\\_EP#!/CPC=Y02E10/763](http://worldwide.espacenet.com/classification?locale=en_EP#!/CPC=Y02E10/763)
- [۲۹] <http://ieeexplore.ieee.org>
- [۳۰] EPO, "The European Patent Office," Available:  
[http://worldwide.espacenet.com/advancedSearch?locale=en\\_EP](http://worldwide.espacenet.com/advancedSearch?locale=en_EP), 2013.

## فهرست مطالب

مقدمه	۲
۱-۱- زنجیره ارزش در سطح بنگاه	۲
۱-۱-۱- ارزش	۲
۱-۱-۲- فعالیت ارزشی	۲
۱-۱-۳- زنجیره ارزش	۳
۱-۱-۴- فعالیتهای اصلی و پشتیبانی	۴
۱-۱-۴-۱- فعالیتهای اصلی	۶
۱-۱-۵- انواع فعالیتهای اصلی و پشتیبانی	۸
۱-۱-۵-۱- فعالیتهای مستقیم	۹
۱-۱-۵-۲- فعالیتهای غیر مستقیم	۹
۱-۱-۵-۳- فعالیتهای تضمین کیفیت	۹
۱-۱-۶- بهره هزینه‌ای و زنجیره ارزش	۱۰
۱-۱-۷- تمایز و زنجیره ارزش	۱۱
۱-۱-۸- برون سپاری فعالیتهای زنجیره ارزش	۱۲
۲-۱- زنجیره ارزش صنعت	۱۲
۲-۱-۱- چارچوب زنجیره ارزش	۱۴
۲-۲-۱- عوامل ساختاری	۱۴
۲-۳-۱- انواع زنجیره ارزش	۱۶
۲-۴-۱- اهمیت شناخت زنجیره ارزش	۱۷
مقدمه	۲۰

- ۱-۲-زنجیره ارزش تجهیزات الکترونیک قدرت ..... ۲۰
- ۲-۲-طراحی و ساخت R&D و صنعتی ..... ۲۰
- ۱-۲-۲-مواد و تجهیزات اولیه ..... ۲۱
- ۲-۲-۲-سازندگان و یکپارچه سازان ..... ۲۱
- ۳-۲-بهره برداری ..... ۲۱
- مقدمه ..... ۳۱
- ۱-۳-ظرفیتهای دانشی ..... ۳۱
- ۲-۳-شرکتهای فعال ..... ۳۸
- ۱-۲-۳-شرکت مکو ..... ۳۹
- ۲-۲-۳-شرکت نیان الکترونیک ..... ۴۰
- ۳-۲-۳-شرکت هژیر صنعت ..... ۴۲
- ۴-۲-۳-شرکت یکتا بهین توان (یکتا بهان) ..... ۴۳
- ۵-۲-۳-شرکت مهندسان مشاور بهراد ..... ۴۴
- ۶-۲-۳-شرکت مهندسی صدر کنترل سینا ..... ۴۵
- ۷-۲-۳-شرکت فاراتل ..... ۴۵
- ۸-۲-۳-شرکت صنایع الکترونیک فاران ..... ۴۸
- ۹-۲-۳-مرکز تحقیقات الکترونیک فطروسی ..... ۵۰
- ۱۰-۲-۳-جهاد دانشگاهی علم و صنعت ..... ۵۲
- ۱۱-۲-۳-جهاد دانشگاهی خواجه نصیر ..... ۵۳
- ۱۲-۲-۳-پارک علم و فناوری استان کرمان ..... ۵۵
- ۱۳-۲-۳-پژوهشگاه نیرو ..... ۵۶
- ۴-نتیجه گیری ..... ۵۸





۵- پیوست ..... ۶۰

۶- مراجع ..... ۷۱

## فهرست اشکال

- شکل (۱-۱): پیوندهای چهارگانه موجود در یک زنجیره ارزش ساده..... ۴
- شکل (۲-۱): زنجیره ارزش شامل فعالیت های اصلی و پشتیبانی..... ۵
- شکل (۳-۱): فعالیت های اصلی زنجیره ارزش..... ۶
- شکل (۴-۱): سیستم ارزش..... ۱۲
- شکل (۵-۱): زنجیره ارزش صنعت..... ۱۳
- شکل (۱-۲): زنجیره ارزش تجهیزات الکترونیک قدرت..... ۲۲
- شکل (۲-۲): مواد و تجهیزات اولیه بخش الکترونیک قدرت..... ۲۳
- شکل (۳-۲): مواد و تجهیزات اولیه بخش قدرت..... ۲۴
- شکل (۴-۲): مواد و تجهیزات اولیه بخش کنترل و مانیتورینگ..... ۲۵

## فهرست جداول

\_Toc425324693

۲۶	جدول (۱-۲): تجهیزات و مواد اولیه
۲۸	جدول (۲-۲): پتانسیلها
۳۱	جدول (۱-۳): متخصصان الکترونیک قدرت
۴۰	جدول (۲-۳): اطلاعات تماس شرکت مکو
۴۰	جدول (۳-۳): اطلاعات تماس شرکت نیان الکترونیک
۴۲	جدول (۴-۳): اطلاعات تماس شرکت هژیر صنعت
۴۴	جدول (۵-۳): اطلاعات تماس شرکت یکتا بهین توان
۴۴	جدول (۶-۳): اطلاعات تماس شرکت مهندسان مشاور بهراد
۴۵	جدول (۷-۳): اطلاعات تماس شرکت مهندسی صدر کنترل سینا
۴۸	جدول (۸-۳): اطلاعات تماس شرکت فاراتل
۴۹	جدول (۹-۳): اطلاعات تماس شرکت فاران
۵۲	جدول (۱۰-۳): اطلاعات تماس مرکز تحقیقات الکترونیک فطوسی
۵۳	جدول (۱۱-۳): اطلاعات تماس جهاد دانشگاهی علم و صنعت
۵۵	جدول (۱۲-۳): اطلاعات تماس شرکت جهاد دانشگاهی خواجه نصیرالدین طوسی
۵۶	جدول (۱۳-۳): اطلاعات تماس پارک علم و فناوری کرمان
۵۷	جدول (۱۴-۳): اطلاعات تماس پژوهشگاه نیرو

## فصل اول

### ادبیات زنجیره ارزش

## مقدمه

برای بررسی زنجیره ارزش، تعریف مفهوم ارزش، فعالیت و انواع آن ضروری به نظر می‌رسد. به همین منظور در ابتدا به تشریح مفاهیم اولیه پرداخته و در ادامه، بر روی شناسایی و تحلیل زنجیره ارزش بر پایه این مفاهیم تمرکز شده است.

### ۱-۱- زنجیره ارزش در سطح بنگاه

#### ۱-۱-۱- ارزش

ارزش مبلغی است که خریدار در ازای کالا یا خدمتی که سازمان برای او فراهم می‌کند، مایل به پرداخت آن است. در صورتی که ارزش دریافتی بیش از هزینه‌ای باشد که صرف تهیه محصول شده است، سازمان سود برده است. در تحلیل موقعیت رقابتی سازمان‌ها، بهره‌گیری از مفهوم ارزش به جای قیمت مناسب‌تر است. جهت بررسی ارزش و همچنین نحوه ایجاد آن در سازمان، از مفهوم زنجیره ارزش کمک گرفته می‌شود. زنجیره ارزش نشان دهنده مجموعه فعالیت‌هایی است که برای ایجاد ارزش صورت می‌گیرد. این فعالیت‌ها، فعالیت‌های ارزشی نامیده می‌شوند. باید در نظر داشت که ارزش ایجاد شده و یا ارزش افزوده تنها ناشی از فعالیت‌های ارزشی صورت گرفته بر روی کالا یا خدمات ارائه شده نیست، بلکه حاشیه سود را نیز در بر می‌گیرد؛ این مفاهیم در ادامه توضیح داده خواهند شد.

#### ۱-۱-۲- فعالیت ارزشی

فعالیت‌های ارزشی، کلیه فعالیت‌های فیزیکی و مربوط به فناوری هستند که سازمان به وسیله آن‌ها محصول خود را برای خریدار دارای ارزش می‌سازد. این فعالیت‌ها در واقع بلوک‌های سازنده عملکرد سازمان هستند. فعالیت‌های ارزشی، ورودی‌های ضروری، منابع انسانی (نیروی کار یا نیروی مدیریتی) و گونه‌ای از فناوری مورد نیاز را جهت انجام فعالیت‌های خاص بکار می‌گیرد. با این تعریف مشخص می‌شود که حاشیه سود، تفاوت بین کل ارزش و مجموع هزینه‌ای است که صرف اجرای فعالیت‌های

ارزشی شده است؛ جهت بررسی حاشیه سود می‌بایست در نظر داشت که زنجیره ارزش، تامین‌کننده سود و کانال‌های توزیع نیز دارای حاشیه سود است؛ بنابراین جهت تشخیص منابع ۱ هزینه شده جهت ارائه خدمت یا تولید محصول یک سازمان، می‌بایست حاشیه سود تامین‌کننده و کانال‌های توزیع را نیز در نظر گرفت. چرا که این حاشیه‌های سود نیز بخشی از قیمت نهایی است که به خریدار تحمیل می‌شود.

### ۱-۱-۳- زنجیره ارزش

مفهوم زنجیره ارزش، با توجه به تعریف فعالیت‌های ارزشی قابل تعریف است و به نوعی نشان‌دهنده کلیه فعالیت‌هایی است که در ایجاد ارزش برای محصول یا خدمت سازمان، نقش دارند. بر این اساس، کلیه فعالیت‌های ارزشی را می‌توان بر اساس نقش و تاثیر آنها در زنجیره ارزش سازمان دسته‌بندی کرد. در ادامه به این تقسیم‌بندی اشاره می‌شود. در شکل (۱-۱) پیوندهای بین عناصر یک زنجیره ارزش نشان داده شده است. به عنوان نمونه، تولید، به خودی خود تنها یکی از پیوندهای خلق ارزش افزوده در زنجیره می‌باشد. علاوه بر این در درون هر کدام از این پیوندها نیز فعالیت‌هایی به عنوان زیرمجموعه وجود دارد. این فعالیت‌ها دارای یک ماهیت دو طرفه می‌باشند. به عنوان مثال می‌توان گفت که عوامل متخصص در امر طراحی محصول، تنها بر روی فرآیند تولید تاثیر نمی‌گذارند؛ بلکه از سوی دیگر توسط یک سری محدودیت‌ها و قیود اجباری موجود در پیوندهای پایین‌دستی زنجیره مورد تاثیر قرار می‌گیرند. به طور کلی کارکردهای کسب و کار زنجیره ارزش به پنج حوزه تقسیم شده‌اند:

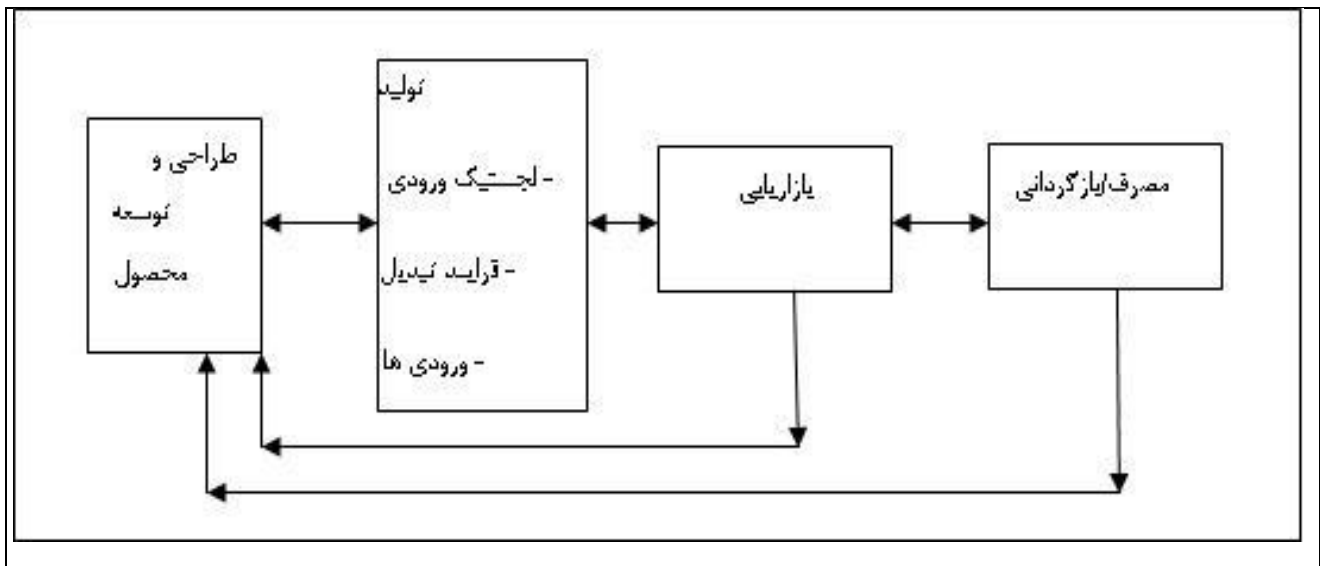
۱. تحقیق و توسعه

۲. طراحی محصولات، خدمات و یا فرآیندها

۳. تولید

۴. بازاریابی و فروش

۵. خدمات مشتری



شکل (۱-۱): پیوندهای چهارگانه موجود در یک زنجیره ارزش ساده

### ۱-۱-۴- فعالیت‌های اصلی<sup>۲</sup> و پشتیبانی<sup>۳</sup>

فعالیت‌های ارزشی می‌توانند به دو دسته کلی اصلی و پشتیبانی تقسیم شوند. فعالیت‌های اصلی فعالیت‌هایی هستند که در تولید محصول، فروش و انتقال آن به خریدار و خدمات پس از فروش درگیر هستند. این نوع فعالیت‌ها را همانطور که در شکل (۱-۲) نشان داده شده است، می‌توان در پنج دسته کلی تقسیم‌بندی کرد. این دسته بندی شامل تامین کالا<sup>۴</sup>، عملیات، حمل و نقل محصول<sup>۵</sup>، بازاریابی و فروش و خدمات پس از فروش است. در کنار فعالیت‌های اصلی، فعالیت‌های پشتیبانی با تدارک نیازها، منابع انسانی و فعالیت‌های مختلف مربوط به کل سازمان، از فعالیت‌های اصلی و از یکدیگر پشتیبانی می‌کنند. فعالیت‌های پشتیبانی را نیز می‌توان به چهار دسته‌ی تدارکات، مدیریت منابع انسانی، توسعه تکنولوژی و فعالیت‌های زیر ساختی<sup>۶</sup> تقسیم کرد.

<sup>۲</sup>Primary Activities

<sup>۳</sup>Supportive Activities

<sup>۴</sup>In bounded Logistics

<sup>۵</sup>Out bounded Logistics

<sup>۶</sup>Firm Infrastructure



شکل (۱-۲): زنجیره ارزش شامل فعالیت های اصلی و پشتیبانی

فعالیت‌هایی از جنس تدارکات، مدیریت منابع انسانی و توسعه‌ی تکنولوژی، فعالیت‌هایی هستند که می‌توانند با یکی از فعالیت‌های اصلی به طور خاص مرتبط شوند، در حالیکه همچنان کل زنجیره ارزش را نیز پوشش می‌دهند. در حالیکه فعالیت‌های زیر ساختی سازمان معمولاً با یک فعالیت خاص مرتبط نمی‌شوند و همواره کل زنجیره ارزش را پشتیبانی می‌کند.

فعالیت‌های ارزشی، بلوک‌های سازنده مزایای رقابتی هستند. اینکه اجرای فعالیت با چه هزینه‌ای صورت می‌پذیرد، نشان دهنده‌ی آن است که سازمان نسبت به رقبایش کم هزینه‌تر یا پرهزینه‌تر است. همچنین نحوه اجرای فعالیت، تعیین‌کننده نقش آن در تامین نیازهای خریدار و بنابراین تمایز سازمان است. برای هر فعالیت، معیاری به نام "هزینه فعالیت"<sup>۸</sup> در نظر گرفته می‌شود که به نوعی بیانگر هزینه‌ای است که سازمان صرف اجرای آن فعالیت می‌کند. هزینه‌ی اجرای فعالیت، بدون در نظر گرفتن قیمت ورودی‌هایی که برای اجرای آن به کار برده شده‌اند، به‌درستی فهمیده نمی‌شود. اصولاً به همین خاطر است که از مفهوم ارزش به جای ارزش افزوده<sup>۹</sup> در این بحث استفاده شده است. ارزش افزوده، در نمایان ساختن ارتباط بین یک سازمان و تامین‌کننده‌های آن، که می‌تواند هزینه‌ی اجرای فعالیت‌ها را کاهش داده و مولفه‌های تمایز را افزایش دهد، ناتوان است. برای مثال در ارتباط بین یک کارگاه شیرینی‌سازی و کارخانه تهیه شکلات، در صورتی که ارتباط بین دو سازمان به شکلی باشد که لازم نباشد کارخانه‌ی تهیه شکلات، شکلات‌ها را به شکل جامع تحویل دهد و کارگاه شیرینی‌سازی مجبور باشد شکلات‌ها را

<sup>7</sup>differentiation<sup>8</sup>Economics of Activities<sup>9</sup>Added Value



دوباره ذوب کند و تحویل شکلات به صورت مایع، توسط تانکر انجام شود، منجر به صرفه‌جویی برای هر دو طرف می‌شود؛ به این صورت دیگر هزینه‌های ذوب و انجماد به کارگاه شیرینی‌سازی و کارخانه شکلات‌سازی تحمیل نمی‌شود.

### ۱-۱-۴-۱-۱- فعالیت‌های اصلی

همانطور که توضیح داده شد، فعالیت‌های اصلی را می‌توان در پنج دسته کلی تقسیم‌بندی کرد که توضیح هر یک از این فعالیت‌ها در شکل (۳-۱) آمده است.



شکل (۳-۱): فعالیت‌های اصلی زنجیره ارزش

فعالیت‌های فوق بسته به نوع سازمان مورد بحث، می‌توانند تعیین‌کننده مزیت رقابتی برای سازمان باشند. به عنوان نمونه برای یک توزیع‌کننده، تامین کالا و حمل و نقل محصول مهمترین فعالیت هستند. فعالیت‌هایی برای یک سازمان خدماتی (مانند رستوران یا خرده فروش) نقش حیاتی یا اساسی دارند که ارائه دهنده‌ی خدماتی باشند که سازمان متعهد به ارائه‌ی آنها بوده است. بنابراین فعالیت‌های عملیاتی برای این سازمان‌ها، مهمترین فعالیت به شمار می‌رود. برای بانکی که متعهد به دادن وام به شرکت‌ها می‌شود، بازاریابی و فروش مهمترین مزایای رقابتی محسوب می‌شوند که این فعالیت‌ها وابسته به موثر بودن فراخوانی و شیوه ارائه و قیمت گذاری وام‌ها است. بنابراین در هر سازمان، تقسیم‌بندی‌های مربوط به فعالیت‌های اصلی تا چند مرتبه انجام می‌شود و هر کدام نقشی را در مزایای رقابتی بر عهده دارند.

### ۱-۱-۴-۲- فعالیت‌های پشتیبانی

فعالیت‌های پشتیبانی همانطور که توضیح داده شد، به چهار دسته تدارکات، مدیریت منابع انسانی، توسعه تکنولوژی و فعالیت‌های زیر ساختی تقسیم می‌شوند؛ این تقسیم‌بندی‌ها به زیر گروه‌های بیشتری نیز قابل تقسیم‌اند.

#### ۱. تدارکات

تدارکات، به خریداری و تامین نیازهای اولیه در زنجیره‌ی ارزش سازمان اشاره دارد که شامل خرید مواد خام، ملزومات و اقلام مصرفی از قبیل ماشین آلات، تجهیزات آزمایشگاهی، تجهیزات اداری و ساختمان‌ها نیز می‌شود. به نظر می‌رسد این نوع ورودی‌ها به طور معمول با فعالیت‌های اصلی مرتبط‌اند، در حالیکه با کلیه‌ی فعالیت‌های ارزشی اعم از اصلی و پشتیبانی ارتباط دارند. به عنوان نمونه، ملزومات آزمایشگاهی و خدمات مرتبط با آن، نیازهایی هستند که جزو فعالیت‌های پشتیبانی توسعه‌ی فناوری به حساب می‌آیند. بنابراین این نوع فعالیت‌ها مربوط به سراسر سازمان می‌شوند؛ به این صورت که برخی از اقلام مانند مواد خام، توسط دپارتمان خرید (به مفهوم سنتی آن) خریداری می‌شوند، برخی دیگر توسط مدیر پروژه (مانند ماشین آلات)، برخی توسط مامورین خرید (مانند وعده‌های غذایی و مسکن) و برخی توسط مدیر اجرایی (مانند مشاوره‌های استراتژیک). همچنین فعالیت‌های تدارکاتی، همانند بقیه فعالیت‌های ارزشی، به کارگیرنده‌ی فناوری هستند. برای مثال فرآیندهای برخورد با مشتریان، قوانین سنجش آنها و سیستم‌های اطلاعات، هر یک فناوری‌های مخصوص به خود را دارند.

## ۲. توسعه ی فناوری

هر فعالیت، در برگیرنده ی فناوری، مهارت استفاده از آن و رویه های<sup>۱۰</sup> مخصوص به خود است. بکارگیری فناوری های مختلف در یک صنعت بسیار وسیع می باشد. از فناوری هایی که از آماده سازی مستندات و انتقال محصول به کار گرفته می شوند تا آنهایی که در تهیه ی خود محصول نقش دارند. علاوه بر این، اغلب فعالیت های ارزشی، نوعی از فناوری را بکار می گیرند که ترکیب تعدادی از فناوری های مختلفی است که در برگیرنده ی نظام علمی متفاوتی هستند. برای مثال فناوری ماشین کاری شامل فناوری های مورد بحث در علوم متالورژی، الکترونیک و مکانیک است. این نوع فعالیت ها می توانند شکل های مختلفی داشته باشند؛ از تحقیقات پایه و طراحی محصول گرفته تا طراحی تجهیزات فرآیندی و رویه های خدمات رسانی. فعالیت هایی از نوع توسعه ی فناوری که با محصول مرتبط باشند، کل زنجیره را پشتیبانی می کنند. این در حالی است که سایر فعالیت های توسعه ی فناوری، مربوط به فعالیت های خاص اصلی یا پشتیبانی هستند.

## ۳. مدیریت منابع انسانی

مدیریت منابع انسانی شامل کلیه ی فعالیت هایی است که در ارتباط با استخدام، آموزش، حقوق و مزایای پرسنل می باشند؛ اینگونه فعالیت ها، هم فعالیت های اصلی و پشتیبانی را به طور خاص (مانند استخدام مهندس برای دپارتمان های مختلف) و هم کل زنجیره ی ارزش سازمان (مانند تعدیل در فرآیند خصوصی سازی) را پشتیبانی می کنند.

## ۴. فعالیت های زیر ساختی

فعالیت های زیر ساختی سازمان، فعالیت هایی است که شامل مدیریت، برنامه ریزی، امور مالی، حسابداری، قانونی، مدیریت کیفیت و حتی اتفاقات سیاسی می شود. فعالیت های زیر ساختی اغلب تمامی زنجیره ارزش را پشتیبانی می کنند.

## ۱-۱-۵- انواع فعالیت های اصلی و پشتیبانی

فعالیت های ارزشی اعم از اصلی و پشتیبانی را می توان بر اساس نقش متفاوتی که در مزایای رقابتی ایفا می کنند، به سه نوع فعالیت های مستقیم، غیر مستقیم و تضمین کیفیت تقسیم کرد.

<sup>10</sup>procedure

### ۱-۱-۵-۱-۱-فعالیت‌های مستقیم

فعالیت‌هایی که مستقیماً در ایجاد ارزش برای خریدار درگیرند. برای مثال می‌توان به فعالیت‌هایی مانند مونتاژ محصول، ماشین‌کاری قطعات، عملکرد پرسنل فروش، تبلیغات و طراحی محصول اشاره کرد.

### ۱-۱-۵-۲-فعالیت‌های غیر مستقیم

فعالیت‌هایی که امکان انجام فعالیت‌های مستقیم را به طور پیوسته فراهم می‌کنند؛ مانند نگهداری، برنامه ریزی، کنترل عملکرد تجهیزات، مدیریت پرسنل فروش، مدیریت تحقیق و سیستم ثبت اطلاعات مربوط به مشتریان.

### ۱-۱-۵-۳-فعالیت‌های تضمین کیفیت<sup>۱۱</sup>

فعالیت‌هایی که کیفیت سایر فعالیت‌ها را تضمین می‌کنند؛ مانند مانیتورینگ، بازرسی و تست، تنظیم کردن<sup>۱۲</sup>. باید توجه داشت که تضمین کیفیت با مدیریت کیفیت تفاوت دارد. هر سازمانی فعالیت‌های ارزشی از هر سه نوع مستقیم، غیر مستقیم و تضمین کیفیت را دارد. این سه نوع فعالیت نه تنها در میان فعالیت‌های اصلی وجود دارند، بلکه در فعالیت‌های پشتیبانی نیز دیده می‌شوند؛ برای مثال در فعالیت پشتیبانی توسعه فناوری، فعالیت تیم‌های آزمایشگاهی فعالیت مستقیم و مدیریت تحقیق یک فعالیت غیرمستقیم است.

تفاوت فعالیت‌های غیر مستقیم و تضمین کیفیت، معمولاً به درستی فهمیده نمی‌شود. توانایی تمایز این سه نوع فعالیت یکی از مهمترین فاکتورها در تشخیص مزایای رقابتی است. در بسیاری از صنایع، فعالیت‌های غیرمستقیم سهم بزرگی در قیمت یا سرعت بخشیدن به رشد قیمت دارند و می‌توانند از طریق تاثیرشان بر فعالیت‌های مستقیم نقش مهمی در تمایز بازی کنند. اما از آنجا که معمولاً این دو نوع فعالیت، اقتصاد کاملاً متفاوتی دارند، به ندرت با یکدیگر در یک جا جمع می‌شوند. مدل زنجیره ارزش یک ابزار تحلیلی مفید برای شناسایی مزیت‌های رقابتی کلیدی در یک سازمان و فعالیت‌های آن می‌باشد، در حالتی که آن می‌تواند یک مزیت رقابتی را به صورت زیر دنبال نماید:

بهره هزینه‌ای<sup>۱۳</sup>: به فهم بهتری از هزینه‌ها در راستای کاهش آنها و یا به عبارتی خارج نمودن این هزینه‌ها از فعالیت‌های ارزش افزا برای سازمان اشاره دارد.

تمایز<sup>۱۴</sup>: به تمرکز بر فعالیت‌های مرتبط با قابلیت‌های اصلی و توانمندی‌های سازمانی به منظور اجرا و بکارگیری بهتر این فعالیت‌ها در مقایسه با رقیبان سازمان اشاره دارد.

### ۱-۱-۶- بهره هزینه‌ای و زنجیره ارزش

یک سازمان ممکن است با بکارگیری یکی از موارد زیر بهره هزینه‌ای مناسبی را برای خود ایجاد نماید. این موارد عبارتند از: کاهش هزینه‌ای مربوط به فعالیت‌های زنجیره ارزش یا بازسازی و طراحی مجدد زنجیره ارزش. زمانی که زنجیره ارزش تعریف شد. تحلیل هزینه‌های آن می‌تواند با تخصیص هزینه‌ها به فعالیت‌های زنجیره ارزش انجام پذیرد. این هزینه‌ها پس از تخصیص اولیه، طی یک گزارش تخصیص، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند و در صورت نیاز اصلاحات لازم در رابطه با مقدار و نحوه تخصیص هزینه به هر کدام از فعالیت‌های زنجیره ارزش انجام می‌گیرد تا از این طریق بتوان تخصیص بهینه هزینه‌ها را به فعالیت‌هایی که از قابلیت ارزش افزایی بالاتری برخوردارند، انجام داد. مایکل پورتر ۱۰ محرک هزینه‌ای مهم و مرتبط با فعالیت‌های زنجیره ارزش را به صورت زیر بیان می‌کند:

- صرفه جویی‌های مقیاس<sup>۱۵</sup>
- آموزش و یادگیری<sup>۱۶</sup>
- بهره‌برداری از ظرفیت<sup>۱۷</sup>
- پیوندهای بین فعالیت‌های زنجیره ارزش<sup>۱۸</sup>
- روابط متقابل میان واحدهای کسب و کار<sup>۱۹</sup>

<sup>13</sup>cost advantage

<sup>14</sup>differentiation

<sup>15</sup>economies of scale

<sup>16</sup>Learning

<sup>17</sup>capacity utilization

<sup>18</sup>linkages among activities

<sup>19</sup>interrelationships among business units

- میزان یکپارچگی عمودی<sup>۲۰</sup>
- زمان ورود به بازار<sup>۲۱</sup>
- خط مشی بنگاه در رابطه با هزینه یا تمایز<sup>۲۲</sup>
- موقعیت جغرافیایی<sup>۲۳</sup>
- عوامل نهادی<sup>۲۴</sup> (قوانین، فعالیتهای اتحادیه، مالیاتها و ...)

بنگاههای فعال در صنعت می‌توانند با کنترل محرک‌های ۱۰ گانه فوق، بهره‌هزینه‌ای مناسبی را نسبت به سایر رقبا برای خود ایجاد کنند. همانطور که قبلاً نیز اشاره شد یکی دیگر از راه‌های کسب بهره‌هزینه‌ای برای صنعت، بازسازی و طراحی مجدد زنجیره ارزش می‌باشد. بازسازی به این مفهوم که ایجاد تغییرات ساختاری از قبیل فرآیند جدید تولید، کانال‌های توزیع جدید یا یک رویکرد متفاوت در فروش محصولات، صورت می‌گیرد.

### ۱-۱-۷- تمایز و زنجیره ارزش

مزیت تمایز می‌تواند از هر کدام از بخش‌های مختلف زنجیره ارزش نشأت گیرد. برای مثال، خرید و تدارک ورودی‌هایی که از ویژگی‌های منحصر به فردی برخوردار هستند و از محدوده دسترسی بسیاری از رقبا خارج می‌باشند، می‌تواند به خلق مزیت تمایز منجر شود. در این رابطه موارد دیگری نیز وجود دارند که وجود آنها برای سازمان به منظور برخورداری از مزیت تمایز ضروری می‌باشد از جمله وجود کانال‌های توزیع کارآمد که سطوح خدمت رسانی بالاتری را به دنبال دارد به عنوان یک ابزار مهم در این زمینه مطرح می‌باشد.

20degree of vertical integration

21timing of market entry

22firm s policy of cost or differentiation

23geographic location

24institutional factors

### ۱-۱-۸- برون سپاری فعالیت‌های زنجیره ارزش

یک بنگاه ممکن است در انجام فعالیت‌های زنجیره ارزش، تنها بر روی تعداد خاصی از آنها تمرکز نموده و مابقی فعالیت‌ها را برون سپاری نماید. حال توجه به این موضوع که بنگاه کدام فعالیت‌ها را خود انجام داده و کدام یک از فعالیت‌های بالادستی یا پایین دستی زنجیره را برون سپاری می‌نماید به میزان یکپارچگی عمودی در آن بنگاه بستگی دارد.

در رابطه با اینکه کدام یک از فعالیت‌ها بایستی برون سپاری گردند، ابتدا مدیران سازمان بایستی نقاط قوت و ضعف سازمان را در مورد هر یک از فعالیت‌ها شناسایی نموده و فاکتورهای همچون میزان اثربخشی هزینه‌ها و قابلیت تمایز را نیز مورد بررسی قرار دهند. برخی دیگر از مواردی که مدیران در برون سپاری فعالیت‌های زنجیره ارزش مورد توجه قرار می‌دهند، عبارتند از:

- آیا فعالیت مورد نظر را می‌توان در شرایطی ارزاتر و با قابلیت‌های بهتری توسط تامین کنندگان انجام داد؟
- توجه به میزان ریسک انجام فعالیت در داخل بنگاه و مقایسه آن با ریسک برون سپاری.
- آیا برون سپاری فعالیت مورد نظر باعث بهبود فرآیند کسب و کار بنگاه، از قبیل؛ کاهش زمان انجام سفارش، انعطاف‌پذیری بالاتر، موجودی کمتر و ... خواهد شد؟

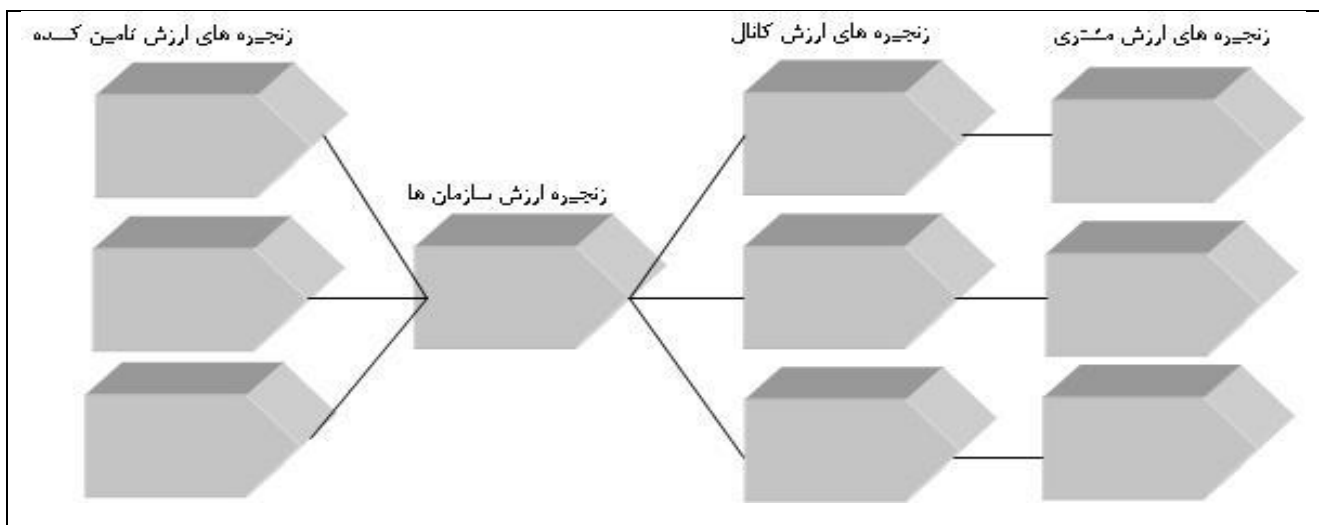
### ۱-۲- زنجیره ارزش صنعت

زنجیره ارزش یک بنگاه خود بخشی از یک سیستم بزرگتر با عنوان زنجیره ارزش صنعت می‌باشد که در برگیرنده زنجیره‌های ارزش تامین کنندگان بالادستی و مشتریان و کانال‌های پایین دستی می‌باشد. مایکل پورتر این مجموعه از زنجیره‌های ارزش را "سیستم ارزش"<sup>۲۵</sup> می‌نامد که در شکل (۱-۴) یک نمای کلی از آن مشاهده می‌شود



شکل (۱-۴): سیستم ارزش

همانطور که می‌دانیم یک صنعت خاص متشکل از بنگاه‌ها و شرکت‌های مختلفی می‌باشد که در حوزه‌های مختلف زنجیره تامین آن صنعت، از تامین مواد اولیه گرفته، تا تولید محصول نهایی و تحویل آن به مشتری حضور دارند از این رو، زنجیره ارزش یک صنعت، ترکیبی از زنجیره‌های ارزش بنگاه‌های فعال در آن صنعت می‌باشد که قرار گرفتن این زنجیره‌ها در کنار یکدیگر، نشان دهنده این مطلب است که محصول نهایی چطور پس از تولید به دست مشتری نهایی رسیده و برای



شکل (۱-۵): زنجیره ارزش صنعت

صنعت مربوطه ارزش خلق می‌کند. نمای کلی زنجیره ارزش صنعت در شکل (۱-۵) نشان داده شده است. همانطور که قبلاً نیز اشاره شد روابط بین فعالیت‌های زنجیره ارزش از اهمیت بالایی برخوردار است و اثربخشی این روابط بر روی عملکرد زنجیره ارزش بسته میزان یکپارچگی عمودی بین عناصر بنگاه می‌باشد، در تعریف یکپارچگی عمودی این چنین می‌توان گفت که در علم مدیریت و اقتصاد به عنوان یکی از روش‌های کنترل مدیریت مطرح می‌باشد. سازمان‌هایی که به صورت عمودی با یکدیگر ادغام شده‌اند به صورت یک مجموعه سلسله‌مراتبی با یک مالکیت مشترک بوده و معمولاً هر یک از اعضای این سلسله‌مراتبی، تولید کننده یک خدمت و یا محصول متفاوت (برای یک بازار خاص) می‌باشند که این محصولات با یکدیگر ترکیب شده و نیاز مشتریان را برآورده می‌سازند. با توجه به این موضوع، این روابط نه تنها در یک زنجیره ارزش وجود دارد بلکه در بین عناصر سیستم ارزش (زنجیره‌های ارزش) نیز وجود دارد. به‌طوری‌که هرچه میزان یکپارچگی عمودی بنگاه بالاتر باشد قابلیت تعامل با زنجیره‌های بالادستی و پایین‌دستی آن نیز در شرایط بهتری قرار خواهد گرفت و بر عکس.



## ۱-۲-۱- چارچوب زنجیره ارزش

زنجیره ارزش دربرگیرنده یکسری فعالیتها و خدماتی است که در ساخت یک محصول از مراحل اولیه و مفهومی تا مرحله تحویل به مشتری و ورود به بازارهای نهایی نقش اساسی ایفا می‌کنند. بازارهای نهایی ممکن است در سطوح مختلفی از جمله بازارهای محلی، ملی، منطقه‌ای و یا بین‌المللی باشند. زنجیره‌های ارزش شامل تامین‌کنندگان مواد اولیه، تولیدکنندگان، پردازشگران و خریداران می‌باشد که توسط مجموعه‌ای از ارائه‌دهندگان خدمات مالی، تجاری و فنی پشتیبانی می‌شوند. زنجیره ارزش دارای مولفه‌های ساختاری و پویا می‌باشد. ساختار زنجیره ارزش بر پویایی‌های رفتار بنگاه تاثیر می‌گذارد. فرآیند تحلیل زنجیره نیازمند بکارگیری چارچوب زنجیره ارزش به منظور شناسایی موارد زیر می‌باشد.

۱. ساختار زنجیره، دربرگیرنده کلیه عناصر منحصر به فرد و بنگاه‌هایی است که در یک صنعت خاص فعالیت می‌کنند و در خلق ارزش برای مشتری نقش داشته و به جابه‌جایی محصول تا بازار نهایی کمک می‌کنند.
۲. پویایی‌های زنجیره ارزش، که به عوامل تعیین‌کننده رفتار بنگاه‌های فعال در صنعت مورد نظر اشاره دارد و به بررسی تاثیر آنها بر کارایی و عملکرد زنجیره می‌پردازد.

## ۱-۲-۲- عوامل ساختاری

ساختار زنجیره ارزش در برگیرنده همه بنگاه‌های فعال در صنعت بوده که می‌توان آنها را در پنج دسته به صورت زیر طبقه‌بندی نمود:

- بازارهای نهایی: بازارهای نهایی به عنوان نقطه شروع تحلیل زنجیره ارزش محسوب می‌شوند. بازارهای نهایی به عنوان افراد در نظر گرفته می‌شوند، نه به عنوان یک موقعیت مکانی خاص. در واقع این بازارها، تعیین‌کننده مشخصه‌هایی از جمله قیمت، کیفیت، کمیت یک محصول یا خدمت موفق می‌باشند. خریداران حاضر در این بازارها یک عامل بسیار موثر در اعمال تغییرات بازار هستند. آنها منابع مهمی برای اطلاعات تقاضای محصول می‌باشند و به عنوان عناصر انتقال دهنده آموزش و یادگیری محسوب می‌شوند. تحلیل بازار نهایی فرصت‌های جاری و بالقوه بازار را از طریق انجام مصاحبات ساختار یافته با خریداران جاری و بالقوه تعیین و مورد ارزیابی قرار می‌دهد و به بررسی روندها، رقبای کنونی و آینده و سایر عوامل پویا می‌پردازد. در طول مدت زمان تحلیل

زنجیره، تمرکز اصلی تحلیل‌گران بایستی بر روی ظرفیت تولید فعلی و بالقوه زنجیره و توانایی آن در زمینه پاسخ‌گویی به تقاضای بازار قرار گیرد. به طور کلی می‌توان گفت که در تحلیل بازارهای نهایی توجه به این موضوع از اهمیت زیادی برخوردار است که ما بتوانیم نیازهای سرمایه‌گذاری، که باعث ارتقاء و بهبود در زنجیره ارزش می‌شود را شناسایی نماییم.

- محیط توانمندساز کسب و کار<sup>۲۶</sup>: به طور کلی زنجیره‌ها در یک محیط توانمندساز کسب و کار فعالیت می‌کنند. که می‌توانند در یکی از سطوح بین‌المللی، ملی و یا محلی قرار گیرد.
- پیوندهای عمودی: پیوندهای بین بنگاه‌های فعال در یک صنعت در سطوح مختلف زنجیره ارزش برای انتقال خدمت یا محصول نهایی به بازارهای نهایی یک موضوع بسیار حیاتی و مهم می‌باشد. همکاری عمودی بین بنگاه‌های فعال در صنعت منعکس‌کننده کیفیت روابط بین بنگاه‌های مرتبط با هم به صورت عمودی در بخش‌های بالادستی و پایین‌دستی زنجیره ارزش می‌باشد. معاملات کارا و اثربخش، بین بنگاه‌هایی که در یک زنجیره ارزش به صورت عمودی به هم پیوند خورده‌اند باعث افزایش رقابت‌پذیری در سراسر صنعت مربوطه می‌شود. علاوه بر این، پیوندهای عمودی تسهیل‌کننده انتقال سود و خدمات جایگزین شده و همچنین انتقال مهارت‌ها و اطلاعات بین بنگاه‌های فعال در صنعت، در بخش‌های پایین‌دستی و بالادستی زنجیره می‌باشد.
- پیوندهای افقی: پیوندهای افقی - رسمی و غیر رسمی - بین بنگاه‌های فعال در صنعت در همه سطوح موجود در یک زنجیره ارزش می‌تواند کاهش هزینه‌های کسب و کار را در پی داشته باشد و همچنین باعث ایجاد صرفه‌جویی‌های مقیاس گردد و در نهایت افزایش کارایی و رقابت‌پذیری صنعت مربوطه را در پی خواهد داشت. علاوه بر کاهش هزینه‌های ورودی‌ها و خدمات، پیوندهای افقی می‌توانند نقش موثری در تسهیم مهارت‌ها و منابع داشته باشد و باعث بالا بردن کیفیت محصول مطابق با استانداردهای موجود گردند. این قبیل پیوندها همچنین تسهیل‌کننده آموزش و یادگیری اشتراکی و تسهیم ریسک در صنعت می‌باشند. تحلیل زنجیره ارزش همچنین به بررسی رقابت بین بنگاه‌های فعال در صنعت می‌پردازد. این در حالی است که همکاری بین بنگاه‌های فعال در

<sup>26</sup>Business Enabling Environment

آن صنعت می‌تواند به دستیابی آنها به صرفه جویی‌های مقیاس کمک کرده و پیروزی آنها را در مقابل محدودیت‌های معمول در راستای دستیابی به فرصت‌ها تسهیل می‌کند.

- بازارهای پشتیبانی کننده: بازارهای پشتیبانی کننده نقش مهمی را در ارتقاء و بهبود وضعیت بنگاه‌ها بازی می‌کنند. آنها در برگیرنده خدمات مالی می‌باشند.

### ۱-۲-۳- انواع زنجیره ارزش

در ادبیات، زنجیره ارزش، دو نوع زنجیره ارزش خریدار محور<sup>۲۷</sup> و تولید کننده محور<sup>۲۸</sup> شناسایی شده است. این وجه تمایز بسیار اهمیت دارد، چرا که پویایی ارتباطات، تعاملات و فرصت‌های تقویت دانش و توانمندی‌های جدید در هر یک متفاوت است. معمولاً، تکنولوژی‌های "آسان" در زنجیره‌های خریدار محور رخ می‌دهد، در حالی که تکنولوژی‌های "دشوار" با نیاز به هماهنگ‌سازی، تکنولوژی‌های اختصاصی و مشابه آن، در زنجیره‌های تولیدکننده محور به وجود می‌آید.

در زنجیره‌های ارزش خریدار محور، خریداران بزرگ با شایستگی بالا در علامت تجاری و بازاریابی، بازیگران موثر در راه‌اندازی زنجیره‌های ارزش هستند. این خریداران به طور فزاینده‌ای فعالیت‌های تولید، طراحی و بازاریابی برای بازارهای مصرف‌کننده نهایی در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه را سازماندهی، هماهنگ و کنترل می‌کنند. این زنجیره‌ها، نوعاً صنایع مبتنی بر نیروی کار بوده و بیشتر مربوط به کشورهای در حال توسعه هستند (به عنوان مثال، صنایع غذایی، نساجی، اسباب بازی، پوشاک و غیره). برای تولیدکنندگان محصولات با علائم تجاری (نستله در زنجیره ارزش غذایی)، بدست آوردن ارزش افزوده از بازار و R&D و توسعه محصول، از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین، تولیدکنندگان فوق تمایل دارند از طریق محافظت از دارایی ذهنی<sup>۲۹</sup>، ارزش علامت تجاری حفظ شده و از کپی برداری اجتناب شود. موقعیت بازاری قوی آنها، نتیجه علائم تجاری جهانی و علامت تجاری برای منطقه یا بازار خاص است.

<sup>27</sup> –Buyer-driven

<sup>28</sup> –producer driven

<sup>29</sup> –Intellectual property

در زنجیره‌های ارزش تولید کننده محور، تولیدکنندگان کلیدی در زنجیره، تکنولوژی‌های اساسی با اهمیت‌تر را برای تثبیت موقعیت در بازار محصول نهایی کنترل می‌کنند. این تولیدکنندگان، زنجیره‌های ارزش را هماهنگ ساخته و مسئولیت کمک به تامین کنندگان و مشتریان خود را بر عهده می‌گیرند. این زنجیره‌ها نوعاً برای صنایع با تکنولوژی متوسط و بالا، مانند اتومبیل، الکترونیک، ارتباطات و صنایع مشابه می‌باشند. تولیدکنندگان کشورهای در حال توسعه، بیشتر گرایش دارند تا قسمتی از زنجیره‌های خریدار محور باشند، البته به استثنای کشورهای آسیای شرقی با اقتصاد صنعتی جدید، که از زنجیره‌های خریدار محور به سمت زنجیره‌های تولید کننده محور حرکت کرده‌اند.

### ۱-۲-۴- اهمیت شناخت زنجیره ارزش

در مورد اهمیت تحلیل زنجیره ارزش دلایل زیادی وجود دارد، اما از آنجا که هدف اصلی در این تحقیق در رابطه با شناخت فناوریهای تجهیزات الکترونیک قدرت می باشد و از سوی دیگر، شناسایی و تحلیل زنجیره ارزشتجهیزات الکترونیک قدرت به عنوان یک ابزار مهم در راستای دستیابی به این مهم است، بنابراین، سه دلیل عمده در رابطه با اهمیت تحلیل زنجیره ارزش صنعت در شرایط حساس حاکم بر اقتصاد بین‌المللی و رشد پدیده جهانی‌سازی به صورت زیر بیان می‌شوند:

۱. با رشد فزاینده تقسیم‌کار و پراکندگی تولیدات در سطح جهانی، رقابتی‌شدن سیستمیک، از جایگاه اهمیتی بالایی برخوردار شده است. بنابراین تجزیه و تحلیل زنجیره ارزش صنعت، در فهم صحیح از اینکه میزان نیاز و همچنین محدوده رقابتی‌شدن سازمان‌ها به صورت سیستمیک به چه اندازه می‌باشد، نقش کلیدی و مهمی ایفا می‌کند. تحلیل و شناسایی قابلیت‌های اصلی سازمان‌های فعال در یک صنعت خاص، منجر به این خواهد شد که سازمان‌ها بسیاری از کارکردهای خود را که، قابلیت‌های لازم در زمینه اجرای آنها را ندارند، برون‌سپاری نمایند. تدوین اطلاعات لازم در مورد جریان ورودی‌ها، مانند اقلام و خدمات، در زنجیره تولید، به سازمان‌ها اجازه می‌دهد که توانایی و قابلیت‌های عناصر دیگر و همچنین اهمیت نقش آنها را در موفقیت صنعت تعیین کند و این خود مستلزم تحلیل صحیح زنجیره ارزش صنعت مربوطه می‌باشد.

۲. امروزه بازدهی بالا و اثربخشی کافی در تولید محصولات، به عنوان یکی از مهمترین و ضروری‌ترین شرایط لازم برای حضور موفق در بازارهای جهانی محسوب می‌شود. به طور کلی می‌توان اینگونه گفت که دومین دلیل

اساسی در بیان اهمیت تحلیل زنجیره ارزش این است که یک تحلیل مناسب از عناصر زنجیره، به صنعت کمک خواهد کرد که بتواند به یک درک صحیح از نقاط ضعف و قوت خود رسیده و میزان تخصص خود را در حوزه-های مختلف تولید و خدمات شناسایی نماید.

۳. ورود موفق به بازارهای جهانی و کسب مزیت‌های رقابتی که مستلزم بررسی دقیق رشد درآمد در این محیط‌ها می‌باشد. نیازمند یک درک صحیح از عوامل و متغیرهای پویا در سراسر زنجیره ارزش می‌باشد. در واقع سومین دلیل عمده‌ای که اهمیت تحلیل زنجیره ارزش صنعت را برجسته‌تر می‌کند این است که تحلیل زنجیره ارزش به سازمان‌ها در روشن شدن وضعیت سود و درآمدهای ویژه و همچنین وضعیت مشارکت آنها در اقتصاد جهانی کمک می‌کند. از سوی دیگر شناسایی خط‌مشی‌ها و سیاست‌هایی که می‌تواند تولیدکنندگان را قادر به تبادل و تسهیم داشته‌های آنها با یکدیگر نماید را تسهیل می‌کند که این خود نشان دهنده اهمیت تحلیل دقیق از زنجیره ارزش می‌باشد.

۴. زنجیره ارزش به دولت کمک می‌کند تا کل صنعت را به صورت یکپارچه ببیند و شناخت عمیقی در رابطه با کل صنعت به منظور سیاست‌گذاری، پیدا کند

در ادامه جهت شناسایی زنجیره ارزش بخش تجهیزات الکترونیک قدرت در کشور لازم است تا کارکردهای مختلف زنجیره مورد شناسایی قرار گیرند.

## فصل دوم

زنجیره ارزش تجهیزات الکترونیک قدرت

## مقدمه

در این بخش زنجیره ارزش تجهیزات الکترونیک قدرت توضیح داده می شود. و با معرفی اولیه برخی دستاوردهای موجود تصویری از پتانسیلهای موجود کشور ارائه می شود. در فصل بعد جزئیات بیشتری از این پتانسیلهای موجود در کشور ارائه خواهد شد.

### ۱-۲- زنجیره ارزش تجهیزات الکترونیک قدرت

چنانچه در شکل ۱-۲ نشان داده شده است، در زنجیره ارزش تجهیزات الکترونیک قدرت با توجه به مرحله رشد تکنولوژی سه قسمت مجزا به صورت زیر در نظر گرفته می شود: [۴و۳]

- طراحی و ساخت R&D
- طراحی و ساخت صنعتی
- بهره برداری

در رابطه با طراحی و ساخت سیستمها با توجه به چرخه عمر فناوری که در برخی از تجهیزات به مرحله بلوغ نرسیده است و در برخی از تجهیزات این مرحله سپری شده است، طراحی و ساخت در دو گزینه طراحی و ساخت R&D و طراحی و ساخت صنعتی تفکیک می شود تا بتوان نقش بازیگران بالقوه را نیز ملاحظه نمود. همانطور که در زنجیره دیده می شود حلقه بعدی زنجیره، مصرف کننده یا بهره بردار سیستم است.

### ۲-۲- طراحی و ساخت R&D و صنعتی

در بررسی زنجیره ارزش طراحی و ساخت تجهیزات الکترونیک قدرت باید توجه نمود که پس از مراحل طراحی و تدوین مشخصات فنی و تهیه مواد و تجهیزات اولیه علاوه بر اینکه هر کدام از این تجهیزات می توانند سازندگانی داشته باشند که تجهیز را به صورت یکپارچه تولید می کند، سازندگانی نیز وجود دارند که تنها قسمتی را می سازند و در این میان نقشی را می -

توان به عنوان یکپارچه‌ساز سیستم در فرآیند ساخت این تجهیزات تعریف نمود. بنابراین در زنجیره طراحی و ساخت تجهیزات الکترونیک قدرت می‌توان ابتدا به مواد و تجهیزات اولیه اشاره نمود و آنها را در سه بخش اصلی قدرت، الکترونیک قدرت و کنترل و مانیتورینگ ملاحظه نمود. به عنوان رکنی دیگر در پروسه نقش سازنده را در دو نقش مجزای سازندگان و سازنده بخشهای مختلف تعریف می‌کنیم با این تصویر نقش یکپارچه ساز سیستم نیز به عنوان یکپارچه کننده بخشهای مختلف مشخص می‌شود.

### ۲-۲-۱- مواد و تجهیزات اولیه

اکثر مواد اولیه و تجهیزات عنوان شده در زنجیره ارزش با رنج مقادیر نامی و مشخصات متفاوت در اکثر تجهیزات الکترونیک قدرت مطرح در درخت فناوری بکار می‌روند. بنابراین در ادامه در شکل‌های ۲-۲، ۳-۲ و ۴-۲ لیست مواد اولیه به تفکیک بخش مورد استفاده آورده شده است، و در جدول ۱-۲ سعی می‌شود تا به نحوه تهیه این مواد و پتانسیل داخلی موجود پرداخته شود.

### ۲-۲-۲- سازندگان و یکپارچه سازان

شرکتهای متعددی در زمینه الکترونیک قدرت در کشور فعالیت می‌کنند، ولیکن اکثراً وارد کننده تجهیزات بوده یا تنها محصولات انگشت شماری را در توانهای پایین تولید می‌کنند. البته باید به بالغ نبودن برخی از تکنولوژی در سطح بین-المللی هم توجه نمود.

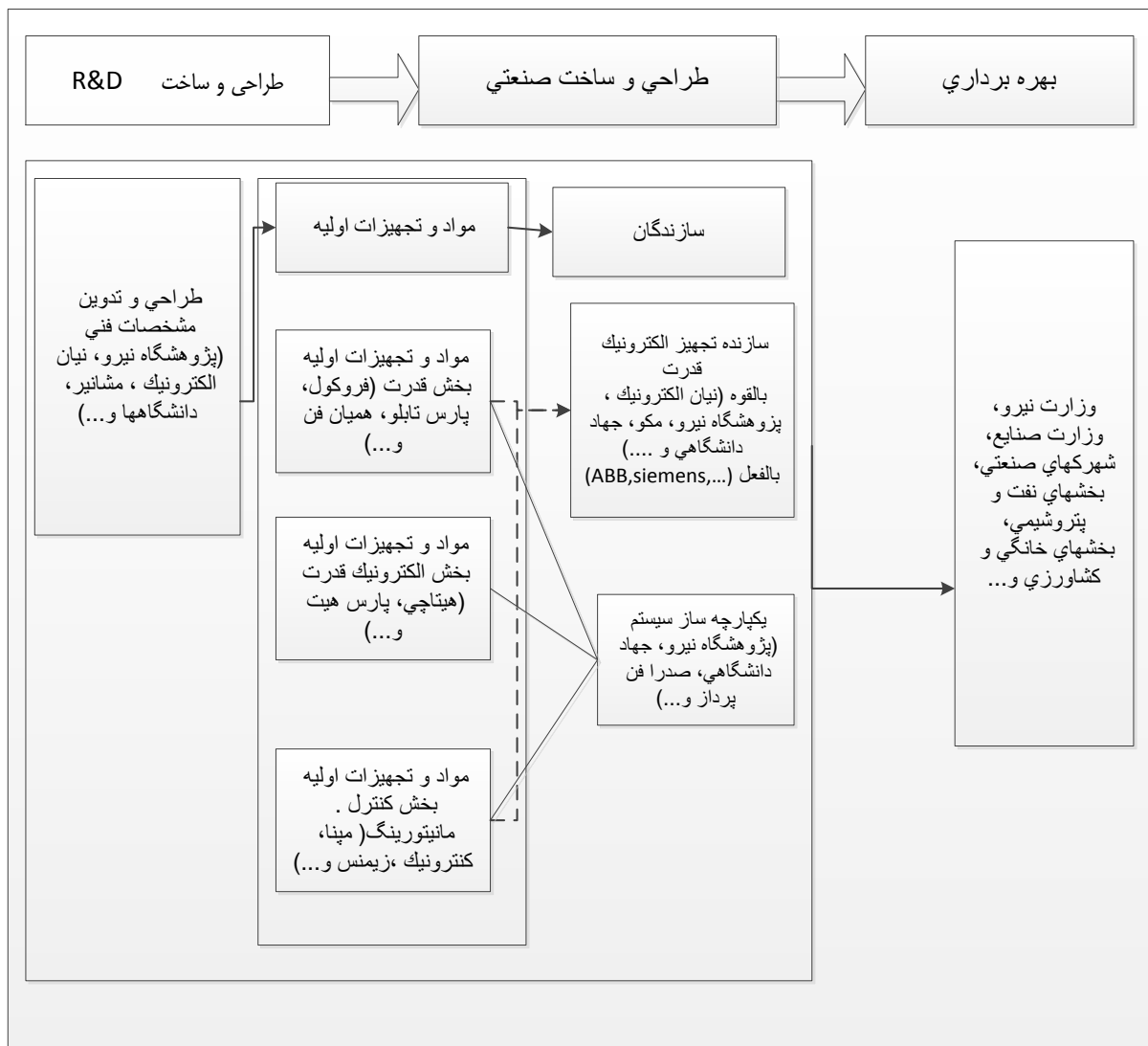
در جدول ۱-۲ پتانسیلهای بالقوه و بالفعل کشور با مثالهایی از شرکتهای سازنده آورده شده است. در ادامه در فصل بعد اطلاعات شرکتهای فعال در زمینه الکترونیک قدرت آورده می‌شود.

### ۲-۳- بهره برداری

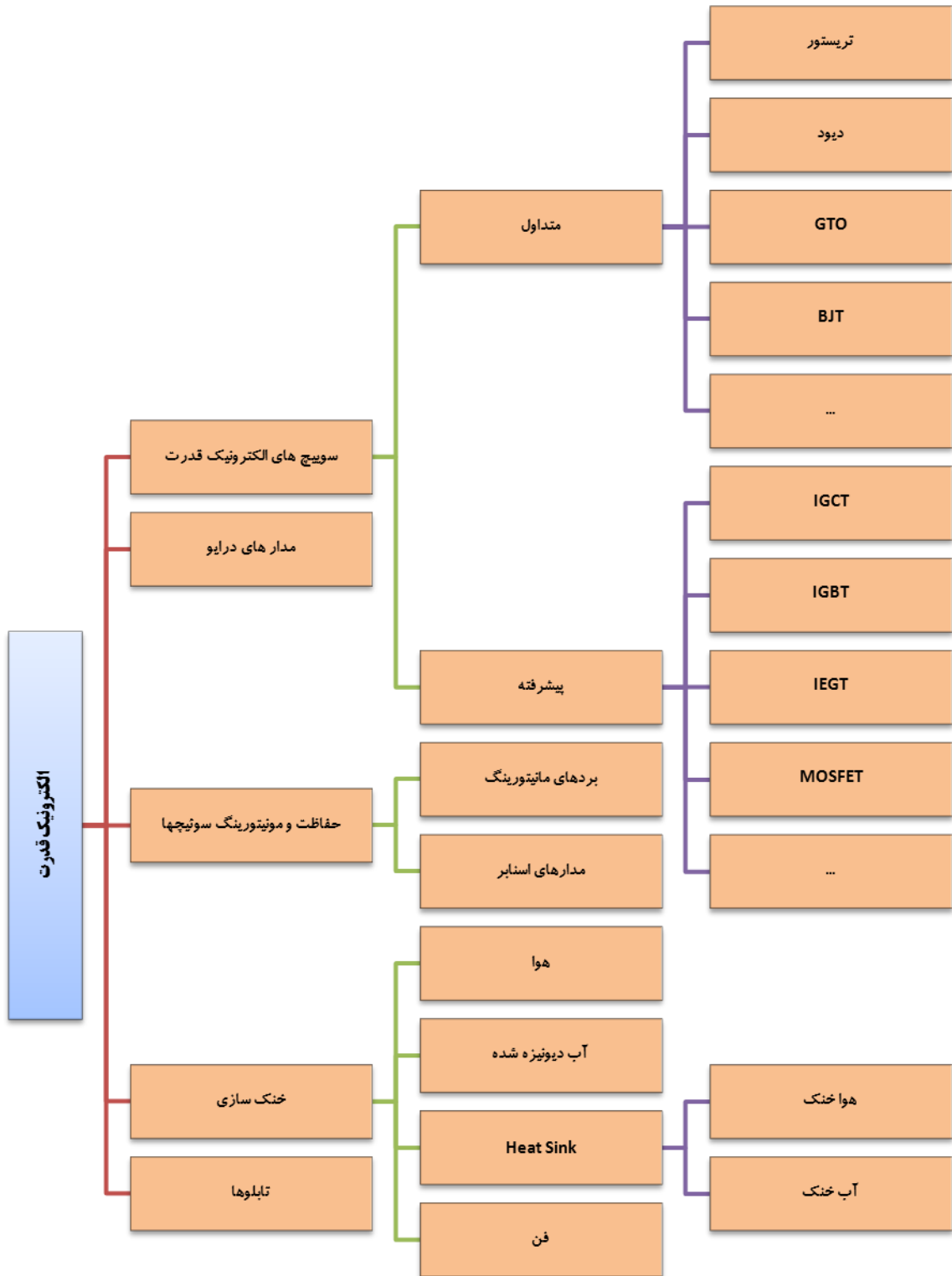
بصورت کلی همانگونه که در جدول ۲-۲ دیده می‌شود، مصرف کننده های اصلی که برای تجهیزات الکترونیک قدرت می‌توان تصور نمود با توجه به رنج کاری دستگاه متفاوت است. این مصرف کننده‌ها عبارتند از:



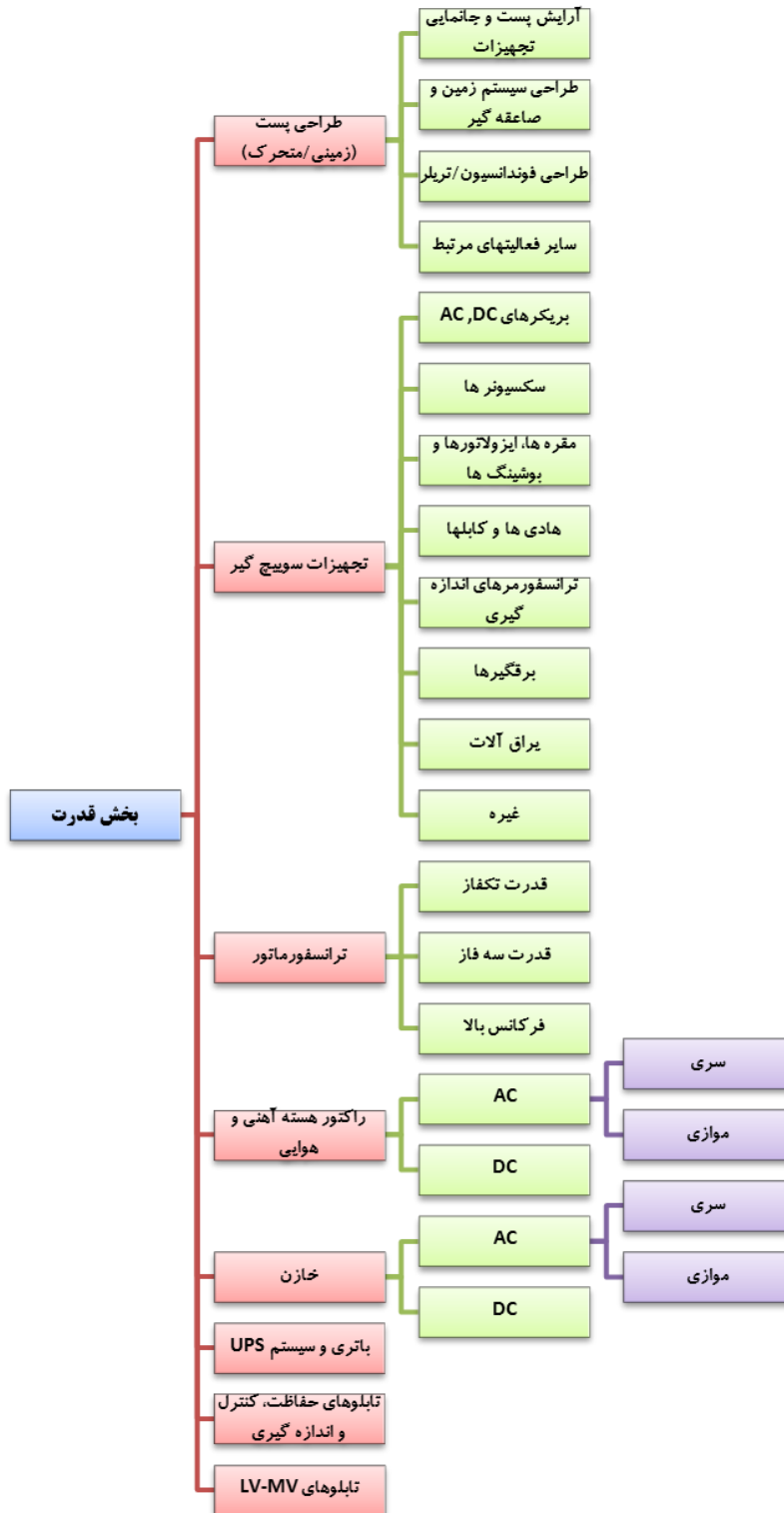
- وزارت نیرو
- شهرکها و مجتمعهای بزرگ صنعتی
- وزارت صنایع
- صنایع کوچک
- بخشهای نفت و پتروشیمی
- بخشهای خانگی و کشاورزی و ...



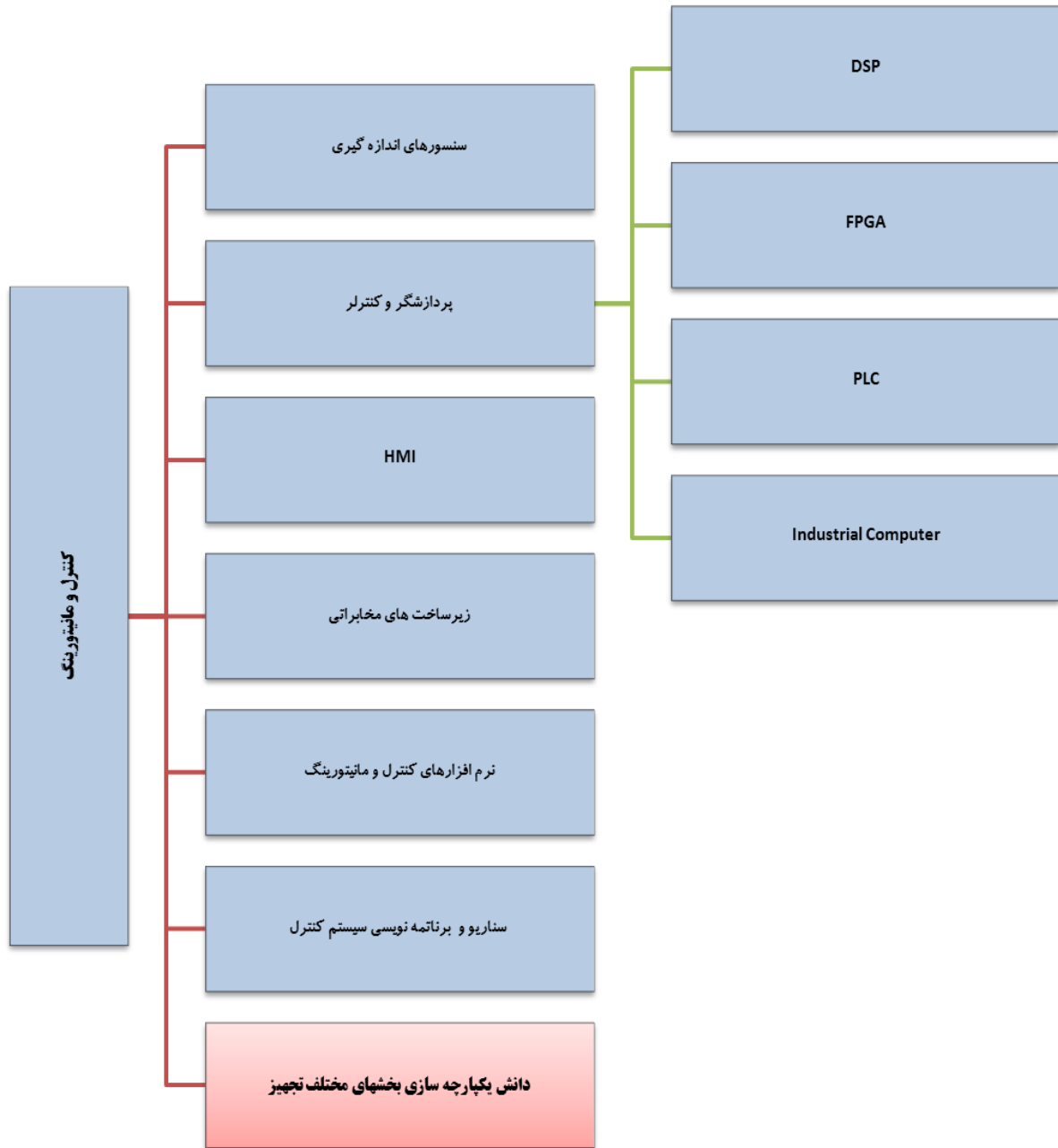
شکل (۱-۲): زنجیره ارزش تجهیزات الکترونیک قدرت



شکل (۲-۲): مواد و تجهیزات اولیه بخش الکترونیک قدرت



شکل (۲-۳): مواد و تجهیزات اولیه بخش قدرت



شکل (۲-۴): مواد و تجهیزات اولیه بخش کنترل و مانیتورینگ

## جدول (۱-۲): تجهیزات و مواد اولیه

بخش	مواد و تجهیزات اولیه	برخی از سازندگان داخلی	برخی از سازندگان خارجی
قدرت	راکتور هسته آهنی و هوایی	فروکول ، فرا پیام و...	ABB,SIEMENS , ALSTOM ,...
قدرت	خازن	پارس کپسیتور و ...	KENDEIL,WESTCODE,ALCON ,...
قدرت	ترانسفورماتور	پارس شار، نیرو ترانس و...	ABB,SIEMENS , ALSTOM , GE,HYOSUNG,...
قدرت	تجهیزات switchgear	پارس سوئیچ، کابل ابهر و ...	ETI,ABB,SIEMENS,...
قدرت	باتری و سیستم UPS	الکترونیک فطروسی، هژیر صنعت و...	ABB.SIEMENS,ENERGIZER, ENERSYS,GNB,...
قدرت	حفاظت	رله ملی وهمیان فن و...	SCHNEIDER,SIEMENS,ABB,...
قدرت	تابلوهای حفاظت، کنترل و اندازه گیری	پارس تابلو ، ایران تابلو و...	
قدرت	تابلوهای LV-HV	پارس تابلو ، ایران تابلو و...	
قدرت	طراحی پست	شرکتهای مشاور مونکو و...	
الکترونیک قدرت	سویچهای الکترونیک قدرت	N/A	FAIRCHILD,HITACHI,POWEREX,INFINON,ABB,DYNEX,...
الکترونیک قدرت	مدارهای درایو	N/A	AMANTYS POWER DRIVES , AGILE SWITCH, FAIRCHILD,IXYS,HITACHI, POWER EX,...
الکترونیک قدرت	حفاظت	N/A	AMANTYS POWER DRIVES , AGILE SWITCH, FAIRCHILD,IXYS,HITACHI, POWER EX,...
الکترونیک قدرت	خنک سازی	پارس هیت سینک ، ملیکا نور، هیتالوم ،خزر فن، دمنده، کیهان فن و...	ABB .EPM
الکترونیک قدرت	تابلو	پارس تابلو ، ایران تابلو و...	
بخش	مواد و	برخی از سازندگان داخلی	برخی از سازندگان خارجی

		تجهیزات اولیه	
TRANCH	پارس شار، الکتروپژواک آرین ، نیرو ترانس ، نوین هاریس پویا و...	سنسورهای اندازه گیری	کنترل و مانیتورینگ
TI,Altera DSP , tensilica DSP chip , NXP semiconductor,...	N/A	DSP	کنترل و مانیتورینگ
Alerta,XINLINX,QUICK LOGIC,....	N/A	FPGA	کنترل و مانیتورینگ
ALEEN-BRADLEY,SIEMENS, ABB,...	کنترنیک ومپنا و...	PLC	کنترل و مانیتورینگ
ABB, SIEMENS,..	N/A	کنترل کننده های برنامه پذیر خاص صنعت برق	کنترل و مانیتورینگ
BECKHOFF,ADVANTECH, AICSYS,ADEK,ACROSSER,..	N/A	INDUSTRIAL COMPUTER	کنترل و مانیتورینگ
SIEMENS,ABB,...		HMI	کنترل و مانیتورینگ
	N/A	GPS	کنترل و مانیتورینگ
SIEMENS,ABB,...	N/A	زیرساختهای مخابراتی	کنترل و مانیتورینگ
	برخی دانشگاهها ، پژوهشگاه نیرو و...	سناریوی کنترل	کنترل و مانیتورینگ
	ندا، قشم ولتاژ ، پژوهشگاه نیرو و...	برنامه نویسی کنترل	کنترل و مانیتورینگ
SIEMENS,ABB,...	مپنا و...	نرم افزارهای کنترل و مانیتورینگ	کنترل و مانیتورینگ

جدول (۲-۲): پتانسیلها

عنوان دسته	عنوان دسته	تجهیزات الکترونیک قدرت	تولید کننده بالفعل	تولید کننده (بالقوه)	مصرف کننده
Distributed Energy Resource converter	Distributed Generation	Solar Cell PCS		نیان الکترونیک (نمونه آزمایشگاهی ۲KW)، جهاد دانشگاهی خواجه نصیر(۱KW)، صدر کنترل سینا، فاران، فاراتل	وزارت نیرو، صنایع نظامی، صنایع کوچک و مصارف خانگی و...
Distributed Energy Resource converter	Distributed Generation	Wind Turbine PCS		نیان الکترونیک (بهمراه تست عملیاتی ۱۰۰ KW)، مکو (پروژه در دست انجام)، پژوهشگاه نیرو (پروژه در دست انجام) و پروژه های زیادی در توانهای کوچک در شرکت های دیگر	وزارت نیرو
Distributed Energy Resource converter	Energy Storage System	BESS PCS			وزارت نیرو، صنایع کوچک و بارهای حساس و...
		static excitation system		مکو، پژوهشگاه نیرو	وزارت نیرو، مجتمع های بزرگ صنعتی
FACTS	parallel	SVC-TSC THYRISTOR SWITCHED CAPACITOR			وزارت نیرو، مجتمع های بزرگ صنعتی
FACTS	parallel	SVC-TCR THYRISTOR CONTROLLED REACTOR		پژوهشگاه نیرو، فولاد خوزستان (موتناژ)	وزارت نیرو، مجتمع های بزرگ صنعتی
FACTS	parallel	SVC-TSC(Iv) THYRISTOR SWITCHED CAPACITOR			وزارت نیرو، مجتمع های بزرگ صنعتی
CUSTOM POWER	Reconfiguration Device	STS (STATIC TRANSFER SWITCH)			وزارت نیرو، مجتمع های بزرگ صنعتی
CUSTOM POWER	compensation Device	Dstatcom		دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی (یک نمونه صنعتی)	وزارت نیرو، صنایع کوچک و بارهای حساس و...

عنوان دسته	عنوان دسته	تجهیزات الکترونیک قدرت	تولید کننده بالفعل	تولید کننده (بالقوه)	مصرف کننده
CUSTOM POWER	compensation Device	APF (ACTIVE POWER FILTER)		یکتا بهان ( یک نمونه صنعتی ( ۵۰KVA	وزارت نیرو ، صنایع کوچک و بارهای حساس و...
CUSTOM POWER	compensation Device	DVR			وزارت نیرو ، صنایع کوچک و بارهای حساس و...
		GASTURBINE SFC			وزارت نیرو، مجتمعهای بزرگ صنعتی



## فصل سوم

ظرفیتهای فعال در زمینه الکترونیک قدرت

## مقدمه

در این فصل به منظور بررسی پتانسیلهای داخلی موجود در زمینه الکترونیک قدرت به معرفی برخی شرکتهای فعال در زمینه تجهیزات الکترونیک قدرت و کادر هیئت علمی دانشگاهها که در این زمینه تخصص دارند، پرداخته شده است. برای بررسی پتانسیلهای داخلی در این زمینه با شرکتهای، دانشگاهها و مراکز پژوهشی و پارکهای علم و فناوری بسیاری مکاتبه شده است که اسامی آنها به پیوست آورده می شود.

## ۳-۱ ظرفیتهای دانشی

جدول ۳-۱ حاوی اسامی اعضای هیئت علمی دانشگاهها و برخی فارغ التحصیلان فعال در زمینه الکترونیک قدرت در شرکتهای و پارکهای علم و فناوری، که در سطح کشور شناسایی شده اند، می باشد: [۲]

جدول (۳-۱): متخصصان الکترونیک قدرت

ردیف	نام و نام خانوادگی	نام دانشگاه	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۱	دکتر مهدی حیدری	دانشگاه ارومیه	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۲	دکتر داریوش نظرپور	دانشگاه ارومیه	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۳	دکتر بهزاد میرزائیان دهکردی	دانشگاه اصفهان	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۴	دکتر سید محمد رضا طوسی	دانشگاه بوعلی سینا همدان	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۵	دکتر محمد سروی	دانشگاه بین المللی امام خمینی	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با

ردیف	نام و نام خانوادگی	نام دانشگاه	
			الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۶	دکتر مهرداد طرفدارحق	دانشگاه تبریز	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و همکاری در ساخت نمونه های آزمایشگاهی و ...
۷	دکتر ابراهیم بابایی	دانشگاه تبریز	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و همکاری در ساخت نمونه های آزمایشگاهی و ...
۸	دکتر مهران صباحی	دانشگاه تبریز	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و همکاری در ساخت نمونه های آزمایشگاهی و ...
۹	دکتر سید حسین حسینی	دانشگاه تبریز	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و همکاری در ساخت نمونه های آزمایشگاهی و ...
۱۰	دکتر علی اکبر مطیع بیرجندی	دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۱۱	دکتر علیرضا داوری	دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۱۲	دکتر رضا قندهاری	دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۱۳	دکتر روح الله فدایی نژاد	دانشگاه تحصیلات تکمیلی کرمان	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۱۴	دکتر رضا بیرانوند	دانشگاه تربیت مدرس	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با

ردیف	نام و نام خانوادگی	نام دانشگاه	
			الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۱۵	دکتر علی یزدیان	دانشگاه تربیت مدرس	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۱۶	دکتر مصطفی محمدیان	دانشگاه تربیت مدرس	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۱۷	دکتر سعید افشارنیا	دانشگاه تهران	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۱۸	دکتر شاهرخ فرهنگی	دانشگاه تهران	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و همکاری در ساخت نمونه های آزمایشگاهی و صنعتی و مشاوره با شرکتهای فعال در ساخت و ...
۱۹	مهدی حیدری	دانشگاه زابل	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۲۰	سارا ملازئی	دانشگاه زابل	تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۲۱	دکتر مهرداد بابازاده	دانشگاه زنجان	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۲۲	دکتر عباس ربیعی	دانشگاه زنجان	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۲۳	دکتر رضا نوروزیان	دانشگاه زنجان	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد

ردیف	نام و نام خانوادگی	نام دانشگاه	
			در این زمینه و ...
۲۴	دکتر اصغر طاهری	دانشگاه زنجان	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۲۵	دکتر محمود اوکاتی صادق	دانشگاه سیستان بلوچستان	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۲۶	دکتر محمد صادق زاده	دانشگاه شاهد	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۲۷	دکتر مهدی اخباری	دانشگاه شاهد	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۲۸	دکتر علی دستفان	دانشگاه شاهرود	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۲۹	دکتر حسین هژبری	دانشگاه شهید باهنر کرمان	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۳۰	دکتر ابراهیم افجه ای	دانشگاه شهید بهشتی	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۳۱	دکتر محسن حمزه	دانشگاه شهید بهشتی	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۳۲	دکتر احمد سالم نیا	دانشگاه شهید بهشتی	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۳۳	دکتر قدرت الله سیف السادات	دانشگاه شهید چمران اهواز	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...

ردیف	نام و نام خانوادگی	نام دانشگاه	
۳۴	دکتر محمد بنایی	دانشگاه شهید مدنی آذربایجان	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۳۵	دکتر علی عجمی	دانشگاه شهید مدنی آذربایجان	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۳۶	دکتر ابراهیم فرجاه	دانشگاه شیراز	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۳۷	دکتر حمیدرضا کارشناس	دانشگاه صنعتی اصفهان	تحصیلات و تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و همکاری در ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی و صنعتی و ...
۳۸	دکتر مهدی معلم	دانشگاه صنعتی اصفهان	تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و همکاری در ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی و صنعتی و ...
۳۹	دکتر مهدی اسدی	دانشگاه صنعتی اراک	تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۴۰	دکتر سید حمید فتحی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و همکاری در ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی و ...
۴۱	دکتر جعفر میلی منفرد	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۴۲	دکتر جعفر شکراللهی مغانی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۴۳	دکتر مهدی سردارزاده	دانشگاه صنعتی جندی شاپور	تدریس دروس مرتبط با الکترونیک

ردیف	نام و نام خانوادگی	نام دانشگاه	
			قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۴۴	دکتر کریم عباس زاده	دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی	تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۴۵	دکتر محمد توکلی بینا	دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی	تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ساخت نمونه های آزمایشگاهی و صنعتی و...
۴۶	دکتر حسین مددی	دانشگاه صنعتی سهند	تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۴۷	دکتر رسول کاظم زاده	دانشگاه صنعتی سهند	تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۴۸	دکتر شهریار کابلی	دانشگاه صنعتی شریف	تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۴۹	دکتر فرزاد تهامی	دانشگاه صنعتی شریف	تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۵۰	دکتر محمدرضا ذوالقدری	دانشگاه صنعتی شریف	تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۵۱	دکتر مصطفی پرنیانی	دانشگاه صنعتی شریف	تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۵۲	دکتر حسین مختاری	دانشگاه صنعتی شریف	تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ساخت نمونه صنعتی و ...
۵۳	دکتر امیرحسین رجایی	دانشگاه صنعتی شیراز	تدریس دروس مرتبط با الکترونیک

ردیف	نام و نام خانوادگی	نام دانشگاه	
			قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۵۴	دکتر سید محمد دهقان دهنوی	دانشگاه صنعتی قم	تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۵۵	دکتر احسان نجفی	دانشگاه صنعتی قم	تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۵۶	دکتر داوود عرب خابوری	دانشگاه علم و صنعت	تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۵۷	دکتر عباس شولایی	دانشگاه علم و صنعت	تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ساخت نمونه آزمایشگاهی و ...
۵۸	دکتر رضا قاضی	دانشگاه فردوسی مشهد	تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۵۹	دکتر محمد منفرد	دانشگاه فردوسی مشهد	تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۶۰	دکتر ابوالفضل حلوایی نیاسر	دانشگاه کاشان	تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۶۱	دکتر حمیدرضا محمدی	دانشگاه کاشان	تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۶۲	دکتر محسن رحیمی	دانشگاه کاشان	تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۶۳	دکتر حمیدرضا تودجی	دانشگاه یزد	تدریس دروس مرتبط با الکترونیک



ردیف	نام و نام خانوادگی	نام دانشگاه	
			قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و ...
۶۴	دکتر محمد آراسته	جهاد دانشگاهی علم و صنعت	تدریس دروس مرتبط با الکترونیک قدرت، ارائه مقالات متعدد در این زمینه و همکاری در ساخت نمونه های آزمایشگاهی و صنعتی و ...
۶۵	دکتر امین حاجی زاده		ارائه مقالات متعدد در این زمینه و همکاری در شرکت فعال در این زمینه ...

با توجه به اطلاعات جمع آوری شده در خصوص پتانسیلهای دانشی کشور و متخصصین دانشگاهی فعال در این حوزه و استناد به نقطه نظرات خبرگان می توان ادعا نمود که در زمینه مباحث علمی و آموزشی کشور در سطح مطلوبی قرار داشته و مقالات منتشر شده در دنیا نشان از حضور متخصصین کشور در رده های نخست جهانی دارد.

### ۳-۲- شرکت های فعال

چنانچه در فصل پیش نیز بیان شد، شرکت های داخلی فعال در زنجیره ارزش تجهیزات الکترونیک قدرت در زمینه طراحی و ساخت تجهیزات الکترونیک قدرت الویت دار کشور مشخص شده اند، بسیار محدود هستند. اما شرکتهایی که سابقه ای در زمینه الکترونیک قدرت دارند تعداد بیشتری هستند، لازم به ذکر است که در جریان پروژه و برای شناسایی پتانسیلهای داخلی با شرکتهای زیادی مکاتبه شد تا توانمندیهایشان شناسایی شود، اسامی این شرکتهای به پیوست آورده میشود. از این میان شرکتهایی شناسایی شدند که فعالیتهای مختلفی انجام می دهند. لازم به ذکر است که عموماً شرکتهای معرفی شونده در طراحی و ساخت نقش داشته اند، و البته ابعاد آنها متفاوت است برخی از این شرکتهای سابقه قابلیت تجاری سازی در زمینه این تجهیزات را دارند مانند مکو، فاراتل و... البته لازم به ذکر است شرکتهایی نیز فقط در زمینه طراحی، تامین و نصب و راه اندازی

، نگهداری و تعمیرات تجهیزات الکترونیک قدرت فعال هستند مانند بهین ریزکوه و... در ادامه به برخی از شرکت‌های فعال در زمینه الکترونیک قدرت اشاره می‌شود. [۱]

### ۳-۲-۱- شرکت مکو

مکو، اولین و تنها شرکت در زمینه طراحی و تولید تجهیزات برق و کنترل نیروگاه های گاز و بخار در کشور می باشد که در تیر ماه سال ۱۳۸۳ و با هدف ارتقاء سطح خودکفایی در صنعت برق ایران تاسیس گردید. در خرداد ماه سال ۱۳۸۳، مکو به عنوان شریک تجاری معتبری برای شرکت زیمنس آلمان، در زمینه تولید سیستم های کنترل توربین های گاز و بخار V94.2 انتخاب شد، که منجر به دریافت ليسانس مربوطه از آن شرکت گردید، در آذر ماه سال ۱۳۸۴ نیز، مکو قرارداد دیگری را در زمینه تولید سیستم های تحریک و راه انداز با شرکت ABB سوئیس منعقد نمود. [۸]

در حال حاضر فعالیتهای شرکت مکو در زمینه الکترونیک قدرت را می‌توان در موارد زیر بیان نمود:

#### ۱- مبدل الکترونیک قدرت مولدهای تجدید پذیر و ذخیره سازهای انرژی

در حال حاضر به منظور تامین مبدلهای DFIG توربین بادی MW ۲/۵، این شرکت به صورت مهندسی مشترک با شرکت آلمانی قرارداد منعقد نموده است و این پروژه در حال اجرا می باشد. این قرار شامل انتقال دانش فنی و دانش ساخت این مبدل برای توان ذکر شده و توانهای مشابه می باشد.

#### ۲- ادوات بهساز کیفیت توان

دو پروژه در حوزه کیفیت توان در شرکت مکو انجام شده است. در این پروژه ها با استفاده از تجهیزات اندازه گیری پس از ثبت اطلاعات اقدام به تحلیل و ارائه راه حل شده است. به منظور تأیید راه حل‌های پیشنهادی سایت در دو حالت فعلی و حالت همراه با تجهیزات کیفیت توان طراحی شده ، مدلسازی گردیده و سپس با استفاده از اطلاعات واقعی صحنه گذاری گردیده است.

## ۳- سیستم تحریک و راه انداز (SES , SFC)

در حال حاضر سیستم تحریک استاتیک و سیستم راه انداز به منظور استفاده در واحدهای ۱۶۰ مگاوات گازی تحت لایسنس شرکت زیمنس و ABB تولید می شوند و همچنین در قالب پروژه پژوهشی سیستم تحریک استاتیک ژنراتور ۲۰۰ مگاوات آمپر ساخته شده است و مراحل تست کارخانه ای را می گذراند و بزودی در سایت واقعی نصب و راه اندازی خواهد شد.

## جدول (۳-۲): اطلاعات تماس شرکت مکو

آدرس کارخانه	ایران، کرج، کیلومتر ۶ جاده ملارد، بلوار مینا صندوق پستی: ۳۱۵۸۵۱۵۵۱
تلفن کارخانه	۰۲۶ ۳۶۶۳۸۰۰۱-۱۰
فکس کارخانه	۰۲۶ ۳۶۶۳۸۰۲۰

## ۳-۲-۲- شرکت نیان الکترونیک

شرکت نیان الکترونیک با نیت نوآوری در صنایع زیربنایی مهم کشور، در زمینه طراحی و ساخت تجهیزات نیرو، مجری پروژه های مخابراتی و به عنوان تنها تولید کننده منابع تغذیه سوئیچینگ در شمال و شرق کشور، از سال ۱۳۷۴ فعالیت خود را رسماً آغاز نموده است. تعداد پرسنل این سازمان از سال ۷۹ تاکنون با رشد ۱۰ برابری به بیش از ۳۰۰ نفر رسیده و فضای کاری با رشد ۵ برابری به بیش از ۱۵۰۰۰ مترمربع فضای تولیدی بالغ شده است.

## جدول (۳-۳): اطلاعات تماس شرکت نیان الکترونیک

آدرس کارخانه	مشهد- شهرک صنعتی طوس- بلوار اندیشه - خیابان چهارم- شماره ۲۱۷ و ۲۱۸
صندوق پستی	۱۷۶۳-۹۱۷۷۵
تلفن تماس	۰۵۱-۳۵۴۱۴۱۱۱ (خط ۵۰)
فکس	۰۵۱-۳۵۴۱۳۶۱۴

محصولات این شرکت که به صورت تولید انبوه در بازار موجود است، عموماً محصولات مخابراتی و شامل موارد زیر است:

- یکسو کننده سیار مخابراتی
- Free Cooling

- سیستم یکپارچه تغذیه نیرو
- پلنت تغذیه نیرو از ۱۰۰۰ تا ۶۰۰۰ آمپر
- سیستم های تغذیه نیروی بدون فن تا ۳۰۰ آمپر
- سیستم تغذیه نیروی کمپکت
- راک پرتابل تغذیه نیرو
- ماژول های یکسو کننده
- کانورتر DC به DC
- محصولات فلزی

البته این شرکت در بخش R&D خود نیز در زمینه مباحث الکترونیک قدرت وارد شده است و نتیجه کارنهایی آنها شامل موارد زیر است:

- یک کانورتر بادی 100KW که به پژوهشگاه هوا خورشید فروخته شده است و تست عملیاتی نیز شده است به گونه-ای که هم‌اکنون نیز در نیروگاه بادی نصب است.
- اینورترهای خورشیدی 2KW که نمونه آزمایشگاهی آنها ساخته شده است.
- ذخیره‌سازها نیز در حد نمونه آزمایشگاهی ساخته شده است.
- سیستمهای حمل و نقل در فاز مطالعاتی هستند.
- ادوات بهسازی توان: با توجه به وجود یکسوسازها در صنایع مخابراتی این ادوات را در طراحی مدارها بکاربرده‌اند.
- در ضمن در چرخه تولید در حد عملیاتی در حال کار برای رفع مشکل سنکرون نبودن فرکانسی نیروگاههای بادی و خورشیدی با شبکه هستند.
- آزمایشگاه این شرکت نیز امکانات و تجهیزاتی به شرح زیر دارد:
  - امکانات و تجهیزات تست قطعات
  - امکانات و تجهیزات تست قطعات نیمه آماده

○ امکانات و تجهیزات تست دستگاهها

○ امکانات و تجهیزات تست سیستمها:

نیروی انسانی متخصص جهت تدوین و اجرای تستها و تجهیزات آزمایشگاهی شامل: LCR متر، مولتی- مترهای دستی و رومیزی دقیق، میگر تست ولتاژ بالا تا ۶ کیلو ولت ، اسیلوسکوپهای آنالوگ و دیجیتال، ترمومتر ، CFM سنج، دورسنج، دمی لود و ...

### ۳-۲-۳- شرکت هژیر صنعت

شرکت هژیر صنعت در سال ۱۳۷۵ به همت سه تن از دانش آموختگان دانشگاه علم و صنعت در رشته مهندسی الکترونیک تأسیس گشت. با توجه به دیدگاههای عمیق تکنیکی ، از بدو امر ، شالوده شرکت بر مبنای مفهوم کیفیت شکل گرفته و با مفهوم مشتری مداری عجین گشت. در همان سال ۱۳۷۵ نیز اولین UPS رومیزی سینوسی را تولید و به بازار ایران ارائه کردند و در سال ۱۳۸۳ نیز اولین Online UPS صنعتی میکروپروسسوری در ایران را تولید و عرضه نمود این شرکت از طرف شرکت مخابرات تأییدیه بعنوان تامین کننده دارد و عضو کمیته تدوین استانداردها شرکت مخابرات ایران است. و در لیست Vendor بسیاری از ارگان های نفتی نظیر حفاری شمال، نفت فلات قاره، شرکت گاز ، پتروشیمی و... قرار دارد.

#### جدول (۳-۴): اطلاعات تماس شرکت هژیر صنعت

تهران-بزرگراه رسالت -سرسبز شرقی-شماره ۴۵۲-ساختمان هژیر	آدرس شرکت
۱۶۷۶۵۳۸۹۹	کد پستی
۷۷۴۹۶۹۳۳-۷۷۸۰۰۰۹۰	تلفن تماس

محصولات این شرکت شامل موارد زیر است:

- UPS های اداری: online:switch mode و line interactive از توان 700VA الی 20KVA.
- UPS های صنعتی: Transformer-Based تک فاز از توان 3KVA الی 50KVA.
- UPS های صنعتی: Transformer-Based سه فاز از توان 10KVA الی 400KVA .

- انواع UPS های Rack mount: از توان 700VA الی 10KVA.
- انواع اینورترهای و مبدلهای ولتاژ مورد استفاده در صنایع مخابراتی، کارخانجات تولیدی.
- استابلایزر خانگی و دیواری: جهت استفاده در منازل و ادارات، قابل نصب پس از کنتور بر روی دیوار، مناسب برای بارهای گوناگون از جمله بارهای القایی نظیر کولر گازی، یخچال و....
- انواع استابلایزر تک فاز و سه فاز: از توان 5.5KVA الی 1000KVA.
- انواع باتری های خشک: Sealed Lead Acid با مارک های GP و First power و همچنین باتریهای Nicd.
- ارائه UPS های صنعتی با IP بالا و Outdoor UPS های.
- ارائه باتری با تکنولوژی های مختلف از قبیل:  
High Temperature , Deep Cycle, Long Life , Gelled
- ارائه باتری های ۲ ولتی: برای مصارف مخابراتی
- تابلو توزیع هوشمند: (یک فناوری کاملاً جدید در خدمت بهینه سازی مصرف برق و رفاه مشتریان)

### ۳-۲-۴- شرکت یکتا بهین توان (یکتا بهان)

شرکت مهندسی یکتا بهینه توان (یکتابهان) با بهره مندی از دانش اساتید و کادر متخصص دانشگاه صنعتی شریف، در راستای گسترش راهکارهای نوین در زمینه های توان و انرژی تأسیس گشته است. این شرکت خدمات فنی و مهندسی و همچنین نرم افزار و سخت افزارهای مورد نیاز را به عنوان راه حل جامع (Total Solution) توان و انرژی ارائه میدهد. [۱۵]

از زمینه های کاری این شرکت می توان به انرژیهای تجدید پذیر، مطالعات کیفیت توان، هوشمند سازی ساختمان، و سیستمهای حمل و نقل ریلی اشاره کرد. در هر مورد این شرکت علاوه بر تدوین مشخصات فنی تامین و نصب و راه اندازی سیستم مربوطه را نیز بر عهده می گیرد.

در زمینه کیفیت توان این شرکت SVC با توانهای 5MVAR تا 200MVAR را وارد و نصب کرده است. اخیراً یک DSTATCOM با توان 8MVAR را وارد و نصب کرده است. از جمله دستگاههایی که این شرکت تامین و راه اندازی می نماید APF, DSTATCOM, TCR هستند.

یک مورد APF به صورت نمونه صنعتی با قدرت 50KVA نیز توسط این گروه ساخته شده است.

### جدول (۳-۵): اطلاعات تماس شرکت یکتا بهین توان

آدرس شرکت	تهران، خیابان آزادی، ضلع شرقی دانشگاه صنعتی شریف، کوچه ابوالفضل قدیر، پلاک ۵، طبقه ۳ واحد ۱
تلفن تماس	۶۶۰۳۴۷۲۴
فکس	۶۶۰۴۸۹۵۲

### ۳-۲-۵- شرکت مهندسان مشاور بهراد

شرکت بهراد در سال ۱۳۶۹ در اصفهان با تمرکز بر روی طراحی و ساخت سیستم های برق اضطراری بدون وقفه UPS، فعالیت خود را آغاز نمود.

در سال ۱۳۷۲ شاخه مطالعات سیستم نیرو با همکاری در پروژه مطالعات شبکه الکتریکی کارخانه ذوب آهن اصفهان (سال ۷۲-۷۳) تشکیل گردید. از جمله فعالیتهای مهم این شرکت همکاری در پروژه مطالعات شبکه الکتریکی مجتمع فولاد مبارکه (سال های ۷۵-۷۷)، مطالعات شبکه الکتریکی فولاد میبد (۸۲-۸۳) قابل ذکر میباشد.

این شرکت با بهره گیری از کادرمجرب و متخصص و با دراختیارداشتن دستگاه های پیشرفته تحلیلگر توان و نرم افزار های تخصصی پیشرفته، موفق به انجام پروژه های متعدد در زمینه مطالعات شبکه های الکتریکی و ارزیابی کیفیت توان با صنایع و شرکت های برق منطقه ای از جمله برق منطقه ای خراسان، اصفهان، خوزستان، فارس، سیستان و بلوچستان، کرمان، غرب، باختر و شرکت توزیع برق اردبیل شده است.

### جدول (۳-۶): اطلاعات تماس شرکت مهندسان مشاور بهراد

آدرس شرکت	اصفهان، خیابان طیب، چهارراه طیب، کوی سرلک، رو به روی مدرسه حکمت، شماره ۳۲، ساختمان بهراد
تلفن تماس	۰۳۱۱۲۳۳۲۵۷۷
فکس	۰۳۱۱۲۳۳۲۷۵۷

### ۳-۲-۶- شرکت مهندسی صدر کنترل سینا

این شرکت کوچک از جمعی از دانشجویان و اساتید استان همدان تشکیل شده است و زمینه های فعالیت آن مشاوره در زمینه های انرژی های تجدید پذیر ، مولدهای نیرو، تجهیزات و بهینه سازی مصرف انرژی، نیروگاههای مقیاس کوچک، یو.پی.اس و استابلایزر و.. است. این شرکت یک اینورتر برای سیستمهای خورشیدی با راندمان بالا و THD پایین حدود ۰,۳ در حد نمونه آزمایشگاهی ساخته اند و در حال اجرای تئوری آن هستند.

#### جدول (۳-۷): اطلاعات تماس شرکت مهندسی صدر کنترل سینا

آدرس شرکت	همدان - خیابان سعیدیه-برج سعیدیه- طبقه ۹- واحد ۹۱۵
پست الکترونیکی	Sadr_sinaco@yahoo.com
فکس	۰۸۱۳۸۳۱۱۰۶۴

### ۳-۲-۷- شرکت فاراتل

شرکت فاراتل در بیست و هفتم خردادماه سال ۱۳۵۲ بصورت رسمی تاسیس گردید. سوابق فعالیت غیر رسمی فاراتل، به آغاز همکاری تجاری دوشرکت فاراده و تلفان و به چهار سال پیشتر یعنی سال ۱۳۴۸ برمی گردد. دو شرکتی که سوابق درخشانی از همکاری با یکدیگر به جای گذشته اند. [۱۰]

در حال حاضر بیش از ۵/۴ میلیون ترانس و استابیلایزر فاراتل در سراسر کشور نصب و مورد بهره برداری است و همچنین بیش از نیم میلیون دستگاه یوپی اس فاراتل واگذار گردیده است.

- هم اکنون شرکت فاراتل یک خانواده ۵۰۰۰ نفری شامل پرسنل خود و شبکه نمایندگی فروش و خدمات پس از فروش در سراسر کشور دارد و از مابین ۵۰۰ پرسنل رسمی فاراتل، بیش از ۱۳۵ نفر با تحصیلات لیسانس و فوق لیسانس از فارغ التحصیلان دانشگاههای داخل بوده و متوسط سن پرسنل شرکت ۲۶ سال می باشد.



- در حال حاضر ۸۵۰۰ متر مربع از مساحت کارخانه فاراتل تحت پوشش تولید قرار دارد.

- شرکت فاراتل دارای بیش از ۸۰ مرکز خدمات پس از فروش در سراسر کشور می باشد.

می توان سوابق فاراتل در این سالها را به ۵ دوره تقسیم نمود:

-در دوره اول (از سال ۱۳۴۸ تا سال ۱۳۵۹) این شرکت به تولید محصولات مربوط به تلفن، UPS و محافظ یخچال پرداخته است.

- در دوره دوم (از سال ۱۳۵۹ تا سال ۱۳۷۲) این شرکت به تولید آمپلی فایر صوتی پرداخت که البته بنا بر سیاست های فاراتل مبنی بر تمرکز بر روی طراحی و تولید تجهیزات و دستگاههای حفاظتی سیستم های برق و علی رغم عرضه بسیار زیاد این رده از محصولات در بسیاری از دوائر و سازمانهای دولتی و یا خصوصی از جمله مدارس، مساجد و یا مراکز فرهنگی، در دهه ۸۰ تصمیم بر توقف تولید آن گردید. از این دوره طراحی و تولید استابیلایزر ها و یا همان تثبیت کننده های ولتاژ که وظیفه حفاظت از سیستم های الکتریکی و الکترونیکی در مقابل نوسانات برق را برعهده دارند در مدل ها و توان های مختلف نیز در فاراتل آغاز شد که تا اکنون نیز ادامه دارد.

- در دوره سوم (از سال ۱۳۷۳ تا سال ۱۳۸۰) فاراتل به سمت طراحی و تولید تخصصی منابع تغذیه بدون وقفه یا همان یو پی اس، در مدل ها و تکنولوژی های متنوع و در نهایت سرمایه گذاری به منظور توسعه سبد محصولات این رده حرکت کرد. محصولات این دوره:

-طراحی و تولید آزمایشگاهی یو پی اس (UPS) فرورزونانت (به واسطه این موضوع، ایران در رده سومین کشور تولید کننده این رده از یو پی اس ها پس از آمریکا و آلمان قرار گرفت.) و سپس تولید انبوه و عرضه یو پی اس های فرورزونانت در توانهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ ولت آمپر.

-طراحی و تولید اولین رده از یو پی اس های میکروپروسسوری و هوشمند کشور تحت نام SMART UPS.

- تولید یو پی اس های سینوسی و هوشمند با تکنولوژی Line Interactive فاراتل موسوم به مدل های SSP یا Smart Sine Plus.

- تولید یو پی اس های سینوسی و هوشمند با تکنولوژی On line Double Conversion و از نوع Transformer Less موسوم به مدل های SDC یا Smart Double Conversion.

- در دوره چهارم (از سال ۱۳۸۱ تا سال ۱۳۸۹) ادامه روند حرکتی در دوره سوم در زمینه توسعه سبد محصولات یو پی اس و غیریو پی اس، ارتقاء سیستم های مدیریت کیفیت و..... انجام شد. از دستاوردهای این دوره شرکت میتوان به موارد زیر اشاره نمود:

- تنوع یافتن تولید انواع کابینت یا محفظه های باتری های خشک فاراتل از جمله تولید اولین سری کابینت باتری های شارژردار

- طراحی و تولید اولین استابیلایزر میکروپروسسوری با مشخصات و ویژگی های منحصر بفرد تحت عنوان STB12000

- طراحی و تولید نسل جدید یو پی اس های دیجیتال برای اولین بار در خاورمیانه و کاملاً بصورت بومی در دو تکنولوژی ON- line Double Conversion و Line Interactive تحت اسامی Cadillac (کادیلاک به معنی بی نظیر است) و Digital Smart Sine.

- در دوره پنجم (از سال ۱۳۹۰ تا کنون) مسیر حرکت شرکت به صورت زیر بوده است:

- توسعه طراحی محصولات به سمت یو پی اس ها و کابینت باتری های Small Footprint

- طراحی و عرضه اولین ترانس اتوماتیک دیجیتال یخچال تحت عنوان DigiPower6

- طراحی و تولید اولین یو پی اس سه فاز کشور تحت نام کادیلاک ۳ فاز با تکنولوژی DSP FullDigital

- اضافه شدن قابلیت پارالل شدن یو پی اس های ۱۰ کیلوولت آمپر فاراتل
- اضافه شدن قابلیت Redundancy به یو پی اس های ۱۰ کیلوولت آمپر فاراتل
- طراحی و تولید اولین تابلو کنترل خروجی یو پی اس تحت نام MBS یا Manual Bypass
- ایجاد قابلیت های خاص ضریب توان خروجی (Output Power Factor) در یو پی اس های سری DSS
- طراحی و عرضه مبدل های سریال به شبکه با ساپورت کامل زبان فارسی
- طراحی و عرضه سیستم نرم افزاری قدرتمند Fara Monitor برای مدیریت متمرکز یو پی اس های نصب شده در گستره جغرافیایی گسترده (مثلاً کل کشور)
- طراحی و تولید انبوه سری جدید یو پی اس های Line-Interactive به نام VENUS
- اخذ نمایندگی انحصاری باتری های CSB در ایران که جزء ۱۰ برند برتر باتری های خشک سیلد اسید در جهان است.

## جدول (۳-۸): اطلاعات تماس شرکت فاراتل

تهران، خیابان انقلاب، مقابل خیابان استاد نجات الهی، کوی کندوان، ساختمان فاراتل، شماره ۱۲	آدرس شرکت
۱۱۳۱۸۳۴۹۱۴	کد پستی
۶۶۷۰۰۰۰۱	تلفن تماس
۶۶۷۰۹۴۹۳	فکس

## ۳-۲-۸- شرکت صنایع الکترونیک فاران

عمده تمرکز شرکت صنایع الکترونیک فاران تولید و توزیع انواع یو.پی.اس، باتری، تجهیزات انرژی های نو و تجهیزات دیگری از جمله استابلایزر و اینورتر می باشد که در راستای انتقال دانش فنی و تکنولوژی به داخل کشور و نیز تولید تجهیزاتی با

کیفیت بهتر و قیمت مناسب تر، نسبت به عقد قراردادهای تولید مشترک با چندین کمپانی معتبر اروپایی و آسیایی نیز اقدام نموده است. اکنون این شرکت با افتتاح خط توسعه تولید باتری در سال ۱۳۸۸ با حضور معاون وزارت صنایع و معادن، جناب آقای برزگری و گسترش کارخانه به فضای کلی بالغ بر ۸۹۰۰ متر مربع در استان کرمانشاه، و دفتر مرکزی به فضای کلی بالغ بر ۱۸۰۰ متر مربع در استان تهران شهرک فناوری پردیس و دفتر فروش در استان تهران خیابان قائم مقام به فضای بالغ بر ۳۴۰ متر مربع با بهره گیری از ۱۰۰ پرسنل متخصص و فنی در حال فعالیت می باشد و محصولات خود را از طریق بیش از ۵۰ نمایندگی در سراسر ایران ارائه می نماید. [۹]

شایان ذکر است که این شرکت از سال ۱۳۸۳ با گسترش فرهنگ بهینه سازی مصرف انرژی، گام جدیدی را برای عرضه تجهیزات تولید برق برداشته است و فعالیت خود را در زمینه بهره گیری از انرژی خورشیدی در مراحل طراحی، تهیه، نصب و راه اندازی و بهره برداری آغاز نموده است. شرکت فاران با توجه به حساسیت اجرای پروژه های خورشیدی، با بهره جستن از نیروی فنی خیره و برخوردار از تجهیزات و دستگاههای اروپایی و ژاپنی با کیفیت مناسب تولید و راندمان بالا توانسته است به یکی از مطرح ترین شرکتهای فعال در این زمینه تبدیل گردد. و تاکنون در بیش از ۱۵ شهر پروژه های سولار را با موفقیت اجرا کرده است.

امروز فاران با ۲۶ سال تجربه کاری پرارزش، گامهای بسیار موثری را در پیشبرد و ارتقا کمی و کیفی سطح محصولات و ارائه خدمات، با هدف ایجاد بالاترین سطح رضایت مشتریان برداشته است.

#### جدول (۳-۹): اطلاعات تماس شرکت فاران

تهران - اتوبان شهید بابایی - آزادراه تهران پردیس - پارک فناوری پردیس - خیابان نوآوری ۲۰ - ساختمان فاران	آدرس شرکت
۱۶۵۷۱۶۷۱۳۵	کد پستی
۷۶۲۵۰۸۱۸	تلفن تماس
۷۶۲۵۰۸۲۸	فکس

### ۳-۲-۹- مرکز تحقیقات الکترونیک فطروسی

سابقه فعالیت بنیانگذاران مرکز تحقیقات الکترونیک فطروسی به بیش از ۳۳ سال تجربه در زمینه تحقیقات، طراحی، تولید تجهیزات الکترونیک قدرت و تکنولوژی های وابسته و همچنین تحقیقات و طراحی انواع یوپی اس از توان ۷۸۶۰۰ تا ۷۸۶۰۰ KVA می رسد. نتایج این تحقیقات در حال حاضر در حداقل ۴۰ مدل مختلف یوپی اس که توسط ۱۹ شرکت داخلی و ۶ شرکت خارجی عرضه می شوند، مورداستفاده قرار می گیرد.[۱۴]

اولین یوپی اس ۶ KVA سینیوسی Transformerless در دنیا از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۶۷ توسط بنیانگذاران این مرکز طراحی گردید. این یوپی اس که دارای ۲۰ عدد باتری بوده و با ولتاژ ۲۴۰ V DC تغذیه می شد، ابتدا توسط شرکت FF Electric و سپس شرکت نماد الکترونیک عرضه شد. این همان یوپی اس است که امروزه بعنوان یک یوپی اس عمومی ارزان قیمت در تیراژ میلیونی در همه دنیا ساخته می شود. این یوپی اس که تنها ۶ کیلوگرم وزن داشت در اولین نمایشگاه صنعت برق ایران در سال ۱۳۶۹ عرضه گردید.

ثمره تداوم تحقیقات این شرکت در سال ۹۲ منجر به طراحی و تولید یو پی اس ها تا ظرفیت ۷۵۰ کیلو ولت آمپر شده است که با احتساب قابلیت توازی حداکثر شش سیستم با هم، امکان دستیابی به یو پی اس هایی تا توان ۵/۴ مگا ولت آمپر را فراهم می کند.

تحقیقات و طراحی انواع Rectifier های سبک و سنگین نیز از جمله فعالیت های انجام شده است. نتایج این تحقیقات برای تولید انواع تجهیزات سنگین نفتی و نیروگاهی همانند پروژه های پارس جنوبی، نیروگاه های تشرین سوریه، صدر و نجف عراق و بسیاری از نیروگاه های داخلی و همچنین اسکله های نفتی مورد استفاده قرار گرفته است.

عضویت در کمیته های تدوین استانداردهای ملی ایران به شماره های ISIRI 7027-3 1st. edition 2004، ISIRI 7027-1-2 1st. edition APR 2008 و ISIRI 7027-1-1 1st. edition APR 2008 نیز نشانی از سابقه فعالیت در صنعت الکترونیک کشور است.

همچنین مرکز تحقیقات الکترونیک فطروسی شریک تجاری شرکت Hyundai Corporation کره جنوبی در طراحی و تولید یوپی اس در ایران می باشد.

تحقیقات و طراحی های حرفه ای بطور اختصار عبارتند از:

#### سیستمهای UPS

- تحقیقات و تدوین روش افزایش تقارن جریان ترانزیستورهای قدرت موازی در ups های line-interactive تا 99.97%.
- تحقیقات و تدوین پروتکل شناخت و حفاظت یوپی اس در مقابل بازخورد مثبت (اتصال ورودی به خروجی یک ups بجای برق شهر)
- تدوین پروتکل شارژ (مدیریت شارژ نقطه ای) جهت یکسان سازی ظرفیت باتریهای سری بدون نمونه گیری از تک تک سلولها
- طراحی روش شارژ بسیار سریع اصلاح ولتاژ و شکل موج خروجی اینورتر (ظرف کمتر از ۱۰۰ میکروثانیه)
- تلفیق اینورترهای تشدید و کنترل عرض پالس جهت ایجاد یک کارایی جدید
- تحقیقات و تدوین روش موازی کردن اینورترها بدون هیچ سیم کنترلی بین آنها و آزمون آن بر روی ۲۴ عدد اینورتر موازی با موفقیت در ایجاد تقارن کامل جریان
- تدوین روش تولید کلیدهای بای پس دستی "اتصال قبل از قطع" در یو پی اس ها
- تحقیقات، طراحی و تدوین روش جایگزینی برق شهر بجای ژنراتور بدون انحراف زاویه یا تأخیر زمانی
- تدوین پروتکل تولید اینورتر سه فاز با تنها چهار عدد ترانزیستور قدرت

#### منابع تغذیه سوئیچ

- تدوین پروتکل و طراحی منابع تغذیه سوئیچ بدون اصلاح اکتیو ضریب قدرت و کاهش اعوجاج هارمونیک کل در جریان ورودی به کمتر از ۱۰%

- تدوین پروتکل ایجاد همزمانی و فاز مناسب در منابع تغذیه موازی به منظور کاهش موجکهای خروجی

#### فیلترهای هارمونیکی فعال

- طراحی فیلترهای هارمونیکی فعال با سرعت بسیار زیاد (بهتر از ۱۰۰ میکروثانیه زمان اصلاح)
- تدوین متد کاهش موجکهای ناشی از کلید زنی در بار
- تحقیقات، طراحی و تدوین پروتکل اصلاح ضریب قدرت بدون نمونه گیری از جریان بار.

#### جدول (۳-۱): اطلاعات تماس مرکز تحقیقات الکترونیک فطروسی

آدرس شرکت	تهران، اتوبان بابایی، جاده دماوند، کیلومتر ۲۰، پارک فناوری پردیس، بلوار پژوهش، کوچه نوآوری ۱۶، پلاک ۱۶۷، مرکز تحقیقات الکترونیک فطروسی
تلفن تماس	۷۶۲۵۰۶۰۱
فکس	۷۶۲۵۰۶۳۴

#### ۳-۲-۱۰- جهاد دانشگاهی علم و صنعت

جهاد دانشگاهی علم و صنعت به عنوان نهادی علمی، تحقیقاتی و صنعتی فعالیتهای خود را از سال ۱۳۵۹ در حوزهی فنی و مهندسی در زمینه های برق، مکانیک، عمران، معماری و شهرسازی آغاز نموده است. یکی از زمینه های اصلی کاری جهاد دانشگاهی علم و صنعت و پژوهشکده برق جهاد دانشگاهی الکترونیک قدرت است و در این زمینه بیش از ۲۵ سال فعالیت می نماید. [۱۳]

پژوهشکده برق دارای دو گروه پژوهشی با عناوین "مبدل های الکتریکی و سیستم های قدرت" و "منابع تغذیه صنعتی" است که بطور خاص در زمینه الکترونیک قدرت فعالیت می نماید.

جهاد دانشگاهی علم و صنعت دارای دو مرکز خدمات مهندسی به نامهای "مبدلها و منابع تغذیه" و مرکز "ترانس های خاص" است که با دارا بودن آزمایشگاه و کارگاه های تخصصی و نیروهای کارشناسی متخصص و تکنیسین مجرب به طور خاص در حوزه طراحی و ساخت تجهیزات مبتنی بر الکترونیک قدرت فعالیت می کنند.

از سالیان گذشته طراحی و ساخت UPS و شارژرهای صنعتی و یکسوسازهای خاص جهت صنایع و پروژههای ملی مانند پروژههای نفتی پارس جنوبی در حال انجام بوده است و نتایج طراحیهای انجام شده منجر به محصولات عملیاتی مطابق با استانداردهای بین‌المللی در سایت‌های بهره‌بردار گردیده است. طرح‌های پژوهشی مبتنی بر الکترونیک قدرت پایان یافته یا در حال اجرا به شرح زیر هستند:

- محور انرژی‌های تجدید پذیر: طراحی و ساخت اینورتر ۵ کیلو وات جهت اولین پیل سوختی ۵ کیلو واتی کشور- طراحی اینورتر سه فاز PV به قدرت ۲۰ کیلو وات بصورت متصل به شبکه
- محور بهسازی کیفیت توان: طراحی و ساخت رکتیفایر پر قدرت مبتنی بر IGBT جهت شارژرها و UPS‌های صنعتی با  $PF=1$  و  $THDI < 5\%$  - طراحی و ساخت بار الکترونیکی- طراحی و ساخت VFD ولتاژ متوسط به قدرت 1MVA چند سطحی برای خطوط لوله نفت
- محور HVDC: طراحی و ساخت HVDC-LIGHT به قدرت 1MVA.
- محور حمل و نقل: اجرای طرح کلان ملی "طراحی و ساخت سیستم رانش و مبدل‌های الکتریکی یک قطار مترو"- طراحی و ساخت یکسوساز پستهای کششی ایستگاه‌های مترو.

#### جدول (۳-۱۱): اطلاعات تماس جهاد دانشگاهی علم و صنعت

آدرس کارخانه	تهران، نارمک، خیابان فرجام شرقی، خیابان حیدرآباد شمالی، شماره ۱۸۴
تلفن کارخانه	۷۷۴۵۵۰۰۱-۲
فکس کارخانه	۷۷۴۵۵۰۰۳
آدرس سایت	<a href="http://www.jdevs.com">http://www.jdevs.com</a>

#### ۳-۲-۱۱- جهاد دانشگاهی خواجه نصیر

جهاد دانشگاهی خواجه نصیرالدین طوسی با هدف شناسایی نیازهای صنعت کشور در زمینه طراحی و تولید پروژه های کاربردی شروع به کار نموده و تا کنون با به ثمر رساندن بیش از یکصد و پنجاه پروژه کاربردی در قالب قرارداد با مراکز مختلف صنعتی،



ضمن بی نیاز نمودن کشور از بسیاری اقلام وارداتی، گام های محکم و قابل قبولی را در جهت خودکفایی و صرفه جویی ارزی برداشته است. برخی از دستاوردهای این واحد در زمینه الکترونیک قدرت به شرح زیر هستند:

- نیروگاه برق هیبریدی بادی-خورشیدی دو کیلووات
- از نیروگاه هیبریدی بادی-خورشیدی جهت تامین برق منازل مسکونی، ادارات، مراکز بهداشت و درمان و یا مناطقی که تامین برق از طریق شبکه سراسری برق مشکل است می توان استفاده نمود. هر واحد از این نیروگاه توانایی تامین ۲ کیلووات برق را دارا می باشد. با توجه به طراحی بومی از این نوع از توربینهای بادی و ژنراتور آن در جهاد دانشگاهی واحد خواجه نصیرالدین طوسی، این قابلیت وجود دارد که بنا به نیاز و درخواست مشتری تولیدات با ابعاد و توانهای مختلف صورت گیرد.
- طراحی و ساخت جبران ساز 35KVA با ساختار STATCOM.
- طراحی، ساخت و تولید کوره های القایی فرکانس متوسط و فرکانس بالا.
- جهاد دانشگاهی واحد خواجه نصیرالدین طوسی اولین سازنده کوره های القایی فرکانس متوسط و فرکانس بالا در ایران می باشد. طرح کوره القایی فرکانس متوسط با سوئیچ ترستور از سال ۱۳۶۳ در این واحد شروع و نمونه نیمه صنعتی و صنعتی آن ساخته شده است و در هشتمین دوره جشنواره خوارزمی رتبه سوم ابتکار را به خود اختصاص داد. در حال حاضر در حدود ۲۰۰ دستگاه از آنها در صنایع مختلف کشور مورد استفاده قرار گرفته اند. در مراکز آموزشی نیز در حدود ۲۰ دستگاه از نوع آزمایشگاهی آن استفاده می شود. تکنولوژی استفاده شده در کوره های جدید به شکلی است که با استفاده از IGBT نیاز به ترستور و لامپ را حتی در فرکانسهای بالا حذف کرده است.
- طراحی و ساخت انواع دینامومتر فوکو با قابلیت کنترل به صورت حلقه بسته و مجهز به سیستم پایش.
- ایجاد شرایط تست بارگیری از موتورها در سرعت های بالا عموماً مشکل می باشد. دینامومترهای فوکو تجهیزات الکترومکانیکی هستند که برای تست بارگیری موتورها به عنوان با متغیر کاربرد دارند.
- شارژرهای سوئیچینگ هوشمند.
- شارژرهای سوئیچینگ هوشمند نسل جدیدی از باطری شارژر هستند که با استفاده از یونیت کنترل مرکزی و نیمه هادیهای قدرتمند با راندمان بالای ۹۲٪ برای شارژ انواع باطری طراحی شده اند. این شارژر با مانیتر ولتاژ، درجه

حرارت و جریان شارژ باتریها و با توجه به شرایط بار مناسبترین الگوریتم شارژ را برای عمر طولانی باتری و بیشترین راندمان انتخاب می‌کند.

#### جدول (۳-۱۲): اطلاعات تماس شرکت جهاد دانشگاهی خواجه نصیرالدین طوسی

آدرس کارخانه	خیابان شریعتی - تقاطع بزرگراه رسالت - دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی - جهاد دانشگاهی خواجه نصیرالدین طوسی
تلفن کارخانه	۸۸۴۶۶۲۰۰
فکس کارخانه	داخلی ۴۰۰
آدرس سایت	<a href="http://jdnasir.ac.ir/">http://jdnasir.ac.ir/</a>

#### ۳-۲-۱۲- پارک علم و فناوری استان کرمان

در خصوص توانمندی و پتانسیل واحدهای فناور مستقر در پارک علم و فناوری کرمان در زمینه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- طراحی و ساخت اینورتر سه فاز.
- طراحی و ساخت مبدل ۳۸۰ ولت DC به ۵۰۴ ولت DC
- طراحی و مهندسی معکوس بردها، تعمیر بردها و ... سیستم حمل و نقل برقی
- طراحی و ساخت مبدل ۱۲ ولت DC به ۲۲۰ ولت با شکل موج کاملاً سینوسی.
- طراحی و ساخت انواع سافت استارتر.
- طراحی و ساخت انواع بردهای الکترونیکی از جمله بردهای GSM (مانیتورینگ و کنترل)
- کنترل بار، شارژر اتوماتیک با توانهای مختلف، رگولاتور برای موتور برق، منبع تغذیه کاملاً دیجیتال با کیبورد، منبع تغذیه سوئیچینگ در توانهای مختلف.
- تعمیر انواع بردهای الکترونیکی از جمله UPS-STABILIZER.
- تعمیر انواع PLC-DRIVE-CONVERTER-STEPPER MOTOR.

- تعمیر انواع منبع تغذیه شامل ترانس و POWER SWITCHING.
- تعمیر انواع الکتروموتور.
- ساخت بردهای شارژ و تغذیه و همچنین بردهای FET در لیفتراک.

### جدول (۳-۱۳): اطلاعات تماس پارک علم و فناوری کرمان

آدرس شرکت	کرمان، خیابان شهید کامیاب، جنب یخدان مؤیدی
تلفن تماس	۰۳۴ ۳۲۲۲۵۳۰۰

### ۳-۲-۱۳- پژوهشگاه نیرو

پژوهشگاه نیرو در سال ۱۳۷۶ با اخذ مجوز سه پژوهشکده "برق"، "تولید نیرو" و "انتقال و توزیع نیرو" از شورای گسترش آموزش عالی بطور رسمی کار خود را آغاز و در سال ۱۳۷۷ با اخذ دو مجوز جدید پژوهشکده‌های "انرژی و محیط زیست" و "کنترل و مدیریت شبکه" را نیز به مجموعه خود افزود و در ادامه با ایجاد "مراکز شیمی و مواد"، "توسعه فناوری توربین‌های بادی" و "آزمایشگاه‌های مرجع" فعالیت‌های خویش را توسعه بخشید. هم‌اکنون با ۵ پژوهشکده، ۳ مرکز و ۲۱ گروه پژوهشی علاوه بر پروژه‌های ملی در چندین پروژه بین‌المللی نیز با مشارکت کشورهای پیشرفته صنعتی حضور داشته و سعی دارد نقش خود را در این قبیل پروژه‌ها توسعه بخشد. پژوهشکده برق پژوهشگاه نیرو در زمینه‌های مطالعاتی و تحقیقاتی مرتبط با مباحث ماشین‌های الکتریکی، الکترونیک صنعتی، مطالعات سیستم و مشکلات بهره‌برداری شبکه برق مشغول به کار می‌باشد. [۱۱]

گروه پژوهشی الکترونیک صنعتی در زمینه‌های تحقیقاتی و پژوهشی، طراحی، ساخت و کاربرد تجهیزات الکترونیک قدرت در سیستم قدرت فعالیت می‌کند. در این گروه تجهیزاتی نظیر جبران‌کننده‌های استاتیک توان راکتیو، تحریک‌کننده‌های استاتیک ماشین‌های الکتریکی، سیستم‌های راه‌انداز استاتیکی و کنترل دور موتورها، سیستم‌های انتقال توان الکتریکی با جریان مستقیم و ادوات انعطاف‌پذیر در شبکه‌های انتقال و توزیع (FACTS) به منظور استفاده در سیستم قدرت مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و طراحی و پیاده‌سازی می‌شوند. پروژه‌های گروه شامل موارد زیر است:

- طراحی و ساخت سیستم درایو دور متغیر موتورهای القایی ولتاژ پایین
- بررسی انتقال توان الکتریکی توسط سیستم HVDC Light

- طراحی و ساخت شبیه‌ساز آنالوگ سیستم‌های الکترونیک قدرت
- طراحی و ساخت سیستم تحریک استاتیک ژنراتور سنکرون برای یکی از واحدهای نیروگاه بعثت
- طراحی و ساخت مبدل الکترونیک قدرت و سیستم کنترل و مانیتورینگ میکروتوربین ژنراتور
- طراحی یکسوساز سیستم تحریک استاتیک و نظارت بر ساخت، تست و راه اندازی آن
- مطالعات بکارگیری گسترده لامپ‌های کم مصرف CFL در کشور
- بررسی چراغ‌های روشنایی معابر ساخته شده با LED
- طراحی و ساخت جبران کننده توان راکتیو TCR+FC جهت نصب در پست ۶۳ کیلوولت لوشان
- تدوین استاندارد مصرف و برچسب انرژی انواع چراغ‌های معمولی و LED
- طراحی و ساخت فیلتر ترکیبی (فعال+پسیو) برای کاربرد در سیستم فشار ضعیف
- طراحی و نظارت بر خرید، نصب و راه‌اندازی ادوات الکترونیک قدرت توربین بادی ۲ مگاواتی
- تولید دانش فنی، طراحی و ساخت سیستم تحریک استاتیک ژنراتور سنکرون برای یک واحد برق آبی ۲۵ مگاواتی.

## جدول (۳-۱۴): اطلاعات تماس پژوهشگاه نیرو

آدرس	شهرک غرب-انتهای بلوار شهید دادمان، صندوق پستی: ۱۴۶۶۵۵۱۷
تلفن	۸۸۰۷۹۴۰۰
فکس	۸۸۰۷۸۲۹۶
آدرس سایت	www.nri.ac.ir

با توجه به اطلاعات جمع آوری شده در خصوص ظرفیتهای صنعتی کشور می توان بیان نمود که در حیطه تجهیزات الکترونیک قدرت فشار ضعیف (۴۰۰ ولت) فعالیتهای قابل توجهی در کشور صورت گرفته و توانمندی ارزشمندی در کشور وجود دارد ولی در خصوص تجهیزات کاربردی در شبکه برق که در سطوح ولتاژ بالاتر و یا توان نامی بزرگی قرار می گیرند در کشور بجز چند فعالیت محدود اقدامی صورت نگرفته و در این حوزه نیازمند فعالیت و سرمایه گذاری مناسب جهت دستیابی به جایگاه در خور کشور هستیم.

## ۴- نتیجه گیری

این گزارش به عنوان یکی از گزارشات مرحله چهارم پروژه تدوین سند راهبردی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق، به منظور بررسی زنجیره ارزش تجهیزات الکترونیک قدرت و پتانسیلهای داخلی در این زمینه تهیه شده است.

در این جهت، در فصل اول این گزارش مفاهیم و تعاریف اصلی در ادبیات زنجیره ارزش معرفی و بصورت مختصر توضیح داده شده است. پس از آن در فصول بعد زنجیره ارزش تجهیزات الکترونیک قدرت مورد نیاز در این صنعت ایران معرفی و توضیح داده شده است. در فصل دوم مدل دیاگرامی زنجیره ارزش تجهیزات الکترونیک قدرت معرفی شده است. در این دیاگرام که به سه بخش کلی طراحی و ساخت R&D، طراحی و ساخت صنعتی و بهره‌برداری تقسیم می‌شود، به جزئیات ساخت شامل مواد و تجهیزات اولیه در قسمتهای قدرت، الکترونیک قدرت و کنترل نیز پرداخته شده است. در این فصل برخی پتانسیلهای داخلی در رابطه با ساخت تجهیزات و مواد اولیه معرفی شده‌اند. و در نهایت پتانسیلهای بالقوه و بالفعل شناسایی شده کشور توضیح داده شده است.

در فصل سوم این گزارش به معرفی برخی شرکتهای فعال در زمینه تجهیزات الکترونیک قدرت و کادر هیئت علمی دانشگاهها که در این زمینه تخصص دارند، پرداخته شده است. لازم به ذکر است برای بررسی پتانسیلهای داخلی در این زمینه با شرکتهای، دانشگاهها و مراکز پژوهشی و پارکهای علم و فناوری بسیاری مکاتبه شده است که اسامی آنها به پیوست آورده می‌شود، در این میان مسلماً ذکر مثالها و جزئیات رزومه شرکتهای عمده در شرکتهایی که پاسخ داده‌اند، کاملتر است و از آنها سپاسگزاریم.

## پیوست

## ۵- پیوست

اسامی شرکتها و مراکز دانشگاهی و پژوهشی که با آنها مکاتبه شده است به شرح زیر هستند:

نام دانشگاه	رییس دانشکده / گروه	فکس
دانشگاه کاشان دانشکده برق	ریس دانشکده: Sataher@Kashanu.ac.ir Tel: ۵۹۱ ۲۴۵۰	فکس دبیرخانه: ۰۳۱۵۵۵۱۱۱۲۱
دانشگاه اراک	رئیس گروه برق: دکتر امیرحسین ابوالمعصومی، پست الکترونیکی: a-abolmasoumi@araku.ac.ir تلفن تماس: ۳۲۶۲۵۶۰۰	
دانشگاه ارومیه	مدیر گروه: دکتر داریوش نظریپور تلفن: ۲۹۷۲۸۷۵-۰۴۴۱ آدرس پست الکترونیکی: d.nazarpour@urmia.ac.ir	کد: ۳۲۷۷۳۵۹۱-۰۴۵: فکس
دانشگاه اصفهان	mirzaeian[at]eng.ui.ac.ir بهزاد میرزائیان دهکردی	۰۳۱۳-۷۹۳۴۱۱۴-۷۹۳۲۰۳۸
دانشگاه الزهرا		فاکس: ۰۲۱-۸۸۰۳۵۱۸۷
دانشگاه ایلام	دکتر مجید ولی زاده . پست الکترونیک: m-valizadeh@tabrizu.ac.ir	۰۲۶۰۸۴-۳۲۲۲۷
دانشگاه بجنورد		۰۵۸-۳۲۴۱۰۷۰۰-۳۲۴۱-دبیرخانه
دانشگاه بوعلی سینا	دکتر علی دهیمی (۳۳۷) ۸۲۵۷۴۰۹ a.deihimi@basu.ac.ir	۳۸۲۹۲۴۳۱۰۸۱
دانشگاه بین المللی امام خمینی قزوین	f.ehyaei@ikiu.ac.ir امیر فرهاد احیایی مدیر گروه برق:	۲۸۳۳۷۸۰۰۷۳
دانشگاه پیام نور	خانم ژیلا و کیلی مهندسی برق ۰۲۱-۲۶۱۲۰۰۲۸ electrical@pnu.ac.ir	
دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی		۰۲۱-۲۲۹۷۰۰۰۶۰۲۱
دانشگاه تربیت مدرس	محسن پارسا مقدم مدیر گروه تلفن: ۸۲۸۸۳۳۶۹ فکس: ۸۲۸۸۴۳۲۵ پست الکترونیک: parsa@modares.ac.ir	۰۲۱-۸۲۸۸۴۳۲۵
دانشگاه تهران	رییس دانشکده دکتر فرهنگی	۰۲۱-۸۸۰۱۳۱۹۹
دانشگاه تفرش	مدیر گروه مهندسی برق- قدرت mojtabapishvaei@yahoo.com پیشوایی	
دانشگاه جیرفت	علی گروهی Ali.goroohi@gmail.com	۰۳۴-۴۳۳۴۷۰۶۵

نام دانشگاه	رئیس دانشکده / گروه	فکس
دانشگاه تبریز	دکتر ابراهیم بابائی e-babaei@tabrizu.ac.ir	۰۲۹۰۴۱-۳۳۳۰
دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته	روح الله فداییپست الکترونیک: rfadaein@kgut.ac.ir تلفن تماس: ۰۳۴۲-۶۲۶۶۱۱	۰۳۴-۳۳۷۷۶۶۱۷۰
دانشگاه تربت حیدریه	m.ettehadi [at] ۱ Tel: ۰۵۳۱- ۲۲۹۹۹۶۰۲-۴ ut.ac.ir مسعود اتحادی	۰۱۰۵۳-۳۲۲۹۹۶
دانشگاه حضرت آیت ا...العظمی بروجردی (ره)		۶۶۴۲۴۶۸۲۲۳
دانشگاه خلیج فارس	مدیر گروه: دکتر احمد کشاووز ۰۷۷۳- ۴۲۲۲۱۷۶ a.keshavarz[at]pgu.ac.ir	
دانشگاه خوارزمی (تهران)	amjadifard@khu.ac.ir مدیر گروه: دکتر رویا امجدی فرد تلفن: ۸۸۸۳۰۸۹۱	دور نویس: ۸۸۸۲۵۵۸۰- ۲۱
دانشگاه خوارزمی (کرج)	مدیر گروه: دکتر رویا امجدی فرد تلفن: ۲۶۳۴۵۵۰۰۰۲ amjadifard@khu.ac.ir	
دانشگاه دامغان		- ۳۵۲۲۰۱۲۰۰۲۳
دانشگاه رازی	نام و نام خانوادگی: دکتر حمادی عبادی تلفن: ۴۲۸۳۲۶۱ (۸۳۱) ۹۸ ایمیل: hamdiabdi@razi.ac.ir	-۴۲۷۴۵۴۲۰۸۳۳
دانشگاه زابل	دکتر مهدی حیدری تلفن ثابت ۲۲۴۲۵۰۶ ۵۴۲ (+۹۸) فکس ۲۲۴۲۵۰۶ ۵۴۲ (+۹۸) پست الکترونیکی m.heidari@uoz.ac.ir	تلفکس دانشکده ۰۵۴۳۱۲۳۲۰۲۰۰: فکس دانشگاه: ۰۵۴۳۲۲۶۷۶۵
دانشگاه زنجان	دکتر کاظم مظلومی +۹۸ ۲۴ ۳۳۰۵ ۴۰۶۷: تلفن kmazlumi@znu.ac.ir: پست الکترونیکی دکتر مصطفی یارقلی +۹۸ ۲۴ ۳۳۰۵ ۴۰۷۰: تلفن yargholi@znu.ac.ir: پست الکترونیکی	۰ ۲۴ ۳۳۰۵۲۷۶۲ فاکس



نام دانشگاه	رییس دانشکده / گروه	فکس
دانشگاه سلمان فارسی کازرون		فکس: ۰۷۱۴۲۲۲۹۰۸۰
دانشگاه سمنان	دکتر مصطفی جزایری پست الکترونیکی: <a href="mailto:mjazaeri@semnan.ac.ir">mjazaeri@semnan.ac.ir</a> مدیر گروه قدرت و کنترل دکتر یوسف علی نژاد پست الکترونیکی: <a href="mailto:yalinejad@semnan.ac.ir">yalinejad@semnan.ac.ir</a> شماره تماس: ۰۲۳ ۳۳۳۸۳۹۹۳	نمابر: ۰۲۳ ۳۳۶۵۴۱۲۳
دانشگاه سیستان و بلوچستان	سیدمسعود برکاتی شماره داخلی: ۶۴۰۰ شماره مستقیم: ۹۸۵۴۱۸۰۵۶۴۰۰ فکس: ۹۸۵۴۱۲۴۴۵۷۰۷ پست الکترونیکی: <a href="mailto:sambaraka@ece.usb.ac.ir">sambaraka@ece.usb.ac.ir</a> محمود اوکاتی صادق شماره مستقیم: ۵۴۱۲۴۴۷۹۰۸ فکس: ۰۵۴۱۲۴۴۷۹۰۸ پست الکترونیکی: <a href="mailto:oukati@hamoon.usb.ac.ir">oukati@hamoon.usb.ac.ir</a>	نمابر: (۰۵۴)۳۳۴۳۱۰۶۳
دانشگاه شاهد	Sadeghzadeh AT shahed.ac.ir ۵۱۲۱۲۰۹۰ دکتر سید محمد صادق زاده	۲۱-تلفکس: ۵۱۲۱۳۵۶۴
دانشگاه شاهرود	امین حاجی زاده تلفن تماس: ۰۲۳-۳۲۳۰۰۲۴۰ داخلی ۳۲۰۷ Email: <a href="mailto:aminhajizadeh@gmail.com">aminhajizadeh@gmail.com</a> شماره فکس: ۰۲۱-۸۹۷۸۲۷۵۳	تلفکس: ۰۲۳۳۲۳۰۰۲۵۰
دانشگاه شهرکرد		۰۳۸۳۲۳۲۴۴۳۸
دانشگاه شهید باهنر کرمان	تلفن: ۰۲۵۱۴-۳۲۰(۳۴۱)۹۸+ فکس: ۰۵۹۰۰-۳۲۳(۳۴۱)۹۸+ <a href="mailto:hhojabri@yahoo.com">hhojabri@yahoo.com</a> حسین هژبری هوتکی	فاکس: ۰۳۴-۳۱۳۲۵۹۰۰
دانشگاه شهید بهشتی		۰۲۱ ۰۲۲۴۳۱۸۰۴ دبیرخانه:
دانشگاه شهید چمران اهواز	۳۳۳۷۰۱۰ ( +۹۸۶۱۳ ) TEL : دکتر سیف السادات +۹۸۶۱۳ ۳۳۳۶۶۴۲ Email: <a href="mailto:Seifossadat@yahoo.com">Seifossadat@yahoo.com</a>	۳۳۳۶۶۴۲۰۶۱۳
دانشگاه شهید مدنی آذربایجان	دکتر بنایی تلفن: ۰۹-۳۴۳۲۷۵۰۰-۴۱ داخلی Email: <a href="mailto:m.banaei@azaruniv.edu">m.banaei@azaruniv.edu</a> <a href="mailto:Banaei_mohamad@yahoo.com">Banaei_mohamad@yahoo.com</a>	۰۴۱۳۴۳۲۷۵۶۶
دانشگاه شیراز	مدیر گروه: محمد محمدی <a href="mailto:m_mohammadi@shirazu.ac.ir">m_mohammadi@shirazu.ac.ir</a>	فکس: ۰۳۶۲۸۶۴۱۹- ۰۷۱

نام دانشگاه	رییس دانشکده / گروه	فکس
	دکتر ابراهیم فرجاه farjah@shirazu.ac.ir	
دانشگاه صنعتی جندی شاپور	مهدی سرادارزاده saradar@jsu.ac.ir	فکس: ۰۶۱-۴۲۴۲۶۶۶۶
دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان	moradi@bkatu.ac.ir مجید مرادی زیر کوهی	
دانشگاه صنعتی سیرجان	رئیس بخش برق و کامپیوتر تلفن داخلی ۰۴۵ تلفن مستقیم ۴۱۵۲۲۰۴۵	نمابر: ۰۴۲۳۳۶۹۰۰-۰۳۴
دانشگاه صنعتی شهدای هویزه		نمابر: ۰۶۱-۳۶۷۵۱۰۲۰
دانشگاه صنعتی قم	Email: ehsanajafi@gmail.com نجفی ece@qut.ac.ir	فکس: ۰۲۵-۳۶۶۴۱۶۰۴
دانشگاه صنعتی اراک	پست الکترونیکی: salami@arakut.ac.ir دکتر ابوالفضل سلامیشماره تلفن: ۰۸۶-۳۳۶۷۰۰۲۱	نمابر: ۰۸۶-۳۳۶۷۰۰۲۰
دانشگاه صنعتی ارومیه	مدیریت گروه مهندسی برق دکتر جمشیدی فر ۳۱۹۸۰۲۴۸ eesite@uut.ac.irm.h.amrollahi@uut.ac.ir مهندس محمد حسین امراللهی دویران	۰۴۴-۳۱۹۸۰۲۵۱
دانشگاه صنعتی گلستان	a.dadpour@gu.ac.ir دکتر احمد دادپور	۰۱۷-۳۲۴۳۰۵۱۶
دانشگاه صنعتی بیرجند		۰۵۶۳۲۲۵۲۰۲۵
دانشگاه قم	سجاد محمد علی نژادتلفن: ۰۳۵۶۴-۲۱۰۳۵۶۴-۲۵۱-۹۸+ داخلی: ۳۵۶۴	فکس: ۰۲۵-۳۲۸۵۴۴۹۹
دانشگاه فنی حرفه ای		۰۲۱-۸۸۱۹۰۶۰۸
دانشگاه فردوسی مشهد	m.monfared@um.ac.IR محمد منفرد	فکس: ۰۵۱-۳۸۷۶۳۳۰۱
دانشگاه علم و فناوری مازندران	رضانی n_ramezani@iust.ac.ir iraj_۵۱۸@yahoo.com احمدی	
دانشگاه علم و صنعت ایران	مدیر گروه دکتر جلیلیان ایمیل: jalilian(AT)iust.ac.ir	۰۲۱-۷۳۲۲۵۷۷۷
دانشگاه صنعتی شیراز	امیرحسین رجایی a.rajaei@sutech.ac.ir	۰۲۱-۷۱۳۷۲۶۲۱

فکس	رییس دانشکده / گروه	نام دانشگاه
-۴۱۳-۳۴۴۴۳۲۲۰	Phone: +۹۸-۴۱۳-۳۴۵۹۳۶۲ r.kazemzadeh@sut.ac.ir ر.رسول کاظم زاده	دانشگاه صنعتی سهند
-۶۶۱۶۴۰۵۱۰۲۱		دانشگاه صنعتی شریف
-۸۸۴۶۲۰۶۶۰۲۱		دانشگاه صنعتی خواجه نصیر
دور نگار: ۰۱۱۳۳۳۳۴۲۰۱	هدی قریشی ghoreishy@nit.ac.ir	دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
-۶۶۴۰۶۴۶۹۰۲۱		دانشگاه صنعتی امیرکبیر
فکس: ۳۹۱۲۴۵۱ (۳۱۳)- (+۹۸)	moallem@cc.iut.ac.ir معلم	دانشگاه صنعتی اصفهان
-۳۸۳۸۰۵۲۰ ۰۸۱	delavari [AT].hut.ac.ir دکتر هادی دلاوری	دانشگاه صنعتی همدان
(۸۳۳)۷۲۴۴۲۰۱	<a href="mailto:siroos.hemmati@gmail.com">siroos.hemmati@gmail.com</a> دکتر سیروس همتی	دانشگاه صنعتی کرمانشاه
	h.fatehi@vru.ac.ir دکتر حسن فاتحی مرج	دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

اسامی شرکتهایی که با آنها مکاتبه شده است به شرح زیر هستند:

شماره فکس	نام شرکت
22223395	بهمن ریز کوه
88833385	پلاتین ایران
88528297-9	صنایع تولیدی پویه الکترونیک
66760281	قشم ولتاژ
88061956	فرانیر تامین پارس
88173506	آذر فنون تابلو
44231839	مدار اندیشه
88618238	فراکوه
88882959	پرتو خازن
88734370	کاپاسیتور پارس
63492330	پالایش نیرو
88776071	رهشاد الکتریک
05132400231	گروه صنعتی الکتروپژواک آرین
89786913	دمنده
22018763	الوند توان انرژی
88903440	آبان نیرو منطقه ازاد چابهار
44091265	پاد انرژی ناره
02533340184	فنی مهندسی شب کهربا
24832001	فراز پنداران آریا موج(فرپام)
88042455	مشاور روشنایی نورگستر
88427005	قدس نیرو
05138844393-4	توس اشتات
07136306625	مهندسی مشاوران شیراز انرژی(مشیران)
26600384	مهندسی نامداران صنعت انتقال
03132203535	سامان انرژی نیرو
66551387	موسسه تحقیقات ترانسفورماتور ایران
02433451988	مهندسی اندیشمند شمالغرب
88883868	مهندسی پارس نیرو کیش

شماره فکس	نام شرکت
03132665701	نواژن نیرو نوین ایرانیان
07132353652	محب نیرو
03132332485	مهندسان مشاور بهراد
88794829	رایان پرتو باختر
03432475278	مهندسی برق و انرژی لاوان آکام
88541164	مهندسی و مشاور آبنوس انرژی پایدار
88724847	مهندسی مشاور نیرو
84782153	خدمات مهندسی مشانیر
03132220594	فنی مهندسی مبین برق اصفهان
88024379	مدیریت پروژه های صنعتی ابدال (مپصا)
08338359856	مهندین مشاور سامان نیرو دالاهو
88302758	مشاوران مینا بهینه سازان نیرو
03136276898	پویان انرژی نیرو افزار (پانیرا)
02634336610	صدرا انرژی پارسیان
02637773335	انرژی گاز اشتهارد کسری
22908597	گروه مینا
88997658	توسعه برق ایمن آداک
88690095-6	بهمن ارتباط مهر
03133386007-9	پردیسان فناوران نیرو
22134879	توسعه برق طنین موج
88320514-18	کومین زاد یدک
08138311064	مهندسی صدر کنترل سینا
88780532	مولد نیرو میکا
22648048	کیسون
44423956	معیار توسعه نیرو
22439748	مدیریت پروژه های انرژی تجدیدپذیر مکسان پیشرو (مورکو)
44697480	تهاتر ایمن پیمان
22376109	مگا توان سیستم خاور میانه
88302758	مینا بهینه سازان تولید نیرو
88949108	پویا بهین سازان خاور میانه

شماره فکس	نام شرکت
22355854	فناوران فرا افزار
44612110	پیرامون سیستم قشم
88732696	صنایع الکترونیک فاران
88302758	مینا بهینه سازان نیرو
88795762	فناوریهای پاک فرانیرو
07733532221	سولار امکان نوید
04135234676	گسترش انرژیهای تجدیدپذیر آفتاب شرق
88220577	سیستمهای خورشیدی زمین سبز تابان
76250061	آرم زمین گرمایی
88042455	مشاور روشنایی نورگستر
05138846223	پیمان خطوط شرق
88623729	مرکز ماشینهای اداری ایران(مادایران)
03132203535	سامان انرژی نیرو
44407528	برق آفتابی هدایت نور
03444319045	راه پویان صنعت جیرفت
88829557	مهندسين صنايع اميد سامه
88313969	پلار مهر ایرانیان
02634205863	آرامش نگین البرز
88638170	ایرذوب
22439748	مدیریت پروژههای انرژی تجدید پذیر مکسان پیشرو(مورکو)
03517260086	نیرو پارس یزد
66706275	زی نر
88946217	پرتوگستر هور
03136293654	سپاهان توان گستر
76250634	تحقیقات الکترونیک فطروسی
66048952	یکتا بهینه توان (یکتا بهان)
77917044	مهندسی آردین صنعت پایدار
84782153	خدمات مهندسی مشانیر
88958045	توسعه گرین انرژی
88302758	مینا بادسان نیرو

شماره فکس	نام شرکت
88302758	مبنا بهینه سازان تابان نیرو
89771184	تامین اندیشان انرژی پاک
88711975	گروه صنعتی بهمن گسترش کیان
22564434	اترک انرژی
88631192	تامین سیستمهای کنترل و مخابرات ایران
77608910	رانین فرایند گستر
88088973	همیان فن (هفکو)
22883594	ویستا جهان
44837661	اندیشه های فرانگر برسام
88711676	صنایع تجهیزات ابزار دقیق آتبین
22880460	درنا صنعت مهر
06142543130	اروند نیروی دز
03136264833	مهندسی طرحهای برقی اصفهان (مطبا)
03432475278	لاوان تابلو
82163777	کرمان تابلو
44827468	تراشه پرداز پویا
77455003	جهاد دانشگاهی علم و صنعت
88516873	مهندسی آساشید نصب
88045100	توسعه مدیریت پروژه های صنعتی اورنگ
05138444260	مهندسی خدمات نیرو شایان شرق
05137243508	پارت کنترل خراسان
44483678	نگاره کنترل پارسبان
88601400	پارس تابلو صنعت
88613728	اهرام فن آوری قدرت
05135413614	نیان الکترونیک
77083361	شرکت گیتا افروز
05138425002	شرکت مهندسی مهام شرق
03133869470	شرکت کاوش انرژی پاسارگاد
03132216475	power on control
04134214670	پارلار

شماره فکس	نام شرکت
88823306	ماهیار
03136660745	ایریسا
88711972	ایریسا
03133865601	فن آفرینان صنعت الکترونیک



اسامی پارکهای علم و فناوری که با آنها مکاتبه شده است به شرح زیر هستند:

فکس	تلفن	پارک
034-322237240	034-32221636-32225300	پارک علم و فناوری کرمان دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان
4155005-0241	4155001-0241	پارک علم و فناوری دانشگاه علوم پایه زنجان
3325626-0231	3325626-3325627-0231-3325630	پارک علم و فناوری دانشگاه سمنان
76250100	76250250	پارک علم و فناوری پردیس
77102445	77102446-77108396-77102444	پارک علم و فناوری دانشگاه تربیت مدرس
88220704	3-88220700	پارک علم و فناوری دانشگاه تهران
۰۳۱۳_۳۸۶۲۳۵۵	3871473 0311-3871744-0311	پارک علم و فناوری شیخ بهائی اصفهان
33362282-041	041-33352261-33362280-33370497	پارک علم و فناوری استان آذربایجان شرقی
	0611-338335-8	پارک علم و فناوری استان خوزستان
023-32300280	023-32300275-9	پارک علم و فناوری استان سمنان
6360301-0711	6360324- 6360302-0711 0711	پارک علم و فناوری استان فارس
32812129-025	025-32812125-8	پارک علم و فناوری استان قم
2410087-0541	2410086-0541	پارک علم و فناوری استان سیستان و بلوچستان
2530136-0771	2530171-0771 داخلی-۱۰۲ - ۰۷۷۱-۲۵۳۰۱۶۸	پارک علم و فناوری خلیج فارس (استان بوشهر)

## ۶- مراجع

- [1] <http://www.ieis.ir/>
- [2] <http://www.msrt.ir/>
- [3] Tevhid Atalik, Mustafa Deniz, Erkan koc, cem ozgur Gercek, Burhan Gultekin, Muammer Ermis, Isik cadirci “Multi-DSP and –FPGA based fully digital control system for cascaded multi level converters used in FACTS applications.” IEEE Transactions on industrial informatics Vol.8 , No.3, August 2012.
- [۴] Gianluigi Migliavacca “Advanced Technologies for future transmission grids” Springer-verlag, london, 2013.
- [5] William Shepherd, li Zhang “Power converter Circuits” Marcel dekker, 2004.
- [6] Keith H. Sueker “Power Electronics design : A practitioner’s guide.” Elsevier, 2005.
- [7] Ned Mohan “first course on power electronics and drives.” MNPERE , 2003 .
- [8] <http://www.mapnaec.com/>
- [9] [www.fa.farancorp.net/](http://www.fa.farancorp.net/)
- [10] [www.faratel.com/](http://www.faratel.com/)
- [11] [www.nri.ac.ir](http://www.nri.ac.ir)
- [12] [jdnasir.ac.ir/](http://jdnasir.ac.ir/)
- [13] [www.jdevs.com](http://www.jdevs.com)
- [14] <http://www.fotrousi.com/>
- [15] [www.yektabehan.com/](http://www.yektabehan.com/)

## فهرست مطالب

۱- فصل اول ادبیات ارزیابی نظام نوآوری فناورانه .....	۲
۱-۱- مقدمه .....	۲
۲-۱- مرور ادبیات سیاست نوآوری .....	۳
۱-۲-۱- مفهوم گذار فناورانه .....	۷
۲-۲-۱- مکانیزم‌های تکاملی گذار .....	۸
۳-۲-۱- رویکردهای تحلیلی نوآوری .....	۱۴
۴-۲-۱- نظام‌های نوآوری .....	۲۲
۳-۱- ارائه‌ی سیاست‌هایی سیستمی برای مشکلات شناسایی شده .....	۴۰
۱-۳-۱- ارائه‌ی اهداف ابزارهای سیستمی و ابزارهای سیستمی متناسب با مشکلات سیستمی .....	۴۰
۲- چالش‌های توسعه صنعت و فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق در قالب کارکردهای نظام نوآوری و سیاست‌های رفع آن .....	۵۶
۱-۲- مقدمه .....	۵۶
۲-۲- چالش‌های توسعه صنعت و فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق .....	۵۶
۳-۲- سیاست‌ها و اقدامات رفع چالش‌های توسعه صنعت و فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق .....	۱۰۰
۴-۲- شناسنامه اقدامات .....	۱۰۴
نتیجه‌گیری .....	۱۲۰
مراجع .....	۱۲۱

## فهرست اشکال

- شکل (۱-۱): روند توسعه‌ی سیاستگذاری نوآوری اسمیتس و کولمن ..... ۴
- شکل (۲-۱): مقایسه میان سه نوع سیاست علم، فناوری، و نوآوری ..... ۶
- شکل (۳-۱): چهار مرحله در تکامل مسیر گذار ..... ۱۰
- شکل (۱-۲): متدولوژی تدوین اقدامات توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت ..... ۵۷

## فهرست جداول

جدول (۱-۱): مقایسه مکاتب توسعه اقتصادی .....	۱۵
جدول (۲-۱): دسته‌بندی نوآوری از ابعاد مختلف .....	۱۶
جدول (۳-۱): فرایندهای نوآوری .....	۱۶
جدول (۴-۱): مقایسه مدل‌های کلان فرایند نوآوری .....	۱۷
جدول (۵-۱): مقایسه ویژگی‌های رویکردهای سیستمی نوآوری .....	۲۱
جدول (۶-۱): چهار دیدگاه مختلف در تحلیل‌های اقتصادی .....	۲۳
جدول (۷-۱): مقایسه رویکردهای نظام‌های نوآوری .....	۲۵
جدول (۸-۱): کارکردهای پیشنهادی و شاخص‌های آن‌ها .....	۳۰
جدول (۹-۱): خلاصه کلیه زیرکارکردها .....	۳۸
جدول (۱۰-۱): اهداف ابزارهای سیستمی متناسب با مشکلات سیستمی ارائه شده .....	۴۰
جدول (۱۱-۱): ابزارهای سیاستی انفرادی بالقوه برای رسیدن به اهداف ابزارهای سیستمی .....	۴۱
جدول (۱۲-۱): ارائه پیشنهادها و ابزارهای سیستمی برای مشکلات سیستمی شناسایی شده به تفکیک هر کارکرد .....	۴۳
جدول (۱-۲): مصاحبه با دکتر قره پتیان (معاون پژوهشی پژوهشگاه نیرو) .....	۵۸
جدول (۲-۲): مصاحبه با دکتر فرهنگی (هیئت علمی دانشگاه تهران) .....	۶۰
جدول (۳-۲): مصاحبه با دکتر آراسته (هیئت علمی جهاددانشگاهی دانشگاه علم و صنعت) .....	۶۳
جدول (۴-۲): مصاحبه با دکتر پرنیانی (هیئت علمی انشگاه شریف) .....	۶۵
جدول (۵-۲): مصاحبه با دکتر یزدیان (هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرس) .....	۶۸
جدول (۶-۲): مصاحبه با دکتر فتحی (هیئت علمی دانشگاه امیرکبیر) .....	۷۰
جدول (۷-۲): مصاحبه با دکتر بانان (مدیرکل دفتر توسعه مدیریت و تحول اداری) .....	۷۲

- جدول (۲-۸): مصاحبه با دکتر فرمد (مدیرکل دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی) ..... ۷۴
- جدول (۲-۹): مصاحبه با دکتر کارشناس (هیئت علمی دانشگاه صنعتی اصفهان) ..... ۷۵
- جدول (۲-۱۰): مصاحبه با دکتر معلم (هیئت علمی دانشگاه صنعتی اصفهان) ..... ۷۸
- جدول (۲-۱۱): مصاحبه با دکتر توکلی بینا(هیئت علمی دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی) ..... ۸۰
- جدول (۲-۱۲): مصاحبه با دکتر مختاری (هیئت علمی دانشگاه شریف) ..... ۸۲
- جدول (۲-۱۳): مصاحبه با دکتر بنایی ( هیئت علمی دانشگاه شهید مدنی تبریز) ..... ۸۴
- جدول (۲-۱۴): مصاحبه با دکتر عجمی (هیئت علمی دانشگاه شهید مدنی تبریز) ..... ۸۷
- جدول (۲-۱۵): مصاحبه با دکتر منفرد(هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد) ..... ۸۹
- جدول (۲-۱۶): مصاحبه با دکتر محسنی و دکتر ابوالحسنی (مدیریت شبکه) ..... ۹۲
- جدول (۲-۱۷): مصاحبه با مهندس هوشانفر (مدیر عامل شرکت پارس توان آمود) ..... ۹۴
- جدول (۲-۱۸): مصاحبه با مهندس جوکار(مدیر تحقیق و توسعه شرکت مکو) ..... ۹۶
- جدول (۲-۱۹): چالش‌های توسعه صنعت و فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق ..... ۹۸
- جدول (۲-۲۰): سیاست‌ها و اقدامات رفع هر یک از چالش‌ها ..... ۱۰۰

## ۱- فصل اول: ادبیات ارزیابی نظام نوآوری فناورانه

## ۱- فصل اول ادبیات ارزیابی نظام نوآوری فناورانه

### ۱-۱- مقدمه

جهت‌گیری‌های پشتیبان مشتمل بر کلیه اهداف، راه‌کارها و سیاست‌هایی هستند که به منظور محقق نمودن چشم‌انداز و در راستای جهت‌گیری‌های کلان سند راهبردی طراحی می‌شوند. در حقیقت این جهت‌گیری‌ها را می‌توان راه‌های میانی و خرد برای دستیابی به اهداف توسعه فناوری دانست. در ادامه تلاش می‌شود تا روشی برای طراحی اجزای جهت‌گیری‌های پشتیبان ارائه شود. اما قبل از آن نیاز است تا با مرور ادبیات، روش‌هایی که می‌تواند در طراحی این اجزا مورد استفاده واقع شود، صورت پذیرد.

در جهت‌گیری‌های پشتیبان، به دلیل معین بودن چارچوب کلی فرایند توسعه (اهداف کلان و راهبردها) از مرحله قبل، بستر-ساز برای عبور موفق از این مسیر موضوع محوری می‌باشد. باتوجه به موضوع مورد مطالعه که فناوری‌های راهبردی است، "نوآوری" و فراهم آوردن شرایط "ایجاد، گسترش و به‌کارگرفتن آن"، به‌عنوان اساسی‌ترین بسترساز در مسیر توسعه فناوری قلمداد می‌شود. بر این اساس، آنچه که قرار است در جهت‌گیری‌های پشتیبان یک سند ملی دنبال شود، مهیا کردن بستری برای خلق، انتشار و بهره‌برداری از نوآوری، به‌منظور محقق نمودن جهت‌گیری‌های کلان اتخاذ شده در مسیر توسعه یک فناوری راهبردی است.

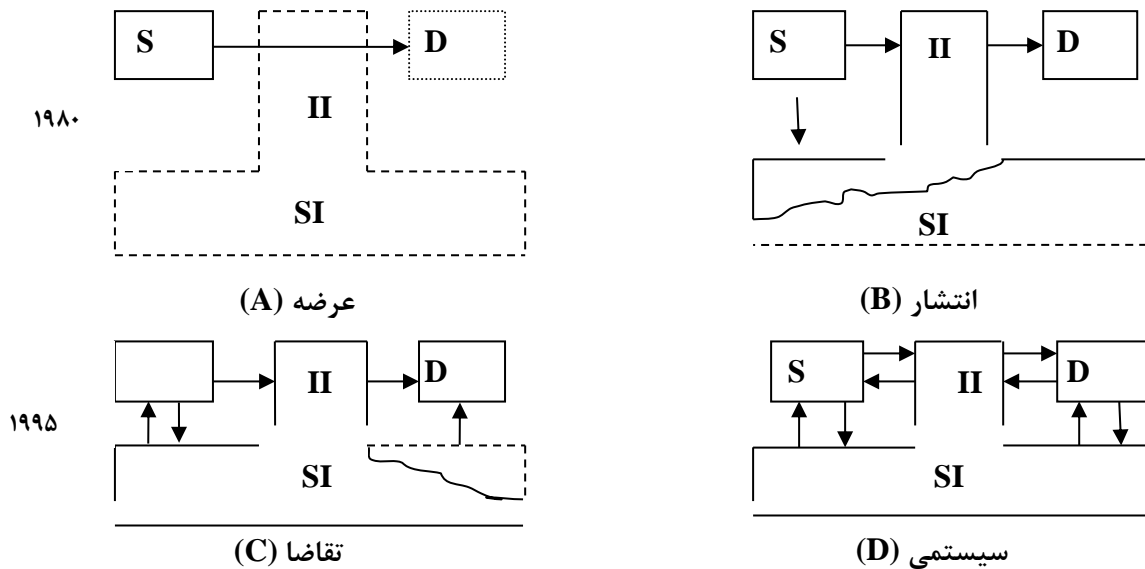
براساس ماموریتی که در جهت‌گیری‌های پشتیبان دنبال می‌گردد، سیاست نوآوری یکی از نزدیک‌ترین و متناسب‌ترین حوزه ادبیاتی است که مرور آن به شناخت چگونگی ایجاد بسترهای نوآوری محور کمک نماید. همانند بخش جهت‌گیری‌های کلان، طیف گسترده‌ای از روش‌ها و رویکردها را می‌توان در قالب مرور ادبیات این بخش مورد مطالعه قرار داد. پس از ارائه مرور ادبیاتی از سیاست نوآوری و بررسی روش‌های و رویکردهای مورد استفاده در آن، روش پیشنهادی برای تدوین اهداف خرد، راه‌کارها، و سیاست‌های پشتیبان در جهت‌گیری‌های پشتیبان ارائه می‌شود.



## ۱-۲- مرور ادبیات سیاست نوآوری

دولت‌ها به منظور تسهیل در ایجاد نوآوری به انجام اقداماتی مبادرت می‌ورزند. مجموعه‌ی این اقدامات که از جانب بخش عمومی<sup>۱</sup> صورت می‌پذیرد و بر نوآوری اثرگذار است را سیاست‌گذاری نوآوری می‌نامند. از دهه‌ی ۷۰ میلادی که عبارت «سیاست‌گذاری نوآوری» برای اولین بار بر سر زبان‌ها افتاد تاکنون، کاربردهای این مفهوم دچار تغییرات گوناگونی شده است. در مطالعه‌ی روند تکامل سیاست‌گذاری نوآوری دیده می‌شود که این فرایند، تغییر در نگاه‌های موجود در نظریه‌ی نوآوری و اقدام به نوآوری را نیز بازتاب می‌دهد. بنابراین، چیزی به‌عنوان توسعه‌ی نظریه، اقدام و یا سیاست‌گذاری نوآوری به‌طور مستقل از موضوعات دیگر وجود ندارد. بلکه در مقابل، توسعه مفاهیم و نگاه‌های موجود در این موضوعات در یک فرایند تکامل تعاملی، رابطه‌ای دوسویه با یکدیگر دارند. اسمیتس و کولمن این توسعه را در یک نمودار بر مبنای روند توسعه‌ی سیاست‌گذاری نوآوری به‌تصویر کشیده‌اند (شکل ۱-۱) [۱]. آن‌ها چهار مؤلفه را به‌عنوان محل اثر سیاست نوآوری شناسایی می‌کنند. عامل اول، طرف عرضه (S) یا همان فراهم‌آوردندگان دانش (چه عمومی و چه خصوصی) هستند. عامل دوم، طرف تقاضا (D) شامل مشتریان شرکت‌ها، سازمان‌های دارای اختیار و دیگر سازمان‌هایی است که می‌توان به‌عنوان کاربران دانش و محصولات دانش بنیادین به آن‌ها نگریست. عامل سوم، زیرساخت‌های واسطه‌ای<sup>۲</sup> (II) هستند با هدف ایجاد ارتباط بین عرضه و تقاضا. عامل چهارم نیز زیرساخت حمایتی<sup>۳</sup> (SI) است که شامل عواملی همچون نظام آموزشی، زیرساخت‌های مالی و غیرمالی و کیفیت روابط صنعتی می‌باشد.

1. Public Sector
2. Intermediary Infrastructure
3. Supportive Infrastructure



شکل (۱-۱): روند توسعه‌ی سیاست‌گذاری نوآوری اسمیتس و کولمن

همان‌طور که در شکل (۱-۱) پیداست، روند توسعه‌ی حوزه‌های تحت تأثیر سیاست‌گذاری نوآوری با رشد در مؤلفه‌های محل اثر سیاست‌ها و نیز با رشد روابط آن‌ها همراه بوده است. بر مبنای این روند توسعه می‌توان ۴ مرحله را در تکامل آن بیان کرد. مرحله (A): در اواخر دهه‌ی ۷۰، سیاست‌گذاری نوآوری به‌طور صریح شروع به ظهور کرد. تمرکز در این مرحله از سیاست‌گذاری نوآوری بر جمع‌آوری دانش و سبدهای از سیاست‌ها است. همچنین این سیاست‌ها به‌طور عمده متشکل از ابزارهای مالی (یارانه‌ها و ابزارهای مالیاتی)، با هدف اثرگذاری بر عوامل موجود در طرف عرضه دانش (S) بودند و به چگونگی توزیع و یا به‌دست‌آوری دانش توجّه زیادی نمی‌شد.

مرحله (B): در اواسط دهه‌ی ۸۰، سیاست‌های نوآوری به سوی سیاست‌های متمایل به اشاعه‌گرایی در این مرحله، بکارگیری ابزارهای انتقال دانش و تأسیس مراکز نوآوری مرسوم گردید. همچنین استفاده از ابزارهایی برای ایجاد هماهنگی و پرورش محققان نیز از مشخصه‌های این مرحله است.

مرحله (C): در اواسط دهه‌ی ۹۰، در تکمیل ابزارهای موجود در مراحل (A) و (B) در سیاست‌گذاری‌ها توجه بیشتری به ارائه‌ی حمایت‌های سازمانی به فرایند نوآوری (به‌ویژه به شرکت‌ها) معطوف گردید. در این مرحله، کاربران و عرضه‌کنندگان در تعامل با یکدیگر مورد توجه قرار گرفتند. به تدریج، سیاست‌ها دربر گیرنده‌ی زیرساخت‌های حمایتی و بسترهای لازم برای نوآوری نیز شدند. به‌طور خلاصه می‌توان گفت که این مرحله شروعی برای اتخاذ رویکردی منسجم‌تر برای تحریک نوآوری است و وضع سیاست‌های نوآوری گسترده‌تر و همه‌جانبه‌تر گردید.

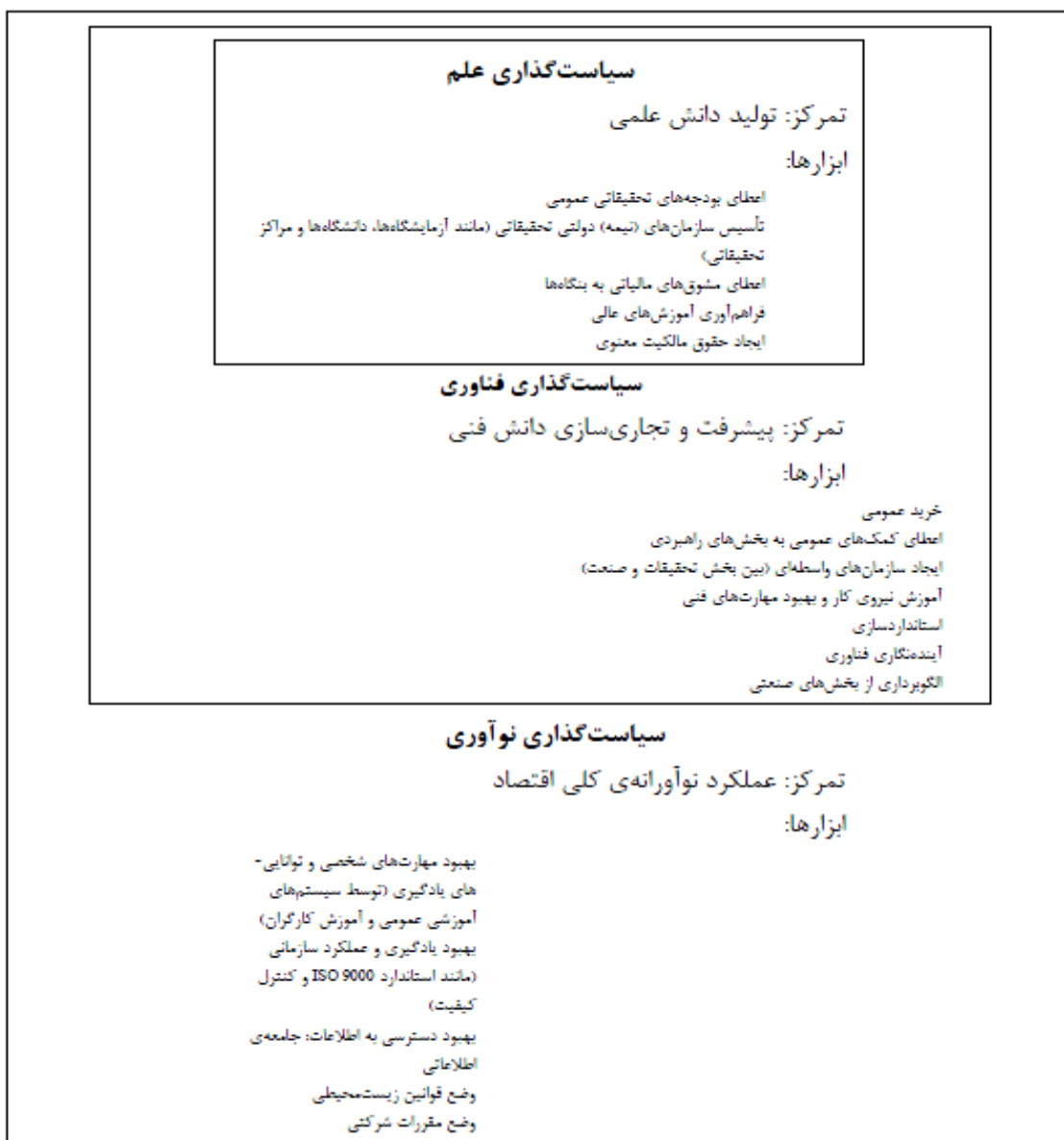
مرحله (D): در این مرحله، رویکردی یکپارچه توسعه یافت و نگرش سیستمی ظاهر شد. بجای تحریک برخی از عوامل و یا روابط خاص، تمرکز سیاست‌های نوآوری بر بهبود عملکرد نظام نوآوری در سطح کلان، معطوف گردید. علاوه بر این تغییر در نگرش، این واقعیت نیز در این مرحله نهادینه شد که سیاست‌گذاری نوآوری لزوماً معادل با مشوق‌های مالی نیست و می‌تواند از دیگر ظرفیت‌های حکومت و سیاست‌گذاران نیز بهره برد. روند دیگر در این مرحله، استفاده‌ی صریح از رویکرد نظام‌های نوآوری به عنوان چارچوبی برای تحلیل بوده است. همچنین در این مرحله به راهبری عوامل واسطه‌ای نیز توجه شد.

در کنار سیاست نوآوری، مفهوم سیاست علم قرار می‌گیرد. این مفهوم به دوران پس از جنگ جهانی دوم تعلق دارد. در حقیقت، تا پیش از جنگ به ایده‌ی علم به عنوان یک نیروی سازنده توجه نشد. اما پس از آن به نقش سیاست‌گذاری علم در امنیت ملی، سلامت و رشد اقتصادی توجه شد. علت اصلی برای تغییر نگرش به سیاست‌گذاری علم، چگونگی اتمام جنگ جهانی دوم و شروع جنگ سرد ذکر می‌شود. مهم‌ترین مسائل در سیاست‌گذاری علم مربوط به تخصیص منابع کافی به علم، توزیع هوشمندانه‌ی آن‌ها میان فعالیت‌های مختلف با هدف حصول اطمینان از استفاده‌ی کارای منابع و کمک به رفاه اجتماعی بوده است. اهداف سیاست‌گذاری علم نیز شامل ایجاد منزلت ملی<sup>۱</sup> و ارزش‌های فرهنگی علاوه بر اهداف اجتماعی و اقتصادی و نیز امنیت ملی است.

در نهایت، سیاست‌گذاری فناوری به سیاست‌هایی اشاره دارد که بر فناوری‌ها و بخش‌ها متمرکز هستند. سیاست فناوری بیشتر بر فناوری‌های دانش‌بنیان نظیر انرژی هسته‌ای، فضاوردی، کامپیوترها، داروسازی و مهندسی ژنتیک که محور رشد اقتصادی هستند، متمرکز است. مفهوم سیاست‌گذاری فناوری برای کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته متفاوت است. در کشورهای توسعه‌یافته این مفهوم مربوط به ایجاد ظرفیت برای تولید فناوری‌های دانش‌بنیان نوظهور و بکارگیری این نوآوری‌ها

1. National prestige

است. درحالی که در کشورهای درحال توسعه، این مفهوم به چگونگی ایجاد توانایی در رابطه با جذب و استفاده از این فناوریها در هنگام ورودشان به بازار می‌پردازد. اهداف سیاست‌گذاری فناوری با اهداف سیاست‌گذاری علم تفاوت چندانی نمی‌کند. با این وجود، تفاوت میان این دو نوع سیاست‌گذاری را می‌توان در فاصله گرفتن سیاست‌گذاری فناوری از ملاحظات فلسفی عام و گرایش آن به توجه بیشتر و کاربردی‌تر به منزلت ملی و اهداف اقتصادی به صورت کاربردی خلاصه کرد. در مجموع، مقایسه میان سه نوع سیاست علم، فناوری، و نوآوری را می‌توان در قالب تصویر کشید.



شکل (۱-۲): مقایسه میان سه نوع سیاست علم، فناوری، و نوآوری

در کنار مباحثی که از سیاست‌گذاری نوآوری مطرح شد، مفاهیمی نیز وجود دارند که در قالب سیاست‌گذاری نوآوری و برای تحلیل تغییر فناوریانه به کار می‌روند. در سیاست نوآوری، تغییر فناوریانه (یا توسعه یک فناوری جدید) غالباً تحت عنوان گذارهای فناوریانه بررسی می‌گردد. این گذارها فرایندهایی تکاملی و مرحله‌مند بوده که نیازمند راهبری در طول زمان هستند. در ادامه سعی می‌شود تا به تشریح بیشتر این مفاهیم پرداخته شود.

### ۱-۲-۱ مفهوم گذار فناوریانه

فناوری از نگاه جامعه‌شناسی چیزی فراتر از ماهیت فنی و به صورت پیکره‌بندی<sup>۱</sup> دارای ماموریتی خاص تعریف می‌شود. در این تعریف منظور از پیکره‌بندی، مجموعه‌ی بهم‌پیوسته‌ای<sup>۲</sup> از اجزا می‌باشد. داشتن ماموریت هم به برآورده نمودن کارکردهای اجتماعی-اقتصادی اشاره دارد. با در نظر گرفتن این تعریف، ظهور فناوری‌های تازه همواره با مشکل عدم تطابق<sup>۳</sup> با پیکره‌بندی-های موجود<sup>۴</sup> نظام‌های فنی-اجتماعی روبه‌رو خواهد بود [۲]. این عدم تطابق به دلیل وجود اثرگذاری دوطرفه میان فناوری و ویژگی‌های اجتماعی و اقتصادی محیط توسعه به وجود می‌آید. فناوری‌های موجود به طور عمیقی با شیوه‌های کاربری<sup>۵</sup>، سبک زندگی، فناوری‌های مکمل، مدل‌های کسب‌وکار<sup>۶</sup> و ساختارهای نهادی سیاسی در ارتباط هستند. از این رو، تغییر فناوریانه مفهومی گسترده‌تر از تولید یک فناوری جدید پیدا کرده و تا سطح دگرگونی در ساختارهای اقتصادی-اجتماعی را نیز شامل می‌شود. نتیجه اینکه تغییر فناوریانه دارای ماهیتی چندبعدی است که باید در تحلیل و سیاست‌گذاری آن در نظر گرفته شود.

سوال اساسی دیگری که در تغییر فناوریانه در سطح ملی به وجود می‌آید، پیرامون چگونگی تشکیل لختی<sup>۷</sup> در نظام اجتماعی-فنی و نحوه‌ی غلبه بر آن است [۳]. وجود لختی نسبت به شرایط موجود باعث می‌شود تا تغییر فناوریانه همراه با تغییر تدریجی (نه بنیادین) در نظام‌های اجتماعی-اقتصادی-فناورانه<sup>۸</sup> به وقوع بپیوندد. این نظام‌ها شامل مجموعه‌ای از کنش‌گران (افراد

1. Configuration
2. Interrelated
3. Mismatched
4. Established configuration
5. User practice
6. Business models
7. Inertia
8. Socio-technical systems

حقیقی، بنگاه‌ها، و سازمان‌ها)، نهادها (هنجارهای اجتماعی و فناورانه<sup>۱</sup>، مقررات<sup>۲</sup>، و معیارهای عملکرد مطلوب<sup>۳</sup>)، مصنوعات و دانش‌هایی می‌شود که با هم در تعامل بوده و خدمتی مشخص را به اجتماع ارائه می‌کنند [۴]. بنابراین می‌توان گفت که تدریجی و تکاملی بودن دومین ویژگی مهم در تغییرات فناورانه است.

با برخورداری از دو ویژگی چندبعدی بودن تغییر و نیز تکاملی (تدریجی) بودن آن، از تغییر فناوری به صورت یک مسیر گذار<sup>۴</sup> یاد می‌شود. گذار عبارت است از مجموعه‌ای از فرایندهای تدریجی<sup>۵</sup>، پیوسته در طول زمان، چند سطحی<sup>۶</sup>، چند مرحله‌ای<sup>۷</sup> و شتاب‌دهنده‌ای<sup>۸</sup> که با هدف ایجاد تغییرات فراگیر در ابعاد اجتماعی، فنی، اقتصادی به وقوع پیوسته و منجر به دگرگونی نظام-های اجتماعی-فنی موجود می‌گردد. بنابراین گذار نه تنها مسیری برای تغییرات فناورانه است، بلکه تغییر در عادات، آیین‌نامه‌ها، زیرساخت‌ها و فرهنگ مصرف را نیز شامل می‌شود [۳]. مفهوم گذار فناورانه در سطوح مختلف بنگاه، بخش، منطقه و کشور قابل تعریف است.

با توصیف و تعریف ارائه شده، اکنون لازم است بررسی شود که چه مکانیزم‌های کلانی منجر به وقوع گذار می‌شوند. این بررسی در ادامه و در قالب مکانیزم‌های تکاملی گذار انجام می‌شود.

## ۱-۲-۲ مکانیزم‌های تکاملی گذار

اگرچه در گذار فناورانه تغییرات گسترده و عمیقی به وقوع می‌پیوندد، اما این مسیر بیش از اینکه ماهیت تحول<sup>۹</sup> (تغییر بنیادین) داشته باشد، دارای ویژگی‌های تکاملی است [۵]. این تکامل فناورانه با دو مکانیزم مختلف قابل رخداد است:

تنوع، انتخاب و ابقاء<sup>۱</sup>: در این سازوکار تکاملی، با تشویق محیط نوآوری به ایجاد تنوع و گزینه‌های جایگزین فناورانه، گستره‌ای از فرصت‌ها برای تکامل نظام اجتماعی-فنی پدید می‌آید. این فرصت‌های پدید آمده برای تبدیل شدن به واقعیت با

1. Societal and technical norms
2. Regulations
3. Standards of good practice
4. Transition pathway
5. Gradual
6. Multi-level
7. Multi-stage
8. Reinforcing
9. Revolution

مقاومت پیکره‌بندی موجود (در نظام اجتماعی-فنی) روبه‌رو می‌شوند. به‌عبارت دیگر، نظام اجتماعی-فنی موجود با ایجاد بستری از مکانیزم‌های بازار یا مجموعه‌ی انتظارات<sup>۲</sup>، به محدود کردن دامنه تنوع و پالایش و انتخاب گزینه‌های مختلف می‌پردازند. گزینه‌های برگزیده شده جایگزین اجزای قدیمی در پیکره‌ی نظام اجتماعی-فنی می‌گردد. در نهایت، به‌منظور تثبیت تغییرات تدریجی به‌وقوع پیوسته، در آخرین مرحله به ابقاء و پایدارنمودن تغییرات به‌وجود آمده در پیکره‌بندی موجود پرداخته می‌شود.

بروز نوآوری و پیکره‌بندی مجدد<sup>۳</sup>: در این سازوکار تکاملی، نوآوری‌های فناورانه پدید آمده دارای ماهیت هم‌زی‌گرانه‌ای<sup>۴</sup> در ارتباط با نظام اجتماعی-فنی موجود می‌باشند. بنابراین، ظهور هر نوآوری به پرکردن خلاءای (نیازی) از پیکره‌بندی موجود کمک می‌کند. با قرارگیری نوآوری در نظام موجود، زمینه برای ایجاد تغییرات بعدی به‌وجود آمده و در پی وقوع تغییرات پیاپی<sup>۵</sup>، پیکره‌بندی نظام موجود مورد بازساخت قرار می‌گیرد.

با در نظر داشتن این مکانیزم‌ها، تکامل گذار با وقوع مراحل مختلف به‌وقوع می‌پیوندد. این مراحل به همراه ویژگی‌های آن‌ها در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### ۱-۲-۲-۱- مراحل تکاملی گذار

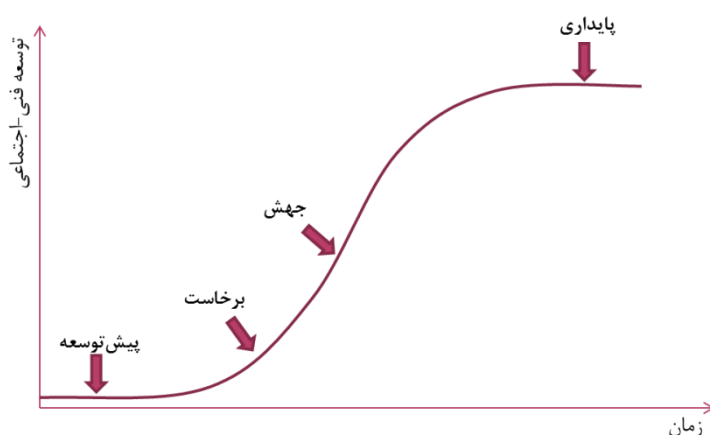
گذار مجموعه‌ای از تغییرات است که در حوزه‌های مختلف به‌وقوع می‌پیوندد، وقوع هر تغییر زمینه را برای تغییرات در حوزه‌های دیگر فراهم می‌کند. بر این اساس، در فرایند گذار در لایه‌های مختلف پویایی وجود داشته (کلان، میانی، خرد) و رشد و تکامل<sup>۶</sup> در حوزه‌های متفاوت به‌وقوع می‌پیوندد. اما این تغییرات بنیادین و تکامل‌ها به‌طور هم‌زمان در حوزه‌های مختلف به‌وقوع نپیوسته و ماهیت تدریجی دارد.

تفکر سیستمی فرایند گذار را با نگاه تغییرات در متغیرهای انباشت و جریان<sup>۷</sup> توصیف می‌کند. انباشت متغیرهایی از سیستم هستند که به آرامی و در طول بازه طولانی از زمان تغییر می‌کنند. جریان نیز متغیرهایی هستند که در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت

1. Variation, Selection, Retention
2. Expectations
3. Unfolding and reconfiguration
4. Symbiotic innovations
5. Cascade dynamics
6. Co-evolution
7. Stock and flow

دامنه تغییرات گسترده‌ای را از خود نشان داده و ارتباط میان متغیرهای انباشت را نیز برقرار می‌کنند. با این نگاه، گذار نتیجه توسعه بلندمدت انباشت‌ها و تغییرات کوتاه‌مدت جریان‌هاست.

سرعت، گستردگی، و بازه زمانی وقوع تغییر ابعادی هستند که نوع گذار فناورانه را مشخص می‌نمایند. همان‌طور که پیش‌تر در تعریف گذار مورد بررسی قرار گرفت، یکی از مهمترین ویژگی‌های این تغییر چندبعدی فناورانه و چند مرحله‌ای بودن آن است. پیش‌توسعه، برخاست، جهش، و پایداری چهار مرحله در تکامل مسیر گذار هستند (شکل ۱-۳).



شکل (۱-۳): چهار مرحله در تکامل مسیر گذار

پیش‌توسعه<sup>۱</sup>: این مرحله با عدم تغییر محسوس در شرایط کنونی همراه بوده و ماموریت اصلی آن پشتیبانی از ایجاد تنوع در نظام‌های اجتماعی-فنی است. در این حالت تعادل پویا در نظام اجتماعی-فنی برقرار است.

برخاست<sup>۲</sup>: تغییرات ابتدایی در پیکره‌بندی موجود ظهور کرده و تکانه لازم برای ایجاد دگرگونی در نظام اجتماعی-فنی فراهم می‌شود.

جهش<sup>۳</sup>: تغییرات محسوس و گسترده در نظام اجتماعی-فنی پدید آمده و فرایندهای یادگیری و انتشار دانش و تغییرات نیز به‌وقوع می‌پیوندد.

1.Pre-development  
2.Take-off  
3.Acceleration



پایداری<sup>۱</sup>: پیکره‌بندی جدیدی شکل گرفته و تعادلی پویا در نظام اجتماعی-فنی برقرار می‌گردد.

یکی از مهمترین مسائلی که در قالب ادبیات سیاست نوآوری مطرح می‌شود، چگونگی فراهم آوردن شرایط لازم برای حرکت در طول این مراحل تکاملی است. این موضوع تحت عنوان راهبری فرایندهای گذار در زیربخش بعدی مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

### ۱-۲-۲- راهبری فرایندهای گذار

اگر گذار به صورت مجموعه‌ای از مسیرهای ممکن توسعه در نظر گرفته شود، راهبری وسیله‌ای است برای تاثیرگذاری (نه کنترل کامل) بر جهت، وسعت، و سرعت این مسیرها [۵]. با در نظر داشتن مسیر گذار به صورت فرایندی پیچیده و چندبعدی، وجود یک نیروی راهبری و هدایت برای گذر از مراحل مختلف احساس می‌شود.

از مفهوم راهبری<sup>۲</sup> و هدایت در گذارهای فناورانه برداشت‌های مختلف می‌شود. راهبری مسیر گذار نه فقط به معنی نظارت بالا-به-پایین دولتی<sup>۳</sup> (که در آن دولت‌ها به اتخاذ سیاست‌های الزام‌آور می‌پردازند) است و نه فقط داشتن رویکرد بازار آزاد<sup>۴</sup> (که در آن تغییرات اجتماعی-فنی توسط نیروهای بازار به وقوع می‌پیوندد). منظور از راهبری در مطالعات گذار رسیدن به تعادلی میان سه بخش دولت، بازار و جامعه است. این هدف با توسعه سیاست‌ها در فرایندی تعاملی با حضور کنش‌گران مختلف محقق می‌گردد. این‌ها سیاست‌هایی هستند که بر پایه‌ی تفاهم و توافق ایجاد شده در بسترهای شبکه‌ای مشتمل بر همکاری و یادگیری میان کنش‌گران متعامل توسعه پیدا می‌کنند. در مجموع، برنامه‌ریزی بالا-به-پایین، بهره‌مندی از پویایی‌های بازار، و مدیریت شبکه‌ها (ایجاد توافق جمعی) منعکس‌کننده‌ی تعریف موردنظر از مفهوم راهبری گذار هستند. در ادامه به ضرورت راهبری مورد بحث قرار می‌گیرد.

1. Stabilization
2. Governance
3. Top-down steering by government
4. Liberal free market approach

### ۱-۲-۳- ضرورت راهبری گذار

لختی به وجود آمده (در طول زمان) در پیکره‌بندی نظام‌های اجتماعی-فنی غالباً به ایجاد قفل‌شدگی<sup>۱</sup> و یا وابستگی به مسیر<sup>۲</sup> منجر می‌شود. این وضعیت موانع زیادی را در مسیر گذارهای فناورانه به وجود می‌آورد. بر این اساس، گذار فناورانه نیازمند مداخله‌های هوشمندانه از جانب کنش‌گران نظام اجتماعی-فنی هستند. با در نظرگیری این مداخله هوشمندانه، فرایند گذار به مسیری هدایت شده، هدفمند و جهت‌دار (از پیش) که نیازمند برنامه‌ریزی است تبدیل می‌شود [۶]. در این هدایت‌دهی، کنش‌گران سیاست‌گذار و نهادهای قانون‌گذار نقش اصلی را برعهده دارند، اگرچه مشارکت یکپارچه کلیه کنش‌گران نیز ضروری است.

### ۱-۲-۴- اساس مداخلات سیاست‌گذارانه در راهبری گذار

به‌طور کلی انجام مداخلات گسترده در مراحل مختلف فرایند گذار نه تنها نمی‌تواند اهداف توسعه را محقق کند، بلکه ممکن است آثار گذار را از مسیر رشد طبیعی خود نیز منحرف می‌کند. شکست بسیاری از کشورهای در حال توسعه (مانند کشورهای اروپای شرقی در دهه ۶۰) که با پیروی از مداخله گسترده، دولت را جانشین بازار نموده بودند، شاهدهی بر این مدعاست. در ادبیات امروز سیاست نوآوری، مداخلات سیاست‌گذارانه نه در تمام مسیر گذار، بلکه تنها در نقاط شکست آن مجاز است. نقاط شکست بخش‌هایی از فرایند گذار هستند که به‌طور طبیعی قابل رفع و بهبودی نبوده و نیازمند مداخله هوشمندانه هستند. بر این اساس، پایه‌ی مداخلات سیاست‌گذارانه در راهبری فرایند گذار بر پایه‌ی وقوع سه نوع شکست بازار<sup>۳</sup>، ساختاری<sup>۴</sup> و دگرگونی<sup>۵</sup> است. بازار رقابتی کامل و غیرمتمرکز باعث به وجود آمدن کمبود سرمایه‌گذاری در فعالیت‌های توسعه دانش می‌شود و عامل اصلی مداخله بر اساس شکست‌های بازار است. اما شکست یک سیستم همیشه به دلیل کمبود سرمایه‌گذاری نیست. بلکه مکانیزم‌های نیز وجود دارند که منجر به عملکرد پایین سیستم شده و از آن‌ها به‌عنوان شکست‌های ساختاری یاد می‌شود. اصلاح این شکست‌ها در بعضی شرایط نیازمند حرکت در مسیر خلاف جهت بازار رقابتی کامل می‌باشد (مانند ایجاد همکاری و شبکه‌سازی بین بنگاه‌ها و دانشگاه‌ها). در نهایت، گونه‌ای دیگر از شکست‌ها نیز وجود دارد که جدا از دو نوع قبلی بوده و رفع

1.Lock-in

2.Path-dependency

3.Market failure

4.Systemic failure (structural)

5.Systemic failure (transformational)

آن‌ها برای تضمین گذار در بلندمدت ضروری است. این شکست‌ها، شکست‌های دگرگونی نام می‌گیرند. در زیر نمونه‌های مختلفی از سه نوع شکست از نگاه وبر و روراچر (۲۰۱۲) توضیح داده شده است:

### شکست بازار

- عدم تقارن اطلاعات: عدم تعین محیط بیرون و افق زمانی کوتاه‌مدت سرمایه‌گذاری بخش خصوصی
- سرریز دانش: ویژگی‌های کالای عمومی و نشت دانش تولیدی
- هزینه‌های جانبی: وجود هزینه‌های جانبی تخریب زیست‌محیطی
- بهره‌برداری بیش از حد از منابع: بهره‌برداری بیش از حد از منابع در نبود نهادهای قانون‌گذار

### شکست‌های ساختاری

- شکست زیرساخت‌ها: ضعف و نقصان در زیرساخت‌های فیزیکی کنونی که برای انجام فعالیت‌های نوآورانه ضروری هستند
- شکست نهادی: شکست به دلیل مکانیزم‌های نهادهای رسمی و غیررسمی که مانع انجام فعالیت‌های نوآورانه می‌شوند
- شکست شبکه‌ای: وجود تعاملات قوی و یا ضعیف میان کنش‌گران
- شکست توانمندی: نبود توانمندی‌های لازم برای سازگار شدن با تغییرات و شرایط و فرصت‌های فناورانه

### شکست‌های دگرگونی

- شکست جهت‌یابی: نبود چشم‌انداز مشترک، عدم توانایی در یکپارچه‌سازی فعالیت‌ها، کمبود قوانین و استانداردها، نبود منابع مالی هدف‌گذاری شده برای تحقیقات
- شکست تبیین نیاز: نبود شرایط برای پیش‌بینی و یادگیری از نیازهای بازار و مشتری

- شکست یکپارچگی سیاستها: نبود یکپارچگی افقی و عمودی میان سیاستها

- شکست بازخوردی: عدم توانایی سیستم در پایش و اصلاح فرایند راهبری

بر پایه‌ی این نقاط شکست که اساس مداخلات سیاست‌گذارانه است، رویکردهای تحلیلی مختلفی برای تشریح وضعیت موجود گذار و نیز تجویز سیاستها و راهکارها توسعه پیدا کرده است. این رویکردها در زیر بخش‌های بعدی به‌طور مبسوط مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### ۱-۲-۳ رویکردهای تحلیلی نوآوری

رویکردهای تحلیلی نوآوری شامل مجموعه‌ای از مکاتب، مدل‌ها و ابزارها هستند که برای توصیف وضعیت موجود و استفاده از آن در جهت سیاست‌گذاری نوآوری به‌کار گرفته می‌شود. این مدل‌ها و ابزارها را می‌توان هم در سیاست‌گذاری نوآوری و فناوری و هم در تدوین راهکارهای فناوری به‌عنوان یک روش مورد استفاده قرار داد. برای همین منظور، در این بخش به بررسی این رویکردها از منظرهای مختلف پرداخته می‌شود. بررسی رویکردهای تحلیلی نوآوری در این بخش در سه سطح کلان (مکتب توسعه)، میانی (مدل کلان فرایند نوآوری)، و خرد (مدل سیستمی فرایند نوآوری) صورت می‌پذیرد. در علم اقتصاد، به توسعه اقتصادی کشورها از نگاه مکاتب گوناگونی نگریسته می‌شود. هر یک از این مکاتب، با دارا بودن نگاهی خاص نسبت به فناوری، سیاست‌هایی متفاوتی را برای توسعه و صنعتی شدن کشورها ارائه می‌نمایند. از این رو، بررسی این مکاتب با در نظر گرفتن نگرش هر یک نسبت به فناوری، در انتخاب رویکرد نهایی تحلیل ضروری است. به‌طور کلی، نظریاتی که به‌طور گسترده مورد استقبال مجامع آکادمیک دنیا قرار گرفته‌اند را می‌توان در چهار دسته ساختارگرایان، نئوکلاسیک‌ها، نئوشومپترین‌ها و نهادگرایان تقسیم‌بندی نمود (جدول (۱-۱)).

ساختارگرایان مهم‌ترین علت در عقب‌ماندگی کشورهای توسعه نیافته را وابستگی‌های تجاری، مالی، فناورانه و مدیریتی به کشورهای پیشرفته دانسته و معتقد به توسعه درون‌گرا و دخالت مستقیم دولت در توسعه صنایع و فناوری‌های هستند.

نئوکلاسیک‌ها با تاکید بر مدیریت فعالیت‌های اقتصادی در قالب دولت حداقل و اقتصاد بازار، بر رقابت بین‌بنگاه‌های اقتصادی، آزادسازی (مقررات‌زدایی و خصوصی‌سازی) و مشارکت در تجارت بین‌المللی (تجارت خارجی به‌مثابه موتور رشد اقتصاد) توجه می‌کنند.

نهادگرایان با تمرکز بر مسائلی نظیر ساختار و عملکرد سیستم‌های اقتصادی، تغییرات فناوری، و تعیین اولویت‌ها و اهداف ملی توسعه، راهبرد صنعتی شدن از طریق یادگیری را در جهت توسعه صنعتی کشورهای در حال توسعه پیشنهاد می‌کنند.

نئوشومپترین‌ها با تکیه بر دو نظریه سیکل‌های بلند توسعه اقتصادی و تخریب سازنده شومپتر، تحولات سریع فناورانه را فرصتی برای توسعه صنعتی کشورهای در حال توسعه و حضور در بازارهای جهانی قلمداد می‌کند و نظام نوآوری را به‌عنوان ابزار بهره‌برداری از این فرصت معرفی می‌کنند.

### جدول (۱-۱): مقایسه مکاتب توسعه اقتصادی

نهادگرایان	نئوشومپترین‌ها	نئوکلاسیک‌ها	ساختارگرایان	
توانمندی‌های نهادین	یادگیری تعاملی	هزینه‌ها در کوتاه-مدت	آثار خارجی	کانون تحلیل
فرایندی قابل یادگیری	دانش تجلی‌یافته در ماشین‌آلات که به راحتی قابل انتقال نیست	کالای قابل مبادله	عامل وابستگی	نگرش به فناوری
بعنوان منبع با تاکید ویژه بر مهندسين	بعنوان منبع	بعنوان هزینه	نیروی کار ارزان و فراوان ماهر و نیمه‌ماهر	نگرش به نیروی کار
مداخله راهبردی	مداخله راهبردی	دولت حداقل	دخالته گسترده	نقش دولت
پس از ظهور و قبل از استانداردیزه شدن و با تکیه بر مزیت‌های رقابتی	با ظهور یک صنعت	پس از بلوغ یک صنعت و با تکیه بر مزیت‌های داخلی	جایگزینی واردات	نقطه ورود به صنعت
رقابت کنترل شده برای حصول بازه مقیاس	رقابت محدود برای ایجاد نوآوری	رقابت حداکثری	حمایت مطلق از بنگاه‌های داخلی	نگرش به رقابت
کشورهای جنوب شرق آسیا مانند اندونزی، فیلیپین و مالزی و همچنین ترکیه	اروپا، اسکانديناوی و ژاپن در دهه ۱۹۹۰	انگلیس و ایالات متحده در دوره‌های ریگان و تاچر	آمریکای لاتین دهه ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰	کشورهای استفاده کننده

در میان این مکاتب، مکتب اقتصادی نئوشومپترین با توجه به ویژگی‌های مطرح شده برای آن، دارای تطابق بیشتری با شرایط حاضر در کشور ایران است. یکی از مهمترین ویژگی‌های این مکتب توجه بر مفهوم نوآوری است. در ادامه و در سطوح میانی و خرد بر مدل‌ها و رویکردهایی تمرکز می‌گردد که نوآوری را در مرکز توجه خود دارند.

نوآوری عبارت است از فرایندهای جستجو، کشف<sup>۱</sup>، آزمایش، توسعه، شبیه‌سازی<sup>۲</sup> و پذیرش یک محصول، فرایند جدید و یا تغییرات سازمانی. نوآوری متشکل از دو جزء اصلی خلق ایده‌ی جدید (اختراع)، و تبدیل ایده خلاقانه به کسب و کار (بهره-برداری) است. عدم تعین، تاکید بر یادگیری در حین اجرا، یادگیری در حین استفاده و خاصیت تجمعی<sup>۳</sup>، فروض اساسی هستند که نوآوری را از مفاهیم مشابه جدا می‌کند [۷]. نوآوری را می‌توان از ابعاد گوناگون دسته‌بندی نمود (جدول ۱-۲).

### جدول (۱-۲): دسته‌بندی نوآوری از ابعاد مختلف

انواع	معیار
نوآوری تدریجی، نوآوری بنیادین، پارادایم‌های فناورانه-اقتصادی	درجه تغییر
نوآوری در محصول، نوآوری در فرایند	هدف نوآوری
نوآوری فناورانه، نوآوری اداری (غیرفناورانه)	موضوع نوآوری
نوآوری افزایش‌دهنده شایستگی، نوآوری مخرب شایستگی	اثرگذاری

فرایند نوآوری شامل مجموعه فعالیت‌هایی است که منجر به شکل‌گیری نوآوری در یک سیستم می‌گردد. تولید دانش، تبدیل دانش به مصنوع به‌وسیله‌ی فرایندها، سیستم‌ها، محصولات و خدمات و در نهایت تطابق دادن پیوسته مصنوع با نیاز بازار، سه زیر فرایند اصلی در فرایند نوآوری می‌باشند. که هر یک به سطوح خردتری تقسیم می‌گردد (جدول ۱-۳).

### جدول (۱-۳): فرایندهای نوآوری

تخصص‌پروری کارکردی و یکپارچه‌سازی-ظهور آزمایشگاه‌های تحقیق و توسعه صنعتی	تولید دانش علمی و فناورانه
همگرایی فناورانه <sup>۴</sup> و تجزیه عمودی <sup>۵</sup> فناوری‌های تولید	
ارتباط صنعت با دانشگاه	
حفظ روندهای فناورانه همراه نظریه‌های علمی	
آگاهی از برنامه‌های حمایت مالی دولتی	تبدیل دانش به مصنوع
حفظ یکپارچگی سیستمی	
مدیریت عدم تعین موجود در نوآوری	

1. Discovery
2. Imitation
3. Cumulativeness
4. Technological Convergence
5. Vertical Disintegration

درک نیازهای بازار  
تطابق مصنوع با نیازهای بازار

تطابق مصنوع با نیاز بازار

در ادبیات مدل‌های مختلفی وجود دارد که با تعریف ارائه شده از فرایند نوآوری، به تصویرسازی از واقعیت موجود می‌پردازد. مجموعه این مدل‌ها را می‌توان به سه دسته اصلی مدل‌های خطی نوآوری، مدل‌های پیوندی و تعاملی نوآوری، و مدل‌های یکپارچه سیستمی تقسیم کرد.

مدل‌های خطی، نوآوری را نتیجه فرایند خطی دانسته که از مراحل مختلف پژوهش پایه، کاربردی، تحقیق و توسعه، تجاری سازی، بازاریابی و در انتها انتشار، به صورتی متوالی و سلسله مراتبی و در مسیری یک طرفه تشکیل شده است. دو مدل فشار فناوری<sup>۱</sup> و کشش بازار<sup>۲</sup> از مدل‌های مطرح در این حوزه هستند.

مدل پیوندی و تعاملی نوآوری، نوآوری را نتیجه یک فرایند خطی ندانسته و با تاکید بر فرایند مرحله‌ای نوآوری، حلقه‌های بازخوردی میان فعالیت‌های تحقیق و توسعه و بازاریابی برقرار می‌نماید. در این مدل، ترکیبی از کشش و رانش بازار و فناوری مطرح می‌گردد [۸].

مدل یکپارچه سیستمی، به وجود همکاری و رابطه‌ی دو طرفه میان اجزا مختلف اشاره دارد. بنابراین، وجه تمایز اصلی این مدل‌ها با گروه‌های قبلی را می‌توان در توسعه موازی نوآوری کاملاً یکپارچه، داشتن یک نگاه کل‌گرا به فرایند نوآوری، و شامل شدن اجزای مختلف و روابط متفاوت میان آنهاست.

#### جدول (۱-۴): مقایسه مدل‌های کلان فرایند نوآوری

مدل سیستمی نوآوری	مدل تعاملی نوآوری	مدل خطی نوآوری	
۱۹۸۰-۲۰۰۰	۱۹۷۰-۱۹۸۰	۱۹۶۰-۱۹۷۰	دوره مطرح شدن
کلید اجزای دخیل در نوآوری با در نظر گرفتن روابط میان آنها	تعامل میان تحقیق و توسعه و بازار	تحقیق و توسعه؛ بازار	منبع نوآوری
یکپارچه با در نظرگیری کلید اجزا و روابط سیستمی	مرحله‌ای با در نظر گرفتن حلقه‌های بازخوردی	خطی و یکطرفه	فرایند نوآوری

1. Technology pull

2. Market push

مدل سیستمی نوآوری	مدل تعاملی نوآوری	مدل خطی نوآوری
نظام‌های نوآوری، سیستم‌های اجتماعی فناورانه، مدل الماسی پورتر، تحلیل داده-ستاده، رویکرد بلوک‌های توسعه	مدل Rothwell & Zegveld؛ مدل Kline and Rosenber	مدل فشار فناوری، کشش بازار

### ۱-۲-۳-۱- رویکردهای سیستمی نوآوری

تاکنون رویکردهای سیستمی مختلفی برای تحلیل فرایند نوآوری (تحلیل روند موجود، تحلیل سیاست‌ها<sup>۱</sup>، و سنجش اثرگذاری سیاست‌ها) ارائه گردیده است. در ادامه سعی می‌شود به صورت اجمالی این رویکردها توصیف و سپس باهم مقایسه گردد. هدف از مقایسه این رویکردها انتخاب بهترین یا بدترین رویکرد نیست، بلکه هدف تشخیص نقاط ضعف و قوت و دامنه اثر بخشی هر رویکرد است. با توجه به این مقایسه، می‌توان رویکرد مناسب تحلیل و سیاست‌گذاری را با توجه به ویژگی‌های مسئله انتخاب نمود. براساس تئوری تکاملی شومپیتر، کلیه این رویکردها را می‌توان به دو دسته‌ی رویکردهای شبه‌تکاملی<sup>۲</sup> و تکاملی<sup>۳</sup> تقسیم نمود.

در ادبیات از رویکردهای مختلفی برای مطالعه و توصیف نظام‌های اجتماعی-فنی و یا راهبری فرایند گذار استفاده شده است. مارکارد و همکاران دامنه‌ی گسترده‌ای از چارچوب‌ها و روش‌های نظری را برای توضیح و مطالعه‌ی مسیر گذار پیشنهاد می‌کنند. نظریه‌های عمومی مانند نظریه اقتصاد تکاملی<sup>۴</sup>، نظریه‌ی شبکه‌های کنش‌گران<sup>۵</sup> و رویکردهایی با تاکید بیشتر بر فناوری مانند ساخت اجتماعی فناوری<sup>۶</sup>، ارزیابی سازنده فناوری<sup>۷</sup>، موج‌های بلند، مطالعات آینده‌پژوهی فناوری<sup>۸</sup>، راهبری بازخوردی و جامعه‌شناسی انتظارات نمونه‌هایی از این چارچوب‌ها و روش‌های عمومی مورد استفاده در مطالعات گذار هستند.

۱. تحلیل سیاست‌ها روشی است که در شناسایی موانع و مشکلات سیستمی و نیز تعیین بهترین گزینه‌ی سیاستی با توجه به سطح پوشش مشکلات مورد استفاده قرار می‌گیرد.

2. Quasi-evolutionary approach
3. Evolutionary approach
4. Evolutionary economic theory
5. Actor network theory
6. Social construction of technology
7. Constructive technology assessment
8. Technology future study



علاوه بر این روش‌های عمومی، گونه‌هایی دیگر از رویکردها وجود دارند که به‌طور خاص برای تحلیل و راهبری گذارهای فناورانه توسعه داده شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند. این رویکردها به دو دسته تکاملی‌ها و شبه‌تکاملی‌ها تقسیم می‌شوند.

در رویکردهای تکاملی نوآوری، تنوع‌های فناورانه در محیط انتخابی<sup>۱</sup> متکی بر مکانیزم‌های بازار پدید آمده و فرایند تکامل بدون مداخله و جهت‌دهی از خارج به‌وقوع می‌پیوندد. دو نقد بر نگاه تکاملی وارد می‌شود: اول اینکه بازار تقاضا و تمایلات مصرف<sup>۲</sup> در نوآوری‌های فناورانه بنیادین (که در گذار به‌وجود می‌آیند) هنوز شکل نگرفته‌اند. به‌عبارت‌دیگر، بازار، عادات مصرف، و فناوری‌های جدید به‌طور همزمان به‌ظهور می‌رسند. در این حالت، فرایند انتخاب چیزی فراتر از پذیرفتن از میان گزینه‌های نوآوری بوده و مفهوم پذیرش مصرف‌کننده و نهادینه نمودن آن در عادات زندگی و بومی‌سازی را نیز شامل می‌شود. نقد دوم بر این موضوع تاکید دارد که علاوه بر بازار و مصرف‌کننده، سیاست‌ها، نهادها، و شبکه‌ها نیز در شکل‌دهی به محیط انتخاب نقش اساسی دارند. بنابراین گذار فرایند تکاملی مشارکتی<sup>۳</sup> است.

در طرف مقابل، رویکردهای شبه‌تکاملی فرایند تکامل را کاملاً بدون جهت‌نداشته و سعی در مداخله و جهت‌دهی آن از طریق محیط تنوع‌مبندی بر فعالیت‌های راهبردی کنش‌گران دارد. این فعالیت‌ها راهبردی در راستای ایجاد نوآوری در محیط‌های حفاظت شده و نیز محیط انتخاب مبتنی بر انتظارات شکل‌گرفته انجام می‌شود. ریپ (۱۹۹۲) و اسکات (۱۹۹۲) معتقدند که در رویکردهای شبه‌تکاملی، وقوع گذار در کارزاری از بیم‌ها و امیدها<sup>۴</sup> به‌وقوع می‌پیوندد. منظور از این کارزار، رویایی انتظارات<sup>۵</sup> مختلف، تجارب، موفقیت‌ها و شکست‌های پیشین است که کنش‌گران موجود در نظام اجتماعی-فنی در یک محیط اجتماعی-شناختی<sup>۶</sup> شکل داده‌اند. این انتظارات و تجارب به‌صورت تجمعی و در سال‌های متمادی در اذهان کنش‌گران شکل‌گرفته، در نتیجه از میان بردن و تغییر آن‌ها در کوتاه‌مدت به‌وقوع نمی‌پیوندد. در این رویکردها، دو گروه کنش‌گران در نظر گرفته می‌شوند. گروه اول که کنش‌گران فعال<sup>۷</sup> هستند. آن‌ها توسعه‌دهندگان هستند که به‌جانب‌داری از گسترش فناوری پرداخته، به‌شکل‌دهی انتظارات (بیم و امید) در اذهان سایر کنش‌گران کمک کرده، و در برابر سایر رقابا به رقابت می‌پردازند. در طرف

1. Selection environment
2. Preferences
3. Co-evolution
4. Arena of expectations
5. Expectations
6. Socio-cognitive sphere
7. Enactor

مقابل، گروه دوم کنش‌گران منفعل یا انتخاب‌گر<sup>۱</sup> هستند. آن‌ها برخلاف گروه اول درگیر فرایندهای معرفی و توسعه ابتدایی فناوری نمی‌شوند. بلکه با ارزیابی خروجی کارهای کنش‌گران فعال و نیز مبتنی بر انتظارات شکل گرفته، در فرایند توسعه خوشبین‌ترین گزینه‌ی فناورانه مشارکت می‌نمایند.

با تشریح ویژگی‌های تکاملی‌ها و شبه‌تکاملی‌ها، در زیر رویکردهای مختلفی که برای تحلیل و سیاست‌گذاری فرایند گذار در قالب این گروه توسعه داده شده، توضیح داده می‌شود.

### ۱-۲-۳-۲- رویکردهای شبه‌تکاملی<sup>۲</sup>

این رویکردها، گذار را به صورت یک الگوی تاریخی قابل تصویر در سه لایه‌ی مختلف در نظر می‌گیرند. بر اساس این رویکردها، مهمترین مشکلات ساختاری از سیستم‌های اجتماعی ناشی می‌گردد که توسط نیروهای بازار قابل توجیه نیست. رویکرد چندسطحی<sup>۳</sup> یکی از مدل‌های این رویکرد است که به تحلیل فرایند گذار شامل نوآوری‌های مختلف در سطح کلان (مانند بخش حمل و نقل) می‌پردازد. بر اساس این رویکرد، گذار فناوری در قالب سه سطح رژیم‌های اجتماعی-فناورانه<sup>۴</sup>، سطح گوشه<sup>۵</sup> و دورنما<sup>۶</sup> قابل تعریف است. در اثر پویایی ایجاد شده در تعامل سطوح مختلف، فرایند گذار به وقوع می‌پیوندد. مدیریت گوشه راهبردی<sup>۷</sup> رویکرد دیگری است که با توجه به جذابیت گوشه‌ها در چارچوب چندسطحی به عنوان سطح پدیدآورنده‌ی نوآوری، با نگرشی پایین-بالا به تعریف چارچوبی مفهومی برای توضیح چگونگی تشکیل گوشه‌ها و چگونگی محافظت از نوآوری در گوشه‌هایی مجزا از سطح رژیم می‌پردازد. در کنار این‌ها، رویکرد مدیریت گذار<sup>۸</sup> قرار می‌گیرند. بر اساس این مدل‌ها، گذار فرایندی چندسطحی و چندعاملی<sup>۹</sup> بوده که گوشه‌ها مهمترین نقش را در ایجاد گذار فناورانه برعهده دارند [۹]. این رویکرد

- 1.Selector
- 2.Quasi-evolutionary
- 3.Multi-levels perspective
- 4.Socio-technical regimes
- 5.Niche
- 6.Landscape
- 7.Strategic niche management
- 8.Transition management
- 9.Multi actor

به دنبال تحلیل این موضوع است که گوشه‌ها چگونه می‌توانند در ایجاد تغییر موفق یا شکست‌خورده باشند. در این مدل، بر نقش کنش‌گران<sup>۱</sup> و نیز مداخلات ضروری سیاستی نیز تاکید شده است [۹].

### ۱-۲-۳- رویکردهای تکاملی<sup>۲</sup>

یکی از اولین مدل‌های موجود در این رویکرد، بلوک‌های توسعه است. رویکرد بلوک‌های توسعه که در سال ۱۹۵۰ مطرح شد، به بیان این موضوع می‌پردازد که توالی از مکمل‌ها از طریق یک سری فشارهای ساختاری مانند، عدم تعادل، ممکن است نتیجه یک موقعیت تعادلی جدید باشد. در کنار این رویکرد، مدل‌های نظام‌های نوآوری به‌عنوان مهمترین جریان در ادبیات رویکردهای تکاملی قرار می‌گیرند. مفهوم نظام‌های نوآوری به‌عنوان یکی از زمینه‌های پژوهشی غالب در ادبیات مطالعات نوآوری<sup>۳</sup> از اواخر دهه ۱۹۸۰ با انتشار اولین مراجع مطرح گردید. این رویکرد بر پایه تئوری اقتصاد تکاملی به تبیین شرایط محیطی و درونی لازم برای توسعه نوآوری با نگرشی سیستمی می‌پردازد. نظام‌های نوآوری در سطوح مختلف ملی، منطقه‌ای، فناورانه، بخشی، و اخیراً هم در سطوح بنگاهی و بین‌المللی برای مقاصد مختلف تحلیلی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

### ۱-۲-۳-۴- مقایسه رویکردهای سیستمی نوآوری

کلیه مدل‌ها و رویکردهای اشاره شده در این قسمت را می‌توان از ابعاد مختلف باهم مقایسه نمود. این مقایسه نشان‌دهنده‌ی خوب بودن و یا بد بودن یک ابزار در حالت کلی نبوده و تنها به بیان ویژگی‌های این مدل‌ها از ابعاد مختلف می‌پردازد. بر اساس این ویژگی، متناسب‌ترین ابزار برای تحلیل توسعه فناوری راهبردی انتخاب می‌گردد (جدول ۱-۵).

جدول (۱-۵): مقایسه ویژگی‌های رویکردهای سیستمی نوآوری

رویکرد چندسطحی	مدیریت راهبردی گوشه‌ها	مدیریت گذار	بلوک‌های توسعه	نظام‌های نوآوری
سطح تحلیل گذارهای فناورانه بلندمدت، کارکردهای اجتماعی (مانند حمل‌ونقل)	شبکه‌های نوآوری، یک کاربرد خاص فناوری	گذارهای فناورانه بلندمدت	سطح صنعت	سطوح ملی، منطقه‌ای، فناورانه و بخشی
پویا	پویا	پویا	پویا	پویا

1. Agency

2. Evolutionary

3. Innovation studies

رویکرد چندسطحی	مدیریت راهبردی گوشه‌ها	مدیریت گذار	بلوک‌های توسعه	نظام‌های نوآوری
هدف تحلیل	تحلیل فرایند گذار شامل نوآوری‌های مختلف در سطح کلان	تحلیل چگونگی تشکیل گوشه‌ها و چگونگی محافظت از نوآوری در گوشه‌هایی مجزا از سطح رژیم	نقش گوشه‌ها در ایجاد تغییر و گذار فناورانه	تحلیل ساختاری با بررسی روابط بین فشارهای ساختاری و نوآوری‌های ایجاد شده
عامل نوآوری	پویایی پدیدآمده از تعامل سطوح رژیم گوشه و دورنما	فناوری‌های نو و چیدمان‌های جدید اجتماعی اقتصادی	سطح گوشه و کنش‌گران	کنش‌گران، نهادها، روابط و شبکه‌ها

نظام نوآوری فناورانه<sup>۱</sup> به‌عنوان رویکرد تکاملی و رویکرد چند سطحی<sup>۲</sup>، مدیریت گذار<sup>۳</sup>، مدیریت راهبردی گوشه‌ها<sup>۴</sup> به‌عنوان رویکردهای شبه تکاملی برای بررسی در این بخش انتخاب شده‌اند. از خروجی تحلیلی حاصل از این رویکردها می‌توان در طراحی اجزای جهت‌گیری‌های پشتیبان استفاده نمود.

در ادامه به بررسی این رویکردها به‌طور مبسوط پرداخته می‌شود. اولین این رویکردها، نظام‌های نوآوری فناورانه هستند. قبل از توضیح این رویکرد، لازم است تا تبیین جایگاه آن در میان سایر رویکردهای نظام‌های نوآوری پرداخت.

## ۱-۲-۴ نظام‌های نوآوری

نظام‌های نوآوری شامل کلیه عوامل اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، سازمانی، نهادی و سایر عوامل اثرگذار بر توسعه، انتشار و بهره‌برداری از نوآوری می‌گردد. هر نظام نوآوری از سه جز اصلی مولفه‌ها (کنش‌گران، نهادها و فناوری‌ها)، روابط (مواصلات میان مولفه‌ها)، و شناسه‌ها (توانایی اجزا در ایجاد شایستگی فناورانه-اقتصادی) تشکیل شده است [۱۰].

مفهوم نظام‌های نوآوری را می‌توان یکی از زمینه‌های پژوهشی غالب در ادبیات مطالعات نوآوری<sup>۱</sup> به حساب آورد. تمرکز اصلی مطالعات نوآوری، بیان رشد فناورانه در اقتصاد است. اما مطالعات نوآوری در شکل امروزی خود و مفهوم نظام‌های نوآوری

1. Technological innovation systems
2. Multi-levels perspective (MLP)
3. Transition management (TM)
4. Strategic niche management

را باید به طور قطع تحت تاثیر کارهای شومپیتر و سایر تحقیقات خارج از جریان اصلی اقتصاد مانند اقتصاد نهادگرا<sup>۲</sup>، اقتصاد توسعه<sup>۳</sup> و اقتصاد نئوشومپیترین<sup>۴</sup> دانست.

بطور کلی، چهار رویکرد تحلیل اقتصادی نزدیک به نظام‌های نوآوری وجود دارد. اقتصاد نئوکلاسیک که به عنوان رایج‌ترین مکتب، بر انتخاب میان گزینه‌های اقتصادی مشخص و تعریف شده (بعضا همراه با ریسک) توسط کنش‌گران خردگرا<sup>۵</sup> پرداخته و کانون تحلیل را در تخصیص منابع محدود به کنش‌گران قرار می‌دهد. در طرف دیگر، رویکرد مدیریت نوآوری با تمرکز تحلیل بر نوآوری، به انتخاب میان گزینه‌های پروژه‌های تحقیق و توسعه کنش‌گران خردگرا می‌پردازد. در کنار این دو رویکرد، اقتصاد اتریشی مانند اقتصاد نئوکلاسیک بر تخصیص منابع محدود تمرکز داشته، ولی برخلاف آن بازار را وسیله‌ی ایجاد فرایند یادگیری پویای کنش‌گران می‌داند. رویکرد نظام‌های نوآوری نیز مانند مکتب اتریشی بر یادگیری تاکید داشته و نیز همانند مدیریت نوآوری، نوآوری را محور تحلیل خود قرار می‌دهد (جدول ۱-۶).

جدول (۱-۶): چهار دیدگاه مختلف در تحلیل‌های اقتصادی

نوآوری	تخصیص منابع	
مدیریت نوآوری <sup>۷</sup>	مکتب اقتصاد نئوکلاسیک <sup>۶</sup>	انتخاب خردگرا
نظام‌های نوآوری	مکتب اقتصاد اتریشی <sup>۸</sup>	یادگیری

یک نظام نوآوری را می‌توان از ابعاد مختلف مرزبندی نموده و بر این اساس، مدل‌هایی برای اهداف تحلیلی متفاوت پدید آورد. بر طبق Edquest مرزهای این سیستم می‌تواند در چهار بعد جغرافیایی، فناورانه و گروه محصول و فعالیت تعریف گردد. بر این اساس، چهار مدل نظام نوآوری ملی، نظام نوآوری منطقه‌ای، نظام نوآوری بخشی، و نظام نوآوری فناورانه مطرح می‌گردد. با استفاده از رویکرد سیستمی، از سه دیدگاه مختلف تحلیل بر اساس عوامل (جعبه سفید)، تحلیل بر اساس خروجی (جعبه

1. Innovation studies
2. Institutional Economics
3. Development Economics
4. Evolutionary Economics
5. Rational agent
6. Neoclassical economics
7. Management of innovation
8. Austrian economics

سیاه) و تحلیل براساس گذار سیستمی، می‌توان به مطالعه‌ی نظام‌های نوآوری پرداخت. در تحلیل بر اساس عوامل که تحلیل ساختاری نام می‌گیرد، به شناخت اجزای اصلی درون مرزهای سیستم پرداخته می‌شود. در رویکرد تحلیل بر اساس خروجی که تحلیل کارکردی نام‌گذاری می‌شود، مجموعه فعالیت‌هایی که اجزای سیستم به‌انجام می‌رساند و موجب ایجاد پویایی می‌گردند، هدف مطالعه قرار می‌گیرد. درنهایت، تحلیل گذار نیز تکامل و تغییرات سیستم در طول زمان را مورد مطالعه قرار می‌دهد. مقایسه رویکردهای مختلف نظام نوآوری از این سه منظر به‌همراه ابعاد دیگر، در جدول زیر مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول (۱-۷): مقایسه رویکردهای نظام‌های نوآوری

نظام نوآوری ملی	نظام نوآوری منطقه‌ای	نظام نوآوری بخشی	نظام نوآوری فناورانه
پایه‌گذار/سال	فریمن (۱۹۸۷ و ۱۹۸۸)، لاندول (۱۹۸۸)، و نلسون (۱۹۹۳)	ساکسیان (۱۹۹۴)، کوک (۱۹۹۷)	کارلسون و اتانکوویچ (۱۹۹۱)
سطح تمرکز (مرز سیستم)	مرزهای جغرافیایی-ملی	مرزهای جغرافیایی-منطقه	بخش و زیربخش (گروه‌های محصول و بخش‌های محصول)
هدف تحلیل	مقایسه عملکرد نوآورانه کشورها-تحلیل نقش پیشرفت‌های فناورانه در رشد اقتصادی؛ سیاست‌ها و راهبردهای اقتصادی اجتماعی برای بارور کردن نوآوری در یک کشور	تعیین عملکرد اقتصادی یک منطقه؛ سیاست‌گذاری توسعه نوآوری منطقه‌ای	ارزیابی روند توسعه یک نوآوری فناورانه از نگاه ساختار و کارکرد؛ شناسایی موانع و محرک‌های توسعه؛ سیاست‌گذاری توسعه فناوری
رویکردهای مشابه	مدل‌های رشد اقتصادی نئوکلاسیک-مدل‌های خطی و تعاملی نوآوری-مدل الماسی پورتر-مدل	حوزه‌های صنعتی قطب‌های فناورانه محیط‌های نوآور ناحیه‌های یادگیرنده	اقتصاد صنعتی (ساختار-هدایت-عملکرد، رویکرد هزینه‌های تراکنش، مدل‌های نظریه بازی‌های همکاری‌های راهبردی، و مطالعات اقتصادسنجی صنعتی)، رویکرد استفاده از مطالعات موردی و مطالعات نوآوری و نوع‌شناسی‌های تجربی
شناخت ساختاری	سطح محدود: کنش‌گران و روابط متعامل با نوآوری به‌طور مستقیم سطح گسترده: تمام اجزای اجتماعی،	چهار مولفه‌ی بنگاه‌ها، نهادها، زیرساخت‌های دانشی و سیاست‌گذاری نوآوری	کنش‌گران، نهادها، فناوری‌ها، روابط و شبکه‌ها

نظام نوآوری ملی	نظام نوآوری منطقه‌ای	نظام نوآوری بخشی	نظام نوآوری فناورانه
فرهنگی، و سیاسی موجود در محیط کلان کشور	تقسیم‌بندی عوامل پویایی داخلی به سه دسته‌ی یادگیری تعاملی، اشتراک دانش، مجاورت و نهادینگی	پویایی توسط دو فرایند تنوع به منظور ایجاد ناهمگنی (ورود عوامل جدید، تحقیق و توسعه و نوآوری) و انتخاب به‌منظور کاستن از ناهمگنی (انتخاب بازار و انتخاب غیربازار)	هفت کارکرد خلق دانش، انتشار دانش، فعالیت-های کارآفرینی، جهت‌دهی به جستجو، تامین منابع، شکل‌دهی بازار و مشروعیت‌بخشی؛ تاکید بر مفهوم تکانه و حلقه‌های علی تجمعی در ایجاد پویایی
شناخت کارکردی	تعریف زیرکارکردهای مختلف در قالب سه کارکرد اصلی تولید، انتشار و استفاده از نوآوری	چرخه عمر صنعت و نیز تحلیل تکامل بلندمدت صنایع Shumpeter	تکامل سیستم براساس مدل توالی نوآوری، مرکب از چهار موتور نوآوری (موتور محرک علم و فناوری، موتور کارآفرینی، موتور شکل‌دهی به سیستم، موتور بازار)
تکامل و گذار	توسعه شبکه‌های میان بنگاه‌ها در یک منطقه	وابسته بودن عوامل اثرگذار بر نوآوری به بخش	تاکید بر نقش شایستگی اقتصادی، به‌معنی توانایی در توسعه و بهره‌برداری از فرصت‌های جدید کسب‌وکار، در ایجاد نوآوری فناورانه؛ تاکید بر پویایی سیستم و چگونگی شکل‌گیری سیستم
ویژگی محوری	شکل‌گیری نهادها و بنگاه‌ها در کشور و نیز ایجاد یکپارچگی میان اجزا موجود	خوشه‌های منطقه‌ای به‌عنوان یکی از عوامل اثرگذار مهم در فرایند نوآوری	تاکید بر نوآوری و پیشرفت‌های فناورانه به‌عنوان عامل اثرگذار در رشد اقتصادی کشورها



## ۱-۲-۴-۱ - نظام‌های فناورانه نوآوری

نظام‌های نوآوری فناورانه<sup>۱</sup> به تحلیل گذار از منظر تغییرات نهادی، سازمانی، اقتصادی، سیاسی و فنی پیرامون ظهور فناوری‌های جدید می‌پردازد. این رویکرد بر پایه‌ی نظر کارلسون و استنکوویتز درباره نوآوری شکل گرفته است که مهمترین محرک‌های خلق، انتشار و بهره‌برداری از نوآوری‌های فناورانه را در تعاملات نظام‌مند کنش‌گران، تحت زیرساخت‌های نهادی می‌داند. این برداشت از گسترش نوآوری فناورانه با الهام از تئوری بلوک‌های توسعه<sup>۲</sup> و نیز در ارتباط با رویکردهای نظام ملی نوآوری<sup>۳</sup> و نظام بخشی نوآوری<sup>۴</sup> است.

از زمان توسعه اولیه این رویکرد در سال ۱۹۹۱، تغییرات مختلف و بهبودهای متفاوتی در مفهوم و ابزارهای عملیاتی آن صورت پذیرفته است. تمرکز بر فناوری‌های مشخص<sup>۵</sup> به جای تمرکز بر فناوری‌های عمومی و گسترده<sup>۶</sup>، تاکید بر وقوع نوآوری-های بنیادین به‌عنوان محرک گذارهای اجتماعی-فنی به‌جای تاکید بر نوآوری فناورانه به‌عنوان ابزاری در ایجاد رشد اقتصادی، و توجه به فناوری‌های نوظهور (و غالباً پایدار) به‌جای توجه به سایر انواع فناوری، نمونه‌هایی از تغییرات و همگرایی‌هایی صورت گرفته در این حوزه است. علاوه بر این‌ها، شناسایی مجموعه‌ی فرایندهای لازم برای توسعه نوآوری تحت عنوان کارکردهای نظام نوآوری فناورانه، شناسایی مجموعه‌ی مکانیزم‌های اثرگذار بر شکل‌گیری نظام نوآوری فناورانه در قالب موانع و محرک‌های توسعه، ارائه‌ی تحلیل‌های ساختاری در قالب نقش کنش‌گران، نهادها و شبکه‌ها در شکل‌گیری نوآوری، گسترش مفهوم شکست‌های بازار و با ارائه‌ی تعریفی جدید تحت عنوان شکست‌های سیستمی<sup>۷</sup>، برقراری ارتباط و ایجاد سازگاری میان رویکردهای مختلف گذار (مانند رویکرد TIS و MLP) و ارائه‌ی رویکردهایی برای راهبری شکل‌گیری نظام نوآوری فناورانه، نمونه‌هایی از بهبودهای صورت پذیرفته در رویکرد نظام‌های نوآوری فناورانه در طول زمان است.

1. Technological innovation systems (TIS)
2. Development blocks
3. National innovation systems (NIS)
4. Sectoral innovation systems (SIS)
5. Specific technology
6. Generic technology
7. Systemic failures

به کار بردن رویکرد سیستمی در مطالعه‌ی تغییرات فناورانه، بستری برای درک توسعه فناوری را فراهم می‌نماید. نظام‌های نوآوری با تمرکز خاص بر فناوری، نمونه‌ای از این رویکردهای سیستمی هستند که در ادبیات از آن‌ها تحت عنوان نظام نوآوری فناورانه<sup>۱</sup> یاد می‌گردد. بر این اساس، کارلسون و استنکوویتز این مفهوم را به صورت زیر تعریف می‌کنند:

شبکه‌ای پویا از عوامل که در یک حوزه‌ی اقتصادی/صنعتی خاص باهم در تعامل بوده، تحت مجموعه‌ای از زیرساخت‌های نهادها قرار داشته، و در فرایند خلق، انتشار و بهره‌برداری از دانش دخیل هستند.

نقطه شروع تحلیل در نظام‌های نوآوری فناورانه مرزهای جغرافیایی و یا یک صنعت خاص نبوده، بلکه این رویکرد تمرکز بر فناوری را هدف مطالعه قرار می‌دهد. با این حال، یک نظام نوآوری فناورانه می‌تواند در عین تمرکز بر یک فناوری، گستره‌ای از مرزهای جغرافیایی و بخشی مختلف را در برگیرد. هدف تحلیل‌های نظام نوآوری فناورانه ارزیابی روند توسعه یک نوآوری فناورانه از نگاه ساختار و فرایندهایی است که به پشتیبانی و یا ممانعت از آن می‌پردازد. در تعریف نظام نوآوری فناورانه، فناوری هم به معنای مواد، سخت‌افزارها و نرم‌افزارهایی است که به شکل مستقیم در فرایند توسعه بکار می‌روند، و هم به شکل دانشی است که چه به شکل عمومی و یا نهفته در محصول وجود دارد [۱۱].

نظام نوآوری فناورانه علی‌رغم دارا بودن ویژگی‌های مشترک با سایر رویکردهای نظام نوآوری، دارای دو ویژگی متمایزکننده از آن‌هاست:

تاکید بر نقش شایستگی اقتصادی، به معنی توانایی در توسعه و بهره‌برداری از فرصت‌های جدید کسب‌وکار در ایجاد نوآوری فناورانه. بر این اساس، بهره‌برداری و ترکیب دانش‌های موجود جز جدایی ناپذیر نوآوری فناورانه می‌باشد. در حقیقت بر خلاف سایر رویکردها که تفکری کلان از نوآوری داشتند، این ویژگی بر اهمیت نیروهای کارآفرین به عنوان منابع نوآوری تاکید دارد. تاکید جدی بر پویایی سیستم. تمرکز بر نقش کارآفرینان در این رویکرد، زمینه را برای بررسی روند شکل‌گیری این سیستم در طول زمان آماده کرده تا از این طریق روند پویایی در نظر گرفته شود.

در بکارگیری نظام نوآوری فناورانه، در نظرگیری چهار فرض اساسی ضروری است:

۱. این اصطلاح توسط محققین مختلف به گونه‌های متفاوت بکار گرفته شده است. Carlsson and Stankiewicz (۱۹۹۱) اصطلاح سیستم‌های تکنولوژیکی را بکار برده‌اند و محققان سوئدی نیز واژه نظام نوآوری تکنولوژی محور را برگزیده‌اند.

سیستم (نه تک تک اجزا) به عنوان واحد تحلیل قرار می گیرد. این فرض در سایر مدل های نظام نوآوری نیز مشابه است. سیستم ماهیتی پویا دارد. بنابراین در نظر گرفتن بازخوردها برای بررسی روند شکل گیری این سیستمها ضروری می باشد. فرصت های فناورانه عملاً نامحدود هستند. بنابراین لازم است تا تمرکز بیشتری در شناسایی، جذب و بهره برداری از فرصت های فناورانه صورت پذیرد. به عبارت دیگر، بالابردن توانایی جذب اهمیت بیشتری از توانایی تولید فناوری جدید دارد. هر بازیگر در چارچوب خردپذیری محدود<sup>۱</sup> عمل می کند. به عبارت دیگر، بازیگران این نظام خردپذیر هستند، اما با محدودیت هایی از جنس توانایی ها و اطلاعات روبه رو هستند.

در کنار رویکرد نظام نوآوری فناورانه، مفهوم بلوک های شایستگی<sup>۲</sup> قرار می گیرد. بلوک های شایستگی از جانب طرف تقاضا (محصول یا بازار) و به عنوان مجموع زیرساخت های لازم برای ساخت، انتخاب، تشخیص دادن، انتشار و بهره برداری از ایده های جدید در خوشه هایی از بنگاه ها تعریف می گردد. نمونه ای از تحلیل با این رویکرد را می توان در بلوک شایستگی برای نظام سلامت کشور سوئد جستجو نمود که در آن اجزای تشکیل دهنده ی نظام های نوآوری فناوری مختلف محصولات و فناوری های لازم بخش سلامت را تامین می کنند، به تصویر کشیده شده است.

با معرفی نظام نوآوری فناورانه توسط کارلسون و استنکوویتز (۱۹۹۱)، مطالعات گسترده ای با تمرکز بر ویژگی پویایی این رویکرد به انجام رسیده و مفاهیمی مانند حجم بحرانی<sup>۳</sup>، تکانه<sup>۴</sup> و حلقه های علی تجمعی<sup>۵</sup> مطرح گردید. به منظور شناخت کافی از این مفاهیم، در ادامه لازم است تا دو حوزه اساسی نظام های نوآوری فناورانه، شناخت کارکردی و حلقه های علی تجمعی تبیین گردد.

### ۱-۲-۴-۲- شناخت کارکردی نظام نوآوری

نظام های نوآوری فناورانه را می توان به عنوان رویکردی برای تحلیل تغییرات فناورانه به کار برد. از آن جایی که تنها با تحلیل ساختاری نظام های فنی-اجتماعی نمی توان تمام جوانب تغییرات فناورانه را در نظر گرفت، این رویکرد می بایست فراهم-

1. Bounded rationality
2. Competence block
3. Critical mass
4. Momentum
5. Cumulative causation

آورنده‌ی چارچوبی برای تحلیل کارکردی<sup>۱</sup> نظام‌های فنی-اجتماعی باشد. دنبال کردن فرایندهای نوآوری و یا به تعبیری دیگر، توسعه، انتشار و به کارگیری نوآوری‌ها در عمل را به‌عنوان کارکرد اصلی نظام‌های نوآوری قلمداد می‌کند. برای مطالعه‌ی میزان تحقق فرایندهای اصلی سیستم، محققان کارکردهای مختلفی را در سطح اول سیستم (زیرکارکرد) شناسایی کرده‌اند.<sup>۲</sup>

اخیرا جاکوبسون و برگگ نیز دسته‌بندی پالایش شده‌ای از کارکردهای نظام نوآوری فناورانه ارائه داده‌اند. با مرور بخش عمده‌ای از مقالاتی که به دسته‌بندی کارکردها پرداخته‌اند، هفت کارکرد اصلی مورد شناسایی قرار می‌گیرند. مجموعه کارکردهای ذکر شده به‌همراه شاخص‌هایی برای سنجش سطح برآورده شدن این کارکردها در جدول (۸-۱) ارائه شده است.

جدول (۸-۱): کارکردهای پیشنهادی و شاخص‌های آن‌ها

شاخص	توصیف	کارکرد
فعالیت‌های کارآفرینی	شامل ترجمه‌ی دانش فنی موجود در زمینه‌ی یک فناوری خاص به زبان موقعیت‌های کاری جدید و انجام پروژه‌های عملیاتی و یا انجام فعالیت‌هایی با هدف اثبات مفید بودن فناوری نوظهور در محیط تجاری است.	تعداد و کیفیت پروژه‌های انجام شده با هدف تجاری‌سازی، حجم سرمایه‌گذاری‌های خطرپذیر انجام شده، تعداد نمایشگاه‌های فناوری برگزار شده، تعداد پروژه‌های نمایشی انجام شده
خلق دانش	درب‌گیرنده‌ی فعالیت‌های یادگیری است که به‌طور عمده بر دانش فنی فناوری و به‌میزان کمتر، بر بازار، شبکه‌ها و مصرف‌کننده‌های آن تمرکز دارد. این فرایند یادگیری، به اقسام گوناگونی می‌تواند واقع شود. یادگیری کتابخانه‌ای و یادگیری درحین انجام کار از انواع مهم این دسته از فعالیت‌ها هستند.	تعداد مقالات ISI منتشر شده، تعداد حق اختراعات ثبت شده به صورت بین‌المللی در زمینه فناوری، تعداد مطالعات علمی و فنی صورت گرفته از فناوری، تعداد گزارش‌های تولید شده در رابطه با مطالعه‌ی بازار، تعداد مطالعات امکان‌سنجی انجام شده
انتشار دانش	درب‌گیرنده‌ی فعالیت‌هایی است با هدف پراکنده‌سازی <sup>۳</sup> و به-اشتراک‌گذاری <sup>۴</sup> دانش و اطلاعات انجام می‌شوند. بنابراین، مهمترین نقش کارکرد انتشار دانش، ایجاد یادگیری تعاملی است. وجود روابط و در حالت پیچیده‌تر، شبکه‌هایی از بازیگران از پیش‌نیازهای این کارکرد به‌شمار می‌رود.	تعداد کنفرانس‌ها و کارگاه‌های برگزار شده در رابطه با فناوری، تعداد و اندازه شبکه‌های متشکل از بازیگران موجود در نظام فناورانه، میزان جابه‌جایی نیروهای تحصیل کرده دانشگاهی با محوریت فناوری
جهت‌دهی به سیستم	اشاره به فعالیت‌هایی دارد که منجر به مشخص شدن نیازها و جهت‌دهی به فعالیت‌های بازیگران موجود در نظام فناوری می‌گردد. همچنین، رفع مشکلات موجود در کارکردهای دیگر	تعداد و اثربخشی قوانین مربوط به فناوری، استانداردهای تدوین شده، میزان شکل‌گیری انتظاراتی درباره‌ی آینده‌ی فناوری

۱. کارکردها عوامل فرایندی مؤثر بر توسعه‌ی فناوری محسوب می‌شوند.

۲. هنگامی که گفته می‌شود کارکردها در سطح اول سیستم تعریف شده‌اند، کارکرد کلی سیستم به‌صورت پیش‌فرض در سطح صفر سیستم تعریف شده است.

3. Dissemination

4. Sharing

شاخص	توصیف	کارکرد
شکل گیری بازار	نظام نیز می تواند در قالب این کارکرد انجام شود. شامل فعالیت هایی (مانند حمایت های مالی از کاربرد فناوری نوظهور) است که با ارائه ی امتیازاتی منجر به ایجاد تقاضا برای فناوری می گردد.	تعداد و حجم niche markes، تعداد و تنوع کاربران موجود برای فناوری، تعداد و تنوع نهادهای تنظیم شده برای شکل دهی به بازار، میزان عدم قطعیت موجود در برابر تولیدکنندگان و یا سرمایه گذاران، مرحله ی بلوغ (دوره ی عمر) بازار
تأمین منابع	شامل تخصیص سرمایه های مالی، انسانی، مکمل و مواد مورد نیاز برای توسعه فناوری است. همچنین، گسترش زیرساخت های عمومی مورد نیاز پیشرفت فناوری، مانند سیستم های آموزشی و تسهیلات تحقیق و توسعه نیز در زمره ی این کارکرد قرار می گیرد.	حجم کمک های بلاعوض دولتی (یارانه) و سرمایه گذاری های بخش دولتی و خصوصی، میزان دسترسی به نیروی انسانی فنی، میزان دسترسی به مواد اولیه، میزان توسعه زیرساخت های مورد نیاز فناوری و محصولات و خدمات مکمل
مشروعیت بخشی	دربرگیرنده ی تمامی فعالیت ها با هدف غلبه بر مخالفت بازیگران ذینفع در فناوری های کنونی از طریق تشویق صاحبان قدرت به ایجاد آرایش جدیدی از قواعد و مقررات مربوط به نظام نوآوری فناورانه است.	میزان هم گرایی نهادهای موجود و نظام نوآوری فناورانه در حال توسعه، میزان مشروعیت سرمایه گذاری در توسعه ی فناوری و محصولات مربوط به آن، میزان رایزنی های سیاسی بین گروه های درگیر برای حمایت از فناوری، میزان حمایت از فناوری در رسانه ها

همان طور که اشاره شد، نظام های نوآوری تکنولوژیک را می توان به عنوان رویکردی برای تحلیل تغییرات تکنولوژیک به کار برد. دنبال کردن فرایندهای نوآوری و یا به تعبیری دیگر، توسعه، انتشار و به کارگیری نوآوری ها در عمل را به عنوان کارکرد اصلی نظام های نوآوری قلمداد می کند. برای مطالعه ی میزان تحقق کارکرد اصلی سیستم، محققان کارکردهای مختلفی را در سطح اول سیستم شناسایی کرده اند<sup>۱</sup>. بنابراین می توان به کارکردهای سیستم به عنوان زیرکارکردهای کارکرد اصلی آن نگریست. این کارکردها عوامل فرایندی مؤثر بر توسعه ی تکنولوژی محسوب می شوند. همچنین، کارکردهای سیستم برآیندی از فعالیت های رخ داده در آن می باشند. یعنی با دسته بندی فعالیت های متجانس می توان کارکردهای نظام را شناسایی کرد. ارائه ی دسته بندی های مختلف از کارکردها نیز به علت وجود دسته بندی های مختلف از فعالیت های سیستم است.

۱. هنگامی که گفته می شود کارکردها در سطح اول سیستم تعریف شده اند، کارکرد کلی سیستم به صورت پیش فرض در سطح صفر سیستم تعریف شده است.

با توجه به مطالعه ادبیاتی که در گزارش متدولوژی درباره کارکردها صورت پذیرفت، هفت کارکرد فعالیت‌های کارآفرینی، خلق دانش، انتشار دانش، جهت‌دهی به سیستم، تامین منابع موردنیاز، شکل‌دهی به بازار و مشروعیت‌بخشی کارکردهای اصلی یک نظام نوآوری است. برای اینکه بتوان به شناسایی موانع و محرک‌های موجود در انجام فعالیت در هر کارکرد پرداخت، لازم است تا در ابتدا شاخص‌هایی برای هر کارکرد استخراج نمود. بر اساس این شاخص‌ها، در فاز بعدی پرسش‌هایی (با محوریت قرار دادن هر شاخص و زیرکارکرد) طراحی می‌گردد و انجام مصاحبه پیرامون مجموعه پرسش‌های هر کارکرد، استخراج کلیه موانع و محرک‌های در تمام ابعاد آن کارکرد را نتیجه می‌دهد. برای این منظور، در زیر کارکردهای نظام نوآوری به‌همراه شاخص‌های مشخص‌کننده آن‌ها ارائه شده است.

### الف) فعالیت‌های کارآفرینی

کارآفرینان، در کانون توسعه‌ی هر فناوری قرار می‌گیرند. نقش کارآفرینان، ترجمه‌ی دانش فنی موجود در زمینه‌ی یک فناوری خاص به زبان موقعیت‌های کاری جدید و انجام پروژه‌های عملیاتی است. همچنین، فعالیت‌های کارآفرینی شامل پروژه‌هایی با هدف اثبات مفید بودن فناوری نوظهور در محیط تجاری است. بنابراین، هدف فعالیت‌های کارآفرینی، انتفاعی است. درحقیقت، کارکرد فعالیت‌های کارآفرینی نقطه‌ی جدایش نظام تکنولوژیکی نوآوری از یک سیستم تحقیق و توسعه است. مثالی از فعالیت‌های مربوط به این کارکرد، ساخت نمونه‌های اولیه از فناوری با هدف فروش یا نمایش آن و برگزاری نمایشگاه‌های تخصصی از آن است. کارکرد فعالیت‌های کارآفرینی را می‌توان در بخش خصوصی و از طریق شرکت‌های انتفاعی و نیز از طریق بازیگران موجود در بخش دولتی تحقق بخشید. بنابراین، بسته به نیاز فناوری و توانایی بازیگران می‌توان از قابلیت‌های هر دو بخش بهره برد. شرکت‌های انتفاعی دخیل در تحقق این کارکرد را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد. گروه اول، شرکت‌کننده‌های جدیدی هستند که از فرصت ایجاد شده، به‌عنوان چشم‌اندازی در تسخیر بازار جدید بهره می‌برند. دسته‌ی دوم، شرکت‌های موجودند که در استراتژی خود، استفاده از مزایای فناوری‌های جدید را هدف قرار داده‌اند.

بنابراین، این کارکرد دربرگیرنده‌ی ایجاد شرایط سرمایه‌گذاری مناسب در زمینه‌ی کارآفرینی و نیز میزان ظهور سازمان‌های کارآفرین در محیطی رقابتی است. رخدادهای نشان‌گر تحقق این کارکرد در یک فناوری خاص عبارتند از:

- سرمایه‌گذاری خطرپذیر صورت‌پذیرفته در فناوری

- ورود شرکت‌های نوآور داخلی در این زمینه
- ارائه‌ی محصولات و خدمات جدید در زمینه فناوری
- ظهور شرکت‌های نوپا در زمینه فناوری
- انجام پروژه‌هایی با هدف تجاری‌سازی فناوری

### (ب) خلق دانش

کارکرد خلق دانش دربرگیرنده‌ی فعالیت‌های یادگیری است که به‌طور عمده بر دانش فنی فناوری و به‌میزان کمتر، بر بازار، شبکه‌ها و مصرف‌کننده‌های آن تمرکز دارد. این فرایند یادگیری، می‌تواند به اقسام گوناگونی باشد. یادگیری کتابخانه‌ای و یادگیری درحین انجام کار از انواع مهم این دسته از فعالیت‌ها هستند. کارکرد خلق دانش را باید به‌عنوان پیش‌نیازی ضروری برای توسعه فناوری در نظر گرفت. در بستر توسعه‌ی فناورانه، افزایش نرخ خروجی در تولید دانش، می‌تواند منجر به پدیداری گزینه‌های فناورانه و کاربردی بیشتری از فناوری در نظام نوآوری تکنولوژیک شود. فعالیت‌های توسعه‌ی دانش می‌توانند منبع داخلی یا خارجی داشته باشند. به‌بیان بهتر می‌توان گفت که توسعه‌ی دانش، می‌تواند توسط فعالیت‌هایی بصورت درون‌زا و یا انتقال فناوری انجام پذیرد. نمونه‌ی فعالیت‌هایی که در این کارکرد می‌توان نام برد در زیر آورده شده‌اند:

پروژه‌های تحقیق و توسعه‌ی انجام شده با هدف توسعه‌ی دانش در زمینه‌های ساخت و طراحی توسط سازمان‌های مختلف (در بخش‌های صنعت، دانشگاه و دولت) شامل:

- مطالعات کتابخانه‌ای
- طرح‌های پایلوت
- توسعه‌ی نمونه‌های اولیه (Prototype)
- انتقال فناوری
- مهندسی معکوس
- سرمایه‌گذاری‌های مشترک با هدف توسعه‌ی دانش

این پروژه‌ها می‌توانند توسط پتنت‌های ثبت شده (حق اختراعات)، مقالات و کتاب‌های منتشر شده و گزارش‌های تدوین شده، بررسی عملکرد سازمان‌های تحقیقاتی فعال (خصوصی یا عمومی) در زمینه‌ی فناوری و نیز محصولات تولید شده شناسایی شوند.

### ج) انتشار دانش

این کارکرد دربرگیرنده‌ی فعالیت‌هایی است که با هدف تسهیم (پراکنده‌سازی و به‌اشتراک‌گذاری) دانش و اطلاعات انجام می‌شوند. بنابراین، مهمترین نقش کارکرد انتشار دانش، ایجاد یادگیری تعاملی است. وجود روابط و در حالت پیچیده‌تر، شبکه‌هایی از بازیگران از پیش‌نیازهای این کارکرد به‌شمار می‌رود. مهمترین نقش یک شبکه، آسان‌سازی تبادل اطلاعات در بین بازیگران است. کارکرد انتشار دانش، شامل این تعاملات موجود میان بازیگران است. فعالیت‌های مربوط به انتشار دانش، توسط دامنه‌ی گسترده‌ای از بازیگران انجام می‌شود. در وضعیت مطلوب، سیاست‌گذاران با توسعه‌دهندگان فناوری (صنعت‌گران) رابطه برقرار می‌کنند و توسعه‌دهندگان فناوری نیز با پژوهشگران حوزه فناوری، مرتبط می‌باشند. از طریق این تعاملات، فهم مشترکی از موضوع توسعه فناوری در بین بازیگران مختلف ایجاد می‌گردد. این فهم مشترک منجر به افزایش سازگاری ساختار موجود با فناوری نوظهور و بالعکس می‌شود. موارد زیر را می‌توان نمونه‌هایی از رخدادهای مربوط به این کارکرد دانست:

- استفاده از رسانه‌های جمعی برای انتشار مطالب پیرامون فناوری شامل اطلاعات فنی و غیرفنی (مانند بازار)
- فراهم‌آوری بسترهای لازم برای اطلاع‌رسانی در رابطه با دانسته‌های موجود (بدانیم که چه می‌دانیم) مانند فراهم‌آوری پایگاه‌های اطلاعاتی یکپارچه
- میزان فعالیت شبکه‌های دانشی موجود
- برگزاری کنفرانس‌ها، کارگاه‌های آموزشی
- پیمان‌ها و توافق‌نامه‌های بین بازیگران با هدف تبادل دانش

### د) جهت‌دهی به سیستم



به علت محدود بودن منابع در دسترس، می‌بایست از میان گزینه‌های مختلف فناوریانه موجود دست به انتخاب زد. بدون انجام این کار، نیاز و انتظارات بازیگران از روند توسعه ناشناخته باقی مانده و منابع در دامنه‌ی وسیعی از گزینه‌ها پراکنده شده و به هدر می‌رود. برای جلوگیری از هدر رفتن منابع، کارکرد جهت‌دهی به جستجو در روند توسعه‌ی فناوریانه تعریف می‌گردد.

کارکرد جهت‌دهی به جستجو، اشاره به فعالیت‌هایی دارد که منجر به مشخص شدن نیازها و جهت‌دهی به فعالیت‌های بازیگران موجود در نظام فناوری می‌گردد. بنابراین، بدون وجود این کارکرد، تمام منابع موجود به هدر رفته و تمام گزینه‌های توسعه، ناموفق باقی می‌ماند. همچنین، رفع مشکلات موجود در کارکردهای دیگر نظام نیز می‌تواند در قالب این کارکرد انجام شود. این کارکرد می‌تواند توسط بازیگران مختلفی از جمله صنعت، دولت و بازار تحقق پیدا کند.

نمونه‌هایی از رخدادهای موثر بر تحقق این کارکرد، به شرح زیر است:

- هدف‌گذاری‌های انجام شده در زمینه فناوری
- استانداردهای تدوین شده در زمینه‌ی مطالعات و جهت‌دهی‌های مناسب
- قوانین وضع شده در زمینه‌ی فناوری (تسهیل‌گر، تنظیم‌گر، سیاست‌ها)
- حرکت‌های جمعی از سوی تعدادی از بازیگران در نتیجه‌ی شکل‌گیری برخی انتظارات و یا هنجارها
- نگاه‌های مثبت و یا منفی ایجاد شده در رابطه با سیستم یا بخشی از آن

## ه) شکل‌دهی به بازار

نیابد انتظار داشت که فناوری‌های نوظهور، توانایی رقابت با فناوری‌های موجود را داشته باشند. بنابراین، نیاز به ایجاد محیطی با هدف افزایش رقابت‌پذیری فناوری نوظهور احساس می‌شود. کارکرد شکل‌گیری بازار، شامل فعالیت‌هایی (مانند حمایت‌های مالی از کاربرد فناوری نوظهور) است که با ارائه‌ی امتیازاتی منجر به ایجا تقاضا برای فناوری می‌گردد. با فعالیت‌های مختلفی می‌توان به تحقق این کارکرد کمک کرد:

- ایجاد مزیت رقابتی بوسیله سیاست‌های مالیاتی بر فناوری و صنایع رقیب
- کاهش هزینه‌های مصرف فناوری

- وضع آیین‌نامه‌ها و قواعد تنظیم‌کننده بازار در مورد فناوری
- معافیت‌های مالیاتی بر فناوری
- اعطای تسهیلات در صورت استفاده از فناوری
- تعیین حداقلی از سهم استفاده از فناوری
- اقدامات انجام‌شده برای بازاریابی محصولات تولیدشده از فناوری

### و) بسیج منابع

دسترسی به منابع مورد نیاز، از ضرورت‌های توسعه نظام‌های نوآوری است. کارکرد تأمین منابع، به تخصیص سرمایه‌های مالی، انسانی، مکمل و مواد مورد نیاز برای توسعه فناوری می‌پردازد. فعالیت‌های مربوط به این کارکرد شامل انواع سرمایه‌گذاری‌ها و یارانه‌های تعلق گرفته به عوامل مختلف توسعه است. همچنین، گسترش زیرساخت‌های عمومی مورد نیاز پیشرفت فناوری، مانند سیستم‌های آموزشی و تسهیلات تحقیق و توسعه نیز در زمره‌ی این کارکرد قرار می‌گیرد.

این کارکرد می‌تواند توسط دولت، صنعت و یا هر بازیگر موثر دیگری در توسعه فناوری، برآورده گردد. با افزایش سطح بلوغ فناوری نوظهور، انتظار می‌رود سهم بخش خصوصی در تأمین منابع مورد نیاز نیز بیشتر گردد. نمونه‌ای از فعالیت‌های مربوط به این کارکرد شود، در ادامه آورده شده است:

- کمک‌های بلاعوض دولتی (سوبسید) برای گسترش و نشر فناوری یا انجام فعالیت کارآفرینی
- سرمایه‌گذاری‌های بخش دولتی و خصوصی در گسترش فناوری
- توسعه زیرساخت‌های مورد نیاز فناوری
- تلاش‌های انجام گرفته برای تأمین مواد و قطعات مورد نیاز
- تلاش‌های انجام گرفته برای آموزش نیروهای انسانی (علمی و مهارتی)

### ز) مشروعیت بخشی

ظهور یک فناوری جدید اغلب با مخالفت بازیگران ذینفع در فناوری‌های کنونی همراه می‌شود. بنابراین، می‌بایست بازیگران فناوری نوظهور، بر این لختی غلبه نمایند. این امر، از طریق تشویق صاحبان قدرت به ایجاد آرایش جدیدی از قواعد و مقررات مربوط به نظام نوآوری فناورانه صورت می‌پذیرد. کارکرد حمایت از سوی نهادهای پشتیبان، شامل لابی‌های سیاسی و رایزنی-هایی است که بین گروه ذینفعان فناوری صورت می‌پذیرد. این کارکرد، به میزان زیادی با کارکرد جهت‌دهی فرایندهای تحقیقاتی شباهت دارد. بزرگترین تفاوت بین آن‌ها این است که در کارکرد حمایت از سوی نهادهای پشتیبان، قواعد موجود در نظام تکنولوژیکی نوآوری تغییر نمی‌کنند. این کارکرد تنها به متقاعدسازی نهادهای پشتیبان می‌پردازد. پس از این مرحله رسمیت‌بخشیدن به فناوری از طریق وضع قواعد جدید، توسط نهادهای پشتیبان صورت می‌پذیرد. فعالیت وضع قوانینی در حمایت از فناوری نیز مربوط به کارکردهای دیگر (مانند جهت‌دهی فرایندهای تحقیقاتی و تأمین منابع) است.

با وجود برآورده شدن این کارکرد توسط بخش خصوصی و عمومی، بازیگران بخش خصوصی مانند سازمان‌های غیر دولتی (NGO) و یا صنایع حامی فناوری نقش پررنگ‌تری را ایفا می‌کنند. توجه شود که در تمام فعالیت‌های این کارکرد، گروهی از بازیگران، گروهی دیگر از بازیگران با قدرت اجرایی را به استفاده از فناوری نوظهور ترغیب می‌کنند. نمونه‌ای از رخدادهای موثر در تحقق این کارکرد، موارد زیر است:

- رایزنی‌های سیاسی بین گروه‌های درگیر برای حمایت از فناوری
- اعمال نفوذ گروه‌های پشتیبان فناوری در بخش‌های مختلف دولت و صنعت (شامل NGOها)
- شکل‌گیری شبکه‌هایی با هدف افزایش قدرت سیاسی بازیگران
- حمایت‌های انجام‌شده از فناوری از سوی تصمیم‌گیران

براساس شاخص‌ها و تعاریف ارائه شده از هر یک از کارکردهای هفت‌گانه، می‌توان دید کاملی از تمام ابعاد یک کارکرد بدست آورد. بر اساس این دید کامل، سوالات مطرح شده در فاز دو از جامعیت برخوردار می‌گردند. کلیه زیرکارکردها را می‌توان در قالب زیر به‌نمایش گذاشت:

جدول (۱-۹): خلاصه کلیه زیرکارکردها

شاخص های کمی	شاخص های کیفی	زیرعامل	عامل
تعداد پروژه های انجام شده با هدف تجاری- سازی		ایجاد فرصت های جدید	فعالیت های کار آفرینانه
تعداد شرکت های ثبت شده در زمینه فناوری			
ورود شرکت های موجود به عرصه فناوری			
حجم سرمایه گذاری های خطرپذیر انجام شده			
برگزاری نمایشگاه تکنولوژی		نمایش فرصت های جدید	
انجام پروژه های نمایشی			
تعداد مقالات ISI منتشر شده در زمینه تکنولوژی		فنی	توسعه دانش
تعداد حق اختراعات ثبت شده به صورت بین- المللی در زمینه تکنولوژی			
تعداد سازمان های تحقیقاتی (R&D) فعال در زمینه تکنولوژی			
اندازه ی سازمان های تحقیقاتی (R&D) فعال در زمینه تکنولوژی			
تعداد مطالعات علمی و فنی صورت گرفته از تکنولوژی			
تعداد توسعه و ایجاد نمونه های آزمایشی و اولیه از تکنولوژی (Prototype)			
تعداد گزارش های تولید شده در رابطه با مطالعه- ی بازار		غیرفنی	
تعداد مطالعات امکان سنجی انجام شده			
تعداد فعالیت های تحقیق و توسعه و نوآورانه مشترک صورت پذیرفته میان واحدهای مختلف (با هدف تسهیم دانش)		فنی	انتشار دانش
تعداد کنفرانس ها و کارگاه های برگزار شده در رابطه با فناوری			
تعداد شبکه های متشکل از بازیگران موجود در نظام تکنولوژیک			
اندازه ی شبکه های متشکل از بازیگران موجود در نظام تکنولوژیک			
			میزان جابه جایی نیروهای تحصیل کرده

شاخص های کمی	شاخص های کیفی	زیرعامل	عامل
	دانشگاهی با محوریت تکنولوژی		
تعداد گزارش های منتشر شده در رابطه با مطالعه ای بازار		غیرفنی	
تعداد مطالعات امکان سنجی منتشر شده			
قانون گذاری در رابطه با تکنولوژی		رسمی (وضع نهادها)	جهت دهی به سیستم
استانداردهای تدوین شده			
	وضع چشم اندازهای جدید برای توسعه ای تکنولوژی و یا موارد دیگر که بر تکنولوژی اثر گذارند	غیررسمی (شکل گیری انتظارات)	
	شکل گیری محرک هایی برای توسعه ای تکنولوژی یا نوع خاصی از آن (مانند ارزان شدن قیمت منابع مصرفی تکنولوژی)		
	شفاف سازی تقاضای کاربران اصلی		
	رشد تکنولوژی در کشورهای دیگر		
	ایجاد تغییر در عوامل کلان اثر گذار بر سیستم (مانند تغییرات آب و هوایی)		
	شکل گیری انتظاراتی درباره ای آینده ای تکنولوژی		
	شفاف سازی پتانسیل بازار		شکل گیری بازار
	میزان عدم قطعیت موجود در برابر تولیدکنندگان و یا سرمایه گذاران		
	شناسایی مرحله ای بلوغ (دوره ای عمر) بازار		
تعداد و تنوع کاربران موجود برای تکنولوژی			
تعداد و تنوع نهادهای تنظیم شده برای شکل - دهی به بازار			
کمک های بلاعوض دولتی (بارانه)		مالی	بسیج منابع
سرمایه گذاری های بخش دولتی و خصوصی در گسترش فناوری			
	در دسترس بودن نیروی انسانی فنی در رابطه با تکنولوژی مورد نظر	انسانی	
	تأمین مواد اولیه ای مورد نیاز برای توسعه ای تکنولوژی از خارج از کشور	مواد	
	توسعه زیرساخت های مورد نیاز تکنولوژی و	دارایی های	

شاخص های کمی	شاخص های کیفی	زیرعامل	عامل
	محصولات و خدمات مکمل	مکمل	
	میزان هم‌گرایی نهادهای موجود و نظام نوآوری تکنولوژیک در حال توسعه		مشروعیت بخشی
	میزان مشروعیت سرمایه‌گذاری در توسعه‌ی تکنولوژی و محصولات مربوط به آن		
	رایزنی‌های سیاسی بین گروه‌های درگیر برای حمایت از تکنولوژی		
	اعمال نفوذ گروه‌های پشتیبان تکنولوژی در بخش‌های مختلف دولت و صنعت		

### ۱-۳-۱- ارائه‌ی سیاست‌هایی سیستمی برای مشکلات شناسایی شده

مشکلات سیستمی که به طور دقیق شناسایی شدند به راحتی می‌توانند با اهداف ابزارهای سیستمی همراستا شوند و بوسیله یک توصیه سیاسی با هدف پشتیبانی توسعه کل نظام، دنبال شوند. در ادامه ابتدا ابزار سیستمی مشکلات ساختاری و سپس ابزار سیستمی متناسب با مشکلات محیطی تبیین می‌شوند.

### ۱-۳-۱- ارائه‌ی اهداف ابزارهای سیستمی و ابزارهای سیستمی متناسب با مشکلات

#### سیستمی

مشکلات سیستمی شناسایی شده و اهداف مرتبط ابزارهای سیستمی در جدول زیر به طور خلاصه آمده است.

جدول (۱-۱): اهداف ابزارهای سیستمی متناسب با مشکلات سیستمی ارائه شده

مشکل سیستمی	نوع مشکل سیستمی	هدف ابزار سیستمی
مشکلات	وجود؟	تحریک و سازمان‌دهی مشارکت بازیگران متنوع (NGOها، شرکت‌ها، دولت و ...)
بازیگران	توانایی؟	ایجاد فضا برای توسعه توانایی‌های بازیگران (به عنوان مثال از طریق یادگیری و آزمایش)
مشکلات	وجود؟	تحریک به وقوع انجامیدن تعاملات فی مابین بازیگران ( به عنوان مثال مدیریت وجوه مشترک و ایجاد اجماع)
تعاملات	شدت؟	ممانعت کردن از گره‌هایی که یا بیشتر از حد قوی هستند و تقویت گره‌های ضعیف

هدف ابزار سیستمی	نوع مشکل سیستمی	مشکل سیستمی
تضمین وجود نهادها (سخت و نرم)	وجود؟	مشکلات نهادی
جلوگیری کردن از اینکه نهادها خیلی ضعیف یا خیلی قوی باشند.	توانایی؟	مشکلات نهادی
تحریک ایجاد زیرساخت‌های فیزیکی، مالی و دانشی.	وجود؟	مشکلات زیرساختی
تضمین اینکه کیفیت زیر ساخت‌ها مناسب است.	کیفیت؟	مشکلات زیرساختی

به منظور برآورده نمودن اهداف ابزارهای سیستمی، یک مجموعه از ابزارهای سیاستی قبلاً در ادبیات معرفی شده‌اند که یک مرور کلی بر آنها در جدول بعدی آمده است. این ابزارها در ایجاد یک ابزار سیستمی برای نظام نوآوری تحت بررسی نقش حمایتی ایفا می‌کنند. انتخاب آنها نه تنها به مشکلات شناسایی شده وابسته است بلکه به تعاملات متقابل ابزارها، شرایط اقتصادی و سیاسی - اجتماعی محیط اطراف فناوری، اثرات دیگر نظام‌های رقیب نیز وابسته است. آنها می‌بایست به طریقی انتخاب شوند که اثربخشی، تقویت متقابل و کنش منظم خود را حفظ نمایند. یک ابزار سیستمی یک مجموعه یکپارچه و منسجم از ابزارهایی است که برای یک نظام نوآوری خاص طراحی شده است و هدف آن ایجاد فرصت‌ها و شرایطی برای شکل‌گیری نظام است. (البته از طریق تحت تاثیر قراردادن عناصر و ارتباطات داخلی نظام که در غیر این صورت به طور خود به خودی ظهور نخواهد کرد).

انتظار می‌رود که کاربرد یک ابزار سیستمی خوب طراحی شده در توسعه نظام و دستیابی به نرخ‌های بالاتر نوآوری آشکار شود. به شکل تحلیلی، این حقیقت می‌بایست در تقویت کارکردهایی که قبلاً ضعیف بوده یا اصلاً وجود نداشته‌اند مشاهده گردد.

#### جدول (۱-۱): ابزارهای سیاستی انفرادی بالقوه برای رسیدن به اهداف ابزارهای سیستمی

هدف ابزارهای سیستمی	مثال‌هایی از ابزارهای سیستمی برای رسیدن به اهداف تبیین شده
تحریک و سازمان‌دهی مشارکت بازیگران متنوع (NGOها، شرکت‌ها، دولت و ...)	خوشه‌ها؛ شکل‌های جدیدی از مشارکت بین شرکت‌های عمومی و خصوصی؛ تکنیک‌های تعاملی مشارکت ذینفعان؛ بحث‌های عمومی؛ کارگاه‌های علمی؛ نشست‌های موضوعی؛ کارزارهای گذار؛ سرمایه‌گذاری خطرپذیر؛ سرمایه‌های ریسکی
ایجاد فضا برای توسعه توانایی‌های بازیگران (به عنوان مثال از طریق یادگیری و آزمایش)	گفتمان بیان؛ پس‌بینی؛ آینده‌نگاری؛ ره‌نگاشت؛ طوفان مغزی؛ برنامه‌های آموزشی؛ بسترهای دانشی فناوری؛ توسعه سناریو؛ کارگاه‌های آموزشی؛ آزمایشگاه‌های سیاست‌گذاری؛ پروژه‌های پایلوت.

هدف ابزارهای سیستمی	مثال هایی از ابزارهای سیستمی برای رسیدن به اهداف تبیین شده
<p>تحریک به وقوع انجمنیدن تعاملات فی مابین بازیگران (به عنوان مثال مدیریت وجوه مشترک و ایجاد اجماع)</p>	<p>برنامه‌های تحقیقاتی تعاونی، کنفرانس توسعه اجماع؛ کمک های مالی و برنامه های تعاونی، ابزار واسطه‌ای (پل زدن) (مراکز برتری ها، مراکز شایستگی)؛ همکاری و طرح‌های تحرک؛ روش‌های ارزش گذاری سیاست، بحث تسهیل در تصمیم‌گیری، مراکز ترویج علمی؛ انتقال فناوری.</p>
<p>ممانعت از گره هایی که بیش از حد قوی هستند و تقویت گره‌های ضعیف</p> <p>تضمین وجود نهادها (سخت و نرم)</p>	<p>تهیه به موقع (راهبردی، عمومی، R&amp;D دوستانه)؛ مراکز نمایشی برای فناوری؛ مدیریت استراتژیک آشیانه‌ها؛ ابزارهای سیاسی (جوایز و افتخارات برای نوآوری و شکوفایی نوآوری)؛ وام / تضمین / مشوق‌های مالیاتی برای پروژه‌های نوآورانه و یابرای کاربرد جدید تکنولوژی؛ جوایز؛ ارزیابی سازنده فناوری؛ ارتقاء برنامه‌های فناوری، بحث، گفتمان، سرمایه‌گذاری خطرپذیر، سرمایه ریسکی.</p> <p>اقدامات ایجاد آگاهی، کمپین‌های آموزش و اطلاعات، بحث‌های عمومی، لابی، برچسب‌های داوطلبانه، موافقت‌نامه‌های داوطلبانه</p>
<p>جولوگیری از اینکه نهادها خیلی ضعیف یا خیلی قوی باشند</p>	<p>آیین‌نامه‌ها (عمومی، خصوصی)، محدودیت تعهدات، هنجارهای (محصول، کاربر)، موافقت‌نامه‌ها، قوانین حق ثبت اختراع، استاندارد، مالیات، حقوق، اصول، مکانیزم عدم رعایت دستورالعمل‌ها</p>
<p>تحریک ایجاد زیرساخت‌های فیزیکی، مالی و دانشی</p>	<p>کمک‌های مالی کلاسیک R &amp; D، مالیات، وام، طرح، بودجه (نهادی، سرمایه‌گذاری، ضمانت، R &amp; D)، یارانه، آزمایشگاه‌های تحقیقاتی عمومی</p>
<p>تضمین اینکه کیفیت زیر ساخت‌ها مناسب است</p>	<p>آینده‌نگاری؛ روند مطالعات؛ نقشه راه؛ تعیین معیار هوشمند؛ تجزیه و تحلیل SWOT (نقاط قوت، ضعف، فرصت ها و تهدیدات)؛ بخش و مطالعات بخشی و خوشه‌ای؛ تجزیه و تحلیل مشکل / نیازها / سهامداران / راه حل؛ سیستم‌های اطلاعاتی (مدیریت برنامه یا نظارت پروژه)؛ شیوه‌های ارزش گذاری و ابزار نظر سنجی کاربر؛ پایگاه داده‌ها؛ خدمات مشاوره‌ای؛ برنامه‌های کاربردی سفارشی ساخته شده از گروه سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری؛ تکنیک‌های مدیریت دانش؛ ارزیابی فناوری؛ مکانیسم‌های انتقال دانش؛ ابزارهای اطلاعاتی سیاست (نظارت بر سیاست‌ها و ابزار ارزیابی، تجزیه و تحلیل سیستم)؛ رده؛ نمودار روند</p>

باید توجه داشت در این متدولوژی تا کنون مشکلات سیستمی شناسایی شده است در جداول بالا مشکلات سیستمی به تفکیک و ابزارهای سیاستی را به طور کلی و بدون تفکیک کارکردها نشان می‌دهد. به دلیل اینکه مشکلات سیستمی به تفکیک کارکردها شناسایی شده است، ابزارهای سیستمی و پیشنهادها سیاستی‌ای که مرتبط با مشکلات سیستمی هر کارکرد است نیز در جدول زیر تبیین می‌شود. با این وجود باید توجه داشت بسته به حوزه‌ی فناوری مورد مطالعه ممکن است پیشنهادها سیاستی جزئی‌تر و یا ترکیبی از ابزارهای سیاستی نیز استفاده شود. در پایان وقتی در مورد یک فناوری خاص ابزارهای سیاستی به طور مشخص بیان شد می‌توان آنرا در جدول جمع بندی مرحله قبل اضافه کرد.



جدول (۱-۱۲): ارائه پیشنهاد های سیاستی و ابزار های سیستمی برای مشکلات سیستمی شناسایی شده به تفکیک هر

## کارکرد

کارکرد	چهار دسته مشکلات سیستمی ساختاری	هدف ابزار های سیستمی	پیشنهاد های سیاستی و ابزار های سیستمی
کارآفرینی	مشکلات بازیگران	وجود	تحریک و سازمان دهی مشارکت بازیگران متنوع
	مشکلات بازیگران	توانایی	ایجاد فضا برای توسعه توانایی های بازیگران (به عنوان مثال از طریق یادگیری و آزمایش)
	مشکلات تعاملات	وجود	تحریک به وقوع انجامیدن تعاملات فی مابین بازیگران (به عنوان مثال مدیریت وجوه مشترک و ایجاد اجماع)
	مشکلات تعاملات	شدت	ممانعت کردن از گره هایی که یا بیشتر از حد قوی هستند و تقویت گره های ضعیف
			شکل های جدیدی از مشارکت بین شرکت های عمومی و خصوصی ایجاد شود تکنیک های تعاملی مشارکت ذینفعان به وجود آید به سرمایه گذاری خطرپذیر بها داده شود استفاده از خوشه بندی فناوری برای تحریک ورود کارآفرینان برگزاری بحث های عمومی و کارگاه های علمی و نشست های موضوعی به منظور تحریک کارآفرینان ایجاد کارزار های گذار به وسیله ای ایجاد یک شبکه از بازیگران قوی داخلی و خارجی برای مشخص کردن مشکلات، توسعه چشم اندازها، راه های رسیدن به آنها، تنظیم اهداف و سیر زمانی برای اتفاق افتادن گذار که منجر به ورود کارآفرینان می شود
			با استفاده از ابزار های زیر می توان فضا را برای توسعه ی بازیگران کارآفرینی فراهم کرد: طوفان مغزی برنامه های آموزشی بسترهای دانشی فناوری کارگاه های آموزشی پروژه های پایلوت
			ایجاد برنامه های تحقیقاتی تعاونی برگزاری کنفرانس توسعه اجماع استفاده از ابزار واسطه ای (پل زدن) (مراکز برتری ها، مراکز شایستگی) به وجود آوردن همکاری و طرح های تحرک بررسی بهترین روش انتقال فناوری برای ایجاد تعامل بین کارآفرینان
			تهیه به موقع احتیاجات (راهبردی، عمومی، R&D دوستانه) تعاملات بین کارآفرینان را افزایش می دهد ایجاد مراکز نمایشی که باعث تقویت گره های ضعیف می شود با استفاده از مدیریت استراتژیک آشیانه ها می توان با گره های قوی رژیم مقابله کرد و گره های ضعیف موجود در آشیانه را تقویت کرد استفاده از ابزار های سیاستی (جوایز و افتخارات برای نوآوری و شکوفایی نوآوری) می تواند باعث تقویت گره های ضعیف شود. وام / تضمین / مشوق های مالیاتی برای پروژه های نوآورانه و یابرای کاربرد

کارکرد	چهار دسته مشکلات سیستمی ساختاری	هدف ابزارهای سیستمی	پیشنهاد‌های سیاستی و ابزارهای سیستمی
			جدید تکنولوژی باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود ارزیابی سازنده فناوری باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود با ارتقاء برنامه‌های فناوری تعاملات بین بازیگران این حوزه افزایش می‌یابد. بحث و گفت‌وگو نیز باعث تقویت گره‌های بین کارآفرینان می‌شود. ایجاد سرمایه‌گذاری خطرپذیر باعث تقویت تعاملات بین کارآفرینان می‌شود.
	وجود	تضمین وجود نهادها (سخت و نرم)	با استفاده از ابزار زیر می‌توان وجود قوانین نرم و سخت را تضمین کرد: اقدامات ایجاد آگاهی کمپین‌های آموزش و اطلاعات بحث‌های عمومی لابی موافقت‌نامه‌های داوطلبانه
	مشکلات قوانین	کیفیت	با استفاده از ابزار زیر می‌توان نهادهای ضعیف را تقویت کرد و از قدرت نهادهای مخالف‌کننده با توسعه فناوری مورد نظر کاست: آیین‌نامه‌ها (عمومی، خصوصی) محدودیت تعهدات هنجارهای (محصول، کاربر) موافقت‌نامه‌ها قوانین حق ثبت اختراع استاندارد مالیات حقوق اصول مکانیزم عدم رعایت دستورالعمل‌ها
مشکلات زیر ساخت‌ها	وجود	تحریک ایجاد زیرساخت‌های فیزیکی، مالی و دانشی.	برای تحریک ایجاد زیر ساخت‌های مربوط به کارآفرینی می‌توان از همه‌ی ابزارهای جدول قبل به صورت تکی یا ترکیبی استفاده کرد.
	کیفیت	تضمین اینکه کیفیت زیر ساخت‌ها مناسب است.	برای تضمین کیفیت زیر ساخت‌های مربوط به کارآفرینی می‌توان از همه‌ی ابزارهای جدول قبل به صورت تکی یا ترکیبی استفاده کرد.
توسعه دانش	مشکلات بازیگران	وجود	به وجود آوردن شکل‌های جدیدی از مشارکت بین شرکت‌های عمومی و خصوصی و پروژه‌های دانشگاهی فراهم آوردن بستری برای گروه‌ی دانشجوین و اساتید به گروه ذینفعان در حوزه‌ی مربوطه تشویق دانشگاه‌ها برای برگزاری کارگاه‌های علمی و نشست‌های موضوعی

کارکرد	چهار دسته مشکلات سیستمی ساختاری	هدف ابزارهای سیستمی	پیشنهاد‌های سیاستی و ابزارهای سیستمی
	توانایی	ایجاد فضا برای توسعه توانایی‌های بازیگران (به عنوان مثال از طریق یادگیری و آزمایش)	تشویق دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌ها برای تبیین کارزارهای گذار
			با استفاده از ابزارهای زیر می‌توان فضا را برای توسعه بازیگران توسعه دانش فراهم کرد: گفتمان بیان طوفان مغزی برنامه‌های آموزشی بسترهای دانشی فناوری کارگاه‌های آموزشی
	وجود	تحریک به وقوع انجامیدن تعاملات فی مابین بازیگران ( به عنوان مثال مدیریت وجوه مشترک و ایجاد اجماع)	ایجاد برنامه‌های تحقیقاتی تعاونی برگزاری کنفرانس توسعه اجماع به وجود آوردن برنامه‌های تعاونی استفاده از ابزار واسطه‌ای (پل زدن) (مراکز برتری‌ها، مراکز شایستگی) برای ایجاد تعامل بین دانشگاه‌ها و تعامل بین صنعت و دانشگاه بررسی بهترین روش انتقال فناوری و اجرای آن در حوزه‌ی فناوری مورد مطالعه برای ایجاد تعامل بین بازیگران توسعه دانش
			تهیه به موقع احتیاجات (راهبردی، عمومی، R&D، دوستانه) تعاملات بین بازیگران توسعه دانش را افزایش می‌دهد ایجاد مراکز نمایشی که باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود با استفاده از مدیریت استراتژیک آشیانه‌ها می‌توان با گره‌های قوی رژیم مقابله کرد و گره‌های ضعیف موجود در آشیانه را تقویت کرد استفاده از ابزارهای سیاستی (جوایز و افتخارات برای نوآوری و شکوفایی نوآوری) می‌تواند باعث تقویت گره‌های ضعیف برای توسعه دانش شود. ارزیابی سازنده فناوری باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود با ارتقاء برنامه‌های فناوری تعاملات بین بازیگران این حوزه افزایش می‌یابد. بحث و گفتمان نیز باعث تقویت گره‌های بین بازیگران توسعه دانش می‌شود.
	مشکلات تعاملات	ممانعت کردن از گره‌هایی که یا بیشتر از حد قوی هستند و تقویت گره‌های ضعیف	با استفاده از ابزار زیر می‌توان وجود قوانین نرم و سخت را تضمین کرد: اقدامات ایجاد آگاهی کمپین‌های آموزش و اطلاعات بحث‌های عمومی لابی موافقت‌نامه‌های داوطلبانه
با استفاده از ابزار زیر می‌توان نهاد‌های ضعیف را تقویت کرد و از قدرت			
مشکلات قوانین	وجود	تضمین وجود نهادها (سخت و نرم)	با استفاده از ابزار زیر می‌توان نهاد‌های ضعیف را تقویت کرد و از قدرت
	کیفیت	جلوگیری کردن از اینکه نهادها	

کارکرد	چهار دسته مشکلات سیستمی ساختاری	هدف ابزارهای سیستمی	پیشنهادهای سیاستی و ابزارهای سیستمی
مشکلات زیر ساختها	وجود	تحریک ایجاد زیرساختهای فیزیکی، مالی و دانشی.	نهادهای مخالفت کننده با توسعه فناوری مورد نظر کاست: آیین نامه ها (عمومی، خصوصی) محدودیت تعهدات هنجارهای (محصول، کاربر) موافقت نامه ها قوانین حق ثبت اختراع استاندارد مالیات حقوق اصول مکانیزم عدم رعایت دستورالعملها
	کیفیت	تضمین اینکه کیفیت زیر ساختها مناسب است.	برای تحریک ایجاد زیر ساختهای مربوط به توسعه دانش می توان از همه ی ابزارهای جدول قبل به صورت تکی یا ترکیبی استفاده کرد.
تأمین و تسهیل منابع	وجود	تحریک و سازمان دهی مشارکت بازیگران متنوع	به وجود آوردن شکل های جدیدی از مشارکت بین شرکت های عمومی و خصوصی با بانک ها و سازمان های تامین منابع مالی ایجاد تکنیک های تعاملی مشارکت ذینفعان و سازمان های تامین منابع مالی برگزاری بحث های عمومی و کارگاه های علمی برای تربیت نیروی انسانی برپایی نشست های موضوعی برای نحوه تامین منابع مالی و انسانی
	مشکلات بازیگران	توانایی	ایجاد فضا برای توسعه توانایی های بازیگران (به عنوان مثال از طریق یادگیری و آزمایش) با استفاده از ابزارهای زیر می توان فضا را برای توسعه ی بازیگران تامین و تسهیل منابع فراهم کرد: گفتمان بیان پس بینی آینده نگاری رهنگاشت طوفان مغزی آزمایشگاه های سیاست گذاری
مشکلات تعاملات	وجود	تحریک به وقوع انجامیدن تعاملات فی مابین بازیگران ( به عنوان مثال مدیریت وجوه مشترک و ایجاد اجماع)	کنفرانس توسعه اجماع کمک های مالی و برنامه های تعاونی به منظور تحریک متولیان تامین و تسهیل منابع استفاده از ابزار واسطه ای (پل زدن) (مراکز برتری ها، مراکز شایستگی)

کارکرد	چهار دسته مشکلات سیستمی ساختاری	هدف ابزارهای سیستمی	پیشنهادهای سیاستی و ابزارهای سیستمی
	شدت	مانعت کردن از گره هایی که یا بیشتر از حد قوی هستند و تقویت گره های ضعیف	همکاری و طرح های تحرک تهیه به موقع احتیاجات (راهبردی، عمومی، R&D دوستانه) تعاملات بین بازیگران تامین و تسهیل منابع را افزایش می دهد ایجاد مراکز نمایشی که باعث تقویت گره های ضعیف می شود با استفاده از مدیریت استراتژیک آشیانه ها می توان با گره های قوی رژیم مقابله کرد و گره های ضعیف موجود در آشیانه را تقویت کرد استفاده از ابزارهای سیاستی (جوایز و افتخارات برای نوآوری و شکوفایی نوآوری) می تواند باعث تقویت گره های ضعیف شود. وام/ تضمین/ مشوق های مالیاتی برای پروژه های نوآورانه و یابرای کاربرد جدید تکنولوژی باعث تقویت گره های ضعیف می شود ارزیابی سازنده فناوری باعث تقویت گره های ضعیف می شود با ارتقاء برنامه های فناوری تعاملات بین بازیگران این حوزه افزایش می یابد. بحث و گفتمان نیز باعث تقویت گره های بین تامین کنندگان منابع می شود.
	وجود	تضمین وجود نهادها (سخت و نرم)	با استفاده از ابزار زیر می توان وجود قوانین نرم و سخت را تضمین کرد: اقدامات ایجاد آگاهی کمپین های آموزش و اطلاعات بحث های عمومی لابی موافقت نامه های داوطلبانه
	مشکلات قوانین	کیفیت	جلوگیری کردن از اینکه نهادها خیلی ضعیف یا خیلی قوی باشند
مشکلات	وجود	تحریک ایجاد زیرساخت های	برای تحریک ایجاد زیر ساخت های مربوط به تامین و تسهیل منابع می توان از

کارکرد	چهار دسته مشکلات سیستمی ساختاری		هدف ابزارهای سیستمی	پیشنهادهای سیاستی و ابزارهای سیستمی
	زیر ساختها	کیفیت		
انتشار دانش	زیر ساختها	کیفیت	فیزیکی، مالی و دانشی.	همه‌ی ابزارهای جدول قبل به صورت تکی یا ترکیبی استفاده کرد.
		کیفیت	تضمین اینکه کیفیت زیر ساختها مناسب است.	برای تضمین کیفیت زیر ساختهای مربوط به تامین و تسهیل منابع می‌توان از همه‌ی ابزارهای جدول قبل به صورت تکی یا ترکیبی استفاده کرد.
	مشکلات بازیگران	وجود	تحریک و سازمان‌دهی مشارکت بازیگران متنوع	ایجاد شکل‌های جدیدی از مشارکت بین شرکت‌های عمومی و خصوصی تکنیک‌های تعاملی مشارکت ذینفعان برای انتشار دانش برپایی بحث‌های عمومی و کارگاه‌های علمی و نشست‌های موضوعی برای تشویق متولیان انتشار دانش
		توانایی	ایجاد فضا برای توسعه توانایی‌های بازیگران (به عنوان مثال از طریق یادگیری و آزمایش)	با استفاده از ابزارهای زیر می‌توان فضا را برای توسعه‌ی بازیگران انتشار دانش فراهم کرد: برنامه‌های آموزشی بسترهای دانشی فناوری کارگاه‌های آموزشی
	مشکلات تعاملات	وجود	تحریک به وقوع انجامیدن تعاملات فی مابین بازیگران ( به عنوان مثال مدیریت وجوه مشترک و ایجاد اجماع)	به وجود آوردن برنامه‌های تحقیقاتی تعاونی برگزاری کنفرانس توسعه اجماع استفاده از ابزار واسطه‌ای (پل زدن) (مراکز برتری‌ها، مراکز شایستگی) ایجاد مراکز ترویج علمی فراهم آوردن بستری مناسب برای ثبت اطلاعات مربوطه
		شدت	ممانعت کردن از گره‌هایی که یا بیشتر از حد قوی هستند و تقویت گره‌های ضعیف	تهیه به موقع احتیاجات (راهبردی، عمومی، R&D، دوستانه) تعاملات بین بازیگران انتشار دانش را افزایش می‌دهد ایجاد مراکز نمایشی که باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود با استفاده از مدیریت استراتژیک آشیانه‌ها می‌توان با گره‌های قوی رژیم مقابله کرد و گره‌های ضعیف موجود در آشیانه را تقویت کرد استفاده از ابزارهای سیاستی (جوایز و افتخارات برای نوآوری و شکوفایی نوآوری) می‌تواند باعث تقویت گره‌های ضعیف برای انتشار دانش شود. ارزیابی سازنده فناوری باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود. با ارتقاء برنامه‌های فناوری تعاملات بین بازیگران این حوزه افزایش می‌یابد. بحث و گفت‌وگو نیز باعث تقویت گره‌های بین بازیگران انتشار دانش می‌شود.
	مشکلات قوانین	وجود	تضمین وجود نهادها (سخت و نرم)	با استفاده از ابزار زیر می‌توان وجود قوانین نرم و سخت را تضمین کرد: اقدامات ایجاد آگاهی کمپین‌های آموزش و اطلاعات بحث‌های عمومی لابی

کارکرد	چهار دسته مشکلات سیستمی ساختاری	هدف ابزارهای سیستمی	پیشنهادهای سیاستی و ابزارهای سیستمی	
سیستم جهت‌دهی به سیستم	مشکلات زیر ساخت‌ها	وجود	موافقت‌نامه‌های داوطلبانه	
		کیفیت	با استفاده از ابزار زیر می‌توان نهادهای ضعیف را تقویت کرد و از قدرت نهادهای مخالفت‌کننده با توسعه فناوری مورد نظر کاست: آیین‌نامه‌ها (عمومی، خصوصی) محدودیت تعهدات هنجارهای (محصول، کاربر) موافقت‌نامه‌ها قوانین حق ثبت اختراع استاندارد مالیات حقوق اصول مکانیزم عدم رعایت دستورالعمل‌ها	
	مشکلات باز یگران	وجود	تحریک ایجاد زیرساخت‌های فیزیکی، مالی و دانشی.	برای تحریک ایجاد زیر ساخت‌های مربوط به انتشار دانش می‌توان از همه‌ی ابزارهای جدول قبل به صورت تکی یا ترکیبی استفاده کرد.
		کیفیت	تضمین اینکه کیفیت زیر ساخت‌ها مناسب است.	برای تضمین کیفیت زیر ساخت‌های مربوط به انتشار دانش می‌توان از همه‌ی ابزارهای جدول قبل به صورت تکی یا ترکیبی استفاده کرد.
مشکلات توانایی	وجود	تحریک و سازمان‌دهی مشارکت بازیگران متنوع	شکل‌های جدیدی از مشارکت بین شرکت‌های عمومی و خصوصی تکنیک‌های تعاملی مشارکت ذینفعان برپایی بحث‌های عمومی و کارگاه‌های علمی و نشست‌های موضوعی به منظور تشویق متولیان جهت‌دهی به سیستم و اجماع بین بازیگران این حوزه تبیین کارزارهای گذار به منظور اجماع سازمان‌های جهت‌دهی به سیستم	
	توانایی	ایجاد فضا برای توسعه توانایی‌های بازیگران (به عنوان مثال از طریق یادگیری و آزمایش)	با استفاده از ابزارهای زیر می‌توان فضا را برای توسعه‌ی بازیگران جهت‌دهی به سیستم فراهم کرد: گفتمان بیان پس‌بینی آینده‌نگاری ره‌نگاشت طوفان مغزی برنامه‌های آموزشی بسترهای دانشی فناوری توسعه سناریو	

کارکرد	چهار دسته مشکلات سیستمی ساختاری	هدف ابزارهای سیستمی	پیشنهاد‌های سیاستی و ابزارهای سیستمی
			آزمایشگاه های سیاست گذاری
		وجود	برگزاری کنفرانس توسعه اجماع استفاده از ابزار واسطه‌ای (پل زدن) (مراکز برتری‌ها، مراکز شایستگی) فراهم آوردن همکاری و طرح‌های تحرک برسی روشهای ارزش گذارسیاست ایجاد بستری مناسب برای تسهیل در تصمیم‌گیری
	مشکلات تعاملات	شدت	تهیه به موقع احتیاجات (راهبردی، عمومی، R&D دوستانه) تعاملات بین بازیگران جهت‌دهی به سیستم را افزایش می‌دهد ایجاد مراکز نمایشی که باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود با استفاده از مدیریت استراتژیک آشیانه‌ها می‌توان با گره‌های قوی رژیم مقابله کرد و گره‌های ضعیف موجود در آشیانه را تقویت کرد استفاده از ابزارهای سیاستی (جوایز و افتخارات برای نوآوری و شکوفایی نوآوری) می‌تواند باعث تقویت گره‌های ضعیف شود. وام/ تضمین/ مشوق‌های مالیاتی برای پروژه‌های نوآورانه و یابرای کاربرد جدید تکنولوژی باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود ارزیابی سازنده فناوری باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود با ارتقاء برنامه‌های فناوری تعاملات بین بازیگران این حوزه افزایش می‌یابد. بحث و گفتمان نیز باعث تقویت گره‌های بین بازیگران جهت‌دهی به سیستم می‌شود. ایجاد سرمایه‌گذاری خطرپذیر باعث تقویت تعاملات بین بازیگران جهت‌دهی به سیستم می‌شود.
	مشکلات قوانین	وجود	با استفاده از ابزار زیر می‌توان وجود قوانین نرم و سخت را تضمین کرد: اقدامات ایجاد آگاهی کمپین‌های آموزش و اطلاعات بحث‌های عمومی لابی موافقت‌نامه‌های داوطلبانه
	کیفیت	جلوگیری کردن از اینکه نهادها خیلی ضعیف یا خیلی قوی باشند .	با استفاده از ابزار زیر می‌توان نهادهای ضعیف را تقویت کرد و از قدرت نهادهای مخالفت‌کننده با توسعه فناوری مورد نظر کاست: آیین‌نامه‌ها (عمومی، خصوصی) محدودیت تعهدات هنجارهای (محصول، کاربر)



کارکرد	چهار دسته مشکلات سیستمی ساختاری	هدف ابزارهای سیستمی	پیشنهاد‌های سیاستی و ابزارهای سیستمی
	مشکلات زیر ساخت‌ها	وجود	موافقت‌نامه‌ها قوانین حق ثبت اختراع استاندارد مالیات حقوق اصول مکانیزم عدم رعایت دستورالعمل‌ها
		کیفیت	برای تحریک ایجاد زیر ساخت‌های مربوط به جهت‌دهی به سیستم می‌توان از همه‌ی ابزارهای جدول قبل به صورت تکی یا ترکیبی استفاده کرد. برای تضمین کیفیت زیر ساخت‌های مربوط به جهت‌دهی به سیستم می‌توان از همه‌ی ابزارهای جدول قبل به صورت تکی یا ترکیبی استفاده کرد.
مشروعیت بخشی	مشکلات بازیگران	وجود	ایجاد شکل‌های جدیدی از مشارکت بین شرکت‌های عمومی و خصوصی به منظور ایجاد سازمان‌های مردم نهاد برای مشروعیت بخشی اجرای بحث‌های عمومی و کارگاه‌های علمی و نشست‌های موضوعی برای تهیه متولیان مشروعیت بخشی
		توانایی	با استفاده از ابزارهای زیر می‌توان فضا را برای توسعه‌ی بازیگران مشروعیت بخشی فراهم کرد: گفتمان بیان پس‌بینی آینده‌نگاری ره‌نگاشت برنامه‌های آموزشی بسترهای دانشی فناوری توسعه سناریو کارگاه‌های آموزشی آزمایشگاه‌های سیاست‌گذاری پروژه‌های پایلوت
		وجود	تدوین برنامه‌های تحقیقاتی تعاونی برگزاری کنفرانس توسعه اجماع استفاده از ابزار واسطه‌ای (پل زدن) (مراکز برتری‌ها، مراکز شایستگی) ایجاد مراکز ترویج علمی
	مشکلات تعاملات	شدت	تهدیه به موقع احتیاجات (راهبردی، عمومی، R&D دوستانه) تعاملات بین

کارکرد	چهار دسته مشکلات سیستمی ساختاری	هدف ابزارهای سیستمی	پیشنهادهای سیاستی و ابزارهای سیستمی
مشکلات قوانین		بیشتر از حد قوی هستند و تقویت گره‌های ضعیف	بازیگران مشروعیت بخشی را افزایش می‌دهد ایجاد مراکز نمایشی که باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود با استفاده از مدیریت استراتژیک آشیانه‌ها می‌توان با گره‌های قوی رژیم مقابله کرد و گره‌های ضعیف موجود در آشیانه را تقویت کرد استفاده از ابزارهای سیاستی (جوایز و افتخارات برای نوآوری و شکوفایی نوآوری) می‌تواند باعث تقویت گره‌های ضعیف شود. وام/ تضمین/ مشوق‌های مالیاتی برای پروژه‌های نوآورانه و یابرای کاربرد جدید تکنولوژی باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود ارزیابی سازنده فناوری باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود با ارتقاء برنامه‌های فناوری تعاملات بین بازیگران این حوزه افزایش می‌یابد بحث و گفتمان نیز باعث تقویت گره‌های بین بازیگران مشروعیت بخشی می‌شود
	وجود	تضمین وجود نهادها (سخت و نرم)	با استفاده از ابزار زیر می‌توان وجود قوانین نرم و سخت را تضمین کرد: اقدامات ایجاد آگاهی کمپین‌های آموزش و اطلاعات بحث‌های عمومی لابی موافقت‌نامه‌های داوطلبانه
	کیفیت	جلوگیری کردن از اینکه نهادها خیلی ضعیف یا خیلی قوی باشند .	با استفاده از ابزار زیر می‌توان نهادهای ضعیف را تقویت کرد و از قدرت نهادهای مخالفت‌کننده با توسعه فناوری مورد نظر کاست: آیین‌نامه‌ها (عمومی، خصوصی) محدودیت تعهدات هنجارهای (محصول، کاربر) موافقت‌نامه‌ها قوانین حق ثبت اختراع استاندارد مالیات حقوق اصول مکانیزم عدم رعایت دستورالعمل‌ها
	مشکلات زیر	وجود	تحریک ایجاد زیرساخت‌های فیزیکی، مالی و دانشی.

پیشنهاد‌های سیاستی و ابزارهای سیستمی	هدف ابزارهای سیستمی	چهار دسته مشکلات سیستمی ساختاری		کارکرد
		ساختها	کیفیت	
برای تضمین کیفیت زیر ساختهای مربوط به مشروعیت بخشی می توان از همه‌ی ابزارهای جدول قبل به صورت تکی یا ترکیبی استفاده کرد.	تضمین اینکه کیفیت زیر ساختها مناسب است.	کیفیت	ساختها	مشکلات بازیگران شکل دهی بازار
بحث‌های عمومی و کارگاه‌های علمی و نشست‌های موضوعی به منظور ایجاد تقاضا ایجاد کارزارهای گذار برای ایجاد تقاضا به منظور شکل گیری بازار اولیه	تحریک و سازمان دهی مشارکت بازیگران متنوع	وجود	مشکلات	
با استفاده از ابزارهای زیر می توان فضا را برای توسعه‌ی بازیگران شکل دهی به بازار فراهم کرد: گفتمان بیان پس بینی آینده نگاری رهنگاشت طوفان مغزی برنامه‌های آموزشی توسعه سناریو کارگاه‌های آموزشی آزمایشگاه‌های سیاست گذاری پروژه‌های پایلوت	ایجاد فضا برای توسعه توانایی‌های بازیگران (به عنوان مثال از طریق یادگیری و آزمایش)	توانایی	مشکلات	
برگزاری کنفرانس توسعه اجماع استفاده از ابزار واسطه‌ای (پل زدن) (مراکز برتری‌ها، مراکز شایستگی) فراهم آوردن بستری برای همکاری و طرح‌های تحرک ایجاد مراکز ترویج علمی بررسی وجوه مختلف انتقال فناوری به منظور ایجاد تعامل بین بازیگران شکل دهی به بازار	تحریک به وقوع انجامیدن تعاملات فی مابین بازیگران ( به عنوان مثال مدیریت وجوه مشترک و ایجاد اجماع)	وجود	مشکلات	
تهیه به موقع احتیاجات (راهبردی، عمومی، R&D دوستانه) تعاملات بین بازیگران شکل دهی به بازار را افزایش می دهد ایجاد مراکز نمایشی که باعث تقویت گره‌های ضعیف می شود با استفاده از مدیریت استراتژیک آشیانه‌ها می توان با گره‌های قوی رژیم مقابله کرد و گره‌های ضعیف موجود در آشیانه را تقویت کرد استفاده از ابزارهای سیاستی (جوایز و افتخارات برای نوآوری و شکوفایی نوآوری) می تواند باعث تقویت گره‌های ضعیف شود. وام/ تضمین/ مشوق‌های مالیاتی برای پروژه‌های نوآورانه و یابری کاربرد جدید تکنولوژی باعث تقویت گره‌های ضعیف می شود	ممانعت کردن از گره هایی که یا بیشتر از حد قوی هستند و تقویت گره‌های ضعیف.	شدت	مشکلات تعاملات	

کارکرد	چهار دسته مشکلات سیستمی ساختاری	هدف ابزارهای سیستمی	پیشنهاد‌های سیاستی و ابزارهای سیستمی
مشکلات قوانین	وجود	تضمین وجود نهادها (سخت و نرم)	ارزیابی سازنده فناوری باعث تقویت گره‌های ضعیف می‌شود با ارتقاء برنامه‌های فناوری تعاملات بین بازیگران این حوزه افزایش می‌یابد بحث و گفت‌وگو نیز باعث تقویت گره‌های بین بازیگران شکل‌دهی به بازار می‌شود ایجاد سرمایه‌گذاری خطرپذیر باعث تقویت تعاملات بین بازیگران شکل‌دهی به بازار می‌شود
	کیفیت	جلوگیری کردن از اینکه نهادها خیلی ضعیف یا خیلی قوی باشند.	با استفاده از ابزار زیر می‌توان وجود قوانین نرم و سخت را تضمین کرد: اقدامات ایجاد آگاهی کمپین‌های آموزش و اطلاعات بحث‌های عمومی لابی موافقت‌نامه‌های داوطلبانه
	کیفیت	جلوگیری کردن از اینکه نهادها خیلی ضعیف یا خیلی قوی باشند.	با استفاده از ابزار زیر می‌توان نهادهای ضعیف را تقویت کرد و از قدرت نهادهای مخالفت‌کننده با توسعه فناوری مورد نظر کاست: آیین‌نامه‌ها (عمومی، خصوصی) محدودیت تعهدات هنجارهای (محصول، کاربر) قوانین حق ثبت اختراع استاندارد مالیات حقوق مکانیزم عدم رعایت دستورالعمل‌ها
	وجود	تحریک ایجاد زیرساخت‌های فیزیکی، مالی و دانشی.	برای تحریک ایجاد زیر ساخت‌های مربوط به شکل‌دهی به بازار می‌توان از همه‌ی ابزارهای جدول قبل به صورت تکی یا ترکیبی استفاده کرد.
	کیفیت	تضمین اینکه کیفیت زیر ساخت‌ها مناسب است.	برای تضمین کیفیت زیر ساخت‌های مربوط به شکل‌دهی به بازار می‌توان از همه‌ی ابزارهای جدول قبل به صورت تکی یا ترکیبی استفاده کرد.
	مشکلات زیر ساخت‌ها	کیفیت	تضمین اینکه کیفیت زیر ساخت‌ها مناسب است.

۲- فصل دوم: چالش‌های توسعه صنعت و فناوری  
تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق در قالب  
کارکردهای نظام نوآوری و سیاست‌های رفع آن

## ۲- چالش‌های توسعه صنعت و فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق

### در قالب کارکردهای نظام نوآوری و سیاست‌های رفع آن

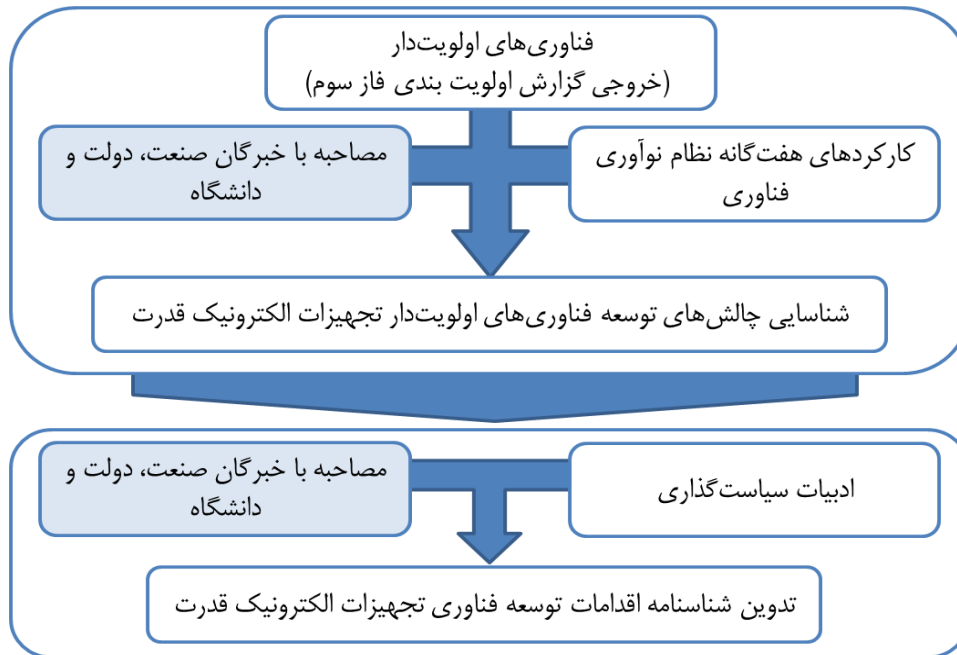
#### ۲-۱- مقدمه

به منظور تدوین سیاست‌های کلان مورد نیاز در سند توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق، چالش‌های مربوط به هر یک از ابعاد ساختاری نظام نوآوری فناوری در هر یک از کارکردهای نظام نوآوری فناورانه شامل توسعه و انتشار دانش، فعالیت‌های کارآفرینی، شکل دهی به بازار، بسیج منابع، مشروعیت بخشی و جهت‌دهی به سیستم از سوی تعدادی از متخصصان این حوزه شناسایی شد که در این فصل در ابتدا خلاصه‌ای از نظرات خبرگان بیان می‌شود و سپس چالش‌های توسعه صنعت و فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق در هر یک از کارکردها دسته‌بندی می‌گردد. در بخش آتی سیاست‌های لازم برای رفع این چالش‌ها تعیین می‌گردد.

#### ۲-۲- چالش‌های توسعه صنعت و فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه

##### برق

به منظور احصاء چالش‌های پیش‌روی توسعه صنعت و فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق و تدوین اقدامات مطابق با شکل زیر در ابتدا با توجه به فناوری‌های اولویت‌دار تجهیزات الکترونیک قدرت که در گزارش اولویت بندی فاز سوم همین پروژه شناسایی گردیده‌اند مصاحباتی با خبرگان براساس کارکردهای هفتگانه نظام نوآوری فناوری صورت پذیرفت سپس با توجه به این مصاحبات صورت گرفته اقدامات مورد نیاز جهت رفع هر یک از این چالش‌ها تدوین گردید.



شکل (۱-۲): متدولوژی تدوین اقدامات توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت

در ادامه خلاصه‌ای از مصاحبات صورت گرفته با ۱۹ نفر از متخصصان صنعتی، دانشگاهی و سیاست‌گذاران مختلف ارائه می‌گردد:

- دکتر قره پتیمان (معاون پژوهشی پژوهشگاه نیرو)
- دکتر فرهنگی (هیئت علمی دانشگاه تهران)
- دکتر آراسته (هیئت علمی جهاددانشگاهی دانشگاه علم و صنعت)
- دکتر پرنیانی (هیئت علمی دانشگاه شریف)
- دکتر یزدیان (هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرس)
- دکتر فتحی (هیئت علمی دانشگاه امیرکبیر)
- دکتر بانان عباسی (مدیر کل دفتر توسعه مدیریت و تحول اداری)
- دکتر فرمد (مدیر کل دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی)
- دکتر کارشناس (هیئت علمی دانشگاه صنعتی اصفهان)

- دکتر معلم (هیئت علمی دانشگاه صنعتی اصفهان)
- دکتر توکلی بینا (هیئت علمی دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی)
- دکتر مختاری (هیئت علمی دانشگاه شریف)
- دکتر بنایی (هیئت علمی دانشگاه شهید مدنی تبریز)
- دکتر عجمی (هیئت علمی دانشگاه شهید مدنی تبریز)
- دکتر منفرد (هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد)
- دکتر محسنی (مدیریت شبکه)
- دکتر ابوالحسنی (مدیریت شبکه)
- مهندس هوشانفر (مدیرعامل شرکت پارس توان آمود)
- مهندس جوکار (مدیر تحقیق و توسعه شرکت مکو)

در ادامه خلاصه‌ای از مصاحبه‌های صورت گرفته ارائه می‌گردد و سپس اهم چالش‌های مورد نظر متخصصان فوق‌الذکر در چهارچوب کارکردهای هفت‌گانه نظام نوآوری فناورانه ارائه می‌گردد.

#### جدول (۱-۲): مصاحبه با دکتر قره پتیان (معاون پژوهشی پژوهشگاه نیرو)

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
شرکت‌ها در این حوزه خیلی ورود نمی‌کنند زیرا در زمینه‌های دیگر و کارهای کوچکتر بازار بهتری وجود دارد. در این حوزه نیاز خاصی از طرف وزارت نیرو ارائه نگردیده است.	آیا شرکت‌های دانش‌بنیان به منظور توجیه اقتصادی فناوری کافی هستند؟ آیا فعالیتهای کارآفرینی دارای کیفیت خوبی هستند؟ نرخ ورود کارآفرینان در این حوزه را چگونه برآورد می‌کنید (آیا کارآفرینان جدید وارد سیستم می‌شوند)؟ سرمایه‌گذاری خطرپذیر که منجر به توجیه اقتصادی می‌شود، وجود دارد یا خیر؟	کارکردهای کلیدی
در زمینه دانش پایه الکترونیک قدرت کشور از نظر تعداد و کیفیت متخصصین با کمبودی مواجه نیست. پروژه‌ها در سطح تحصیلات تکمیلی منطبق با نیازهای کشور	وضعیت دانش پایه موجود در نظام در ارتباط با کمیت و کیفیت آن چگونه است؟ دانش موجود در سیستم بنیادی است یا کاربردی (توانمندی)	توسعه دانش



توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
تعریف نمی‌گردد. نیاز به آزمایشگاه تست عملیاتی به شدت حس می‌گردد. ما چیزی شبیه به شبکه پابلوت نیازمندیم (جزیره هرمز)	فناورانه کشور در چه سطحی قرار دارد؟ آیا تعداد پروژه‌های پژوهشی و اختراع و مقاله و پتنت به مقدار کافی موجود است؟ آیا یک جایگاه بین المللی پیشرو، برنامه‌های راه اندازی و ارجاعات فراوان به مقاله در نظام وجود دارد؟ آیا توسعه دانش صورت گرفته در نظام تقاضا محور است؟ آیا فناوری با نیازهای نظام نوآوری هماهنگ و مرتبط است؟	
منابعی که می‌بایست به این حوزه تخصیص یابد محقق نگردیده است. لذا با کمبود منابع مواجهیم تامین منابع به لابی افراد بستگی دارد و سیستمی جهت تزریق و تامین منابع مشخص نگردیده است. در بحث صندوق‌ها و سرمایه‌گذاری خطرپذیر این حوزه بسیار نیازمند است و پژوهشگاه نیرو در این زمینه علاقمندی به ورود دارد.	آیا منابع مالی کافی برای توسعه فعالیت‌های کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟ - میزان منابع دولتی چقدر است؟ کافی است یا خیر؟ - میزان سرمایه خطرپذیر چه قدر است؟ کافی است یا خیر؟ - سهولت دسترسی به این منابع را چگونه ارزیابی می‌کنید؟ آیا تربیت نیروی انسانی در حوزه‌ی آموزش و پژوهش مرتبط با فناوری به میزان کافی وجود دارد یا خیر؟ کیفیت منابع انسانی تربیت‌شده در چه سطحی است؟	تامین و تسهیل منابع
شبکه متخصصین قوی در کشور وجود نداشته لذا همکاریهای قابل توجهی بین متخصصین شکل نگرفته است. مکانیزم‌های تشویقی برای مشارکت متخصصین در کنفرانس‌ها و سمینارهای علمی باید در نظر گرفته شود. انجمن الکترونیک قدرت در کشور وجود دارد اما با سطح ایده‌ال فاصله دارد.	آیا همکاری‌های فناورانه بین بازیگران فعال در این زمینه اعم از خرید فناوری، لیسانس، همکاری تحقیق و توسعه و غیره وجود دارد یا خیر؟ همایش، کنفرانس و مجله‌ای در مورد این فناوری وجود دارد یا خیر؟ آیا نمایشگاه‌های تخصصی برای ارایه دستاوردهای کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟	کارکردهای حمایتی انتشار دانش
جهت‌گیری خاصی در این حوزه در بین مدیران و متخصصین وجود ندارد. در بخش تجهیزات آزمایشگاهی دچار کمبود در کشور هستیم. در زمینه الکترونیک قدرت وزارت نیرو اصلاً جهت‌گیری مشخص و مدونی ندارد.	آیا یک هدف کاملاً مشخص و مشترک برای نظام وجود دارد؟ آیا فعالیت‌های کارآفرینی در این حوزه‌ی فناورانه جهت‌دهی شده است؟ آیا منابع مالی و انسانی در جهت توسعه فعالیت‌های است یا خیر؟ آیا سیاست‌های دولت در جهت حمایت از فعالیت‌های کارآفرینی هست یا خیر؟	جهت‌دهی به سیستم
ارائه گواهینامه‌های تخصصی مشکل مشروعیت این تجهیزات را حل می‌کند.	آیا سرمایه‌گذاری در تکنولوژی به عنوان یک تصمیم مشروع پذیرفته شده است؟ (مشروعیت بخشی اتفاق افتاده است یا خیر)؟ آیا مقاومت زیادی در جهت تغییر وجود دارد؟ این مقاومت از کجا نشات می‌گیرد؟	مشروعیت بخشی کارکردهای حاشیه‌ای

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
	آیا فعالیتهای مشروعیت بخشی منجر به تخصیص منابع به فعالیتهای کارآفرینی شده است یا خیر؟	
	آیا بازار اولیه شکل گرفته است؟ اندازه‌ی آن را چقدر است؟ آیا این بازار باعث جهت دهی به سیستم برای توسعه‌ی فعالیتهای کارآفرینی شده است یا خیر؟ آیا جذابیت بازار باعث ورود کارآفرینان جدید شده است یا خیر؟	شکل دهی بازار

## جدول (۲-۲): مصاحبه با دکتر فرهنگی (هیئت علمی دانشگاه تهران)

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
	آیا شرکتهای دانش بنیان به منظور توجیه اقتصادی فناوری کافی هستند؟ آیا فعالیتهای کارآفرینی دارای کیفیت خوبی هستند؟ نرخ ورود کارآفرینان در این حوزه را چگونه برآورد می کنید (آیا کارآفرینان جدید وارد سیستم می شوند)؟ سرمایه گذاری خطرپذیر که منجر به توجیه اقتصادی می شود، وجود دارد یا خیر؟	کارآفرینی
	وضعیت دانش پایه موجود در نظام در ارتباط با کمیت و کیفیت آن چگونه است؟ دانش موجود در سیستم بنیادی است یا کاربردی (توانمندی فناورانه کشور در چه سطحی قرار دارد)؟ آیا تعداد پروژههای پژوهشی و اختراع و پتنت به مقدار کافی موجود است؟ آیا یک جایگاه بین المللی پیشرو، برنامه‌های راه اندازی و ارجاعات فراوان به مقاله در نظام وجود دارد؟	کارکردهای کلیدی توسعه دانش
وضعیت دانش پایه در کشور مناسب است و دانش ابتدایی و آشنایی اولیه وجود دارد ولی باید بتوان در قدم بعد نیاز بازار را برطرف نمود. برای این منظور حمایت از پروژههای نیاز محور با تاکید بر منتهی شدن پژوهش به محصول و بازاریابی و تجاری سازی می تواند راهکار مناسبی باشد.		

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
	<p>آیا توسعه دانش صورت گرفته در نظام تقاضا محور است؟</p> <p>آیا فناوری با نیازهای نظام نوآوری هماهنگ و مرتبط است؟</p>	
<p>برای اجرایی شدن هدف ساخت تجهیزات اولویت‌های اول نیاز به وجود یک آزمایشگاه مرجع وجود دارد. البته بهتر است شبکه آزمایشگاه مرجع داشته باشیم و متمرکز نباشد.</p> <p>بهبود آزمایشگاه‌های پژوهشی البته پس از شناسایی امکانات موجود و یا وجود یک پایلوت می‌تواند به عنوان یک راهکار در اولیتی پایین تر از آزمایشگاه مرجع راهگشا باشد.</p> <p>برای تامین منابع مالی وزارت نیرو باید از صندوق‌های ارگان‌های دیگری همچون نفت و محیط زیست برای حمایت از ساخت تجهیزات مرتبط با آن ارگان‌ها کمک بگیرد.</p>	<p>آیا منابع مالی کافی برای توسعه فعالیت‌های کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟</p> <p>- میزان منابع دولتی چقدر است؟ کافی است یا خیر؟</p> <p>- میزان سرمایه خطرپذیر چه قدر است؟ کافی است یا خیر؟</p> <p>- سهولت دسترسی به این منابع را چگونه ارزیابی می‌کنید؟</p> <p>آیا تربیت نیروی انسانی در حوزه‌ی آموزش و پژوهش مرتبط با فناوری به میزان کافی وجود دارد یا خیر؟</p> <p>کیفیت منابع انسانی تربیت‌شده در چه سطحی است؟</p>	<p>تامین و تسهیل منابع</p>
-	<p>آیا همکاری‌های فناورانه بین بازیگران فعال در این زمینه اعم از خرید فناوری، لیسانس، همکاری تحقیق و توسعه و غیره وجود دارد یا خیر؟</p> <p>همایش، کنفرانس و مجله‌ای در مورد این فناوری وجود دارد یا خیر؟</p> <p>آیا نمایشگاه‌های تخصصی برای ارایه دستاوردهای کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟</p>	<p>کارکردهای حمایتی</p> <p>انتشار دانش</p>
<p>وزارت نیرو باید از شرکت‌های بزرگ کشور به منظور حرکت به سمت و سوی محصول بین‌المللی حمایت نماید.</p>	<p>آیا یک هدف کاملاً مشخص و مشترک برای نظام وجود دارد؟</p> <p>آیا فعالیت‌های کارآفرینی در این حوزه‌ی فناورانه جهت‌دهی شده است؟</p> <p>آیا منابع مالی و انسانی در جهت توسعه فعالیت‌های است یا</p>	<p>جهت‌دهی به سیستم</p>

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
	<p>خیر؟</p> <p>آیا سیاست‌های دولت در جهت حمایت از فعالیت‌های کارآفرینی هست یا خیر؟</p>	
-	<p>آیا سرمایه‌گذاری در تکنولوژی به عنوان یک تصمیم مشروع پذیرفته شده است؟ (مشروعیت بخشی اتفاق افتاده است یا خیر)؟</p> <p>آیا مقاومت زیادی در جهت تغییر وجود دارد؟ این مقاومت از کجا نشأت می‌گیرد؟</p> <p>آیا فعالیت‌های مشروعیت‌بخشی منجر به تخصیص منابع به فعالیت‌های کارآفرینی شده است یا خیر؟</p>	<p>مشروعیت بخشی</p>
<p>برای تجهیزاتی که در اولویت اول هستند (مانند مبدل‌های توربین باد و خورشیدی) بازار اولیه ایجاد شده است و وزارت نیرو باید مکانیزم حمایتی متفاوتی برای این تجهیزات نسبت به سایر تجهیزات داشته باشد. به عنوان مثال وزارت نیرو باید بودجه تحقیقاتی و حمایت خود را به سمت شرکت‌های سازنده این تجهیزات ببرد و با نظارت و ایجاد ارتباط میان دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی با این شرکت‌ها ساخت تجهیزات را به ثمر بنشاند.</p> <p>البته وزارت نیرو برای رونق گرفتن بازار تجهیزات داخلی باید تعرفه‌های پویایی را برای چندسال ابتدایی در نظر بگیرد. در زمینه تجهیزاتی که اولویت دوم سند قرار گرفته اند هنوز بازار اولیه شکل نگرفته است اما ایجاد بازار در آینده و ضرورت نیازشان بسیار محتمل است. بعضی از این ادوات مانند ادوات CUPS در صورت تدوین و اجرای آیین نامه و استانداردهایی</p>	<p>آیا بازار اولیه شکل گرفته است؟ اندازه‌ی آن را چقدر است؟</p> <p>آیا این بازار باعث جهت‌دهی به سیستم برای توسعه‌ی فعالیت‌های کارآفرینی شده است یا خیر؟</p> <p>آیا جذابیت بازار باعث ورود کارآفرینان جدید شده است یا خیر؟</p>	<p>کارکردهای حاشیه‌ای</p> <p>شکل‌دهی بازار</p>

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
<p>از سوی وزارت نیرو (همچون الزام برای کیفیت توان) بازار می یابند.</p> <p>در زمینه اولویت سوم بازار اولیه وجود ندارد و احتمال ایجاد بازار برای این تجهیزات در سالهای آینده بسیار کم می باشد که البته بهتر است از این پس بیشتر بر روی کارهای تحقیقاتی و مطالعاتیشان تمرکز نماییم.</p>		

جدول (۲-۳): مصاحبه با دکتر آراسته (هیئت علمی جهاددانشگاهی دانشگاه علم و صنعت)

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
<p>تعداد شرکت های کارآفرین در این حوزه کم هستند. و غالباً به دلیل نیاز به سرمایه گذاری بالا و عدم اطمینان در توانایی تجاری سازی تمایل به حضور در این عرصه را ندارند.</p>	<p>آیا شرکت های دانش بنیان به منظور توجیه اقتصادی فناوری کافی هستند؟</p> <p>آیا فعالیتهای کارآفرینی دارای کیفیت خوبی هستند؟</p> <p>نرخ ورود کارآفرینان در این حوزه را چگونه برآورد می کنید (آیا کارآفرینان جدید وارد سیستم می شوند)؟</p> <p>سرمایه گذاری خطرپذیر که منجر به توجیه اقتصادی می شود، وجود دارد یا خیر؟</p>	کارآفرینی
<p>دانش در وضعیت خوبی قرار دارد و اساتید کشور مقالات متعدد ISI در این زمینه ها دارند.</p> <p>تجهیزات خاص آزمایشگاهی برای تست نیاز داریم و در حال حاضر با وجود امکانات آزمایش، خریداران خواهان گواهینامه های خارجی هستند.</p>	<p>وضعیت دانش پایه موجود در نظام در ارتباط با کمیت و کیفیت آن چگونه است؟</p> <p>دانش موجود در سیستم بنیادی است یا کاربردی (توانمندی فناوریانه کشور در چه سطحی قرار دارد)؟</p> <p>آیا تعداد پروژه های پژوهشی و اختراع و مقاله و پتنت به مقدار کافی موجود است؟</p> <p>آیا یک جایگاه بین المللی پیشرو، برنامه های راه اندازی و ارجاعات فراوان به مقاله در نظام وجود دارد؟</p> <p>آیا توسعه دانش صورت گرفته در نظام تقاضا محور است؟</p> <p>آیا فناوری با نیازهای نظام نوآوری هماهنگ و مرتبط است؟</p>	کارکردهای کلیدی
<p>مشکل اصلی ما در تامین منابع مالی است.</p> <p>اگر مشکل مالی نداشتیم می توانستیم به راحتی با نصب و اخذ هزینه تجهیز پس از مدت زمان مشخص، اعتماد مشتری را جلب نماییم.</p>	<p>آیا منابع مالی کافی برای توسعه فعالیتهای کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟</p> <p>- میزان منابع دولتی چقدر است؟ کافی است یا خیر؟</p> <p>- میزان سرمایه خطرپذیر چه میزان است؟ کافی است یا خیر؟</p>	تامین و تسهیل منابع کارکردهای حمایتی

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
<p>در ادوات الکترونیک قدرت قیمت‌ها و هزینه‌ها بالاست و حمایت‌ها برای تامین مالی بسیار ضعیف است. اگر بخواهیم این تکنولوژی‌ها توسعه یابند باید حمایت مالی شوند. باید ارگانی برای ارائه وام وجود داشته باشد. صندوق‌ها و بانک صنعت و معدن تنها عناوینی از سازمان‌های حمایت کننده هستند. و به سختی می توان از این مراکز مبلغ ناچیزی از هزینه ها را وام گرفت.</p> <p>با توجه به ریسک بالای نصب و راه اندازی در زمینه تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق خلا وجود سازمانی مانند بیمه که بخشی از این ریسک را برای سازنده و مشتری پوشش دهد احساس می‌شود.</p>	<p>- سهولت دسترسی به این منابع را چگونه ارزیابی می‌کنید؟ آیا تربیت نیروی انسانی در حوزه‌ی آموزش و پژوهش مرتبط با فناوری به میزان کافی وجود دارد یا خیر؟ کیفیت منابع انسانی تربیت‌شده در چه سطحی است؟</p>	
<p>برای شناسایی افراد متخصص در این حوزه‌ها و تبادل دانش میانشان انجمن الکترونیک قدرت در این چندسال اخیر فعالیتهای خوبی انجام داده است و حتی از شرکت هایی که در این زمینه‌ها فعالیت دارند نیز دعوت به عمل می آورد.</p>	<p>آیا همکاری‌های فناورانه بین بازیگران فعال در این زمینه اعم از خرید فناوری، لیسانس، همکاری تحقیق و توسعه و غیره وجود دارد یا خیر؟ همایش، کنفرانس و مجله‌ای در مورد این فناوری وجود دارد یا خیر؟ آیا نمایشگاه‌های تخصصی برای ارایه دستاوردهای کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟</p>	انتشار دانش
<p>مشکل عمده ما عدم اعتماد مسئولان به تجهیز ساخت داخل در شبکه برق است. باید به سازنده فرصت داده شود تا بتواند تجهیزش را در نصب نماید. غالباً در این زمینه‌ها پس از تست پایلوت برای تست در محیط عملیاتی به مشکل برمی‌خوریم.</p>	<p>آیا یک هدف کاملاً مشخص و مشترک برای نظام وجود دارد؟ آیا فعالیتهای کارآفرینی در این حوزه‌ی فناورانه جهت‌دهی شده است؟ آیا منابع مالی و انسانی در جهت توسعه فعالیتهای است یا خیر؟ آیا سیاست‌های دولت در جهت حمایت از فعالیتهای کارآفرینی هست یا خیر؟</p>	جهت‌دهی به سیستم
<p>همواره مقاومت در برابر تغییر وجود دارد. ویکی از منس‌های این مقاومت می تواند عدم وجود اعتماد به تولیدات داخل باشد.</p>	<p>آیا سرمایه‌گذاری در تکنولوژی به عنوان یک تصمیم مشروع پذیرفته شده است؟ (مشروعیت بخشی اتفاق افتاده است یا خیر)؟ آیا مقاومت زیادی در جهت تغییر وجود دارد؟ این مقاومت از کجا نشات می‌گیرد؟ آیا فعالیتهای مشروعیت‌بخشی منجر به تخصیص منابع به فعالیتهای کارآفرینی شده است یا خیر؟</p>	مشروعیت بخشی کارکردهای حاشیه‌ای

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
اولین سوال ما از خریدار این است که چندتا می خواهید؟ زیرا معمولا دستگاه اول نه تنها سود ندارد بلکه ضرر نیز دارد ما به بازار نگاه می کنیم و وارد ساخت می شویم.	آیا بازار اولیه شکل گرفته است؟ اندازه‌ی آن را چقدر است؟ آیا این بازار باعث جهت‌دهی به سیستم برای توسعه‌ی فعالیت‌های کارآفرینی شده است یا خیر؟ آیا جذابیت بازار باعث ورود کارآفرینان جدید شده است یا خیر؟	شکل‌دهی بازار

## جدول (۲-۴): مصاحبه با دکتر پرنیانی (هیئت علمی انشگاه شریف)

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
تعداد کمی شرکت‌های دانش بنیان وارد این حوزه‌ها شده‌اند. که تعداد محدودتری از آنها شرکت‌های بزرگی نظیر مینا می‌باشند. که آنها نیز اغلب به صورت خرید دانش فنی و انتقال تکنولوژی کار می‌کنند. علت کم بودن تعداد این شرکت‌ها حجم بازار داخلی کم و عدم توانایی در رقابت با تولیدکنندگان خارجی است. نرخ ورود این شرکت‌ها به صورت افزایشی البته با شیب بسیار کم می‌باشد. چند نمونه سرمایه‌گذار خطرپذیر می‌شناسم که در این حوزه‌ها سرمایه‌گذاری نموده‌اند اما متأسفانه خیلی موفق نبوده‌اند. سرمایه‌گذاران تمایل دارند در زمینه‌هایی که بازار خوبی وجود دارد وارد شوند زیرا قیمت هر واحد ارزان‌تر می‌شود. لذا در زمینه‌هایی که بازار خوبی وجود ندارد همچون FACTS و HVDC سرمایه‌گذاری توجیهی ندارد. البته بیشتر این فناوری‌ها جدید هستند و بازار مطمئنی برای آنها در کشور وجود ندارد و سرمایه‌گذاری در این زمینه‌ها ریسک بالایی دارد.	آیا شرکت‌های دانش بنیان به منظور توجیه اقتصادی فناوری کافی هستند؟ آیا فعالیتهای کارآفرینی دارای کیفیت خوبی هستند؟ نرخ ورود کارآفرینان در این حوزه را چگونه برآورد می‌کنید (آیا کارآفرینان جدید وارد سیستم می‌شوند)؟ سرمایه‌گذاری خطرپذیر که منجر به توجیه اقتصادی می‌شود، وجود دارد یا خیر؟	کارآفرینی
در سطح آشنایی (تسلط تئوری و شبیه سازی) دانشگاه‌ها و مراکز علمی بسیار خوب عمل می‌کنند. اما در زمینه پیاده سازی عملی چالش زیادی داریم. اساتید و دانشگاه‌های معدودی وارد این سطوح شده‌اند و البته در مراحل ابتدایی ساخت هستند(به عنوان مثال ساخت پابلوت) غالباً پایان نامه‌ها در کشور به صورت تقاضا محور تعریف نمی‌شوند بلکه بر مبنای مسائل روز دنیا طرح می‌شوند.	وضعیت دانش پایه موجود در نظام در ارتباط با کمیت و کیفیت آن چگونه است؟ دانش موجود در سیستم بنیادی است یا کاربردی (توانمندی فناوریانه کشور در چه سطحی قرار دارد)؟ آیا تعداد پروژه‌های پژوهشی و اختراع و مقاله و پتنت به مقدار کافی موجود است؟ آیا یک جایگاه بین المللی پیشرو، برنامه‌های راه اندازی و ارجاعات فراوان به مقاله در نظام وجود دارد؟	کارکردهای کلیدی  توسعه دانش

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
	<p>آیا توسعه دانش صورت گرفته در نظام تقاضا محور است؟</p> <p>آیا فناوری با نیازهای نظام نوآوری هماهنگ و مرتبط است؟</p>	
<p>از آنجایی که در این حوزه‌ها وارد ساخت نشده ام، درگیر مسائل تامین منابع مالی و اخذ وام نبوده ام. اما فکر می‌کنم در مقیاس کوچک در حد چند ۱۰ میلیون تومان وام می‌دهند و اخذ وام در مقیاس بزرگ بسیار سخت است.</p> <p>دانشگاه شریف با بانک ملت تعاملاتی دارد و در حد چند ۱۰ میلیون حمایت می‌کنند و برای کارهای پژوهشی در سطح دانشگاه، خوب است.</p> <p>در این دانشگاه بروکراسی اخذ این وام‌ها با تلاشی که صورت گرفته، بسیار کم شده است و در سایر مراکز نیز باید این اتفاق بیافتد.</p> <p>در زمینه آزمایشگاه‌های مرجع و آزمایشگاه‌های پژوهشی نیز ضعف وجود دارد و تجهیزات آزمایشگاهی برای تجهیزات بزرگ و حساس وجود ندارد. ایده وجود شهرک به عنوان مدل خوب است اما اینکه چه کسی مسئول آن می‌شود بسیار مهم است.</p>	<p>آیا منابع مالی کافی برای توسعه فعالیت‌های کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟</p> <p>- میزان منابع دولتی چقدر است؟ کافی است یا خیر؟</p> <p>- میزان سرمایه خطرپذیر چه قدر است؟ کافی است یا خیر؟</p> <p>- سهولت دسترسی به این منابع را چگونه ارزیابی می‌کنید؟</p> <p>آیا تربیت نیروی انسانی در حوزه‌ی آموزش و پژوهش مرتبط با فناوری به میزان کافی وجود دارد یا خیر؟</p> <p>کیفیت منابع انسانی تربیت‌شده در چه سطحی است؟</p>	<p>تامین و تسهیل منابع</p>
<p>در این زمینه اغلب دانشجویان و اساتید از طریق مجلات معتبر بین‌المللی از یکدیگر مطلع می‌شوند و در میان جستجو در بین سایت‌های مجلات معتبر اگر کار داخلی وجود داشته باشند آن را مطالعه می‌نمایند در غیر این صورت مقالات و پایان نامه‌های داخلی کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد.</p> <p>ارتباط مستقیم بین اساتید وجه غالب نمی‌باشد و ارتباطات داخلی بسیار کم است البته نه به این منظور که تعداد کنفرانس‌های داخلی کم است و یا با افزایش آن‌ها این مشکل برطرف می‌شود.</p> <p>نمایشگاه‌هایی در کشور به صورت محدود برگزار می‌شود. به عنوان نمونه نمایشگاه صنعت برق و یا نمایشگاه‌های جانبی کنفرانس‌ها، البته اکثراً شرکت‌ها در این نمایشگاه‌ها مشارکت دارند که خیلی به دنبال تحقیقات بنیادی و دانش فنی نیستند. اغلب نمایندگی شرکت‌های خارجی می‌باشند.</p>	<p>آیا همکاری‌های فناورانه بین بازیگران فعال در این زمینه اعم از خرید فناوری، لیسانس، همکاری تحقیق و توسعه و غیره وجود دارد یا خیر؟</p> <p>همایش، کنفرانس و مجله‌ای در مورد این فناوری وجود دارد یا خیر؟</p> <p>آیا نمایشگاه‌های تخصصی برای ارایه دستاوردهای کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟</p>	<p>کارکردهای حمایتی</p> <p>انتشار دانش</p>
<p>باید جهت دهی در زمینه‌هایی که بازار وجود دارد باشد. اما جهت دهی‌های اساسی در این زمینه‌ها نداریم.</p>	<p>آیا یک هدف کاملاً مشخص و مشترک برای نظام وجود دارد؟</p> <p>آیا منابع مالی و انسانی در جهت توسعه فعالیت‌های است یا خیر؟</p> <p>آیا سیاست‌های دولت در جهت حمایت از فعالیت‌های کارآفرینی</p>	<p>جهت‌دهی به سیستم</p>



توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
	هست یا خیر؟	
<p>مقاومت طبیعی است و منشا این مقاومت می تواند قابلیت اطمینان تجهیزات باشد. زیرا قابلیت اطمینان یک مجموعه بزرگتر که از این تجهیزات استفاده می نمایند، وابسته به تجهیز جدید است.</p> <p>گاهی هم منافع افراد در خرید خارجی است و به دلیل منافع شخصی مقاومت می نمایند.</p> <p>به نظر می رسد با ورود به حوزه هایی که بازار خوبی وجود دارد و حساسیتشان بالا نیست، می توانیم موفق تر باشیم البته وجود مدیران دلسوز که از تولید داخل حمایت کنند نیز نباید نادیده گرفته شود.</p>	<p>آیا سرمایه گذاری در تکنولوژی به عنوان یک تصمیم مشروع پذیرفته شده است؟ (مشروعیت بخشی اتفاق افتاده است یا خیر)؟</p> <p>آیا مقاومت زیادی در جهت تغییر وجود دارد؟ این مقاومت از کجا نشات می گیرد؟</p> <p>آیا فعالیت های مشروعیت بخشی منجر به تخصیص منابع به فعالیت های کارآفرینی شده است یا خیر؟</p>	مشروعیت بخشی
<p>در زمینه توربین بادی و سلول های خورشیدی بازار خوبی شکل گرفته است و رشد خوبی را پیش بینی می نمایم ولی در زمینه های APF و D-statcom بازار فعلی محدود است اما احتمال اینکه در این زمینه ها بازار رشد خوبی داشته باشد وجود دارد.</p> <p>در زمینه هایی همچون سیستم تحریک استاتیک و توربین گازی بازار مشخص است و بازار اولیه شکل گرفته است و سازنده های خوبی در کشور همچون مپنا وجود دارند و باید تفاهمی میان مپنا و شرکت های مانند آن برای توسعه درون زا صورت گیرد.</p> <p>با توجه به جذابیت بازار برای تجهیزاتی همچون توربین بادی و سلول های خورشیدی حمایت دولت نیز باید وجود داشته باشد زیرا بازار شکننده است و سرمایه گذار خصوصی با توجه به وجود عرصه های سودآورتر به راحتی وارد این زمینه های کاری نمی شوند.</p> <p>همواره باید متوجه تعادل عرضه و تقاضا باشیم این گونه نباشد که با حمایت های زیاد تقاضا را زیاد نماییم اما به همان نسبت نتوانیم عرضه داشته باشیم و بالعکس.</p> <p>تعرفه واردات، حمایت های مالی مستقیم به صورت مشارکت به خصوص در سال های اولیه الزامی است.</p>	<p>آیا بازار اولیه شکل گرفته است؟ اندازه ی آن را چقدر است؟</p> <p>آیا این بازار باعث جهت دهی به سیستم برای توسعه ی فعالیت های کارآفرینی شده است یا خیر؟</p> <p>آیا جذابیت بازار باعث ورود کارآفرینان جدید شده است یا خیر؟</p>	کارکردهای حاشیه ای شکل دهی بازار

## جدول (۲-۵): مصاحبه با دکتر یزدیان (هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرس)

موتور محرک کارآفرینی	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	توضیحات
کارآفرینی	<p>آیا شرکتهای دانش بنیان به منظور توجیه اقتصادی فناوری کافی هستند؟</p> <p>آیا فعالیتهای کارآفرینی دارای کیفیت خوبی هستند؟</p> <p>نرخ ورود کارآفرینان در این حوزه را چگونه برآورد می کنید (آیا کارآفرینان جدید وارد سیستم می شوند)؟</p> <p>سرمایه گذاری خطرپذیر که منجر به توجیه اقتصادی می شود، وجود دارد یا خیر؟</p>	<p>شرکتهای کارآفرینی در این حوزه ها فعالیت دارند اما تعداد آنها به نسبت کم می باشد و البته بیشتر این شرکت ها در حوزه ادوات CUPS فعال هستند.</p> <p>علت اصلی عدم تمایل کارآفرینان برای ورود به این حوزه بالا بودن قیمت تمام شده در ایران است که با توجه به گرانی دلار و ارزانی نیروی کار و ریال در کشور بازهم ورود به این حوزه ها صرفه اقتصادی ندارد.</p>
کارکردهای کلیدی	<p>وضعیت دانش پایه موجود در نظام در ارتباط با کمیت و کیفیت آن چگونه است؟</p> <p>دانش موجود در سیستم بنیادی است یا کاربردی (توانمندی فناوریانه کشور در چه سطحی قرار دارد)؟</p> <p>آیا تعداد پروژههای پژوهشی و اختراع و مقاله و پتنت به مقدار کافی موجود است؟</p> <p>آیا یک جایگاه بین المللی پیشرو، برنامه های راه اندازی و ارجاعات فراوان به مقاله در نظام وجود دارد؟</p> <p>آیا توسعه دانش صورت گرفته در نظام تقاضا محور است؟</p> <p>آیا فناوری با نیازهای نظام نوآوری هماهنگ و مرتبط است؟</p>	<p>وضعیت تولید دانش در کشور ما خوب است و از منظر مقالات و دانش پایه دانشگاه های ما در سطح مناسبی می باشند.</p>
توسعه دانش	<p>آیا منابع مالی کافی برای توسعه فعالیت های کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟</p> <p>- میزان منابع دولتی چقدر است؟ کافی است یا خیر؟</p> <p>- میزان سرمایه خطرپذیر چه قدر است؟ کافی است یا خیر؟</p> <p>- سهولت دسترسی به این منابع را چگونه ارزیابی می کنید؟</p> <p>آیا تربیت نیروی انسانی در حوزه ی آموزش و پژوهش مرتبط با فناوری به میزان کافی وجود دارد یا خیر؟</p> <p>کیفیت منابع انسانی تربیت شده در چه سطحی است؟</p>	<p>در حال حاضر صندوق هایی همچون صندوق نوآوری و شکوفایی وجود دارند که وام های با بهره کم و به میزان قابل قبولی به طرحهای پژوهشی میدهند که من به شخصه خود داور ۳ طرح پژوهشی بوده ام و از نزدیک با این صندوق در ارتباط بوده ام و می دانم که برای تقریباً ۱۰۰ طرح پژوهشی حدود ۶۰ میلیارد تومان وام داده است که مبلغ قابل توجهی است.</p> <p>در کشور ما بیمه وجود دارد و همه چیز را می توان بیمه نمود. بیمه متناسب با هرموقعیت و تجهیزاتی، ریسک را محاسبه نموده و حق بیمه تعیین می نماید اگر منظور از ضعف بیمه پرداخت حق بیمه توسط دولت است اشتباه است و دولت نباید حق بیمه را پرداخت نماید و این به منزله حمایت و یا عدم حمایت دولت نیست.</p> <p>در زمینه آزمایشگاه، ضعف در وجود آزمایشگاه مرجع برای انجام تست هایی با استاندارد بین المللی و ارائه گواهی نامه وجود دارد. لذا باید آزمایشگاه type approval ایجاد</p>
تامین و تسهیل منابع	<p>آیا تربیت نیروی انسانی در حوزه ی آموزش و پژوهش مرتبط با فناوری به میزان کافی وجود دارد یا خیر؟</p> <p>کیفیت منابع انسانی تربیت شده در چه سطحی است؟</p>	<p>در کشور ما بیمه وجود دارد و همه چیز را می توان بیمه نمود. بیمه متناسب با هرموقعیت و تجهیزاتی، ریسک را محاسبه نموده و حق بیمه تعیین می نماید اگر منظور از ضعف بیمه پرداخت حق بیمه توسط دولت است اشتباه است و دولت نباید حق بیمه را پرداخت نماید و این به منزله حمایت و یا عدم حمایت دولت نیست.</p> <p>در زمینه آزمایشگاه، ضعف در وجود آزمایشگاه مرجع برای انجام تست هایی با استاندارد بین المللی و ارائه گواهی نامه وجود دارد. لذا باید آزمایشگاه type approval ایجاد</p>

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
<p>نماییم و تجهیزات را طبق استانداردهایش تست نماییم. و در صورت اخذ استاندارد بین المللی برای این آزمایشگاه‌ها می توان به نمایندگی از آزمایشگاه‌های خارج از کشور، گواهینامه داد.</p>		
<p>انجمن الکترونیک قدرت وجود دارد اما وظیفه‌ای برای ایجاد تعامل میان دانشکاران این حوزه را برعهده ندارد. بازیگران در این حوزه به ندرت از یکدیگر باخبر می شوند و تعاملشان با یکدیگر بسیار کم است. برای حل این مشکلات راهکار مناسب این است که بازار فروش ایده در کشور ایجاد شود و شرکت‌هایی که سرمایه گذار هستند به عنوان واسط میان مراکز تولید ایده و مراکز تجاری، ایده را خرید و فروش نمایند. (نقشی مانند NSF در آمریکا)</p>	<p>آیا همکاری‌های فناورانه بین بازیگران فعال در این زمینه اعم از خرید فناوری، لیسانس، همکاری تحقیق و توسعه و غیره وجود دارد یا خیر؟</p> <p>همایش، کنفرانس و مجله‌ای در مورد این فناوری وجود دارد یا خیر؟</p> <p>آیا نمایشگاه‌های تخصصی برای ارایه دستاوردهای کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟</p>	<p>انتشار دانش</p>
<p>سازمان‌های خدماتی نباید در صنعت دخیل شوند، کار وزارت نیرو خدماتی است. ما در صنعت برق مسئول تولید، انتقال و توزیع است و ساخت و تجاری سازی تجهیزات وظیفه وزارت صنایع می‌باشد. شاخص و یا دورنمای یک کشور باید تولید ثروت باشد و در صورتی که تولید ثروت از راه کسب دانش فنی و تکنولوژی حاصل شود به سراغ آن برود (مگر در شرایط استراتژیک). کشورها از فناوری به عنوان یک مزیت نسبی برای تولید و مزیت نسبی برای حفاظت استفاده می نمایند.</p>	<p>آیا یک هدف کاملاً مشخص و مشترک برای نظام وجود دارد؟</p> <p>آیا فعالیت‌های کارآفرینی در این حوزه‌ی فناورانه جهت‌دهی شده است؟</p> <p>آیا منابع مالی و انسانی در جهت توسعه فعالیت‌های است یا خیر؟</p> <p>آیا سیاست‌های دولت در جهت حمایت از فعالیت‌های کارآفرینی هست یا خیر؟</p>	<p>جهت‌دهی به سیستم</p>
<p>یکی از مشکلات عدم وجود آزمایشگاه‌های مرجع در کشور است و مشکل دیگر در عدم وجود حمایت از استانداردهای داخلی است در واقع پس از اخذ استانداردها دولت باید از استانداردهای داخلی حمایت نماید و آن را قبول داشته باشد.</p>	<p>آیا سرمایه‌گذاری در تکنولوژی به عنوان یک تصمیم مشروع پذیرفته شده است؟ (مشروعیت بخشی اتفاق افتاده است یا خیر)؟</p> <p>آیا مقاومت زیادی در جهت تغییر وجود دارد؟ این مقاومت از کجا نشات می‌گیرد؟</p> <p>آیا فعالیت‌های مشروعیت‌بخشی منجر به تخصیص منابع به فعالیت‌های کارآفرینی شده است یا خیر؟</p>	<p>مشروعیت بخشی</p>
<p>باید برای تجهیزات استاندارد مشخصات فنی در نظر بگیریم که تنوع تعداد محصولات کم شود و این می‌تواند منجر به اقتصادی‌تر شدن تجهیزات شود. همچنین در حوزه مصرف نیز استانداردسازی می‌تواند مصرف کننده‌ها را ملزم به استفاده از ادوات CUPS کند و در نتیجه بازار خوبی را برای این ادوات ایجاد نماید.</p>	<p>آیا بازار اولیه شکل گرفته است؟ اندازه‌ی آن را چقدر است؟</p> <p>آیا این بازار باعث جهت‌دهی به سیستم برای توسعه‌ی فعالیت‌های کارآفرینی شده است یا خیر؟</p> <p>آیا جذابیت بازار باعث ورود کارآفرینان جدید شده است یا خیر؟</p>	<p>شکل‌دهی بازار</p>

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
در زمینه هایی همچون FACTS و HVDC و سیستم تحریک استاتیک بازار اولیه شکل نگرفته است. دولت تنها باید از تولید ایده و ساخت محصول نیمه صنعتی حمایت کند و وظیفه اصلی دولت تنظیمگری است و با وضع قوانین همچون تصویب قوانین گمرکی و حمایت از قانون copye right باید حمایت خود را اعمال نماید.		

## جدول (۲-۶): مصاحبه با دکتر فتحی (هیئت علمی دانشگاه امیرکبیر)

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
شرکت های دانش بنیان حتما وجود دارند اما من اطلاع زیادی ندارم و شرایطی باید فراهم شود که حضور این شرکت ها رونق بگیرد زیرا بسیاری از افرادی که در دانشگاه ها حضور دارند پتانسیل دایر کردن شرکت دانش بنیان را دارند. در ارتباط با نرخ ورود و حضور سرمایه گذار خطرپذیر نیز اطلاع ندارم.	آیا شرکت های دانش بنیان به منظور توجیه اقتصادی فناوری کافی هستند؟ آیا فعالیتهای کارآفرینی دارای کیفیت خوبی هستند؟ نرخ ورود کارآفرینان در این حوزه را چگونه برآورد می کنید (آیا کارآفرینان جدید وارد سیستم می شوند)؟ سرمایه گذاری خطرپذیر که منجر به توجیه اقتصادی می شود، وجود دارد یا خیر؟	کارآفرینی
در دانشگاه ها وضعیت دانش پایه خوب است و مقالات بسیار خوبی هر ساله در مجلات بسیار معتبر چاپ می شوند و ما کمبودی در این زمینه نداریم. البته موضوعات مقالات و پایان نامه ها بر مبنای تقاضا و نیازمان نیستند بلکه بر اساس مسائل مطرح در دنیا طرح می شوند.	وضعیت دانش پایه موجود در نظام در ارتباط با کمیت و کیفیت آن چگونه است؟ دانش موجود در سیستم بنیادی است یا کاربردی (توانمندی فناورانه کشور در چه سطحی قرار دارد)؟ آیا تعداد پروژه های پژوهشی و اختراع و مقاله و پتنت به مقدار کافی موجود است؟ آیا یک جایگاه بین المللی پیشرو، برنامه های راه اندازی و ارجاعات فراوان به مقاله در نظام وجود دارد؟ آیا توسعه دانش صورت گرفته در نظام تقاضا محور است؟ آیا فناوری با نیازهای نظام نوآوری هماهنگ و مرتبط است؟	کارکردهای کلیدی توسعه دانش
در ارتباط با حمایت های مالی، می دانم که صندوق هایی زیر مجموعه معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری برای وام دادن وجود دارند اما از آنجایی که در تعامل مستقیم با این صندوق ها نبوده ام از سهولت ارائه این تسهیلات اطلاع ندارم. اما می دانم که تعداد کمی از تقاضاها برای وام به نتیجه رسیده	آیا منابع مالی کافی برای توسعه فعالیت های کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟ - میزان منابع دولتی چقدر است؟ کافی است یا خیر؟ - میزان سرمایه خطرپذیر چه قدر است؟ کافی است یا خیر؟ - سهولت دسترسی به این منابع را چگونه ارزیابی می کنید؟	تامین و تسهیل منابع کارکردهای حمایتی

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
<p>اند.</p> <p>از منظر منابع انسانی دانشجویان و اساتید و متخصصان بسیار خوبی در کشور وجود دارد ولی متأسفانه تمایل و گرایش به رفتن به خارج از کشور خیلی زیاد شده است.</p> <p>از منظر آزمایشگاهها و تجهیزات، قطعاً ما نیاز به آزمایشگاههایی که در داخل کشور بتوانند گواهینامه بدهند وجود دارد برای این منظور حتماً نیاز به تجهیزات و نیروی ماهر وجود دارد. لذا باید آزمایشگاه مرجع در داخل کشور ایجاد شود و برای این منظور نیاز به حمایت سازمان استاندارد نیز وجود دارد.</p>	<p>آیا تربیت نیروی انسانی در حوزه‌ی آموزش و پژوهش مرتبط با فناوری به میزان کافی وجود دارد یا خیر؟</p> <p>کیفیت منابع انسانی تربیت شده در چه سطحی است؟</p>	
<p>انجمن علمی الکترونیک قدرت در این زمینه فعالیت‌های خوبی انجام داده است. یکی از فعالیت‌های این انجمن، برگزاری کنفرانس بین المللی PETSTC می باشد که تحت حمایت IEEE می باشد. لازم به ذکر است که در همین کنفرانس نمایشگاه‌های تخصصی نیز برگزار می شود. البته نمایشگاه‌های دیگری نیز به صورت پراکنده وجود برگزار می شوند. ولی تعداد این نمایشگاه‌ها کافی نیستند البته باید کاری در این زمینه‌ها صورت بگیرد تا متناسب با آن نمایشگاه برگزار شود.</p>	<p>آیا همکاری‌های فناورانه بین بازیگران فعال در این زمینه اعم از خرید فناوری، لیسانس، همکاری تحقیق و توسعه و غیره وجود دارد یا خیر؟</p> <p>همایش، کنفرانس و مجله‌ای در مورد این فناوری وجود دارد یا خیر؟</p> <p>آیا نمایشگاه‌های تخصصی برای ارایه دستاوردهای کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟</p>	انتشار دانش
<p>یک سیاست یا تمایل یا تصمیم قاطعی در سطوح بالای مدیریت کشور باید وجود داشته باشد که بتواند با پیگیری مسائل کلیدی را حل نماید و این پیگیری رها نشود.</p> <p>مشکل ما نهاد نیست. مشکل ما اراده ای است که بخواهد این خط دنبال شود. وزارت نیرو هزینه‌های زیادی در زمینه‌های مختلف می کند اما یک خط مشخص که قدم به قدم به اهداف برسد وجود ندارد.</p>	<p>آیا یک هدف کاملاً مشخص و مشترک برای نظام وجود دارد؟</p> <p>آیا فعالیت‌های کارآفرینی در این حوزه‌ی فناورانه جهت‌دهی شده است؟</p> <p>آیا منابع مالی و انسانی در جهت توسعه فعالیت‌های است یا خیر؟</p> <p>آیا سیاست‌های دولت در جهت حمایت از فعالیت‌های کارآفرینی هست یا خیر؟</p>	جهت‌دهی به سیستم
-	<p>آیا سرمایه‌گذاری در تکنولوژی به عنوان یک تصمیم مشروع پذیرفته شده است؟ (مشروعیت بخشی اتفاق افتاده است یا خیر)؟</p> <p>آیا مقاومت زیادی در جهت تغییر وجود دارد؟ این مقاومت از کجا نشات می‌گیرد؟</p> <p>آیا فعالیت‌های مشروعیت‌بخشی منجر به تخصیص منابع به فعالیت‌های کارآفرینی شده است یا خیر؟</p>	مشروعیت بخشی
<p>به منظور ایجاد جذابیت در بازار دولت باید دخالت نماید، در دنیا انرژی‌های تجدید پذیر به صرفه نیستند و با سوبسید و حمایت‌های دولتی است که استفاده می شوند. البته با توجه به اینکه این ادوات در بازار ما مشتری ندارد و وزارت نیرو تنها</p>	<p>آیا بازار اولیه شکل گرفته است؟ اندازه‌ی آن را چقدر است؟</p> <p>آیا این بازار باعث جهت‌دهی به سیستم برای توسعه‌ی فعالیت‌های کارآفرینی شده است یا خیر؟</p> <p>آیا جذابیت بازار باعث ورود کارآفرینان جدید شده است یا خیر؟</p>	شکل‌دهی بازار

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
<p>مشتری آنان است حمایت وزارت نیرو از این تجهیزات الزامی است.</p> <p>متاسفانه ما در بازار غیر رقابتی و غیر آزاد هستیم و این کار را سخت می‌کند. باید بازار رقابتی شود.</p> <p>به عنوان نمونه در صورت رقابتی شدن بازار صنایع، صنعت ضعف وجود ادوات الکترونیک قدرت را احساس می‌کند و برای کاهش هزینه و تلفات به دنبال استفاده از این ادوات می‌رود.</p>		

## جدول (۲-۷): مصاحبه با دکتر بانان (مدیرکل دفتر توسعه مدیریت و تحول اداری)

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
<p>فضای سالم نگاه به تولید داخل در کشور وجود ندارد حمایت‌ها به صورت مقطعی و با زمان‌بندی مشخص باید باشد.</p> <p>باید از تولیدکنندگان به ویژه در بهش تجاری سازی و کاهش ریسک آن حمایت شود. بدین منظور باید تولید مشارکتی مدیریت گردد.</p>	<p>آیا شرکت‌های دانش‌بنیان به منظور توجیه اقتصادی فناوری کافی هستند؟</p> <p>آیا فعالیتهای کارآفرینی دارای کیفیت خوبی هستند؟</p> <p>نرخ ورود کارآفرینان در این حوزه را چگونه برآورد می‌کنید (آیا کارآفرینان جدید وارد سیستم می‌شوند)؟</p> <p>سرمایه‌گذاری خطرپذیر که منجر به توجیه اقتصادی می‌شود، وجود دارد یا خیر؟</p>	کارآفرینی
<p>در زمینه دانش پایه الکترونیک قدرت کشور از نظر تعداد و کیفیت متخصصین با کمبودی مواجه نیست</p>	<p>وضعیت دانش پایه موجود در نظام در ارتباط با کمیت و کیفیت آن چگونه است؟</p> <p>دانش موجود در سیستم بنیادی است یا کاربردی (توانمندی فناوریانه کشور در چه سطحی قرار دارد)؟</p> <p>آیا تعداد پروژه‌های پژوهشی و اختراع و مقاله و پتنت به مقدار کافی موجود است؟</p> <p>آیا یک جایگاه بین المللی پیشرو، برنامه‌های راه اندازی و ارجاعات فراوان به مقاله در نظام وجود دارد؟</p> <p>آیا توسعه دانش صورت گرفته در نظام تقاضا محور است؟</p> <p>آیا فناوری با نیازهای نظام نوآوری هماهنگ و مرتبط است؟</p>	کارکردهای کلیدی توسعه دانش
	<p>آیا منابع مالی کافی برای توسعه فعالیتهای کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟</p> <p>– میزان منابع دولتی چقدر است؟ کافی است یا خیر؟</p>	تامین و تسهیل منابع کارکردهای حمایتی

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
	<p>- میزان سرمایه خطرپذیر چه قدر است؟ کافی است یا خیر؟</p> <p>- سهولت دسترسی به این منابع را چگونه ارزیابی می کنید؟</p> <p>آیا تربیت نیروی انسانی در حوزه آموزش و پژوهش مرتبط با فناوری به میزان کافی وجود دارد یا خیر؟</p> <p>کیفیت منابع انسانی تربیت شده در چه سطحی است؟</p>	
	<p>آیا همکاری های فناورانه بین بازیگران فعال در این زمینه اعم از خرید فناوری، لیسانس، همکاری تحقیق و توسعه و غیره وجود دارد یا خیر؟</p> <p>همایش، کنفرانس و مجله ای در مورد این فناوری وجود دارد یا خیر؟</p> <p>آیا نمایشگاه های تخصصی برای ارائه دستاوردهای کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟</p>	انتشار دانش
<p>در حوزه قوانین نظارتی به ویژه در زمینه واردات شرایط خوبی وجود ندارد. هم تعداد قوانین کم است و هم کیفیت آنها. عیلمرغم اینکه در حوزه تولید بسیار سخت گیری می شود.</p> <p>تمرکز نظارتی در حوزه های بایستی باشد که تجهیزات الکترونیک قدرت می خواهند به شبکه وصل شوند</p> <p>در تدوین سیاستها، نگاه اجتماعی باید لحاظ گردد. ایجاد اشتغال در این حوزه بسیار مهم است.</p>	<p>آیا یک هدف کاملاً مشخص و مشترک برای نظام وجود دارد؟</p> <p>آیا فعالیت های کارآفرینی در این حوزه فناوری جهت دهی شده است؟</p> <p>آیا منابع مالی و انسانی در جهت توسعه فعالیت های است یا خیر؟</p> <p>آیا سیاست های دولت در جهت حمایت از فعالیت های کارآفرینی هست یا خیر؟</p>	جهت دهی به سیستم
	<p>آیا سرمایه گذاری در تکنولوژی به عنوان یک تصمیم مشروع پذیرفته شده است؟ (مشروعیت بخشی اتفاق افتاده است یا خیر)؟</p> <p>آیا مقاومت زیادی در جهت تغییر وجود دارد؟ این مقاومت از کجا نشات می گیرد؟</p> <p>آیا فعالیت های مشروعیت بخشی منجر به تخصیص منابع به فعالیت های کارآفرینی شده است یا خیر؟</p>	مشروعیت بخشی
	<p>آیا بازار اولیه شکل گرفته است؟ اندازه ی آن را چقدر است؟</p> <p>آیا این بازار باعث جهت دهی به سیستم برای توسعه ی فعالیت های کارآفرینی شده است یا خیر؟</p> <p>آیا جذابیت بازار باعث ورود کارآفرینان جدید شده است یا خیر؟</p>	شکل دهی بازار
		کارکردهای حاشیه ای

## جدول (۲-۸): مصاحبه با دکتر فرمد (مدیرکل دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی)

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
<p>در رابطه با شرکت‌های دانش بنیان اطلاع ندارم البته احتمال حضور این شرکت ها کم است.</p> <p>و در زمینه های فناوری‌های پرکاربرد احتمالا به دلیل پتانسیل تولید در تیراژ بالا کارآفرینان با وجود حمایت از ساخت داخل برای ورود به این حوزه تشویق می‌شوند.</p>	<p>آیا شرکت‌های دانش بنیان به منظور توجیه اقتصادی فناوری کافی هستند؟</p> <p>آیا فعالیتهای کارآفرینی دارای کیفیت خوبی هستند؟</p> <p>نرخ ورود کارآفرینان در این حوزه را چگونه برآورد می‌کنید (آیا کارآفرینان جدید وارد سیستم می‌شوند)؟</p> <p>سرمایه‌گذاری خطرپذیر که منجر به توجیه اقتصادی می‌شود، وجود دارد یا خیر؟</p>	کارآفرینی
<p>سطح دانشگاه‌های کشور متوسط رو به بالا است و اساتید خوبی در دانشگاه‌های معتبر هم در زمینه ساخت و طراحی مدار و هم تجزیه و تحلیل داریم. البته در این حوزه ها، در زمینه استفاده در شبکه قدرت این موضوعات در فازهای تحقیقاتی هستند.</p> <p>غالباً پروژه های تدوین شده بر مبنای نیاز و تقاضا نیستند اما در مواردی این اتفاق افتاده و دانشجویان کارهای مرتبط با صنعت را به عنوان پروژه پایانی ارشد داشته اند.</p>	<p>وضعیت دانش پایه موجود در نظام در ارتباط با کمیت و کیفیت آن چگونه است؟</p> <p>دانش موجود در سیستم بنیادی است یا کاربردی (توانمندی فناوریانه کشور در چه سطحی قرار دارد)؟</p> <p>آیا تعداد پروژه‌های پژوهشی و اختراع و مقاله و پتنت به مقدار کافی موجود است؟</p> <p>آیا یک جایگاه بین المللی پیشرو، برنامه‌های راه اندازی و ارجاعات فراوان به مقاله در نظام وجود دارد؟</p> <p>آیا توسعه دانش صورت گرفته در نظام تقاضا محور است؟</p> <p>آیا فناوری با نیازهای نظام نوآوری هماهنگ و مرتبط است؟</p>	کارکردهای کلیدی
<p>بعید می‌دانم کسی به راحتی بتواند وام بگیرد.</p> <p>در ارتباط با نیروی انسانی، نیروی انسانی متخصص بسیار زیاد داریم ولی بازار خوبی برای جذبشان وجود ندارد.</p> <p>به نظر می‌رسد ارگانی باید ریسک پروژه را از ابتدا تا انتها بپذیرد فکر نمی‌کنم بیمه بتواند این مسئولیت را بپذیرد فکر می‌کنم بهتر است صندوق ها علاوه بر تخصیص وام باید در جهت استفاده از نمونه ساخته شده در صنعت نیز همکاری نماید.</p> <p>از منظر آزمایشگاه تخصصی و تجهیزات متاسفانه وضعیت خوبی نداریم و نیاز به آزمایشگاه احساس می‌شود.</p>	<p>آیا منابع مالی کافی برای توسعه فعالیتهای کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟</p> <p>- میزان منابع دولتی چقدر است؟ کافی است یا خیر؟</p> <p>- میزان سرمایه خطرپذیر چه قدر است؟ کافی است یا خیر؟</p> <p>- سهولت دسترسی به این منابع را چگونه ارزیابی می‌کنید؟</p> <p>آیا تربیت نیروی انسانی در حوزه‌ی آموزش و پژوهش مرتبط با فناوری به میزان کافی وجود دارد یا خیر؟</p> <p>کیفیت منابع انسانی تربیت شده در چه سطحی است؟</p>	تامین و تسهیل منابع
<p>از فعالیتهایی که در داخل کشور صورت می‌گیرد اطلاع ندارم. و به نظر می‌رسد اگر کسی تمایل به کسب اطلاعات در زمینه‌ای داشته باشد با مراجعه به سایت‌های معتبر می‌تواند مطلع شود.</p> <p>نمایشگاه تخصصی نیز اطلاع ندارم و شنیده ام.</p>	<p>آیا همکاری‌های فناورانه بین بازیگران فعال در این زمینه اعم از خرید فناوری، لیسانس، همکاری تحقیق و توسعه و غیره وجود دارد یا خیر؟</p> <p>همایش، کنفرانس و مجله‌ای در مورد این فناوری وجود دارد یا خیر؟</p> <p>آیا نمایشگاه‌های تخصصی برای ارایه دستاوردهای کارآفرینی</p>	انتشار دانش



توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
	وجود دارد یا خیر؟	
در ارتباط با مبدل‌های انرژی‌های تجدیدپذیر جهت گیری‌های کلان وجود دارد و در زمینه‌های سیستم تحریک استاتیک و جبران سازه‌های توان پایین با توجه به نیاز کشور احتمالاً جهت گیری‌هایی وجود دارد. البته در زمینه‌های دیگر بعید می‌دانم.	آیا یک هدف کاملاً مشخص و مشترک برای نظام وجود دارد؟ آیا فعالیت‌های کارآفرینی در این حوزه‌ی فناورانه جهت‌دهی شده است؟ آیا منابع مالی و انسانی در جهت توسعه فعالیت‌های است یا خیر؟ آیا سیاست‌های دولت در جهت حمایت از فعالیت‌های کارآفرینی هست یا خیر؟	جهت‌دهی به سیستم
به نظر من مقاومت بیشتر در زمینه استفاده از تجهیزات ساخت داخل است. و به منظور توجیه خریدار باید سازنده به دقت مزایا و محاسن سیستم‌های جدید تشریح شده و علاقمند شوند.	آیا سرمایه‌گذاری در تکنولوژی به عنوان یک تصمیم مشروع پذیرفته شده است؟ (مشروعیت بخشی اتفاق افتاده است یا خیر)؟ آیا مقاومت زیادی در جهت تغییر وجود دارد؟ این مقاومت از کجا نشات می‌گیرد؟ آیا فعالیت‌های مشروعیت‌بخشی منجر به تخصیص منابع به فعالیت‌های کارآفرینی شده است یا خیر؟	مشروعیت بخشی کارکردهای حاشیه‌ای
فکر می‌کنم برای مبدل‌های انرژی‌های تجدیدپذیر و سیستم حمل و نقل الکتریکی احتمالاً بازار اولیه شکل گرفته است اما در سایر زمینه‌ها بعید می‌دانم. البته به نظر می‌رسد که دولت باید دخالت نماید و با تعرفه‌هایی از ساخت داخل حمایت کند.	آیا بازار اولیه شکل گرفته است؟ اندازه‌ی آن را چقدر است؟ آیا این بازار باعث جهت‌دهی به سیستم برای توسعه‌ی فعالیت‌های کارآفرینی شده است یا خیر؟ آیا جذابیت بازار باعث ورود کارآفرینان جدید شده است یا خیر؟	شکل‌دهی بازار

## جدول (۲-۹): مصاحبه با دکتر کارشناس (هیئت علمی دانشگاه صنعتی اصفهان)

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
با توجه به اینکه حدود ۲۰ سال است که در این حوزه‌ها فعالیت می‌کنم هیچ شرکت دانش بنیان فعال در این حوزه را نمی‌شناسم و از وجود آن اطلاعی ندارم.	آیا شرکت‌های دانش بنیان به منظور توجیه اقتصادی فناوری کافی هستند؟ آیا فعالیت‌های کارآفرینی دارای کیفیت خوبی هستند؟ نرخ ورود کارآفرینان در این حوزه را چگونه برآورد می‌کنید (آیا کارآفرینان جدید وارد سیستم می‌شوند)؟	کارآفرینی کارکردهای کلیدی

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
	<p>سرمایه‌گذاری خطرپذیر که منجر به توجیه اقتصادی می‌شود، وجود دارد یا خیر؟</p>	
<p>از نظر وضعیت دانش، دانشگاه‌ها در سطح خوبی قرار دارند و مقالات بسیار خوبی در این حوزه‌ها منتشر می‌نمایند. اما با توجه به High-Tech بودن این موضوعات تنها کشورهای پیشرفته از این ادوات به صورت جدی استفاده می‌نمایند و در کشورهای در حال توسعه گرایش به این مقالات بر مبنای نیاز نمی‌باشد.</p>	<p>وضعیت دانش پایه موجود در نظام در ارتباط با کمیت و کیفیت آن چگونه است؟ دانش موجود در سیستم بنیادی است یا کاربردی (توانمندی فناوریانه کشور در چه سطحی قرار دارد)؟ آیا تعداد پروژه‌های پژوهشی و اختراع و مقاله و پتنت به مقدار کافی موجود است؟ آیا یک جایگاه بین‌المللی پیشرو، برنامه‌های راه‌اندازی و ارجاعات فراوان به مقاله در نظام وجود دارد؟ آیا توسعه دانش صورت گرفته در نظام تقاضا محور است؟ آیا فناوری با نیازهای نظام نوآوری هماهنگ و مرتبط است؟</p>	توسعه دانش
<p>متأسفانه اصولاً تامین منابع مالی و سرمایه برای تولیدکنندگان در ایران بسیار مشکل است و من درگیر وام‌هایی بوده‌ام که با وجود گرفتن تایید و تصویب، تخصیص اعتبار نشده‌اند. و اگر صندوقی هم واقعاً تامین سرمایه می‌کند سرمایه‌ای که وام می‌دهد در سطح این ادوات نیست.</p> <p>در ارتباط با منابع انسانی، نیروی‌های با کیفیت بسیار زیاد تربیت می‌شود اما متأسفانه این نیروها ماندگار نیستند و پس از فارغ التحصیلی از کشور مهاجرت می‌کنند.</p> <p>در ارتباط با آزمایشگاه یکسری تجهیزاتی در کشور موجود است اما کافی نیستند و باید با حمایت‌های مرتبط آزمایشگاه‌های مرجع دایر شوند.</p> <p>و البته به منظور تست نهایی ادواتی مانند SVC با تاسیس شهرک آزمایشگاهی موافق هستیم البته در صورتی که به صورت اصولی پیش رفته و مشخص شود که سرمایه‌گذار چه کسی است؟ متولی آن چه کسی است و نحوه استفاده از شهرک مشخص باشد و با جمع‌آوری نقطه نظرات تمامی ذی‌ربطان دقیقاً بدانیم که چه می‌خواهیم و به آن برسیم.</p>	<p>آیا منابع مالی کافی برای توسعه فعالیت‌های کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟</p> <p>- میزان منابع دولتی چقدر است؟ کافی است یا خیر؟ - میزان سرمایه خطرپذیر چه قدر است؟ کافی است یا خیر؟ - سهولت دسترسی به این منابع را چگونه ارزیابی می‌کنید؟ آیا تربیت نیروی انسانی در حوزه‌ی آموزش و پژوهش مرتبط با فناوری به میزان کافی وجود دارد یا خیر؟ کیفیت منابع انسانی تربیت شده در چه سطحی است؟</p>	تامین و تسهیل منابع کارکردهای حمایتی

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
انجمن الکترونیک قدرت دایر شده است اما خیلی فعال نیست. اما در کنفرانس ها و همایش ها به خوبی تبادل اطلاعات صورت می گیرد.	آیا همکاری های فناورانه بین بازیگران فعال در این زمینه اعم از خرید فناوری، لیسانس، همکاری تحقیق و توسعه و غیره وجود دارد یا خیر؟ همایش، کنفرانس و مجله ای در مورد این فناوری وجود دارد یا خیر؟ آیا نمایشگاه های تخصصی برای ارایه دستاوردهای کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟	انتشار دانش
سیاست گذاری و جهت دهی به این سیستم یکی از الزامات می باشد. البته کشور ما هنوز اولویت های خود را نشناخته و سردرگم است. باید اولویت ها را مشخص و رتبه بندی نماید. در ارتباط با بیمه به عقیده من در ادوات با بالا که در انتقال هستند ما نباید وارد ساخت شویم و امکان ساخت برای ما وجود ندارد اما در حوزه ادوات شبکه توزیع نیز نیاز به بیمه به آن صورت وجود ندارد زیرا قطعاً یک شبکه توزیعی به شما سفارش داده و شما تجهیز را ساخته اید و قطعاً خود شبکه توزیع باید اجازه تست را به شما بدهد و در این حوزه خسارت ها به سنگینی حوزه شبکه انتقال نیست.	آیا یک هدف کاملاً مشخص و مشترک برای نظام وجود دارد؟ آیا فعالیت های کارآفرینی در این حوزه ی فناورانه جهت دهی شده است؟ آیا منابع مالی و انسانی در جهت توسعه فعالیت های است یا خیر؟ آیا سیاست های دولت در جهت حمایت از فعالیت های کارآفرینی هست یا خیر؟	جهت دهی به سیستم
مقاومت در برابر تغییر در همه حوزه ها وجود دارد و مختص این حوزه نیست و سازنده باید با بازیابی قوی بتواند خریدار را توجیه و ترغیب نماید که با استفاده از این ادوات بهبود و عایدی برایشان ایجاد می شود.	آیا سرمایه گذاری در تکنولوژی به عنوان یک تصمیم مشروع پذیرفته شده است؟ (مشروعیت بخشی اتفاق افتاده است یا خیر)؟ آیا مقاومت زیادی در جهت تغییر وجود دارد؟ این مقاومت از کجا نشات می گیرد؟ آیا فعالیت های مشروعیت بخشی منجر به تخصیص منابع به فعالیت های کارآفرینی شده است یا خیر؟	مشروعیت بخشی
در حوزه هایی مانند FACTS و HVDC به دلیل نیاز به سرمایه گذاری بالا، تنها دولت می تواند وارد این مقوله شود. اما در ادواتی مانند CUPS که در دنیا خیلی مورد استفاده قرار نگرفته اند، و به تعبیری لوکس هستند، بازاری به آن صورت وجود ندارد و شرکت های توزیع باید با تدوین استانداردها و آیین نامه هایی در ارتباط با کیفیت توان، جریمه کیفیت توان تعیین نمایند. در ارتباط با سایر ادوات حمل و نقل الکتریکی و سیستم تحریک استاتیک بازار اولیه وجود دارد و نیازی به سرمایه گذاری دولت نیست. تنها باید از تولید داخل حمایت شود.	آیا بازار اولیه شکل گرفته است؟ اندازه ی آن را چقدر است؟ آیا این بازار باعث جهت دهی به سیستم برای توسعه ی فعالیت های کارآفرینی شده است یا خیر؟ آیا جذابیت بازار باعث ورود کارآفرینان جدید شده است یا خیر؟	کارکردهای حاشیه ای شکل دهی بازار

## جدول (۲-۱۰): مصاحبه با دکتر معلم (هیئت علمی دانشگاه صنعتی اصفهان)

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
شرکت‌های دانش‌بنیان وارد این حوزه شده اند. البته تعداد این شرکت‌ها با توجه به گستردگی کاربرد این حوزه بسیار کم است. و شاید به علت حمایت بسیار کم از این شرکت‌ها می‌باشد. تعداد افراد متمایل به ادامه تحصیل زیاد شده است اما اینکه چند درصد از آن‌ها موفق به دایر کردن یک شرکت می‌شوند را نمی‌دانم. سرمایه‌گذار خطرپذیر در این حوزه‌ها نداریم.	آیا شرکت‌های دانش‌بنیان به منظور توجیه اقتصادی فناوری کافی هستند؟ آیا فعالیتهای کارآفرینی دارای کیفیت خوبی هستند؟ نرخ ورود کارآفرینان در این حوزه را چگونه برآورد می‌کنید (آیا کارآفرینان جدید وارد سیستم می‌شوند)؟ سرمایه‌گذاری خطرپذیر که منجر به توجیه اقتصادی می‌شود، وجود دارد یا خیر؟	کارآفرینی
دانش فنی در مجموع خوب است و وضعیت دانشگاه‌ها مناسب می‌باشد. معمولاً پروژه‌هایی از صنعت برق تعریف می‌شوند و دانشجویان به عنوان پایان‌نامه بر روی آن کار می‌نمایند و بر این اساس تعریف پروژه‌ها بر مبنای نیاز صنعت برق شکل می‌گیرد البته در بعضی از زمینه‌ها مانند HVDC و سیستم تحریک استاتیک این موضوع کمرنگ تر است.	وضعیت دانش پایه موجود در نظام در ارتباط با کمیت و کیفیت آن چگونه است؟ دانش موجود در سیستم بنیادی است یا کاربردی (توانمندی فناوریانه کشور در چه سطحی قرار دارد)؟ آیا تعداد پروژه‌های پژوهشی و اختراع و مقاله و پتنت به مقدار کافی موجود است؟ آیا یک جایگاه بین‌المللی پیشرو، برنامه‌های راه‌اندازی و ارجاعات فراوان به مقاله در نظام وجود دارد؟ آیا توسعه دانش صورت گرفته در نظام تقاضا محور است؟	کارکردهای کلیدی  توسعه دانش
در این حوزه‌ها باید حمایت دولت باشد. صندوق‌های موجود حمایت زیادی نمی‌کنند و به ندرت می‌توان از آنها وام اخذ نمود و در صورت اخذ وام پس از رفت و آمدهای طولانی و گذر از بروکراسی اداری وام دریافتی کافی نمی‌باشد و بسیار با مقدار مناسب فاصله دارد. و البته اخذ وام برای شرکت‌های واقع در شهرستان‌ها به مراتب سخت‌تر و طولانی‌تر است. در زمینه نیروی انسانی دانشجویان و متخصصین خوبی در داخل کشور تربیت می‌شود اما دانشجویان با کیفیت بالا به دلیل عدم وجود امکانات بیشتر تمایل به خارج از کشور دارند. علاوه بر اینها، یکی از نقاط ضعف نبود آزمایشگاه مرجع است. باید بتوانیم هم تجهیزات وارداتی و ساخت داخل استاندارد تعریف نماییم. ما در حال حاضر توانایی گواهی استاندارد دادن (type test) نداریم. باید آزمایشگاه‌های مرجع و تخصصی با تجهیزات خاص خود و دستورالعمل تست استاندارد دایر نماییم. و برای آزمایشگاه خود certificate بگیریم.	آیا منابع مالی کافی برای توسعه فعالیتهای کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟ - میزان منابع دولتی چقدر است؟ کافی است یا خیر؟ - میزان سرمایه خطرپذیر چه قدر است؟ کافی است یا خیر؟ - سهولت دسترسی به این منابع را چگونه ارزیابی می‌کنید؟ آیا تربیت نیروی انسانی در حوزه‌ی آموزش و پژوهش مرتبط با فناوری به میزان کافی وجود دارد یا خیر؟ کیفیت منابع انسانی تربیت‌شده در چه سطحی است؟	تامین و تسهیل منابع  کارکردهای حمایتی

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
کنفرانس هایی نظیر کنفرانس برق، کنفرانس PETSTC در این زمینه ها برگزار می شوند. و اگر کسی مایل باشد دسترسی به سهولت انجام می پذیرد. در ارتباط با نمایشگاه تخصصی اطلاعی ندارم.	آیا همکاری های فناورانه بین بازیگران فعال در این زمینه اعم از خرید فناوری، لیسانس، همکاری تحقیق و توسعه و غیره وجود دارد یا خیر؟ همایش، کنفرانس و مجله ای در مورد این فناوری وجود دارد یا خیر؟ آیا نمایشگاه های تخصصی برای ارایه دستاوردهای کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟	انتشار دانش
در سیاست های کلان این حوزه ها به اندازه کافی مورد توجه قرار نمی گیرند. به عنوان نمونه در حوزه انرژی های تجدیدپذیر باید به تفکیک اجزای هریک از این مجموعه اولویت بندی و سیاست گذاری می شد.	آیا یک هدف کاملاً مشخص و مشترک برای نظام وجود دارد؟ آیا فعالیت های کارآفرینی در این حوزه فناوری فناورانه جهت دهی شده است؟ آیا منابع مالی و انسانی در جهت توسعه فعالیت های است یا خیر؟ آیا سیاست های دولت در جهت حمایت از فعالیت های کارآفرینی هست یا خیر؟	جهت دهی به سیستم
اصولاً بر روی سیستم های جدید مقاومت وجود دارد و سازنده باید با توجیه بسیار قوی و با تضمین خریدار را قانع کند. فرهنگ سازی لازم است و با استفاده از سیستم تشویقی و نمایشگاه های تخصصی مشروعیت ایجاد نماییم.	آیا سرمایه گذاری در تکنولوژی به عنوان یک تصمیم مشروع پذیرفته شده است؟ (مشروعیت بخشی اتفاق افتاده است یا خیر)؟ آیا مقاومت زیادی در جهت تغییر وجود دارد؟ این مقاومت از کجا نشات می گیرد؟ آیا فعالیت های مشروعیت بخشی منجر به تخصیص منابع به فعالیت های کارآفرینی شده است یا خیر؟	مشروعیت بخشی
بازار اولیه شکل گرفته است البته از ساخت داخل استقبال نمی شود و متأسفانه چون نظارت و تست در زمینه واردات وجود ندارد کالاهای وارداتی نیز مطلوبیت کافی را ندارند. باید مراجعی تشکیل شوند و واردات بر مبنای استاندارد صورت گیرد. کارآفرین ها اگر بخواهند وارد بازار شوند باید توجیه اقتصادی داشته باشند. به عنوان نمونه HVDC اصلاً توجیه اقتصادی ندارد.	آیا بازار اولیه شکل گرفته است؟ اندازهی آن را چقدر است؟ آیا این بازار باعث جهت دهی به سیستم برای توسعهی فعالیت های کارآفرینی شده است یا خیر؟ آیا جذابیت بازار باعث ورود کارآفرینان جدید شده است یا خیر؟	کارکردهای حاشیه ای شکل دهی بازار

## جدول (۲-۱۱): مصاحبه با دکتر توکلی بینا (هیئت علمی دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی)

موتور محرک کارآفرینی	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	توضیحات
کارآفرینی	<p>آیا شرکت‌های دانش‌بنیان به منظور توجیه اقتصادی فناوری کافی هستند؟</p> <p>آیا فعالیتهای کارآفرینی دارای کیفیت خوبی هستند؟</p> <p>نرخ ورود کارآفرینان در این حوزه را چگونه برآورد می‌کنید (آیا کارآفرینان جدید وارد سیستم می‌شوند)؟</p> <p>سرمایه‌گذاری خطرپذیر که منجر به توجیه اقتصادی می‌شود، وجود دارد یا خیر؟</p>	<p>چند شرکت کارآفرین می‌شناسم اما نمی‌توانم انتظار داشت که در سطح شرکت‌هایی همچون زیمنس باشند. و خیلی قابلیت بالایی ندارند.</p> <p>از علل عدم ورود بخش‌های خصوصی به این حوزه‌ها بازگشت سرمایه پایین و سرمایه اولیه زیاد است.</p>
کارکردهای کلیدی	<p>وضعیت دانش پایه موجود در نظام در ارتباط با کمیت و کیفیت آن چگونه است؟</p> <p>دانش موجود در سیستم بنیادی است یا کاربردی (توانمندی فناوریانه کشور در چه سطحی قرار دارد)؟</p> <p>آیا تعداد پروژه‌های پژوهشی و اختراع و پتنت به مقدار کافی موجود است؟</p> <p>آیا یک جایگاه بین‌المللی پیشرو، برنامه‌های راه‌اندازی و ارجاعات فراوان به مقاله در نظام وجود دارد؟</p> <p>آیا توسعه دانش صورت گرفته در نظام تقاضا محور است؟</p> <p>آیا فناوری با نیازهای نظام نوآوری هماهنگ و مرتبط است؟</p>	<p>وضعیت دانش پایه در کشور خوب است و مشکلی در دانش فنی نداریم.</p>
توسعه دانش	<p>آیا منابع مالی کافی برای توسعه فعالیتهای کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟</p> <p>- میزان منابع دولتی چقدر است؟ کافی است یا خیر؟</p> <p>- میزان سرمایه خطرپذیر چقدر است؟ کافی است یا خیر؟</p> <p>- سهولت دسترسی به این منابع را چگونه ارزیابی می‌کنید؟</p> <p>آیا تربیت نیروی انسانی در حوزه‌ی آموزش و پژوهش مرتبط با فناوری به میزان کافی وجود دارد یا خیر؟</p> <p>کیفیت منابع انسانی تربیت شده در چه سطحی است؟</p>	<p>مشکل اصلی ما این است که برای ورود به این حوزه‌ها سرمایه کلانی لازم است و کمتر افرادی وجود دارند که هم از سطح دانش فنی خوبی برخوردار باشند و هم سرمایه زیادی داشته باشند، لذا ما ناگزیریم که از بانک‌ها و صندوق‌های موجود وام اخذ نماییم که متأسفانه علاوه بر اینکه سقف وام این مراکز بسیار کم است بهره وام‌هایشان نیز برای کارهای صنعتی و تولیدی بسیار زیاد است.</p> <p>بازار ایران بازار بسیار خوبی است و قدرت جذب بالایی دارد ولی موانعی از قبیل هزینه سرمایه‌گذاری و وامل جانبی همچون بیمه اجازه کار را نمی‌دهند. در اولین گام شروع به کار بیمه با توجه به قوانینی که تصویب نموده مزاحم کار ما می‌شود. به علاوه نیروی کاری که شما به خدمت می‌گیرید به درآمد نیاز دارد و پس از آموزش انتظار می‌رود چندسال برای شما کار کند که البته از آن پس نگهداشت نیرو مشکل می‌شود.</p> <p>مشکل دیگر این است که متأسفانه وضعیت دانشجویی به</p>
تامین و تسهیل منابع		
کارکردهای حمایتی		

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
<p>خصوص در سالهای اخیر با توجه به افزایش ظرفیت دانشگاه ها خوب نیست و کیفیت دانشجویان به شدت افت کرده است.</p> <p>نیاز به آزمایشگاه مرجع در الکترونیک قدرت یک ضرورت جدی است.</p>		
<p>تعاملات میان بازیگران این حوزه در سطح قابل قبولی نیست و ارتباطاتشان سازمان یافته نمی باشد.</p> <p>کنفرانس هایی در این زمینه ها برگزار می شود اما متأسفانه تعامل و تبادل نظر و گفتگو میان شرکت کنندگان صورت نمی گیرد.</p> <p>متأسفانه مهم ترین مشکل ما در ایران این است که کارگروهی را نمی توانیم به خوبی کار افرادی انجام دهیم. اگر بتوان ارتباطات را در قالب یک شبکه اجتماعی مدیریت کرد می توان اطلاعات را تبادل نمود.</p> <p>همچنین می توان یک ارگان رسمی مانند انجمن الکترونیک قدرت را مسئول سطح بندی شرکت ها کرد و شرکت ها را با مراکز آموزشی درگیر نمود.</p>	<p>آیا همکاری های فناورانه بین بازیگران فعال در این زمینه اعم از خرید فناوری، لیسانس، همکاری تحقیق و توسعه و غیره وجود دارد یا خیر؟</p> <p>همایش، کنفرانس و مجله ای در مورد این فناوری وجود دارد یا خیر؟</p> <p>آیا نمایشگاه های تخصصی برای ارایه دستاوردهای کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟</p>	انتشار دانش
-	<p>آیا یک هدف کاملاً مشخص و مشترک برای نظام وجود دارد؟</p> <p>آیا منابع مالی و انسانی در جهت توسعه فعالیت های است یا خیر؟</p> <p>آیا سیاست های دولت در جهت حمایت از فعالیت های کارآفرینی هست یا خیر؟</p>	جهت دهی به سیستم
-	<p>آیا سرمایه گذاری در تکنولوژی به عنوان یک تصمیم مشروع پذیرفته شده است؟ (مشروعیت بخشی اتفاق افتاده است یا خیر؟)</p> <p>آیا مقاومت زیادی در جهت تغییر وجود دارد؟ این مقاومت از کجا نشات می گیرد؟</p> <p>آیا فعالیت های مشروعیت بخشی منجر به تخصیص منابع به فعالیت های کارآفرینی شده است یا خیر؟</p>	مشروعیت بخشی کارکردهای حاشیه ای
<p>بازار ایران، قدرت جذب بسیار زیادی دارد. بازار اولیه برای این تجهیزات وجود دارد. دولت باید زیرساخت ها را درست کند اولین قدم در این زمینه نیز ایجاد بستر مخابراتی خوب می باشد.</p> <p>با آیین نامه مشکل کشور ما حل نمی شود باید زیرساخت ها</p>	<p>آیا بازار اولیه شکل گرفته است؟ اندازه ی آن را چقدر است؟</p> <p>آیا این بازار باعث جهت دهی به سیستم برای توسعه ی فعالیت های کارآفرینی شده است یا خیر؟</p> <p>آیا جذابیت بازار باعث ورود کارآفرینان جدید شده است یا خیر؟</p>	شکل دهی بازار

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
<p>به وجود آید، توانیر آیین نامه کیفیت توان را خود نمی تواند اجرا کند.</p> <p>نتیجه تعرفه گذاری در خودرو منفی بودبهرتر است برنامه تعرفه را به تولیدکننده به صورت سوبسید کمک کنند و اگر از قواعد کیفی فاصله گرفت کمک ها را از او سلب کنند و اجازه دهیم بازار آزاد باشد.</p>		

## جدول (۲-۱۲): مصاحبه با دکتر مختاری (هیئت علمی دانشگاه شریف)

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
<p>شرکت‌هایی در این زمینه ها فعال هستند البته بیشتر در کارهای کوچک فعالیت می کنند و در کارهای بزرگ تولیدی وارد نمی شوند.</p> <p>نرخ ورود خوب نیست زیرا بازار الکترونیک قدرت در حیطه وزارت نیرو است. و سردرگمی بازار و چندمتولی بودن (با تغییر مدیریت) دلایلی بر عدم ورود شرکت‌ها در این حوزه‌ها می شوند.</p>	<p>آیا شرکت‌های دانش‌بنیان به منظور توجیه اقتصادی فناوری کافی هستند؟</p> <p>آیا فعالیتهای کارآفرینی دارای کیفیت خوبی هستند؟</p> <p>نرخ ورود کارآفرینان در این حوزه را چگونه برآورد می کنید (آیا کارآفرینان جدید وارد سیستم می شوند)؟</p> <p>سرمایه گذاری خطرپذیر که منجر به توجیه اقتصادی می شود، وجود دارد یا خیر؟</p>	کارآفرینی
<p>از نظر دانش پایه مشکلی در دانشگاه‌ها نداریم. در بسیاری از دانشگاه‌ها پروژه‌های ساخت کوچک وجود دارد که متأسفانه به تولید و تجاری سازی نرسیده اند.</p>	<p>وضعیت دانش پایه موجود در نظام در ارتباط با کمیت و کیفیت آن چگونه است؟</p> <p>دانش موجود در سیستم بنیادی است یا کاربردی (توانمندی فناوریانه کشور در چه سطحی قرار دارد)؟</p> <p>آیا تعداد پروژه‌های پژوهشی و اختراع و مقاله و پتنت به مقدار کافی موجود است؟</p> <p>آیا یک جایگاه بین المللی پیشرو، برنامه‌های راه اندازی و ارجاعات فراوان به مقاله در نظام وجود دارد؟</p> <p>آیا توسعه دانش صورت گرفته در نظام تقاضا محور است؟</p>	کارکردهای کلیدی  توسعه دانش
<p>مشکل اصلی عدم دستیابی به تولید و تجاری سازی دانش فنی کسب شده توسط محققین، پول و مکانیزم اجرایی است. منابع صندوق ها کافی نیست و مبلغ وام بسیار کم است و نمی توان با این مبالغ حتی نمونه اول را ساخت چه برسد به تولید و تجاری سازی! بهره‌های بانکی زیاد هستند و در حال حاضر حدود ۱۶٪ بهره می گیرند که البته در عمل ۲۲٪ می</p>	<p>آیا منابع مالی کافی برای توسعه فعالیتهای کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟</p> <p>- میزان منابع دولتی چقدر است؟ کافی است یا خیر؟</p> <p>- میزان سرمایه خطرپذیر چه قدر است؟ کافی است یا خیر؟</p> <p>- سهولت دسترسی به این منابع را چگونه ارزیابی می کنید؟</p>	تامین و تسهیل منابع  کارکردهای حمایتی



توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
<p>شود. و از آنجایی که متأسفانه پس از تحویل تجهیز، پول آن به موقع دریافت نمی شود ممکن است با طولانی شدن این زمان حتی منجر به ورشکستگی شرکت شود. زیرا به منظور کسب سهم بازار مجبور به پایین آوردن قیمت با دریافت سود ۱۰-۱۵٪ نیز بوده ایم.</p> <p>نیروی متخصص که کار high-tech انجام دهند بسیار کم هستند و توان بالا سازنده های بسیار کمی داریم.</p>	<p>آیا تربیت نیروی انسانی در حوزه ی آموزش و پژوهش مرتبط با فناوری به میزان کافی وجود دارد یا خیر؟</p> <p>کیفیت منابع انسانی تربیت شده در چه سطحی است؟</p>	
-	<p>آیا همکاری های فناورانه بین بازیگران فعال در این زمینه اعم از خرید فناوری، لیسانس، همکاری تحقیق و توسعه و غیره وجود دارد یا خیر؟</p> <p>همایش، کنفرانس و مجله ای در مورد این فناوری وجود دارد یا خیر؟</p> <p>آیا نمایشگاه های تخصصی برای ارایه دستاوردهای کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟</p>	انتشار دانش
<p>مشکل اساسی ما در مکانیزم اجرا است. باید با استفاده از پتانسیل های موجود و شناسایی سازندگان توانمند بالقوه کار را پیش ببریم و این سازندگان را با یک مرکز تحقیق و توسعه مانند دانشگاهها متصل نماییم و البته اگر پژوهشگاه در زمینه های تحقیقاتی وارد عمل نشود می تواند نقش یک رابط را میان این دو داشته باشد.</p> <p>نقش های اجرایی هریک از سازمان ها باید مشخص باشد مشکل عمده ما در مدیریت است نه دانش فنی.</p>	<p>آیا یک هدف کاملاً مشخص و مشترک برای نظام وجود دارد؟</p> <p>آیا فعالیت های کارآفرینی در این حوزه ی فناورانه جهت دهی شده است؟</p> <p>آیا منابع مالی و انسانی در جهت توسعه فعالیت های است یا خیر؟</p> <p>آیا سیاست های دولت در جهت حمایت از فعالیت های کارآفرینی هست یا خیر؟</p>	جهت دهی به سیستم
-	<p>آیا سرمایه گذاری در تکنولوژی به عنوان یک تصمیم مشروع پذیرفته شده است؟ (مشروعیت بخشی اتفاق افتاده است یا خیر)؟</p> <p>آیا مقاومت زیادی در جهت تغییر وجود دارد؟ این مقاومت از کجا نشات می گیرد؟</p> <p>آیا فعالیت های مشروعیت بخشی منجر به تخصیص منابع به فعالیت های کارآفرینی شده است یا خیر؟</p>	مشروعیت بخشی
<p>بازار بسیار مبهم و نامشخص است.</p> <p>تدوین استاندارد و الزامی نمودن آن در زمینه cups زمانی می تواند مثر و واقع شود که قیمت برق واقعی شود و هزینه کاهش کیفیت توان روی قبض برق مشخص شود.</p> <p>در حوزه انرژی های تجدیدپذیر نیز سرمایه گذار بخش خصوصی وارد نمی شود زیرا بازگشت سرمایه در این حوزه</p>	<p>آیا بازار اولیه شکل گرفته است؟ اندازه ی آن را چقدر است؟</p> <p>آیا این بازار باعث جهت دهی به سیستم برای توسعه ی فعالیت های کارآفرینی شده است یا خیر؟</p> <p>آیا جذابیت بازار باعث ورود کارآفرینان جدید شده است یا خیر؟</p>	شکل دهی بازار

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
بسیار پایین است و برای سرمایه گذار با توجه به وجود پروژه های کوچک تر و زودبازده تر همچون پروژه های عمرانی صرفه اقتصادی ندارد. ما مشکل شناخت بازار داریم نمی دانیم چگونه می توانیم بازار را مدیریت نماییم. باید برآوردی از بازار به صورت عدد و رقم وجود داشته باشد.		

## جدول (۲-۱۳): مصاحبه با دکتر بنایی (هیئت علمی دانشگاه شهید مدنی تبریز)

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
شرکت های دانش بنیان کم و بیش در این حوزه وجود دارند. کیفیت این شرکت ها در حال حاضر پایین است اما به مرور بهتر خواهد شد. در واقع اغلب این شرکت ها فقط عنوان یک شرکت دانش بنیان را دارند و از نظر دانش تئوری ضعیف هستند.	آیا شرکت های دانش بنیان به منظور توجیه اقتصادی فناوری کافی هستند؟ آیا فعالیتهای کارآفرینی دارای کیفیت خوبی هستند؟ نرخ ورود کارآفرینان در این حوزه را چگونه برآورد می کنید (آیا کارآفرینان جدید وارد سیستم می شوند)؟ سرمایه گذاری خطرپذیر که منجر به توجیه اقتصادی می شود، وجود دارد یا خیر؟	کارآفرینی
به لحاظ دانش مشکلی نداریم و کیفیت آنها نیز خوب و قابل قبول است. ضعف ما در تبدیل دانش به تجهیز و سپس تجاری سازی آن است. انتخاب موضوع پروژه های دانشگاهی و مقالات تا به حال بر اساس مرزهای دانش بوده است. البته سعی می شود نگاهی به صنعت نیز داشته باشیم.	وضعیت دانش پایه موجود در نظام در ارتباط با کمیت و کیفیت آن چگونه است؟ دانش موجود در سیستم بنیادی است یا کاربردی (توانمندی فناورانه کشور در چه سطحی قرار دارد)؟ آیا تعداد پروژه های پژوهشی و اختراع و مقاله و پتنت به مقدار کافی موجود است؟ آیا یک جایگاه بین المللی پیشرو، برنامه های راه اندازی و ارجاعات فراوان به مقاله در نظام وجود دارد؟ آیا توسعه دانش صورت گرفته در نظام تقاضا محور است؟ آیا فناوری با نیازهای نظام نوآوری هماهنگ و مرتبط است؟	کارکردهای کلیدی توسعه دانش
تا به حال وام نگرفته ام اما فکر می کنم گرفتن وام مشکل باشد و همچنین بهره وام های بانکی بسیار زیاد است و کارهای پژوهشی وام های بهره کم لازم دارند. هر ساله کیفیت دانشجویان افت می کند زیرا انگیزه برای ادامه تحصیل در کشور ندارند و غالباً دانشجویان با کیفیت نیز از کشور مهاجرت می کنند.	آیا منابع مالی کافی برای توسعه فعالیتهای کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟ - میزان منابع دولتی چقدر است؟ کافی است یا خیر؟ - میزان سرمایه خطرپذیر چه قدر است؟ کافی است یا خیر؟ - سهولت دسترسی به این منابع را چگونه ارزیابی می کنید؟ آیا تربیت نیروی انسانی در حوزه آموزش و پژوهش مرتبط با	تامین و تسهیل منابع کارکردهای حمایتی

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
<p>در اینجا ضعف وزارت علوم در بورسیه کردن دانشجویان و تامین شغل مناسب پس از فارغ التحصیلی دیده می شود. باید پژوهشکده های فعال و مناسبی تاسیس گردند و دانشجویان نخبه و خوب را جذب نمایند. باید حس توانمندی در آنها ایجاد شود و این انگیزه با ایجاد این حس که می توانند وارد بازار (در صورت وجود) شده و خصوصی برای خود کار کنند، به وجود می آید.</p> <p>از منظر آزمایشگاه ضعف های بسیار زیاد وجود دارد. در زمینه HVDC و FACTS ما ضعف های بسیار زیادتر داریم.</p> <p>به علاوه بعضی از تجهیزات آزمایشگاهی مانند DSP هستند که هر کسی نمی تواند با آن ها کار کند. و ضعف نیروی ماهر نیز در این زمینه ها وجود دارد.</p> <p>ضعف آزمایشگاه برای تمامی تجهیزات نیز محرز می باشد. اداره استاندارد باید استانداردهایی را برای تست این تجهیزات در نظر بگیرد که متاسفانه سطح این اداره از دانشگاه ها پایین تر بوده و نیاز به آموزش دارند تا بتوانند از کار ما ایراد بگیرند.</p>	<p>فناوری به میزان کافی وجود دارد یا خیر؟ کیفیت منابع انسانی تربیت شده در چه سطحی است؟</p>	
<p>کنفرانس های زیادی در این زمینه برگزار می شوند. برگزاری نمایشگاه تخصصی را نمی دانم.</p>	<p>آیا همکاری های فناورانه بین بازیگران فعال در این زمینه اعم از خرید فناوری، لیسانس، همکاری تحقیق و توسعه و غیره وجود دارد یا خیر؟</p> <p>همایش، کنفرانس و مجله ای در مورد این فناوری وجود دارد یا خیر؟</p> <p>آیا نمایشگاه های تخصصی برای ارایه دستاوردهای کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟</p>	انتشار دانش
<p>اتاق فکر و تصمیم گیری های وزارت نیرو محصور به خودش است و در عمل اجرایی نمی شوند به عنوان مثال وزارت نیرو وام با بهره ۴٪ را برای کارهای تحقیقاتی مناسب می داند در صورتی که بانک ها نمی پذیرند.</p> <p>در کشور ما بهره وام ها زیاد است و اقتصاد ما بر پایه دلالی می باشد.</p> <p>جهت گیری ها باید بر پایه اولویت های کشور باشد من فکر می کنم انرژی های خورشیدی و سیستم حمل و نقل الکتریکی و مترو و باتری ها و سیستم تحریک استاتیک و سپس ادوات CUPS اولویت های ما هستند.</p> <p>برنامه ریزی برای HVDC و FACTS هنوز برای ما زود</p>	<p>آیا یک هدف کاملاً مشخص و مشترک برای نظام وجود دارد؟</p> <p>آیا فعالیت های کارآفرینی در این حوزه ی فناورانه جهت دهی شده است؟</p> <p>آیا منابع مالی و انسانی در جهت توسعه فعالیت های است یا خیر؟</p> <p>آیا سیاست های دولت در جهت حمایت از فعالیت های کارآفرینی هست یا خیر؟</p>	جهت دهی به سیستم

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
<p>است. البته این به این معنا نیست که ما نیازمند این تجهیزات نیستیم بلکه سیاست گذاران ما متوجه این موضوعات نیستند و در جای دیگر تلفات سنگینی را خودشان ایجاد می کنند که به سادگی می توان از آنها جلوگیری کرد.</p>		
<p>شاید لازم باشد سازوکارهایی برای فرهنگ سازی برای استفاده از سلول خورشیدی و توربین بادی در سطح خانگی در نظر گرفت.</p>	<p>آیا سرمایه گذاری در تکنولوژی به عنوان یک تصمیم مشروع پذیرفته شده است؟ (مشروعیت بخشی اتفاق افتاده است یا خیر)؟</p> <p>آیا مقاومت زیادی در جهت تغییر وجود دارد؟ این مقاومت از کجا نشات می گیرد؟</p> <p>آیا فعالیت های مشروعیت بخشی منجر به تخصیص منابع به فعالیت های کارآفرینی شده است یا خیر؟</p>	<p>مشروعیت بخشی</p>
<p>توانیر باید با تنظیم قوانین و استانداردهای کیفیت توان مشتریانی که شبکه را با مخاطره مواجه می کنند را جریمه کند. و این خود بازار مناسبی برای ادوات cups فراهم می کند که البته این بازار کاذب نیست و کیفیت توان شبکه به مرور به مشکل جدی تبدیل خواهد شد.</p> <p>با توجه به پایین آمدن قیمت نفت شاید تبدیل آن به برق و فروش برق به صرفه بوده و همین امر خود موجب بالا بردن کیفیت برق برای تامین رضایت مشتری شود.</p> <p>با توجه به اینکه بازگشت سرمایه انرژی های تجدید پذیر حدود ۱۵ سال (زمان زیادی نسبت به ۶ سال) می باشد گرایش به این سمت تا زمان آزاد شدن سوبسید برق به وجود نخواهد آمد.</p> <p>بازار اولیه برای مبدل های انرژی های تجدیدپذیر و سیستم حمل و نقل الکتریکی و سیستم تحریک ایجاد شده است.</p> <p>در نگاه اول به نظر می رسد با تعرفه واردات می توان از تولید داخلی حمایت کرد ولی در عمل تجهیزات خارجی گران شده و به دلیل عدم تمایل در استفاده از تجهیزات داخلی کار متوقف می شود و این اتفاق در خط مترو تبریز رخ داد.</p>	<p>آیا بازار اولیه شکل گرفته است؟ اندازهی آن را چقدر است؟</p> <p>آیا این بازار باعث جهت دهی به سیستم برای توسعهی فعالیت های کارآفرینی شده است یا خیر؟</p> <p>آیا جذابیت بازار باعث ورود کارآفرینان جدید شده است یا خیر؟</p>	<p>کارکردهای حاشیه ای</p> <p>شکل دهی بازار</p>

## جدول (۲-۱۴): مصاحبه با دکتر عجمی (هیئت علمی دانشگاه شهید مدنی تبریز)

موتور محرک کارآفرینی	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	توضیحات
کارآفرینی	<p>آیا شرکت‌های دانش‌بنیان به منظور توجیه اقتصادی فناوری کافی هستند؟</p> <p>آیا فعالیتهای کارآفرینی دارای کیفیت خوبی هستند؟</p> <p>نرخ ورود کارآفرینان در این حوزه را چگونه برآورد می‌کنید (آیا کارآفرینان جدید وارد سیستم می‌شوند)؟</p> <p>سرمایه‌گذاری خطرپذیر که منجر به توجیه اقتصادی می‌شود، وجود دارد یا خیر؟</p>	<p>شرکت‌های دانش‌بنیانی در این زمینه‌ها وجود دارند که در کیفیت متوسط هستند و البته نباید انتظار داشته باشیم کیفیت کار آنها در حد شرکت‌های بزرگی همچون زیمنس باشد.</p> <p>سرمایه‌گذار خطرپذیر وجود ندارد زیرا بازار مطمئنی برای این تجهیزات وجود ندارد و از سودآوری خود مطمئن نمی‌باشند متأسفانه در حال حاضر سود بیشتر در دلالتی است. البته با اقداماتی همچون وضع قوانین کیفیت توان و الزامی شدن آنها می‌توان انتظار داشت حضور این شرکت‌ها در زمینه CUPS افزایش خواهد یافت.</p>
کارکردهای کلیدی	<p>وضعیت دانش پایه موجود در نظام در ارتباط با کمیت و کیفیت آن چگونه است؟</p> <p>دانش موجود در سیستم بنیادی است یا کاربردی (توانمندی فناوریانه کشور در چه سطحی قرار دارد)؟</p> <p>آیا تعداد پروژه‌های پژوهشی و اختراع و مقاله و پتنت به مقدار کافی موجود است؟</p> <p>آیا یک جایگاه بین‌المللی پیشرو، برنامه‌های راه‌اندازی و ارجاعات فراوان به مقاله در نظام وجود دارد؟</p> <p>آیا توسعه دانش صورت گرفته در نظام تقاضا محور است؟</p> <p>آیا فناوری با نیازهای نظام نوآوری هماهنگ و مرتبط است؟</p>	<p>تحصیلات تکمیلی و اساتید دانشگاه‌ها در سطح خوبی هستند. و در سطح آزمایشگاهی کارهای بسیار ارزنده و موفقی داشته‌اند.</p> <p>موضوعات پایان‌نامه‌ها بیشتر بر مبنای مرزهای دانشی تعریف می‌شوند و نیازسنجی در این ارتباط صورت نگرفته است.</p> <p>در حدود 1/4 مقالات منتشر در مجلات معتبر برای ایرانیان می‌باشد.</p>
کارکردهای حمایتی	<p>آیا منابع مالی کافی برای توسعه فعالیتهای کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟</p> <p>- میزان منابع دولتی چقدر است؟ کافی است یا خیر؟</p> <p>- میزان سرمایه‌گذار خطرپذیر چه قدر است؟ کافی است یا خیر؟</p> <p>- سهولت دسترسی به این منابع را چگونه ارزیابی می‌کنید؟</p> <p>آیا تربیت نیروی انسانی در حوزه‌ی آموزش و پژوهش مرتبط با فناوری به میزان کافی وجود دارد یا خیر؟</p> <p>کیفیت منابع انسانی تربیت‌شده در چه سطحی است؟</p>	<p>شرکت‌ها غالباً از آیین‌نامه‌های مصوب شده‌ای در زمینه‌هایی همچون وام و تخفیف‌های مالیاتی و ... که به مرحله اجرا نمی‌رسند و یا کامل اجرا نمی‌شوند شکایت دارند.</p> <p>سقف وام صندوق‌های موجود برای تحقیق و توسعه در زمینه‌های الکترونیک قدرت بسیار کم است.</p> <p>در زمینه نیروی انسانی متخصصین و دانشجویان بسیار خوبی در کشور وجود دارند.</p> <p>متأسفانه ضعف آزمایشگاه مرجع در کشور وجود دارد به علاوه آزمایشگاه‌های دانشگاه‌ها نیز برای فعالیت‌های علمی از تجهیزات متوسطی برخوردار هستند.</p>

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
کنفرانس بین المللی PETSTD کنفرانس بسیار خوبی است. اما متأسفانه تنها در تهران برگزار می شود و شاید بهتر باشد به صورت دوره‌ای در شهرستان‌ها نیز برگزار شود. با توجه به پتانسیل‌های بسیار خوبی که در خطه آذربایجان وجود دارد ما در نظر داریم در انجمن الکترونیک قدرت شاخه‌ای تحت عنوان آذربایجان را ایجاد نماییم. نمایشگاه تخصصی در این حوزه ها ندیده ام.	آیا همکاری‌های فناورانه بین بازیگران فعال در این زمینه اعم از خرید فناوری، لیسانس، همکاری تحقیق و توسعه و غیره وجود دارد یا خیر؟ همایش، کنفرانس و مجله‌ای در مورد این فناوری وجود دارد یا خیر؟ آیا نمایشگاه‌های تخصصی برای ارایه دستاوردهای کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟	انتشار دانش
انرژی‌های نو از اهداف کلان کشور می باشد و در نقشه جامع علمی کشور دیده شده است. سیاست گذاران در زمینه ادواتی که در شبکه توزیع کاربرد دارند همکاری خوبی دارند اما در حوزه شبکه انتقال این گونه نیست. قوانین و مقررات غالباً دست و پاگیر هستند در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر تولید کننده باید برق تولیدی خود را به وزارت نیرو بفروشد و وزارت نیرو به مشتری که این امر باعث می شود که تولیدکننده در مدت زمان بسیار طولانی تری به پول خود دست پیدا کند.	آیا یک هدف کاملاً مشخص و مشترک برای نظام وجود دارد؟ آیا فعالیت‌های کارآفرینی در این حوزه‌ی فناورانه جهت‌دهی شده است؟ آیا منابع مالی و انسانی در جهت توسعه فعالیت‌های است یا خیر؟ آیا سیاست‌های دولت در جهت حمایت از فعالیت‌های کارآفرینی هست یا خیر؟	جهت‌دهی به سیستم
همواره مقاومت وجود داشته و وجود خواهد داشت. همواره منافع اقتصادی یک پارامتر بسیار مهم می باشد و تولید کننده باید سعی کند اعتماد مشتری را جلب نماید.	آیا سرمایه‌گذاری در تکنولوژی به عنوان یک تصمیم مشروع پذیرفته شده است؟ (مشروعیت بخشی اتفاق افتاده است یا خیر؟) آیا مقاومت زیادی در جهت تغییر وجود دارد؟ این مقاومت از کجا نشات می‌گیرد؟ آیا فعالیت‌های مشروعیت‌بخشی منجر به تخصیص منابع به فعالیت‌های کارآفرینی شده است یا خیر؟	مشروعیت بخشی
در زمینه بهبود کیفیت توان قوانین و استانداردهایی باید تنظیم گردد و با الزامی شدن آنها بازار مناسبی برای ادوات CUPS فراهم می گردد. بازار اولیه برای مبدل‌ها شکل گرفته است و این بازار روبه رشد می باشد. در سایر زمینه‌ها بازار خاصی به وجود نیامده است. البته وجود بازار لزوماً دلالت بر وجود بازار برای تجهیزات داخلی نمی باشد و با توجه به غیررقابتی بودن ساخت داخل بازار خوبی برای چین ایجاد می شود لذا تعرفه واردات باید وجود داشته باشد.	آیا بازار اولیه شکل گرفته است؟ اندازه‌ی آن را چقدر است؟ آیا این بازار باعث جهت‌دهی به سیستم برای توسعه‌ی فعالیت‌های کارآفرینی شده است یا خیر؟ آیا جذابیت بازار باعث ورود کارآفرینان جدید شده است یا خیر؟	کارکردهای حاشیه‌ای شکل‌دهی بازار

## جدول (۲-۱۵): مصاحبه با دکتر منفرد (هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد)

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
شرکت‌های دانش بنیان با کیفیت متوسط در این حوزه‌ها شروع به کار کرده اند که البته نرخ ورودشان نیز رو به رشد است. سرمایه گذار خطرپذیر بسیار کم است و سرمایه گذاران با توجه به وجود رقبای زیادی همچون چین و کره تمایل زیادی برای سرمایه‌گذاری در این حوزه‌ها ندارند. البته در فرآیند تجاری‌سازی است که می‌توان رقابتی شد و با کسب سهم بازار می‌توان سودآوری داشت، لذا احتمالاً تعداد این سرمایه گذاران در حوزه هایی که بازار بهتری (تعداد) داشته باشند افزایش خواهد یافت.	آیا شرکت‌های دانش بنیان به منظور توجیه اقتصادی فناوری کافی هستند؟ آیا فعالیتهای کارآفرینی دارای کیفیت خوبی هستند؟ نرخ ورود کارآفرینان در این حوزه را چگونه برآورد می‌کنید (آیا کارآفرینان جدید وارد سیستم می‌شوند)؟ سرمایه‌گذاری خطرپذیر که منجر به توجیه اقتصادی می‌شود، وجود دارد یا خیر؟	کارآفرینی
وضعیت کار تئوری از منظر کمیت و کیفیت خوب است. البته این به این منظور نیست که ما بهترین مقالات را چاپ می‌نماییم بلکه از کشورهایی مانند کره به لحاظ کمی و کیفی عقب تر هستیم اما در مجموع وضعیت به نسبت خوبی داریم. تعریف پروژه‌ها و مقالات اصلا بر مبنای نیاز نیستند زیرا دانش ما خیلی از فناوری مورد استفاده در کشور جلوتر می‌باشد.	وضعیت دانش پایه موجود در نظام در ارتباط با کمیت و کیفیت آن چگونه است؟ دانش موجود در سیستم بنیادی است یا کاربردی (توانمندی فناورانه کشور در چه سطحی قرار دارد)؟ آیا تعداد پروژه‌های پژوهشی و اختراع و مقاله و پتنت به مقدار کافی موجود است؟ آیا یک جایگاه بین المللی پیشرو، برنامه‌های راه اندازی و ارجاعات فراوان به مقاله در نظام وجود دارد؟ آیا توسعه دانش صورت گرفته در نظام تقاضا محور است؟ آیا فناوری با نیازهای نظام نوآوری هماهنگ و مرتبط است؟	کارکردهای کلیدی  توسعه دانش
نیروی متخصص عالی نیستند اما حدود ۷۰ تا ۹۰ درصد آنها در سطح خوب هستند. از منظر تامین منابع مالی حمایت‌ها بسیار ضعیف است و در چند سال اخیر بسیار ضعیف تر شده است. نکته قابل توجه این است که هزینه پژوهشی و کسب دانش فنی بسیار بالا است به عنوان مثال هزینه پژوهشی برای ساخت هر تجهیز تقریباً ۱۰ تا ۱۰۰ برابر قیمت تمام شده پس از تجاری سازی می‌باشد که باید در حمایت از طرح های پژوهشی دیده شود. در تجهیزات الکترونیک قدرت قابلیت اطمینان پارامتر بسیار مهمی است لذا هزینه‌های پژوهشی بالا هستند به علاوه متخصصین این حوزه نسبت به سایر حوزه ها کمتر هستند و هزینه نیروی انسانی نیز بالا است. با وجود این هزینه‌ها نیاز به وام های درخور بسیار احساس می	آیا منابع مالی کافی برای توسعه فعالیتهای کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟ - میزان منابع دولتی چقدر است؟ کافی است یا خیر؟ - میزان سرمایه خطرپذیر چه قدر است؟ کافی است یا خیر؟ - سهولت دسترسی به این منابع را چگونه ارزیابی می‌کنید؟ آیا تربیت نیروی انسانی در حوزه‌ی آموزش و پژوهش مرتبط با فناوری به میزان کافی وجود دارد یا خیر؟ کیفیت منابع انسانی تربیت شده در چه سطحی است؟	تامین و تسهیل منابع  کارکردهای حمایتی

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
<p>شود که البته سقف وام‌های پرداختی نسبت به هزینه‌های این گونه پروژه‌ها بسیار ناچیز است (شاید در حد یک دهم) و به علاوه پس از تصویب پروپوزال برای اخذ وام با یک بروکراسی اداری بسیار طولانی مواجه می‌شوید که با توجه به میزان اعتبار تخصیص داده شده صرف نظر کردن از آن بسیار بهتر است و یا باید با استفاده از ارتباطات و کمک دوستان بروکراسی را دور زد و مسیر را کوتاه‌تر نمود.</p> <p>من خودم به شخصه در این زمینه تلاش نمودم و به نتیجه نرسیدم لذا اصلاً خوشبین نیستم. البته در شهرستان‌ها به علت دوری از تهران و کمتر بودن ارتباطات و روابط اخذ وام و ورود به این حوزه‌ها سخت‌تر است.</p> <p>در زمینه تجهیزات آزمایشگاهی واقعا ضعف وجود دارد. در بسیاری از کشورهای دنیا یک خط را از شبکه خارج می‌نمایند و به مدل برای تحقیقات تبدیل می‌کنند اما متأسفانه در کشور ما وجود ندارد.</p> <p>در واردات مواد اولیه نیز ضعف داریم. در کشوری مانند ترکیه پس از سفارش دهی طی حداکثر یک هفته قطعه دریافت می‌شود در صورتی که در ایران به علت تحریم، باید تا حد امکان با استفاده از تجهیزات و قطعات موجود کار کنیم.</p>		
<p>کنفرانس‌های متعددی در این زمینه‌ها برگزار می‌شود و بهترین این کنفرانس‌ها، کنفرانس PETSTC است.</p> <p>در زمینه تعاملات میان دانشگاهیان و صنعتگران ضعیف هستیم.</p> <p>نمایشگاه تخصصی به صورت قابل توجه نداریم البته علت اصلی آن این است که بازار فناوری در کشور نداریم.</p>	<p>آیا همکاری‌های فناورانه بین بازیگران فعال در این زمینه اعم از خرید فناوری، لیسانس، همکاری تحقیق و توسعه و غیره وجود دارد یا خیر؟</p> <p>همایش، کنفرانس و مجله‌ای در مورد این فناوری وجود دارد یا خیر؟</p> <p>آیا نمایشگاه‌های تخصصی برای ارایه دستاوردهای کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟</p>	انتشار دانش
<p>دستیابی به دانش فنی هزینه بر و زمان بر است اما متأسفانه در این زمینه برای سیاستگذاران فضای ذهنی وجود ندارد و قیمت خرید تجهیزات چینی را با هزینه سرمایه‌گذاری اولیه این تجهیزات مقایسه می‌نمایند و از آنجا که در این زمینه‌ها هزینه سرمایه‌گذاری به چندصد برابر می‌رسد حمایت نمی‌کنند.</p>	<p>آیا یک هدف کاملاً مشخص و مشترک برای نظام وجود دارد؟</p> <p>آیا فعالیت‌های کارآفرینی در این حوزه‌ی فناورانه جهت‌دهی شده است؟</p> <p>آیا منابع مالی و انسانی در جهت توسعه فعالیت‌های است یا خیر؟</p> <p>آیا سیاست‌های دولت در جهت حمایت از فعالیت‌های کارآفرینی هست یا خیر؟</p>	جهت‌دهی به سیستم
<p>در برابر هر تغییری مقاومت وجود دارد و طبیعی است. این سازنده است که باید بتواند از تجهیز خود دفاع نموده و اعتماد</p>	<p>آیا سرمایه‌گذاری در تکنولوژی به عنوان یک تصمیم مشروع پذیرفته شده است؟ (مشروعیت بخشی اتفاق افتاده است یا</p>	مشروعیت بخشی
		کارکردهای حاشیه‌ای



توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
<p>لازم را جلب نماید و مشتری را ترغیب به خرید کند.</p>	<p>خیر؟          آیا مقاومت زیادی در جهت تغییر وجود دارد؟ این مقاومت از کجا نشأت می‌گیرد؟          آیا فعالیت‌های مشروعیت‌بخشی منجر به تخصیص منابع به فعالیت‌های کارآفرینی شده است یا خیر؟</p>	
<p>تجهیزات FACTS و HVDC بازار خوبی ندارند و در واقع تقاضا برای این تجهیزات بسیار کم است و با توجه به هزینه بالای دانش فنی توجیه اقتصادی ندارد و از آن مهم‌تر این است که مشتری انحصاری این تجهیزات شرکت برق است که البته در شرایط فعلی وضعیت مناسبی ندارد و برای سازندگان مشتری کم‌اعتباری تلقی می‌شود تا آنجا که حتی بانک‌ها نیز حاضر به اعطای وام به آن‌ها نیستند.</p> <p>تجهیزی مانند BESS در حال حاضر برای کشور ما تجهیز لوکس محسوب می‌شود و هزینه بالایی دارد به نظر من فعالیت در این حوزه به صلاح نیست.</p> <p>در تجهیزاتی مانند مبدل‌های انرژی‌های تجدیدپذیر و خودروهای الکتریکی بازار اولیه شکل گرفته است و البته من به بازار ادوات CUPS همچون APF خوشبین هستم و فکر می‌کنم توانیر با تنظیم استانداردها و آیین‌نامه‌های کیفیت توان باید مصرف‌کننده را به پرداخت جریمه ملزم دارد. و به این ترتیب بازار جذابی نیز برای این ادوات به ارمغان می‌آورد.</p> <p>در زمینه خودروهای الکتریکی باید هزینه سرشکن شود تا بتواند با خودروهای بنزینی رقابت کند زیرا با توجه به طول عمر کم و آسیب‌پذیری بیشتر و قیمت بالاتر اصلاً مورد توجه مصرف‌کننده نخواهد بود. لذا با کاهش تعرفه واردات این خودروها و رونق گرفتن بازارشان، استفاده از این خودروها به صرفه خواهد بود.</p> <p>یکی از دیگر ضعف‌های کشور در سهولت واردات تجهیزات به ویژه تجهیزات بی‌کیفیت چینی است و باید مقدماتی فراهم شود که گمرک برای ورود این تجهیزات تست و تاییدیه بخواهد و استانداردها و آزمایشها و تست مناسب در نظر گرفته شود.</p> <p>در زمینه‌هایی که خودمان وارد ساخت می‌شویم تعرفه واردات باید وجود داشته باشد.</p>	<p>آیا بازار اولیه شکل گرفته است؟ اندازه‌ی آن را چقدر است؟          آیا این بازار باعث جهت‌دهی به سیستم برای توسعه‌ی فعالیت‌های کارآفرینی شده است یا خیر؟          آیا جذابیت بازار باعث ورود کارآفرینان جدید شده است یا خیر؟</p>	<p>شکل‌دهی بازار</p>

## جدول (۲-۱۶): مصاحبه با دکتر محسنی و دکتر ابوالحسنی (مدیریت شبکه)

موتور محرک کارآفرینی	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	توضیحات
کارآفرینی	<p>آیا شرکتهای دانش بنیان به منظور توجیه اقتصادی فناوری کافی هستند؟</p> <p>آیا فعالیتهای کارآفرینی دارای کیفیت خوبی هستند؟</p> <p>نرخ ورود کارآفرینان در این حوزه را چگونه برآورد می کنید (آیا کارآفرینان جدید وارد سیستم می شوند)؟</p> <p>سرمایه گذاری خطرپذیر که منجر به توجیه اقتصادی می شود، وجود دارد یا خیر؟</p>	بازار فروش ایده در کشور به وجود آمده و اخیراً بورس فروش ایده ایجاد شده است.
کارکردهای کلیدی	<p>وضعیت دانش پایه موجود در نظام در ارتباط با کمیت و کیفیت آن چگونه است؟</p> <p>دانش موجود در سیستم بنیادی است یا کاربردی (توانمندی فناوریانه کشور در چه سطحی قرار دارد)؟</p> <p>آیا تعداد پروژههای پژوهشی و اختراع و مقاله و پتنت به مقدار کافی موجود است؟</p> <p>آیا یک جایگاه بین المللی پیشرو، برنامه های راه اندازی و ارجاعات فراوان به مقاله در نظام وجود دارد؟</p> <p>آیا توسعه دانش صورت گرفته در نظام تقاضا محور است؟</p> <p>آیا فناوری با نیازهای نظام نوآوری هماهنگ و مرتبط است؟</p>	-
توسعه دانش		
تأمین و تسهیل منابع	<p>آیا منابع مالی کافی برای توسعه فعالیتهای کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟</p> <p>- میزان منابع دولتی چقدر است؟ کافی است یا خیر؟</p> <p>- میزان سرمایه خطرپذیر چه قدر است؟ کافی است یا خیر؟</p> <p>- سهولت دسترسی به این منابع را چگونه ارزیابی می کنید؟</p> <p>آیا تربیت نیروی انسانی در حوزه ی آموزش و پژوهش مرتبط با فناوری به میزان کافی وجود دارد یا خیر؟</p> <p>کیفیت منابع انسانی تربیت شده در چه سطحی است؟</p>	<p>برای ایجاد اطمینان از تجهیز داخل اخذ گواهینامه ها یک الزام اولیه است و پس از این باید تجهیز در جایی نصب شده و از منظر عملکردی ارزیابی شود.</p> <p>مراحل پذیرش تجهیز داخلی باید پله پله صورت گیرد نباید از ابتدا انتظار داشت که اجازه نصب در یک مجموعه بزرگ را به شما بدهند. شاید پیشنهاد محیط پایلوت مناسب باشد البته در کشور ما مشکل مستندسازی وجود دارد و مستندات غیر قابل اعتماد و مبهم می باشند لذا به منظور قابل استفاده شدن محیط پایلوت، باید مستندات قابل اعتمادی را کسی به غیر از سازنده ارائه دهد.</p> <p>به علاوه در ارتباط با مکان و شرایط محیط پایلوت و همچنین ریسک تقریبی تست هریک از تجهیزات و نحوه پوشش ریسک آن ها نیز باید فکر شود.</p> <p>در سایر کشورها بیمه تحقیقات و ریسک تجاری سازی وجود دارد، در کشور ما نیز باید چنین بیمه ای به وجود آید و یا سازمانی همچون معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری ریسک استفاده از تجهیزات داخل را بپذیرد در غیر این صورت هیچگاه موفق به</p>

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
<p>استفاده از تجهیز داخل نخواهیم شد.</p> <p>به عنوان یک پیشنهاد می توان چنین در نظر گرفت که با توجه به اینکه تمامی سازمان های دولتی موظف هستند بخشی از بودجه خود را به پژوهش اختصاص دهند، این سند همه را ملزم کند که بخشی از این بودجه را به عنوان بودجه ریسک مباحث تحقیقاتی و پژوهشی کنار بگذارند و صندوقی تحت عنوان حمایت از پژوهش های کاربردی ایجاد شود. و وجود چنین صندوقی می تواند یک آرامش روانی حداقلی برای مدیران ریسک پذیر ایجاد نماید.</p>		
-	<p>آیا همکاری های فناورانه بین بازیگران فعال در این زمینه اعم از خرید فناوری، لیسانس، همکاری تحقیق و توسعه و غیره وجود دارد یا خیر؟</p> <p>همایش، کنفرانس و مجله ای در مورد این فناوری وجود دارد یا خیر؟</p> <p>آیا نمایشگاه های تخصصی برای ارایه دستاوردهای کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟</p>	انتشار دانش
<p>اراده در توسعه سیستم های خورشیدی و بادی وجود دارد. ولی متأسفانه در سایر موارد سند و یا برنامه ای وجود ندارد و برنامه های تدوین شده بسیار کلی هستند و نقطه مشخصی برای آینده این تجهیزات در نظر گرفته نشده است.</p>	<p>آیا یک هدف کاملاً مشخص و مشترک برای نظام وجود دارد؟</p> <p>آیا فعالیت های کارآفرینی در این حوزه ی فناورانه جهت دهی شده است؟</p> <p>آیا منابع مالی و انسانی در جهت توسعه فعالیت های است یا خیر؟</p> <p>آیا سیاست های دولت در جهت حمایت از فعالیت های کارآفرینی هست یا خیر؟</p>	جهت دهی به سیستم
<p>عدم اعتماد در استفاده از تجهیز داخلی در کشور وجود دارد. باید سعی شود اعتماد بهره بردار را جلب کرد. زیرا برای صنعت تجهیز داخل و یا خارج تفاوتی ندارد بلکه قابلیت اطمینان مهم است. و دلیل استفاده از تجهیز خارجی وجود قابلیت اطمینان به علت تجربه خیلی بیشتر از تجهیز داخلی می باشد.</p> <p>با توجه به معطوف شدن ریسک استفاده از تجهیزات داخل به تنها یک مدیر مسئول، هیچگاه مدیران چنین ریسکی را نمی پذیرند لذا باید تلاش شود راهکاری برای فرار از این ریسک ایجاد شود.</p> <p>حمایتهای مادی و معنوی از مدیران ریسک پذیر هم در سازمان های دولتی غیر قابل اجرا است و قوانین بالادستی این اجازه را نمی دهند.</p>	<p>آیا سرمایه گذاری در تکنولوژی به عنوان یک تصمیم مشروع پذیرفته شده است؟ (مشروعیت بخشی اتفاق افتاده است یا خیر)؟</p> <p>آیا مقاومت زیادی در جهت تغییر وجود دارد؟ این مقاومت از کجا نشأت می گیرد؟</p> <p>آیا فعالیت های مشروعیت بخشی منجر به تخصیص منابع به فعالیت های کارآفرینی شده است یا خیر؟</p>	کارکردهای حاشیه ای مشروعیت بخشی

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
<p>احتمال به وجود آمدن شرایطی که مجبور به استفاده از این ادوات در آینده شویم وجود دارد زیرا علی رغم اینکه برنامه‌ای برای استفاده از این تجهیزات وجود ندارد به احتمال بسیار زیاد از سمت مصرف کننده این الزام برای ما به وجود خواهد آمد البته همان طور که می دانیم استفاده از ادوات الکترونیک قدرت برای رفع نیازهایمان تنها یکی از گزینه ها می باشد و همواره گزینه های دیگری هم وجود دارد لذا نمی توان نتیجه گرفت که ایجاد نیاز در آینده باعث ایجاد بازار برای این ادوات شود. من به شخصه فکر نمی کنم که استفاده از این ادوات به عنوان گزینه اول مطرح باشد. مگر اینکه این موضوع از مراجع بالاتر از وزارت نیرو دنبال شود.</p>	<p>آیا بازار اولیه شکل گرفته است؟ اندازه‌ی آن را چقدر است؟ آیا این بازار باعث جهت‌دهی به سیستم برای توسعه‌ی فعالیت‌های کارآفرینی شده است یا خیر؟ آیا جذابیت بازار باعث ورود کارآفرینان جدید شده است یا خیر؟</p>	<p>شکل‌دهی بازار</p>

## جدول (۲-۱۷): مصاحبه با مهندس هوشانفر (مدیر عامل شرکت پارس توان آمود)

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
<p>در رابطه با تجهیز SVC چون هزینه سرمایه گذاری بالاست و نیاز به حمایت دارد، شرکت‌های دانش بیان در این حوزه کمتر وارد می‌شوند البته من شرکتی را در این زمینه در کشور نمی‌شناسم. اما فولاد خوزستان یک طرح ساخت SVC بومی را تدوین نموده است و در حال خرید قطعات و ساخت این تجهیز می‌باشد.</p>	<p>آیا شرکت‌های دانش‌بنیان به منظور توجیه اقتصادی فناوری کافی هستند؟ آیا فعالیتهای کارآفرینی دارای کیفیت خوبی هستند؟ نرخ ورود کارآفرینان در این حوزه را چگونه برآورد می‌کنید (آیا کارآفرینان جدید وارد سیستم می‌شوند)؟ سرمایه‌گذاری خطرپذیر که منجر به توجیه اقتصادی می‌شود، وجود دارد یا خیر؟</p>	<p>کارآفرینی</p>
<p>به لحاظ توسعه دانش با توجه به انتشار مقالات وضعیت مناسبی داریم اما متأسفانه درصد کمی از این مقالات به ثبت اختراع و یا پتنت می‌رسند و غالباً به صورت تئوری هستند.</p>	<p>وضعیت دانش پایه موجود در نظام در ارتباط با کمیت و کیفیت آن چگونه است؟ آیا تعداد پروژه‌های پژوهشی و اختراع و مقاله و پتنت به مقدار کافی موجود است؟ آیا یک جایگاه بین المللی پیشرو، برنامه‌های راه اندازی و ارجاعات فراوان به مقاله در نظام وجود دارد؟ آیا توسعه دانش صورت گرفته در نظام تقاضا محور است؟</p>	<p>کارکردهای کلیدی توسعه دانش</p>
<p>درگیر اخذ وام نبوده‌ام اما فکر می‌کنم تعداد صندوق‌ها و میزان وامی که در اختیار افراد قرار می‌دهند کافی نیست. منابع انسانی متخصص در کشور وجود دارد و فکر می‌کنم در</p>	<p>آیا منابع مالی کافی برای توسعه فعالیت‌های کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟ - میزان منابع دولتی چقدر است؟ کافی است یا خیر؟</p>	<p>تامین و تسهیل منابع کارکردهای حمایتی</p>

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
سطح مناسبی باشند.	<p>- میزان سرمایه خطرپذیر چه قدر است؟ کافی است یا خیر؟</p> <p>آیا تربیت نیروی انسانی در حوزه‌ی آموزش و پژوهش مرتبط با فناوری به میزان کافی وجود دارد یا خیر؟</p> <p>کیفیت منابع انسانی تربیت‌شده در چه سطحی است؟</p>	
در رابطه با SVC همایش و یا کنفرانسی نبوده و در ارتباط با سایر تجهیزات اطلاعی ندارم.	<p>آیا همکاری‌های فناورانه بین بازیگران فعال در این زمینه اعم از خرید فناوری، لیسانس، همکاری تحقیق و توسعه و غیره وجود دارد یا خیر؟</p> <p>همایش، کنفرانس و مجله‌ای در مورد این فناوری وجود دارد یا خیر؟</p> <p>آیا نمایشگاه‌های تخصصی برای ارایه دستاوردهای کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟</p>	انتشار دانش
از آنجا که SVC نیاز شبکه ما می‌باشد سند بالادستی در این ارتباط وجود ندارد و تنها دولت باید از ساخت داخل حمایت کند. در ارتباط با سیستم تحریک استاتیک جهت گیری‌ها به سمت ساخت داخل می‌باشد.	<p>آیا یک هدف کاملاً مشخص و مشترک برای نظام وجود دارد؟</p> <p>آیا فعالیت‌های کارآفرینی در این حوزه‌ی فناورانه جهت‌دهی شده است؟</p> <p>آیا منابع مالی و انسانی در جهت توسعه فعالیت‌های است یا خیر؟</p> <p>آیا سیاست‌های دولت در جهت حمایت از فعالیت‌های کارآفرینی هست یا خیر؟</p>	جهت‌دهی به سیستم
SVC تجهیز نیست که سازنده آن را بسازد و بخواهد آن را به خریدار ارائه دهد بلکه مدیران ارشد بر مبنای نیاز شبکه تصمیم‌گیری می‌نمایند و سپس ساخت این تجهیز به شرکتی واگذار می‌شود. تنها در زمینه‌های تست و آزمایش باید گام برداریم تا بتوانیم با حمایت دولت ساخت داخل را رونق دهیم.	<p>آیا سرمایه‌گذاری در تکنولوژی به عنوان یک تصمیم مشروع پذیرفته شده است؟ (مشروعیت بخشی اتفاق افتاده است یا خیر؟)</p> <p>آیا مقاومت زیادی در جهت تغییر وجود دارد؟ این مقاومت از کجا نشات می‌گیرد؟</p> <p>آیا فعالیت‌های مشروعیت‌بخشی منجر به تخصیص منابع به فعالیت‌های کارآفرینی شده است یا خیر؟</p>	مشروعیت بخشی
با تدوین تعرفه و جریمه کیفیت توان وزارت نیرو می‌تواند برای SVC بازار ایجاد نماید البته در کنار آن باید از تجهیز ساخت داخل حمایت نماید. در واقع در لایه‌های بالای مدیریتی باید فشار برای استفاده از ساخت داخل باشد.	<p>آیا بازار اولیه شکل گرفته است؟ اندازه‌ی آن را چقدر است؟</p> <p>آیا این بازار باعث جهت‌دهی به سیستم برای توسعه‌ی فعالیت‌های کارآفرینی شده است یا خیر؟</p> <p>آیا جذابیت بازار باعث ورود کارآفرینان جدید شده است یا خیر؟</p>	شکل‌دهی بازار
در زمینه سیستم تحریک استاتیک دولت نمی‌تواند بر روی بازار تاثیر گذارد زیرا بازار داخل مبتنی بر برنامه‌ها و نیاز مندی کشور به تاسیس نیروگاه‌های جدید می‌باشد.		کارکردهای حاشیه‌ای

## جدول (۲-۱۸): مصاحبه با مهندس جوکار (مدیر تحقیق و توسعه شرکت مکو)

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
شرکت مپنا همواره بخشی از درآمدهای خود را به تحقیق و توسعه در زمینه تجهیزات استراتژیکی که در کشور دانششان وجود ندارد تخصیص می دهد. لذا از این منظر به عنوان یک شرکت دانش بنیان نیز در بعضی زمینه ها ایفای نقش می کند.	آیا شرکت های دانش بنیان به منظور توجیه اقتصادی فناوری کافی هستند؟ آیا فعالیتهای کارآفرینی دارای کیفیت خوبی هستند؟ نرخ ورود کارآفرینان در این حوزه را چگونه برآورد می کنید (آیا کارآفرینان جدید وارد سیستم می شوند)؟ سرمایه گذاری خطرپذیر که منجر به توجیه اقتصادی می شود، وجود دارد یا خیر؟	کارآفرینی
دانش پایه در دانشگاه ها خوب است اما متأسفانه به صورت تئوری است و کار اساتید دانشگاهی در سطح نمونه آزمایشگاهی می ماند زیرا بستر تجاری سازی وجود ندارد.	وضعیت دانش پایه موجود در نظام در ارتباط با کمیت و کیفیت آن چگونه است؟ دانش موجود در سیستم بنیادی است یا کاربردی (توانمندی فناوریانه کشور در چه سطحی قرار دارد)؟ آیا تعداد پروژه های پژوهشی و اختراع و مقاله و پتنت به مقدار کافی موجود است؟ آیا یک جایگاه بین المللی پیشرو، برنامه های راه اندازی و آیا توسعه دانش صورت گرفته در نظام تقاضا محور است؟ آیا فناوری با نیازهای نظام نوآوری هماهنگ و مرتبط است؟	کارکردهای کلیدی توسعه دانش
دو مشکل عمده ای که شرکت هایی همچون مپنا با آن درگیر هستند عدم تمایل کارفرمایان در استفاده از تجهیز ساخت داخل و کمبود نیروی ماهر و متخصص در این حوزه ها است زیرا در کشور ما فاصله بسیار زیادی میان دانش تئوری دانشگاهی و دانش تجربی و صنعتی وجود دارد و متأسفانه بستر و زیرساخت مناسبی برای پرورش نیروی انسانی متخصص وجود ندارد. نکته دیگر اینکه متأسفانه در صورت آموزش و ارتقای سطح کیفی نیروی انسانی، به سرعت این نیروها از سازمان جدا شده و مهاجرت می نمایند. البته اگر صنعت ما صنعت سوددهی باشد می توان نیروی انسانی را نگه داشت هرچند به عقیده من مسائل مالی تنها ۳۰ یا ۴۰ درصد دلایل مهاجرت نیروی متخصص است و دلیل عمده آن این است که افراد از نظر کاری ارضا نمی شوند. بهتر است دانشگاه و در صنعت در تعامل باشند و حتی واحدهای صنعتی بزرگ خود دانشگاه داشته باشند تا بتوانند نیروی متخصص پرورش دهند. و یا پس از گذراندن دوره دانشگاهی افراد برای مدت چند سال در یک صنعت پویا و فعال کار کنند که متأسفانه در حال حاضر صنعت ما چنین زیرساخت هایی را ندارد.	آیا منابع مالی کافی برای توسعه فعالیتهای کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟ - میزان منابع دولتی چقدر است؟ کافی است یا خیر؟ - میزان سرمایه خطرپذیر چه قدر است؟ کافی است یا خیر؟ - سهولت دسترسی به این منابع را چگونه ارزیابی می کنید؟ آیا تربیت نیروی انسانی در حوزه ی آموزش و پژوهش مرتبط با فناوری به میزان کافی وجود دارد یا خیر؟ کیفیت منابع انسانی تربیت شده در چه سطحی است؟	تامین و تسهیل منابع کارکردهای حمایتی

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
مشکل دیگر ما در عدم وجود بستری برای تجاری سازی محصولات است باید نیروگاهی به عنوان واحد تحقیقاتی وجود داشته باشد که بتوان تجهیزات را در آن تست صنعتی نمود.		
متاسفانه شبکه متخصصین و یا یک سندیکا در حوزه قدرت وجود ندارد و افراد درگیر در این حوزه تعاملات اندکی با یکدیگر دارند و دورادور از یکدیگر باخبر می شوند.	آیا همکاری های فناورانه بین بازیگران فعال در این زمینه اعم از خرید فناوری، لیسانس، همکاری تحقیق و توسعه و غیره وجود دارد یا خیر؟ همایش، کنفرانس و مجله ای در مورد این فناوری وجود دارد یا خیر؟ آیا نمایشگاه های تخصصی برای ارایه دستاوردهای کارآفرینی وجود دارد یا خیر؟	انتشار دانش
	آیا یک هدف کاملاً مشخص و مشترک برای نظام وجود دارد؟ آیا منابع مالی و انسانی در جهت توسعه فعالیت های است یا خیر؟ آیا سیاست های دولت در جهت حمایت از فعالیت های کارآفرینی هست یا خیر؟	جهت دهی به سیستم
متاسفانه کارفرمایان معمولاً رویکرد مثبتی نسبت به تجهیزات ساخت داخل ندارند و از آن ها حمایت نمی کنند. که نشان از خلا قانونی در حمایت از ساخت داخل و یا در صورت وجود خوب اجرا نشدن آن است. البته ریشه این رویکرد هم در فرهنگ کشور و هم در عدم اطمینان از کیفیت تجهیزات ساخت داخل دیده می شود زیرا در صنعت ما بستری که برای تست تجهیزات باشد وجود ندارد. متاسفانه مدیری که ریسک کند و از تجهیز داخل حمایت کند نیز در کشور وجود ندارد. غالباً مدیران کار را برای خود راحت نموده و به دنبال راه حل آسانتر می باشند. چه بسا که با خرید تجهیزات خارجی در صورت بروز مشکل می توانند از خدمات پس از فروش آن استفاده نمایند و ریسک کمتر و مسئولیت کمتری را برایشان به همراه دارد به علاوه اینکه منافع شخصی همچون مسافرت خارج از کشور نیز می تواند در انتخاب تجهیز خارجی دخیل باشد.	آیا سرمایه گذاری در تکنولوژی به عنوان یک تصمیم مشروع پذیرفته شده است؟ (مشروعیت بخشی اتفاق افتاده است یا خیر)؟ آیا مقاومت زیادی در جهت تغییر وجود دارد؟ این مقاومت از کجا نشأت می گیرد؟ آیا فعالیت های مشروعیت بخشی منجر به تخصیص منابع به فعالیت های کارآفرینی شده است یا خیر؟	مشروعیت بخشی کارکردهای حاشیه ای
شرکت مینا به عنوان یک بنگاه اقتصادی با هدف تولید ثروت برای مجموعه خود، پروژه اخذ می کند و موظف می شود تحت زمان و هزینه مشخص کار را تحویل مشتری دهد لذا همواره در انتخاب تجهیزات برای تحقیق و توسعه به بازار نگاه می کند و تنها در صورت وجود توجیه اقتصادی وارد عمل می شود از این رو	آیا بازار اولیه شکل گرفته است؟ اندازهی آن را چقدر است؟ آیا این بازار باعث جهت دهی به سیستم برای توسعهی فعالیت های کارآفرینی شده است یا خیر؟ آیا جذابیت بازار باعث ورود کارآفرینان جدید شده است یا خیر؟	شکل دهی بازار

توضیحات	سوالات برای ارزشیابی کارکرد	موتور محرک کارآفرینی
سعی می کند ریسک تجاری سازی را برای خود حداقل نماید.		

همان طور که در نظرات متخصصان فوق الذکر مشخص است چالش های فراوانی به منظور توسعه صنعت و فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در حوزه های مختلف توسعه و انتقال دانش، کارآفرینی، جهت دهی به سیستم، بسیج منابع و مشروعیت بخشی وجود دارد که لازمه توسعه صنعت و فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت نگاه همه جانبه به این چالش ها و اتخاذ سیاست هایی مناسب جهت رفع این چالش ها است.

نکته ای که در اینجا حائز اهمیت است بیان چالش هایی از طرف متخصصان است که به صورت کلان در کشور وجود دارد و به اصطلاح در سند توسعه صنعت و فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق از چالش های محیطی محسوب می شود و در این سند نمی توان سیاستی برای رفع آن قرار داد.

در جدول زیر با توجه به نظرات هر یک از خبرگان، چالش های توسعه صنعت و فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق در هر یک از کارکردهای هفت گانه نظام نوآوری فناورانه شناسایی شده است.

#### جدول (۲-۱۹): چالش های توسعه صنعت و فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق

چالش ها	کارکرد
ارتباط ضعیف صنعت و دانشگاه	کارکرد توسعه و انتشار دانش
ضعف در وجود نیروی کار ماهر	
کمبود آزمایشگاه های پژوهشی	
عدم وجود تصویری روشن از بازار آتی برخی از تجهیزات	کارکرد کارآفرینی
فقدان قواعد و قوانین منسجم و کارآمد لازم برای حمایت از کارآفرینان	
نبود عزم مدیریتی در حمایت از کارآفرینان	
بالا بودن ریسک سرمایه گذاری در این حوزه ها با توجه به حجم بالای سرمایه گذاری اولیه مورد نیاز و عدم اطمینان در توانایی تجاری سازی	



چالش‌ها	کارکرد
عدم امکان رقابت (کیفیت و قیمت) تجهیزات ساخت داخل با محصولات خارجی در کوتاه مدت (به ویژه محصولات چینی)	کارکرد شکل دهی به بازار
ضعف حمایت‌های صنعت برق در زمینه ایجاد بازار برای برخی از تجهیزات	
نبود استانداردها تست مناسب برای جلوگیری از ورود تجهیزات بی کیفیت	
سهولت در واردات تجهیزات در عین اعمال سختگیری‌های زیاد برای تجهیزات ساخت داخل (مانند استاندارد و گواهی نامه و...)	
عدم وجود قوانین پویا در زمینه گمرک در جهت حمایت از تولید داخل	
عدم پوشش ریسک استفاده از تجهیزات ساخت در صنایع کشور و وزارت نیرو	
نبودن آزمایشگاه‌های مرجع برای صدور گواهی‌ها و تاییدیه‌های لازم برای تجهیزات تولید داخل	
نبودن آیین نامه‌ها و استانداردهای اجباری در زمینه‌هایی همچون بهبود کیفیت توان و ...	
مشخص نبودن اولویت های کشور و در نتیجه عدم تخصیص بهینه منابع	کارکرد جهت دهی به سیستم
عدم توجه نهادهای سیاست گذار به حوزه الکترونیک قدرت	
عدم وجود مرجعی به عنوان مغز متفکر به منظور پیگیری و شناسایی مشکلات موجود و تصمیم گیری منسجم برای رفع آنها	
ناپایداری در برنامه‌ها و سیاست‌های توسعه‌ای کشور	
عدم وجود برنامه جامع تحقیقات توسعه‌ای	
عدم وجود سند راهبردی توسعه صنعت	
ضعف در تعامل مناسب میان بازیگران این حوزه اعم از دانشگاهیان، متخصصان و صنعتگران	
اعتماد کم مسئولان و سیاستگذاران به توانمندی داخل در زمینه ساخت تجهیزات	
عدم وجود هماهنگی بین نهادهای سیاستگذار، تنظیم کنندگان و تسهیلگران	
عدم پرداخت وام به میزان کافی	کارکرد بسیج منابع
عدم وجود حمایت‌های سیستمی از پروژه‌های تحقیق و توسعه (غالباً حمایت‌های مالی بر اساس ارتباطات فردی صورت می‌گیرد).	
عدم مشارکت صندوق‌های تامین کننده منابع مالی در فرآیند تولید و تجاری‌سازی	
دشواری بودن تامین منابع مالی و وجود بروکراسی اداری فرسایشی	
خروج سرمایه‌های انسانی متخصص از کشور	
عدم وجود تحلیل‌های اقتصادی، اجتماعی و ... در زمینه عدم بکارگیری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه	کارکرد مشروعیت بخشی

## ۲-۳- سیاستها و اقدامات رفع چالش‌های توسعه صنعت و فناوری تجهیزات

### الکترونیک قدرت در شبکه برق

پس از شناسایی چالش‌های توسعه صنعت و فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق در جدول زیر سیاستها و اقدامات رفع هر یک از این چالش‌ها براساس مصاحبه با خبرگانی که چالش‌های توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت با مصاحبه با آن‌ها احصا شده بود، ارائه شده است. لازم به ذکر است در خصوص تمامی چالش‌های شناسایی شده و بالتبع آن اقدامات پیشنهادی اولویت‌های فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در نظر گرفته شده است و سوالات از خبرگان کاملا براساس اولویت‌ها پرسیده شده است. لذا اقداماتی که در جدول زیر مشخص شده است ناظر به فناوری‌های اولویت‌دار تجهیزات الکترونیک قدرت می‌باشد.

با توجه به اینکه برخی از چالش‌های موجود در زمینه توسعه فناوری‌های اولویت‌دار تجهیزات الکترونیک قدرت چالش‌های فنی و برخی از چالش‌ها مدیریتی است، لذا برای چالش‌های فنی در قسمت شناسنامه اقدامات پروژه‌هایی فنی پیشنهاد شده است که به تفکیک در آن قسمت قابل مشاهده است. در جدول زیر چالش‌ها و اقدامات لازم برای هر چالش با توجه به کارکردهای هفتگانه نظام نوآوری فناوری پیشنهاد شده است.

جدول (۲-۲): سیاستها و اقدامات رفع هر یک از چالش‌ها

چالش	کارکرد	سیاست	اقدام
ارتباط ضعیف صنعت و دانشگاه	توسعه و انتشار دانش		<ul style="list-style-type: none"> <li>- حمایت از تحقیق و پژوهش بویژه پژوهش‌های نیاز محور مرتبط با تجهیزات الکترونیک قدرت</li> <li>- تعریف پروژه‌های ملی مورد حمایت دولت در راستای نیازمندی‌های کشور</li> </ul>
ضعف در تعامل مناسب میان بازیگران این حوزه اعم از دانشگاهیان، متخصصان و صنعتگران	کارآفرینی	حمایت از برگزاری رویدادهای علمی و صنفی نظیر نمایشگاه‌ها و کنفرانس‌ها و..	<ul style="list-style-type: none"> <li>کمک به ایجاد و تقویت جایگاه تشکل‌های علمی، صنفی و غیردولتی حامی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت</li> </ul>

چالش	کارکرد	سیاست	اقدام
عدم وجود تصویری روشن از بازار آتی برخی از تجهیزات	کارآفرینی	تضمین وجود قوانین، مقررات و برنامه‌های بلند مدت	تدوین قوانین، مقررات و دستورالعمل‌های مورد نیاز برای حمایت از توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت
عدم وجود تحلیل‌های اقتصادی، اجتماعی و ... در زمینه عدم بکارگیری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه	مشروعیت بخشی		
نبود آیین نامه‌ها و استانداردهای اجباری در زمینه‌هایی همچون بهبود کیفیت توان و ...	شکل‌دهی به بازار		
عدم وجود برنامه جامع تحقیقات توسعه‌ای	جهت‌دهی به سیستم	تضمین وجود قوانین، مقررات و برنامه‌های بلند مدت	استمرار مطالعات راهبردی مورد نیاز در خصوص فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت
ناپایداری در برنامه‌ها و سیاست‌های توسعه‌ای کشور	جهت‌دهی به سیستم		
عدم وجود سند راهبردی توسعه صنعت	جهت‌دهی به سیستم		
مشخص نبودن اولویت‌های کشور و در نتیجه عدم تخصیص بهینه منابع	جهت‌دهی به سیستم		

چالش	کارکرد	سیاست	اقدام
فقدان قواعد و قوانین منسجم و کارآمد لازم برای حمایت از کارآفرینان	کارآفرینی	تنظیم قوانین و دستورالعمل‌های مناسب جهت حمایت از تولیدکنندگان تجهیزات الکترونیک قدرت در حوزه‌های اولویت‌دار	ایجاد سازوکارهای مختلف انگیزشی - حمایتی از شرکت‌های تولیدکننده تجهیزات اولویت‌دار نظیر اعطای معافیت‌های مالیاتی، اعطای وام و ...
نبود عزم مدیریتی در حمایت از کارآفرینان	کارآفرینی		
خروج سرمایه‌های انسانی متخصص از کشور	بسیج منابع		
ضعف حمایت‌های صنعت برق در زمینه ایجاد بازار برای برخی از تجهیزات	شکل‌دهی به بازار		
عدم امکان رقابت (کیفیت و قیمت) تجهیزات ساخت داخل با محصولات خارجی در کوتاه مدت (به ویژه محصولات چینی)	کارآفرینی		
عدم وجود قوانین پویا در زمینه گمرک در جهت حمایت از تولید داخل	شکل‌دهی به بازار		
سهولت در واردات تجهیزات در عین اعمال سختگیری‌های زیاد برای تجهیزات ساخت داخل (مانند استاندارد و گواهی نامه و...)	شکل‌دهی به بازار		تدوین استاندارد تجهیزات الکترونیک قدرت به منظور بهبود کیفیت تجهیزات وارداتی و ساخت داخل و ایجاد کمیته‌ای برای نظارت بر استانداردها
ضعف در وجود نیروی کار ماهر	توسعه و انتشار دانش	توسعه سرمایه‌های انسانی کارآمد	تربیت و جذب نیروی انسانی متخصص مورد نیاز
نبودن آزمایشگاه‌های مرجع برای صدور گواهی‌ها و تاییدیه‌های لازم برای تجهیزات تولید داخل	شکل‌دهی به بازار	تحریک ایجاد زیرساخت‌های دانشی در حوزه‌های تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق	حمایت از تجهیز آزمایشگاه‌های تحقیقاتی موجود و تشکیل شبکه آزمایشگاهی

اقدام	سیاست	کارکرد	چالش
	(آزمایشگاه‌های تخصصی)	توسعه و انتشار دانش	کمبود آزمایشگاه‌های پژوهشی
		شکل‌دهی به بازار	نبود استانداردها تست مناسب برای جلوگیری از ورود تجهیزات بی کیفیت
		شکل‌دهی به بازار	عدم پوشش ریسک استفاده از تجهیزات ساخت در صنایع کشور و وزارت نیرو
		کارآفرینی	بالا بودن ریسک سرمایه گذاری در این حوزه‌ها با توجه به حجم بالای سرمایه گذاری اولیه مورد نیاز و عدم اطمینان در توانایی تجاری سازی
	- تحریک و سازماندهی استفاده از ظرفیت صندوق‌های توسعه فناوری در جهت حمایت مالی هرچه بهتر و بیشتر از سازندگان تجهیزات الکترونیک قدرت	بسیج منابع	عدم مشارکت صندوق‌های تامین‌کننده منابع مالی در فرآیند تولید و تجاری‌سازی
		بسیج منابع	عدم وجود حمایت‌های سیستمی از پروژه‌های تحقیق و توسعه (غالباً حمایت‌های مالی بر اساس ارتباطات فردی صورت می‌گیرد).
		بسیج منابع	عدم پرداخت وام به میزان کافی
		بسیج منابع	دشواری بودن تامین منابع مالی و وجود بروکراسی اداری فرسایشی
تشکیل شورای راهبردی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت	ایجاد فضا برای توسعه فعالیت‌های متولیان جهت‌دهی به پژوهش‌های حوزه‌های	جهت‌دهی به سیستم	عدم توجه نهادهای سیاست گذار به حوزه الکترونیک قدرت

- بهره‌گیری از ظرفیت‌های مالی سایر ارگان‌های دولتی مرتبط (صندوق‌های توسعه فناوری و بودجه‌های تحقیق و توسعه)

- تسهیل ورود سرمایه‌گذاران خطر پذیر

چالش	کارکرد	سیاست	اقدام
عدم وجود مرجعی به عنوان مغز متفکر به منظور پیگیری و شناسایی مشکلات موجود و تصمیم گیری منسجم برای رفع آنها	جهت‌دهی به سیستم	فناورانه	
عدم وجود هماهنگی بین نهادهای سیاستگذار، تنظیم کنندگان و تسهیلگران	جهت‌دهی به سیستم		
اعتماد کم مسئولان و سیاستگذاران به توانمندی داخل در زمینه ساخت تجهیزات	جهت‌دهی به سیستم	ایجاد فضا برای توسعه توانایی-های بازیگران (به عنوان مثال از طریق یادگیری و آزمایش)	حمایت از ایجاد محیط مناسب تست عملیاتی و ایجاد آزمایشگاه شبیه ساز بلادرنگ طراحی، توسعه و آزمون تجهیزات الکترونیک قدرت

پس از شناسایی چالش‌ها و تدوین اقدامات لازم برای هر یک از چالش‌ها در ادامه شناسنامه اقدامات بیان شده است. در فاز پنجم پروژه زمان تخمینی هر اقدام مشخص گردیده و در صورت امکان بودجه مورد نیاز برای هر اقدام مشخص می‌گردد.

## ۲-۴- شناسنامه اقدامات

### (۱) عنوان اقدام: تشکیل شورای راهبری توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت

#### تشریح فعالیت‌ها:

اهمیت فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت، حجم بالای برنامه‌ریزی‌ها، سرمایه‌گذاری‌های بین‌المللی و تجربیات حاصل در داخل کشور همگی مؤید این نکته هستند که توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در داخل کشور، نیازمند عزمی ملی با حضور تمام ذینفعان تاثیرگذار بر توسعه این فناوری می‌باشد. با این نگرش یکی از اقدامات سند راهبردی توسعه فناوری

تجهیزات الکترونیک قدرت به پیشنهاد کمیته راهبری تدوین سند، تشکیل شورای راهبری توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت با حضور قریب به اتفاق سازمان‌ها و نهادهای ذی نفع است.

پس از تدوین سند راهبردی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت، به نظر می‌رسد ادامه روند توسعه فناوری این تجهیزات، نیازمند ایجاد ساز و کار و تشکیلات منظم‌تری است تا بتواند بصورت متمرکز امر پیگیری فعالیت‌های در نظر گرفته شده برای تحقق اقدامات مورد اشاره در سند را دنبال کند. این شورا علاوه بر تدوین جزئیات برنامه عملیاتی سند، نقش کلیدی و مهمی را در تحقق چندین اقدام بر عهده دارد که به عنوان نمونه می‌توان به اقدامات ذیل اشاره نمود:

- تشکیل دبیرخانه شورا با هدف پیگیری و اجرای اقدامات سند
- تدوین و پیشنهاد مجموعه قوانین و مقررات حمایت از توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت
- استمرار بخشیدن به انجام مطالعات راهبردی مورد نیاز در خصوص فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت
- نظارت کلان بر پروژه‌های توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در کشور
- ...

دبیرخانه کمیته راهبری و این شورا موظف هستند با تشکیل کمیته‌های تخصصی روند توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت را در سطح کشورهای مختلف دنیا مورد بررسی قرار داده و بر اساس آن، مسیر سیاست‌گذاری توسعه این فناوری را در کشور تعیین نمایند و همچنین مطالعات مورد نیاز اقدامات مختلف را انجام دهد.

در این راستا، به نظر می‌رسد به منظور تدقیق اهداف و ماموریت‌های این شورا، انجام یک مطالعه راهبردی ضروری می‌نماید تا بطور جامع، ابعاد ماموریتی این شورا مشخص و مکانیزم تحقق آن‌ها از طریق طراحی ساختار متناسبی پیش بینی گردد. در ادامه، تشکیل این شورا نیازمند سیر مراحل قانونی جهت اخذ مجوزهای لازم است تا پس از آن اقدامات اجرایی از قبیل تعیین موقعیت جغرافیایی برای تشکیل شورا، تجهیز شورا به امکانات سخت افزاری و نرم افزاری لازم و جذب متخصصین و کادر اداری شورا، انجام پذیرد.

## ۲) عنوان اقدام: تعریف پروژه‌های ملی مورد حمایت دولت در راستای نیازمندی‌های کشور

### تشریح فعالیت‌ها:

با توجه به تجهیزات اولویت‌دار الکترونیک قدرت که از گزارش فاز سوم احصا شده است، پروژه‌هایی (اقدامات فنی) در راستای نیازمندی‌های کشور تعریف شده است که در گزارش فاز پنجم پروژه برای هر یک از این پروژه‌ها زمان و بودجه تخمینی، مجریان پیشنهادی و تعریف و دلایل توجیه پذیری پروژه به همراه تطابق این پروژه‌ها با اولویت‌های فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت بیان خواهد شد. عناوین این پروژه‌ها به صورت کلی عبارتند از:

- پیاده سازی یک SVC تجاری قابل جابجایی در شبکه توزیع
- پیاده سازی یک نمونه D-Statcom قابل جابجایی در شبکه توزیع
- پیاده سازی یک TSC ماژولار تجاری صنعتی
- پیاده سازی یک نمونه مبدل ژنراتور مغناطیس دائم توربین بادی
- پیاده سازی یک نمونه مبدل فتوولتایک مگاواتی
- پیاده سازی یک نمونه ذخیره ساز انرژی باطری مگاواتی
- پیاده سازی یک DVR صنعتی
- پیاده سازی یک نمونه STS تحقیقاتی
- طراحی و ساخت SFC نیروگاهی
- طراحی و ساخت سیستم تحریک نیروگاهی
- طرح ملی آزمایشگاه شبیه ساز بلادرنگ طراحی، توسعه و آزمون تجهیزات الکترونیک قدرت



### ۳) عنوان اقدام: تدوین قوانین، مقررات و دستورالعمل‌های مورد نیاز برای حمایت از توسعه فناوری

#### تجهیزات الکترونیک قدرت

##### تشریح فعالیت‌ها:

مجموعه قوانین تجاری هر کشور، مبنایی برای فعالیتهای تجاری و سرمایه‌گذاری در آن کشور است و بر نوع، دامنه و کارایی این فعالیت‌ها اثر فراوانی دارد. اندک تاملی در کارکردهای نظام نوآوری فناورانه نشان می‌دهد که نظام قانونی و حقوقی، نقش مهمی را در ابعاد حمایت از سرمایه‌گذاری و تامین منابع مالی و حمایت از حقوق مالکیت معنوی ایفا می‌کند. لذا توجه به ایجاد زیر ساخت مناسب قانونی در ابعاد مختلف تاثیر گذار بر روند توسعه فناوری حائز اهمیت بسیار است.

بدیهی است تدوین قوانین و مقررات مناسب در این حوزه نیازمند تشکیل کمیته‌های تخصصی است تا بتوانند با بررسی وضعیت موجود کشور در ابعاد مختلف قانونی و حقوقی، نیازمندی‌های قانونی را شناسایی و بر اساس تجربیات سایر کشورها در این زمینه، به تدوین مقررات و قوانینی متناسب با ساختار و موقعیت کشورمان بپردازند.

همچنین این کمیته باید اقدامات لازم را در خصوص تصویب این قوانین در مراجع ذیصلاح انجام داده و مکانیزم‌هایی را در جهت اجرای این قوانین توسط بخش‌های مرتبط طراحی نماید.

### ۴) عنوان اقدام: استمرار مطالعات راهبردی مورد نیاز در خصوص فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت

##### تشریح فعالیت‌ها:

در فرآیند خطیر سیاست‌گذاری کلان فناوری کشور، شناسایی و تحلیل جریان‌ها و پیشرفت‌های فناوری در سطح جهان بعنوان یکی از مقدمات تعیین‌کننده در آینده‌نگری و ترسیم نقشه راه فناوری، نقش مهم و اساسی دارد و نتایج حاصل از این فرآیند، محور و مبنای وضع سیاست‌های اصولی و هدفمند فناوری تلقی می‌شود. بر این اساس و نظر به اهمیت فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت و نیاز به حجم بالای برنامه‌ریزی‌ها و نیز هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری در جهت توسعه این فناوری، استمرار مطالعات راهبردی در حوزه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت لازم و ضروری می‌نماید. علاوه بر اینکه نتایج

این مطالعات منجر به انجام اصلاحات احتمالی در اقدامات در نظر گرفته شده در سند خواهد شد که انجام این بازنگری بصورت دوسالانه در طول مدت زمان اجرای سند قابل انجام است.

بدیهی است انجام این مطالعات در گام نخست نیازمند تشکیل کمیته‌های تخصصی است که بتوانند بصورت مستمر روند توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت را در کشورهای مختلف دنیا مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار داده بر اساس شرایط و امکانات موجود در کشور بهترین خط سیر را در جهت اصلاح و بهبود روند توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در کشورمان ارائه نمایند. بطور کلی می‌توان گفت این اقدام یکی از کارکردهای اساسی شورای راهبری توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت است و همانطور که در تشریح اقدام مربوطه (تاسیس شورای راهبری توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت) اشاره شد، در قالب کمیته‌های تخصصی مربوطه انجام می‌شود. لازم به ذکر است گستره این مطالعات، کلیه حوزه‌های فنی و تخصصی، نظام قانونی و حقوقی، نظام اقتصادی و مالی و نظایر آن را که تأثیرات مهمی در تغییر و تحولات روند توسعه فناوری در کشور دارند، شامل می‌شود.

**(۵) عنوان اقدام: کمک به ایجاد و تقویت جایگاه تشکل‌های علمی، صنفی و غیردولتی حامی توسعه**

### فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت

#### تشریح فعالیت‌ها:

توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت با در نظر گرفتن نظام نوآوری فناورانه نیازمند وجود و اثرگذاری نهادهای واسطی خواهد بود تا بوسیله آن روابط و تعاملات موجود در نظام، نهادینه و زمینه توسعه پایدار این فناوری فراهم گردد. بسترسازی و ایجاد نهادها و تشکل‌های علمی، صنفی و غیر دولتی در جوامع امروزی از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. این تشکل‌ها در واقع نماینده گروه‌های مختلف جامعه می‌باشند که به نحوی با جزء و یا اجزایی از فرآیند توسعه تکنولوژی مرتبط بوده و دارای علایق و انگیزه‌های مشترک در یک مجموعه متشکل هستند. این تشکل‌ها دارای ویژگی‌هایی هستند که در صورتی که به طور کامل رعایت شود تضمین‌کننده موفقیت و پایداری آنها خواهد بود. از جمله این ویژگی‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- خودجوشی و نیاز طبیعی

۲- تعهد و هدف مشترک

۳- قانونمندی

۴- برنامه و فعالیت مشخص

۵- جلب مشارکت و عضویت

۶- مشارکت و مسئولیت‌پذیری

تشکل‌های علمی، صنفی و غیر دولتی در حوزه فناوریانه براساس شرایط تحقیقاتی و علمی کشور و جهان و همچنین انگیزش‌های موجود حوزه این تکنولوژی به طور خودجوش به وجود آمده، دارای ضوابط مشخص و تعریف شده‌ای بوده و در راستای دستیابی به اهداف خود دارای برنامه و فعالیت مشخص در یک بخش یا رشته خاص می‌باشد. اصولاً هدف این تشکل‌ها سودجویانه نیست بلکه بیشتر دارای اهداف علمی، فرهنگی و اجتماعی می‌باشند.

از آنجا که فرآیند توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت دارای زمینه‌های متنوع و گسترده‌ای از موضوعات مورد توجه تشکل‌های علمی، صنفی و غیردولتی در دانشگاه، صنعت و ... می‌باشد، لذا می‌توان با کمک و حمایت لازم به منظور ایجاد و تقویت جایگاه این تشکل‌ها به تسریع در فرآیند توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت کمک نمود. به منظور هماهنگ‌سازی و هم‌افزایی نتایج و ایجاد تعامل موثر، ارتباط با تشکل‌های علمی، صنفی و غیردولتی حامی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت به عنوان یکی از وظایف دبیرخانه شورای راهبری مورد توجه قرار می‌گیرد. هدف اصلی در این زمینه علاوه بر ارائه کمک‌های مالی، اطلاعاتی و ... به تشکل‌های فوق، انتقال خطوط و موضوعات راهبردی کمیته راهبری توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت به آنها و از سوی دیگر جذب نظرات و یافته‌های آنان و پیگیری‌های لازم در راستای آن می‌باشد.

در اولین گام فرصت‌ها، ظرفیت‌ها و زمینه‌های بالقوه برای ایجاد و توسعه این تشکل‌ها را در بستر دانشگاه‌ها، صنعت و سایر نهادها از جمله نهادهای مدنی شناسایی نموده و پس از مطالعه و انجام بررسی‌های لازم، از روش‌ها و ابزارهای مختلف در جهت ایجاد جذابیت برای ایجاد تشکل‌های مستعد شکل‌گیری استفاده خواهد کرد. ارائه کمک‌های مالی از طریق وام‌های

بلاعوض و اطلاع‌رسانی به تشکل‌های شناسایی شده از ابعاد حمایت‌های مالی و اطلاعاتی این دفتر خواهد بود. همچنین این دفتر در راستای ارائه خدمات علمی، سمینارها و نشست‌های مختلفی با هدف ایجاد ارتباط و تبادل علمی میان این تشکل‌ها با سایر مراکز مشابه داخلی و خارجی برگزار خواهد کرد. از دیگر فعالیت‌های در این زمینه بررسی و شناسایی موانع موجود بر سر راه ایجاد و توسعه این‌گونه تشکل‌ها و پیگیری به منظور رفع آنها می‌باشد. مجموعه فعالیت‌های فوق می‌تواند زمینه‌ساز شکل‌گیری و توسعه نهادهایی کارآمد در بخش‌های مختلف از جمله دانشگاه و صنعت و در نهایت تسریع در فرآیند توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت گردد.

## ۶) عنوان اقدام: بهره‌گیری از ظرفیت‌های مالی سایر ارگان‌های دولتی مرتبط (صندوق‌های توسعه فناوری و بودجه‌های تحقیق و توسعه)

### تشریح فعالیت‌ها:

توسعه تکنولوژی از مؤلفه‌های اساسی توسعه صنعتی و توسعه صنعتی از عوامل بسیار اثرگذار بر توسعه اقتصادی است. برای دستیابی به توسعه تکنولوژی، ایجاد بسترهای مناسب و سپس تکمیل یکایک حلقه‌های زنجیره توسعه لازم و ضروری می‌نماید. در این راستا ایجاد ساز و کارهایی برای فراهم آوردن جریان منابع لازم طرح‌های تحقیقاتی و نوآورانه که پایه و اساس توسعه تکنولوژی است، به‌خصوص با توجه به طولانی بودن زمان بازدهی چنین فعالیت‌هایی، از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به تشکیل صندوق‌های توسعه فناوری در معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری و همچنین در وزارت نیرو، استفاده از ظرفیت این صندوق‌ها نقش مهم و اساسی را در جهت رفع موانع مالی موجود، بستر مناسبی برای کاهش ریسک فعالیت‌های تحقیقاتی و پژوهشی، بویژه در مراحل ابتدایی، ایفا می‌نماید.

## ۷) عنوان اقدام: تربیت و جذب نیروی انسانی متخصص مورد نیاز

### تشریح فعالیت‌ها:

هدف از انجام این اقدام، پرورش و به کارگیری متخصصین مورد نیاز فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت است.

به منظور انجام این اقدام بایستی مطالعاتی درخصوص ۲ بحث اصلی نیازسنجی آموزشی و بهینه کاوی روش‌های جذب

و تربیت نیرو صورت پذیرد.

نیازسنجی آموزشی شامل این زیرفعالیت‌ها می‌باشد:

- شناخت تخصص‌های مورد نیاز که شامل رشته‌های مورد نیاز از قبیل مهندسی الکترونیک قدرت و همچنین دروس یا دوره‌های مورد نیاز
- شناخت پتانسیل متخصصین موجود به منظور شناسایی توانایی‌های موجود در کشور و استفاده مطلوب از ایشان
- تعیین شکاف بین متخصصین موجود و مورد نیاز: این فعالیت بر اساس دو فعالیت قبل صورت می‌گیرد و میزان فاصله میان آن‌ها تعیین می‌شود تا میزان نیاز ما به تخصص‌ها مشخص شود و بتوان برای آن برنامه‌ریزی نمود.
- قسمت دوم این مطالعات، بهینه کاوی روش‌های جذب و تربیت نیرو به منظور یافتن روش‌های جدید جذب و تربیت نیرو می‌باشد و در نهایت راهکارهای تربیت و جذب نیروی انسانی مورد نیاز تعیین گردد.
- تربیت و آموزش نیروهای انسانی مورد نیاز اقدامات شامل سه زیر فعالیت اصلی است :
- فراهم نمودن مقدمات آموزش
- آموزش
- حمایت از پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد و دکتری مرتبط با موضوعات تجهیزات الکترونیک قدرت
- فراهم نمودن مقدمات آموزش شامل این فعالیت‌ها می‌باشد :
- تطبیق سیاست‌ها و مقررات آموزشی مرتبط کشور متناسب با ویژگی‌های فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت
- ارائه مشوق‌های مالی و قانونی به دانشگاه‌ها و مراکز آموزشی جهت برقراری دوره‌های جدید: این مکانیزم تشویقی به منظور ترغیب دانشگاه‌ها و مراکز آموزشی به همکاری در این زمینه است.
- برگزاری سمینارهای آموزشی به منظور آشنایی بیشتر و اطلاع رسانی در زمینه تجهیزات الکترونیک قدرت

- تعیین و جذب منابع مورد نیاز آموزش: برای انجام فرآیند آموزش می‌بایستی منابع مورد نیاز آن تعیین و جذب گردد.

این منابع شامل منابع:

- مالی
- انسانی
- زمانی

فعالیت آموزش که اصلی ترین قسمت این اقدام می باشد شامل موارد ذیل می شود:

- طراحی و برگزاری دوره‌های کوتاه مدت

- برگزاری کارگاه‌های آموزشی

- تدوین و ارائه دروس جدید مورد نیاز تجهیزات الکترونیک قدرت در رشته‌های مرتبط

- طراحی و برگزاری دوره‌های بلندمدت به صورت کارشناسی ارشد و دکتری در مراکز داخلی و مراکز معتبر بین المللی

در رشته‌های مرتبط با گرایش تجهیزات الکترونیک قدرت

- طراحی دوره‌های ضمن خدمت یا (On-the Job Training) OJT : این دوره‌ها مخصوص افرادی است که

در صنعت مشغول هستند ولی نیاز به آموزش دارند.

- جذب افراد برای دوره‌های فوق دکتری

- اعزام متخصصین به ماموریت‌های مطالعاتی.

بخش سوم این اقدام، حمایت از تربیت و آموزش نیروی انسانی است. از مهمترین مصادیق حمایت می‌توان به حمایت از

پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد و دکتری مرتبط با موضوعات تجهیزات الکترونیک قدرت اشاره کرد. این فعالیت خود به صورت

یک اقدام مستقل در سند آورده شده است، لذا در جایگاه خود توضیح داده خواهد شد.

در نهایت آخرین فعالیت اصلی این اقدام، فعالیت جذب نیروی انسانی مورد نیاز تمامی اقدامات مرتبط با تجهیزات الکترونیک قدرت می باشد این فعالیت جذب در چهار حوزه مطرح می شود :

۱. جذب در مراکز تحقیقاتی
۲. جذب در مراکز رشد
۳. جذب در شرکتهای نوپای تکنولوژی (Start up)
۴. جذب در بخش صنعتی فعال در حوزه تجهیزات الکترونیک قدرت

## ۸) عنوان اقدام: حمایت از تحقیق و پژوهش بویژه پژوهشهای نیاز محور مرتبط با تجهیزات الکترونیک قدرت

### تشریح فعالیتها:

- حمایت از پایان نامه های کارشناسی ارشد و دکتری مرتبط با تجهیزات الکترونیک قدرت به ۳ صورت امکان پذیر است :
- الف) حمایت های مالی: این حمایت به عنوان اصلی ترین فعالیت به شمار می رود. این حمایت در ۳ حوزه صورت می گیرد:
- حمایت مالی از پایان نامه های کارشناسی ارشد به صورت کمک نقدی به دانشجو که البته در دو نوع مطالعاتی و کاربردی صورت می گیرد و میزان کمک به پایان نامه های کاربردی بیش از مطالعاتی می باشد.
  - حمایت مالی از پایان نامه های دکتری به صورت کمک نقدی به دانشجو
  - حمایت تشویقی از صنعتی شدن دستاوردهای پایان نامه ها بطوریکه در مواردی که پایان نامه کاملاً در راستای نیازهای صنعت بوده و در این بخش قابل اجرا باشد فرد، مبلغی را به عنوان تشویقی دریافت کند.
- ب) پشتیبانی های فیزیکی: این نوع حمایت شامل دو عنوان اصلی می شود:

- حق استفاده از آزمایشگاه‌ها: در این مورد به دانشجویانی که پایان‌نامه‌هایی مرتبط با موضوعات مطرح شده در تجهیزات الکترونیک قدرت تعریف کرده‌اند، حق استفاده به صورت رایگان ولی در تعداد محدودی آزمایش در هر سال از آزمایشگاه‌های تجهیزات الکترونیک قدرت داده می‌شود.
- حق استفاده از کتابخانه‌های خارج از دانشگاه‌ها: در این مورد حق استفاده رایگان از کتابخانه‌های مرتبط با این موضوع به دانشجویان داده می‌شود.
- ج) حمایت‌های مشاوره‌ای: این نوع حمایت به منظور رفع موانع علمی دانشجویان و کمک به ایشان در انجام پایان‌نامه می‌باشد که از آن به عنوان اطلاع‌رسانی علمی و مشاوره علمی به دانشجویان یاد شده است.

## ۹) عنوان اقدام: ایجاد سازوکارهای مختلف انگیزشی - حمایتی از شرکت‌های تولیدکننده تجهیزات اولویت‌دار نظیر اعطای معافیت‌های مالیاتی، اعطای وام و ...

### تشریح فعالیت‌ها:

به منظور افزایش سرمایه‌گذاری در فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت و حضور بیشتر بنگاه‌ها و کارآفرینان در این زمینه لازم است دولت از ابزارها و سیاست‌های مختلفی که نهایتاً منجر به افزایش سود ناشی از تولید می‌شود استفاده نماید. دولت‌ها به منظور ایجاد انگیزه اقتصادی، بیشتر از سیاست‌های مختلف پولی و مالی استفاده می‌کند. کاهش نرخ بهره بانکی، معافیت‌های مالیاتی و گمرکی از جمله این سیاست‌ها هستند که سرمایه‌گذاران را ترغیب به سرمایه‌گذاری خواهد کرد. علاوه بر سیاست‌های مستقیمی که دولت می‌تواند به منظور افزایش سود اقتصادی بنگاه‌ها اتخاذ کند برخی سیاست‌های غیر مستقیم که منجر به ایجاد فضای کسب و کار بهتر می‌شوند اثر قابل توجهی بر ارتقای انگیزه فعالیت در بنگاه‌های اقتصادی دارند. چنانچه فضای اقتصادی از لحاظ شاخص‌های ریسک‌پذیری فضایی باثبات‌تر و عدم اطمینان نسبت به آینده و سیاست‌های اقتصادی پیش روی دولت کمتر باشد سرمایه‌گذاری افزایش خواهد یافت. به طور خاص در زمینه سرمایه‌گذاری‌های خطرپذیر که در آن بنگاه‌ها و کارآفرینان وارد حوزه فناوری‌های نو و تحقیقات بنیادین می‌شوند و ریسک فعالیت نسبتاً بالا است ایجاد فضای با ثبات و مطمئن ضروری به نظر می‌رسد.



از جمله برنامه‌هایی که می‌تواند منجر به ارتقاء انگیزه فعالیت در بنگاه‌های اقتصادی تولیدکننده تجهیزات الکترونیک قدرت و فناوری‌های کلیدی آن شود می‌توان به اطلاع‌رسانی عمومی و تخصصی از روش‌های مختلف اطلاع‌رسانی اشاره کرد. بنگاه‌های اقتصادی در صورتی که در معرض اطلاعات بیشتری در زمینه جوانب فنی و مزیت‌های اقتصادی فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت قرار گیرند با انگیزه بیشتری به فعالیت ادامه خواهند داد. در زمینه ساز و کارهای حمایتی می‌توان به معافیت‌های مالیاتی بنگاه‌های فعال در صنعت تجهیزات الکترونیک قدرت، اعطای وام با بهره‌های پایین، ایجاد و توسعه نهادهای مورد نیاز در صنعت، ایجاد امکان استفاده از بیمه سرمایه‌گذاری برای سرمایه‌گذاران و نیز اعطای یارانه تحقیق و پژوهش اشاره کرد.

حمایت از سرمایه‌گذاری خارجی و اتخاذ تدابیری به منظور ارتقای امنیت سرمایه‌گذاری برای سرمایه‌گذاران خارجی در فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت می‌تواند ضمن جذب سرمایه مستقیم خارجی، افزایش اشتغال، منجر به تعاملات فعال‌تر تولیدکنندگان داخلی و شرکت‌های مشابه خارجی گردد که این امر خود می‌تواند به ارتقاء انگیزه، افزایش کارایی و گسترش قابلیت‌های بنگاه‌های اقتصادی فعال در صنعت تجهیزات الکترونیک قدرت گردد.

لازم به ذکر است مجموعه ساز و کارهای مختلف انگیزشی \_ حمایتی بدون توجه به یک چهارچوب قانونی مشخص و حمایت‌کننده از این نوع حمایت‌ها به موفقیت نخواهد رسید. بنابراین بسته‌ای از قوانین و مصوبات مورد نیاز برای حمایت واقعی از بنگاه‌های اقتصادی باید به تصویب دولت و یا مجلس برسد تا زمینه ایجاد فضای مطمئن برای فعالیت و تولید ایجاد گردد.

## ۱۰) عنوان اقدام: تسهیل ورود سرمایه‌گذاران خطر پذیر

### تشریح فعالیت‌ها:

موتور محرک پیشرفت‌های فناورانه، ایده‌های کاربردی خلاقانه‌ای است که در ذهن کارآفرینان، مخترعان و مبتکران شکل می‌گیرد و با پیگیری جدی آنان در قالب کسب و کاری جدید به بار می‌نشیند و مفهوم کارآفرینی آغاز می‌گردد. اما اغلب این کارآفرینان، فارغ التحصیلان جوان و خوش فکری هستند که فاقد تجربه در سه عامل اصلی برای موفقیت در بازار رقابتی هستند. این عوامل عبارتند از: ۱- دانش و تجربه مدیریتی ۲- منابع مالی کافی ۳- بازار و مشتری که محصول حاصل از این کارآفرینی را به مصرف برساند.

بسیاری از این تلاش‌ها برای راه اندازی کسب و کار جدید، به دلیل نبود این سه عامل، با شکست مواجه می‌شود. امروزه کلید حل مشکل در دست سرمایه گذارانی است که با تکیه بر شم فوق العاده خود و با تقبل مخاطرات قابل محاسبه و یا غیر قابل محاسبه، فعالانه با کارآفرینان همراه شده و با هدف کسب سود، نقاط ضعف آنان (تجربه مدیریتی، منابع مالی کافی و بازار) را پوشش می‌دهند. به این سرمایه گذاران، سرمایه گذاران خطرپذیر می‌گویند؛ که در کشورهای توسعه یافته به یکی از حلقه‌های اصلی نظام نوآوری فناورانه تبدیل شده است.

بنابراین یکی از روش‌های مطلوب حمایت از کارآفرینان، مخترعان، مبتکران و صاحبان ایده، مشارکت در تجاری‌سازی طرح با صاحبان طرح بوده که ضمن حفظ مالکیت فکری طرح، صاحب طرح نیز در موفقیت یا شکست آن شریک می‌گردد. در این روش، ضمن حل مشکلات اخذ وام از بانک، مشکلات و موانع پیشرفت طرح با همکاری و مشارکت شرکا برطرف خواهد شد و در نهایت سرمایه گذار خطرپذیر پس از به نتیجه رسیدن طرح، سهم شرکت خود را از طریق مکانیسمی به صاحب ایده واگذار می‌نماید.

#### ویژگی‌های سرمایه گذاری مخاطره پذیر:

- فرآیند سرمایه گذاری در قالب مشارکت مبتنی بر عقود اسلامی می‌باشد.
- ارزش ریالی دانش فنی طرح محاسبه و به صورت مستقیم یا غیرمستقیم در مشارکت اعمال می‌گردد.
- تیم کارآفرین و صندوق، به نسبت سهم شرکت در سود و زیان حاصل از طرح شریک خواهند بود.
- اولویت سرمایه گذاری با شرکتهای نوپا و با سرمایه اولیه کم می‌باشد.
- قبل از انجام سرمایه گذاری، استراتژی خروج و حدود زمانی خارج شدن صندوق از طرح مشخص می‌گردد.
- صندوق در طول دوره سرمایه‌گذاری به اندازه سهام خود، بر فعالیت‌های اجرائی نظارت کامل خواهد داشت.
- صندوق در طول دوره سرمایه گذاری در صورت نیاز مشاوره‌هایی در زمینه‌های گوناگون نظیر مباحث مالی، حقوقی، مدیریتی و غیره ارائه می‌دهد.
- در طول دوره سرمایه گذاری، صندوق به هیچ عنوان دانش فنی طرح را افشا نخواهد نمود.

- طرح مراجعه کننده، با روش های علمی مورد ارزیابی و امکان سنجی قرار می گیرد.

## ۱۱) عنوان اقدام: حمایت از تجهیز آزمایشگاه های تحقیقاتی موجود و تشکیل شبکه آزمایشگاهی

### تشریح فعالیت ها:

به منظور توسعه فناوری الکترونیک قدرت در شبکه برق نیاز به ایجاد بسترها و مراکز تحقیقاتی برای پیاده سازی و توسعه ایده های جدید در این زمینه وجود دارد. امروزه در کشورهای توسعه یافته در بسیاری از مراکز آکادمیک و تجاری، آزمایشگاه های الکترونیک قدرت مجهز به پیشرفته ترین ادوات پیاده سازی، تست و ارزیابی سیستم های الکترونیک قدرت وجود داشته و در راستای پیشبرد صنعت الکترونیک قدرت فعالیت می کنند. بنابراین به منظور حضور در این عرصه و فعالیت در جهت پیشبرد این صنعت در کشور باید مراکز آزمایشگاهی مناسب تأسیس گردد.

به منظور طراحی و توسعه یک محصول در مراحل مختلف نیاز به آزمایشگاه های با اهداف متفاوت وجود دارد. در مرحله طراحی و ساخت نیاز به مراکز آزمایشگاهی مجهز به تجهیزاتی برای طراحی، شبیه سازی، ساخت نمونه، تجهیزات اندازه گیری و مانیتورینگ مناسب و ... وجود دارد. پس از ساخت محصول با توجه به استانداردهای موجود ملی و بین المللی باید محصول مورد آزمون قرار گیرد. این آزمون ها با توجه دستورالعمل مربوط به هر استاندارد انجام گرفته و نتایج آن مؤید تأیید یا عدم تأیید عملکرد محصول است. پس از این مرحله لازم است عملکرد محصول در شرایط میدانی مورد بررسی قرار گیرد.

بنابر تعریف، آزمایشگاه تحقیقاتی مجموعه ای است که امکان ایجاد شرایط کنترل شده ای را فراهم می کند تا بتوان اموری نظیر تحقیقات، آزمایش عملی و اندازه گیری را انجام داد. آزمایشگاه های تحقیقاتی بسته به ملزومات تحقیقاتی ممکن است اشکال گوناگونی به خود بگیرند.

آزمایشگاه های تحقیقاتی را می توان در دانشگاه ها، صنعت، نهادهای حکومتی و صنایع نظامی یافت. آزمایشگاه تحقیقاتی بسته به سایز و هدف آن ممکن است فضای کافی برای چندین پژوهشگر را فراهم کند. همچنین با اشتراک فضا، تجهیزات و پرسنل آزمایشگاه ها با یکدیگر می توان به مفهوم "آزمایشگاه باز" دست پیدا کرد.

اطلاعات کسب شده در مطالعات تطبیقی نشان دهنده آن است که کشورهای جهان اول برای دستیابی به اهداف اسناد راهبردی خود از راهبرد مشخصی استفاده می کنند. در این کشورها عمدتاً برای دستیابی به اهداف مد نظر، جدول زمانی تعیین شده و پروژه های تحقیقاتی با موضوع و دستاوردهای مورد انتظار ملموس تدوین می شوند. در انتهای انجام پروژه های انجام شده انتظار می رود اهداف مد نظر سند راهبردی به صورت کامل پوشش داده شده باشد. در این کشورها، برای انجام پروژه های تعریف شده، هر پروژه تحقیقاتی را به یک (یا مجموعه ای از) دانشگاه و یا آژانس تحقیقاتی اختصاص می دهند. پس از مشخص شدن انجام دهندگان پروژه های تحقیقاتی، اعتبارات لازم جهت اجرای پروژه ها به مجریان آنان اختصاص داده می شود. البته ممکن است برخی پروژه های تحقیقاتی به سفارش مستقل صنعت نیز به دانشگاه ها برسد. تخصیص اعتبارات به مجریان پروژه ها ممکن است به صورت مالی و یا تجهیز آزمایشگاهی باشد.

## ۱۲) عنوان اقدام: حمایت از ایجاد محیط مناسب تست عملیاتی و ایجاد آزمایشگاه شبیه ساز بلادرنگ

### طراحی، توسعه و آزمون تجهیزات الکترونیک قدرت

#### تشریح فعالیتها:

آزمایشگاه های پایلوت<sup>۱</sup> بستری مناسب برای عملکرد تجهیزات تولیدی شرکت ها فراهم می کند به گونه ای که پیش از تولید انبوه می توان تجهیز را در آنجا مورد بررسی و آزمایش قرار داد. حضور آزمایشگاه های پایلوت هنگامی کلیدی بنظر می رسد که عدم وجود استانداردهای مشخص درباره بعضی از تجهیزات تولید شده مد نظر قرار گرفته شود. در خصوص آزمایشگاه ها یا محیط تست میدانی با توجه به تنوع تجهیزات الکترونیک قدرت باید اقدامات مختلفی صورت پذیرد. بدین منظور می توان تجهیزات را بصورت زیر دسته بندی نمود:

- تجهیزات با سطح توان و ولتاژ پایین

- تجهیزات با سطح توان و ولتاژ بالا

در خصوص تجهیزات توان پایین فراهم نمودن محیط تست میدانی برای سازنده مقدر بوده و در این بخش نیاز است که مکانیزم مدون و مشخص برای ثبت نتایج و تأیید آنها فراهم شود.

در خصوص تجهیزات با سطح توان بالا امکان تست در بسیاری موارد بویژه برای تجهیزاتی که باید در شبکه‌ی برق نصب کردند توسط سازنده مقدور نیست برای فراهم نمودن این امکان باید اولاً مکانیزم مشخصی برای تعیین محل تست تدوین شده و ثانیاً باید پوشش بیمه‌ای لازم برای جبران خسارت احتمالی طراحی می‌گردد.

(۱۳) عنوان اقدام: تدوین استاندارد تجهیزات الکترونیک قدرت به منظور بهبود کیفیت تجهیزات وارداتی و ساخت داخل و ایجاد کمیته‌ای برای نظارت بر استانداردها

یکی از وظایف عمده شورای راهبری توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت تشکیل کمیته‌ای است تا با مطالعات مختلفی از قبیل الگوبرداری از سایر کشورهای پیشرو و همچنین مطالعه وضعیت استانداردهای موجود در کشور در زمینه تجهیزات الکترونیک قدرت استانداردهایی بومی هم برای تجهیزات وارداتی و هم تجهیزات ساخت داخل تدوین نماید.

## نتیجه گیری

به منظور تدوین سیاست‌های کلان مورد نیاز در سند توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق، در این گزارش با استفاده از مفهوم نظام نوآوری توسعه فناوری، به شناسایی چالش‌های پیش روی مسیر توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت اولویت‌دار تحت شمول سند راهبردی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق و ارائه سیاست‌ها و اقدامات مناسب برای هر یک از آنها پرداخته شد. لذا طی مصاحباتی با خبرگان این حوزه، چالش‌های مربوط به هر یک از ابعاد ساختاری نظام نوآوری فناوری در هر یک از کارکردهای نظام نوآوری فناورانه شامل توسعه و انتشار دانش، فعالیت‌های کارآفرینی، شکل دهی به بازار، بسیج منابع، مشروعیت بخشی و جهت‌دهی به سیستم شناسایی شد و پس از بررسی به ارائه سیاست‌ها و اقدامات مناسب برای رفع هر یک از این چالش‌ها پرداخته شد. در انتها نیز شناسنامه هر یک از اقدامات بیان شده است.

## مراجع

- [1] Smits, R., Kuhlmann, S., 2002. Strengthening Interfaces in Innovation Systems: Rationale, Concepts and (New) Instruments. Report prepared on behalf of the EC STRATA Workshop 'New challenges and new responses for S&T policies in Europe', session 4: New instruments for the implementation of S&T policy, Brussels.
- [2] Freeman, C., Perez, C., 1988a. Structural crises of adjustment, business cycles and investment behaviour.
- [3] Geels, F.W., 2002. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research policy* 31, 1257-1274.
- [4] Weber, K.M., 2003. Transforming large socio-technical systems towards sustainability: on the role of users and future visions for the uptake of city logistics and combined heat and power generation. *Innovation: the European Journal of Social Science Research* 16, 155-175.
- [5] Rotmans, J., Kemp, R., van Asselt, M., 2001. More evolution than revolution: transition management in public policy. *Foresight* 3, 15-31.
- [6] Smith, A., Stirling, A., Berkhout, F., 2005. The governance of sustainable socio-technical transitions. *Res. Pol.* 34, 1491-1510.
- [7] Carlsson, B., Stankiewicz, R., 1991. On the nature, function and composition of technological systems. *J. Evolutionary Econ.* 1, 93-118.
- [8] Rothwell, R., Zegveld, W., 1985. *Reindustrialization and technology*. ME Sharpe.
- [9] Smith, A., 2007. Translating sustainabilities between green niches and socio-technical regimes. *Technology Analysis & Strategic Management* 19, 427-450.
- [10] Carlsson, B., Jacobsson, S., Holmén, M., Rickne, A., 2002. Innovation systems: analytical and methodological issues. *Res. Pol.* 31, 233-245.
- [11] Bergek, A., Hekkert, M., Jacobsson, S., 2008a. Functions in innovation systems: A framework for analysing energy system dynamics and identifying goals for system-building activities by

entrepreneurs and policy makers. Innovation for a low carbon economy: economic, institutional and management approaches, 79.



## فهرست مطالب

۱- فصل اول مبدل توربین باد .....	۲
۱-۱- مقدمه .....	۲
۲-۱- وضعیت تولید برق بادی در جهان .....	۳
۳-۱- روال گسترش الکترونیک قدرت در صنعت باد .....	۷
۴-۱- طبقه‌بندی مبدل‌های به‌کاررفته در توربین باد .....	۱۰
۱-۴-۱- مبدل‌های الکترونیک قدرت مقیاس جزئی .....	۱۱
۲-۴-۱- مبدل‌های الکترونیک قدرت مقیاس کامل .....	۱۲
۳-۴-۱- مقایسه کلی مبدل‌های الکترونیک قدرت در سیستم توربین باد .....	۱۳
۵-۱- روال گسترش هر یک از مبدل‌های الکترونیک قدرت در باد .....	۱۴
۶-۱- ساختار مبدل‌های الکترونیک قدرت سیستم توربین باد .....	۱۷
۱-۶-۱- ساختار مقیاس جزئی .....	۱۷
۲-۶-۱- ساختار مقیاس کامل .....	۱۸
۷-۱- وضعیت تحقیقات در الکترونیک قدرت صنعت باد .....	۲۵
۱-۷-۱- دلایل بهره‌وری از واحدهای تحقیقاتی الکترونیک قدرت برای سیستم‌های بادی .....	۲۵
۲-۷-۱- بررسی مقالات منتشرشده درزمینه باد .....	۲۷
۳-۷-۱- بررسی پتنت‌های منتشرشده درزمینه باد .....	۲۸
۴-۷-۱- حوزه‌های تحقیق و توسعه پیرامون الکترونیک قدرت درزمینه باد .....	۳۰
۵-۷-۱- نرخ بودجه درخواستی برای گسترش واحد تحقیق و توسعه صنعت باد .....	۳۲
۸-۱- شرکت‌های سازنده توربین بادی در دنیا .....	۳۵
۱-۸-۱- معرفی شرکت‌های توربین بادی .....	۳۵

- ۳۷-۱-۸-۲ وضعیت بازار تولید سیستم توربین بادی در جهان.....
- ۳۹-۱-۸-۳ شرکت‌های سازنده کلیدهای قدرت برای مبدل‌های باد.....
- ۴۰-۱-۹-۱ قیمت مبدل‌های توربین بادی.....
- ۴۶-۱-۱۰-۱ نتیجه‌گیری.....
- ۴۹-۲ فصل دوم مبدل سیستم‌های فتوولتائیک.....**
- ۴۹-۱-۲-۱ مقدمه.....
- ۵۰-۲-۲-۲ مقدمه‌ای بر وضعیت تولید برق فتوولتائیک در جهان.....
- ۵۲-۲-۳-۲ روال گسترش الکترونیک قدرت در صنعت فتوولتائیک.....
- ۵۲-۲-۳-۱ وضعیت اولیه مبدل‌های فتوولتائیک (اینورترهای متمرکز).....
- ۵۳-۲-۳-۲ تکنولوژی کنونی مبدل‌های فتوولتائیک.....
- ۵۵-۲-۳-۳ آینده مبدل فتوولتائیک.....
- ۵۶-۲-۴-۲ طبقه‌بندی مبدل‌های فتوولتائیک متصل به شبکه.....
- ۵۶-۲-۴-۱ تعداد مراحل فرآیند تبدیل توان.....
- ۵۸-۲-۴-۲ خازن جداسازی توان.....
- ۵۸-۲-۴-۳ ترانسفورماتورها و نوع اتصال آن‌ها.....
- ۵۹-۲-۴-۴ نوع واسط‌های میان مازول و شبکه.....
- ۶۰-۲-۵-۲ انواع مازول‌های AC.....
- ۶۴-۲-۶-۲ انواع اینورترهای تکرشته‌ای و چند رشته‌ای.....
- ۶۶-۲-۷-۲ مبدل‌های فتوولتائیک مستقل از شبکه.....
- ۶۸-۲-۸-۲ مقایسه مبدل‌های فتوولتائیک متصل به شبکه و مستقل از آن.....
- ۶۹-۲-۹-۲ روال گسترش هر یک از مبدل‌های فتوولتائیک.....

- ۱۰-۲- وضعیت تحقیقات در مبدل فتوولتائیک ..... ۷۲
- ۱-۱۰-۲ بررسی مقالات منتشرشده درزمینه فتوولتائیک ..... ۷۲
- ۲-۱۰-۲ بررسی پتنت‌های منتشرشده درزمینه فتوولتائیک ..... ۷۲
- ۳-۱۰-۲ حوزه‌های تحقیق و توسعه پیرامون فتوولتائیک ..... ۷۵
- ۴-۱۰-۲ سهم بودجه واحدهای تحقیق و توسعه درزمینه فتوولتائیک ..... ۷۶
- ۱۱-۲- شرکت‌های سازنده اینورتر فتوولتائیک در دنیا ..... ۷۷
- ۱-۱۱-۲ معرفی شرکت‌های سازنده مبدل فتوولتائیک ..... ۷۸
- ۲-۱۱-۲ وضعیت بازار تولید فتوولتائیک ..... ۷۹
- ۱۲-۲- قیمت مبدل‌های فتوولتائیک ..... ۸۲
- ۱۳-۲- استانداردها ..... ۸۴
- ۱۴-۲- تجهیزات تست آزمایشگاهی ..... ۸۶
- ۱۵-۲- نتیجه‌گیری ..... ۸۸
- ۳- فصل سوم جبران‌کننده توان راکتیو (SVC) استاتیک ..... ۹۲
- ۱-۳- مقدمه ..... ۹۲
- ۲-۳- مفاهیم و اصول پایه‌ای توان راکتیو ..... ۹۴
- ۳-۳- روش‌های تولید توان راکتیو ..... ۹۶
- ۱-۳-۳- کندانسور سنکرون ..... ۹۷
- ۲-۳-۳- خازن‌های ثابت یا سوئیچ شونده مکانیکی ..... ۹۷
- ۳-۳-۳- راکتور کنترل شده تریستوری ..... ۹۸
- ۴-۳-۳- خازن سوئیچ شونده تریستوری ..... ۱۰۰
- ۵-۳-۳- ساختار ترکیبی خازن ثابت و TCR ..... ۱۰۲

- ۱۰۵..... ۳-۳-۶ ساختار TSC+TCR
- ۱۰۹..... ۳-۴-۴ کنترل جبران سازه‌های استاتیک توان راکتیو
- ۱۱۱..... ۳-۴-۱ شیب رگولاسیون
- ۱۱۳..... ۳-۴-۲ میرا سازی نوسانات قدرت
- ۱۱۳..... ۳-۵-۵ وضعیت تحقیقات درزمینه Statcom
- ۱۱۳..... ۳-۵-۱ بررسی آماری مقالات تحقیقاتی منتشرشده درزمینه Statcom
- ۱۱۶..... ۳-۵-۲ بررسی پتنت‌های منتشرشده درزمینه SVC
- ۱۲۳..... ۳-۶-۶ وضعیت بازار SVC در جهان
- ۱۲۴..... ۳-۷-۷ بررسی تولیدکنندگان جهانی SVC
- ۱۲۶..... ۳-۸-۸ بررسی مقایسه‌ای هزینه مبدل‌های SVC
- ۱۲۸..... ۴- فصل چهارم جبران ساز استاتیک StatCom
- ۱۲۸..... ۴-۱-۱ مقدمه
- ۱۲۹..... ۴-۲-۲ معرفی Statcom
- ۱۳۲..... ۴-۳-۳ ادوات و تکنولوژی سوئیچینگ
- ۱۳۴..... ۴-۴-۴ انواع ساختار Statcom
- ۱۴۳..... ۴-۵-۵ استراتژی‌های کنترلی
- ۱۴۶..... ۴-۵-۱ اندازه‌گیری سیگنال
- ۱۴۶..... ۴-۵-۲ سیگنال‌های جبران‌کننده‌ها
- ۱۴۷..... ۴-۶-۶ انتخاب اجزاء و سایز آن‌ها
- ۱۴۹..... ۴-۷-۷ کاربردهای Statcom
- ۱۵۰..... ۴-۸-۸ آخرین گرایش‌ها و آینده پژوهی

- ۹-۴- وضعیت تحقیقات درزمینه Statcom ..... ۱۵۱
- ۹-۴-۱ بررسی آماری مقالات تحقیقاتی منتشرشده درزمینه Statcom ..... ۱۵۱
- ۹-۴-۲ بررسی پتنت‌های منتشرشده درزمینه باد ..... ۱۵۲
- ۹-۴-۳ نرخ بودجه درخواستی برای گسترش واحد تحقیق و توسعه Statcom ..... ۱۵۸
- ۹-۴-۱۰ وضعیت بازار Statcom در جهان ..... ۱۵۹
- ۹-۴-۱۱ بررسی تولیدکنندگان جهانی Statcom ..... ۱۶۱
- ۹-۴-۱۲ بررسی مقایسه‌ای هزینه مبدل‌های Statcom ..... ۱۶۴
- ۹-۴-۱۳ استانداردهای مرتبط با Statcom ..... ۱۶۴
- ۵- فصل پنجم تجهیزات الکترونیک قدرت نیروگاهی ..... ۱۶۸**
- ۵-۱- مقدمه ..... ۱۶۸
- ۵-۲- مقدمه‌ای بر نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای، گازی، سیستم‌های تحریک و کاربرد الکترونیک قدرت در آن‌ها ..... ۱۶۹
- ۵-۲-۱ راه‌اندازی نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای و گازی ..... ۱۷۰
- ۵-۲-۲ کنترل دور در نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت‌متغیر ..... ۱۷۱
- ۵-۲-۳ سیستم تحریک ژنراتور سنکرون نیروگاه ..... ۱۷۱
- ۵-۳- تجهیزات الکترونیک قدرت در نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای ..... ۱۷۱
- ۵-۳-۱ طبقه‌بندی نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای از نظر مبدل‌های الکترونیک قدرت ..... ۱۷۵
- ۵-۳-۲ مقایسه کلی ساختار نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای از نظر مبدل‌های الکترونیک قدرت ..... ۱۷۸
- ۵-۳-۳ مطالعه انواع ساختار مبدل‌های مورد استفاده در نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت‌متغیر ..... ۱۷۸
- ۵-۴- مطالعه انواع ساختار مبدل‌های مورد استفاده در راه‌اندازی نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای و گازی ..... ۱۸۳
- ۵-۴-۱ اهمیت واحدهای تحقیقاتی الکترونیک قدرت در زمینه SFC‌های نیروگاهی ..... ۱۸۶

- ۱۸۶-۴-۵ بررسی مقالات منتشرشده در زمینه SFC های نیروگاهی.....
- ۱۸۷-۴-۵ بررسی پتنت های منتشرشده در زمینه مبدل های SFC نیروگاهی.....
- ۱۹۱-۴-۵ حوزه های تحقیق و توسعه پیرامون مبدل های SFC نیروگاهی.....
- ۱۹۲-۴-۵ شرکت های سازنده SFC های نیروگاهی در دنیا.....
- ۱۹۴-۴-۵ نیروگاه تلمبه ذخیره ای Goldisthal آلمان.....
- ۱۹۶-۴-۵ نیروگاه تلمبه ذخیره ای Grimsel 2 در سوئیس.....
- ۱۹۷-۴-۵ وضعیت بازار نیروگاه تلمبه ذخیره ای و مبدل SFC آن ها.....
- ۱۹۷-۵-۵ تجهیزات الکترونیک قدرت در سیستم تحریک ژنراتورهای سنکرون.....
- ۱۹۸-۵-۵ سیستم تحریک DC متعارف.....
- ۱۹۹-۵-۵ سیستم تحریک AC (فرکانس بالا).....
- ۱۹۹-۵-۵ سیستم تحریک بدون جاروبک.....
- ۱۹۹-۵-۵ سیستم تحریک استاتیکی.....
- ۲۰۱-۵-۵ واحدهای تحقیقاتی الکترونیک قدرت در زمینه سیستم های تحریک.....
- ۲۰۲-۵-۵ حوزه های تحقیق و مطالعه در راستای الکترونیک قدرت در سیستم های تحریک.....
- ۲۰۳-۵-۵ بررسی مقالات ارائه شده در راستای سیستم های تحریک.....
- ۲۰۴-۵-۵ بررسی پتنت های منتشرشده در زمینه سیستم های تحریک.....
- ۲۰۷-۵-۵ شرکت های سازنده سیستم های تحریک در دنیا.....
- ۲۰۹-۵-۵ سیستم تحریک نیروگاه سیکل ترکیبی شیروان.....
- ۲۱۰-۶-۵ قیمت سیستم های تحریک مبتنی بر الکترونیک قدرت.....
- ۲۱۱-۷-۵ نتیجه گیری.....
- ۲۱۴-۶- فصل ششم سیستم های انتقال DC.....

۲۱۴.....	۱-۶- مقدمه
۲۱۸.....	۲-۶- بررسی بازار HVDC
۲۲۰.....	۳-۶- شرکت‌های مطرح در زمینه HVDC
۲۲۱.....	۴-۶- ساختارهای مختلف VSC-HVDC
۲۲۱.....	۱-۴-۶- تک قطبی متقارن
۲۲۲.....	۲-۴-۶- تک قطبی غیرمتقارن با سیم برگشت فلزی
۲۲۳.....	۳-۴-۶- ساختار تک قطبی نامتقارن با برگشت زمین
۲۲۳.....	۴-۴-۶- دو قطبی با الکترودهای زمین
۲۲۴.....	۵-۴-۶- ساختار دو قطبی با سیستم خنثی فلزی
۲۲۴.....	۶-۴-۶- سیستم چند ترمیناله:
۲۲۵.....	۷-۴-۶- ساختار پشت به پشت
۲۲۵.....	۵-۶- مقدمه‌ای بر HVDC منبع ولتاژ
۲۲۶.....	۶-۶- روند توسعه‌ی تکنولوژی HVDC
۲۲۷.....	۱-۶-۶- استفاده از مبدل دوسطحی
۲۲۸.....	۲-۶-۶- مبدل‌های به کار رفته در HVDC منبع ولتاژ
۲۳۴.....	۷- فصل هفتم ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی باطری
۲۳۴.....	۱-۷- مقدمه
۲۳۵.....	۲-۷- مقدمه‌ای بر وضعیت باطری و ذخیره‌سازهای انرژی
۲۳۷.....	۳-۷- وضعیت تکنولوژی مربوط به باطری‌ها
۲۳۸.....	۴-۷- انواع مبدل‌های الکترونیک قدرت سیستم ذخیره‌ساز انرژی باطری
۲۴۱.....	۵-۷- ساختار تک طبقه

- ۲۴۱ ..... ۱-۵-۷ مبدل‌های بوست دوطرفه
- ۲۴۳ ..... ۲-۵-۷ مبدل‌های باک دوطرفه
- ۲۴۴ ..... ۳-۵-۷ مبدل‌های دوطرفه چند سطحی
- ۲۴۵ ..... ۴-۵-۷ مبدل‌های چند پالسه دوطرفه
- ۲۴۷ ..... ۶-۷ استانداردها
- ۲۴۹ ..... ۷-۷ تحقیقات در زمینه مبدل‌های ذخیره‌ساز انرژی باتری
- ۲۵۱ ..... ۱-۷-۷ بررسی مقالات منتشرشده در مبدل‌های ذخیره‌ساز انرژی باتری
- ۲۵۲ ..... ۲-۷-۷ معرفی شرکت‌های مبدل ذخیره‌ساز انرژی باتری
- ۲۵۳ ..... ۳-۷-۷ وضعیت بازار تولید ذخیره‌ساز انرژی باتری
- ۲۵۴ ..... ۸-۷ قیمت سیستم باتری و مبدل باتری
- ۲۵۵ ..... ۹-۷ نتیجه‌گیری
- ۲۵۸ ..... ۸- فصل هشتم تجهیز D-Statcom**
- ۲۵۸ ..... ۱-۸ مقدمه
- ۲۵۸ ..... ۲-۸ کیفیت توان
- ۲۶۱ ..... ۳-۸ انواع ساختارهای D-Statcom
- ۲۶۱ ..... ۱-۳-۸ D-Statcom برای شبکه توزیع سه فاز سه سیمه
- ۲۶۴ ..... ۲-۳-۸ D-Statcom سه فاز چهار سیمه
- ۲۷۵ ..... ۴-۸ مقایسه ساختارها
- ۲۷۶ ..... ۵-۸ ملاحظات انتخاب ساختار و کنترل مناسب
- ۲۷۷ ..... ۶-۸ توسعه آینده و کاربردهای بالقوه
- ۲۷۷ ..... ۷-۸ معرفی شرکت‌های تولیدکننده D-Statcom



- ۲۷۷.....PCS100 سری ABB های شرکت Statcom ۱-۷-۸
- ۲۷۸.....CG Power شرکت Statcom ۲-۷-۸
- ۲۷۹.....American Electric Power (AEP) طبق گزارش D-Statcom ۸-۸-۸
- ۲۷۹.....D-Statcom استفاده از پروژه‌های عملی D-Statcom ۹-۸-۸
- ۲۷۹.....S&C محصول شرکت S&C PureWave D-Statcom ۱-۹-۸
- ۲۸۱.....D-Statcom برخی از شرکت‌ها ۱۰-۸-۸
- ۲۸۱.....Green Power شرکت ۱-۱۰-۸
- ۲۸۲.....SHANGHAI XISHUN ELECTRIC CO. LTD شرکت ۲-۱۰-۸
- ۲۸۲.....D-Statcom اختراعات ثبت شده و مقالات ارائه شده در زمینه D-Statcom ۱۱-۸-۸
- ۲۸۸..... فصل نهم تجهیز TSC ۹-۸-۸**
- ۲۸۸.....مقدمه ۱-۹-۸
- ۲۹۱.....TSC مزایای TSC ۲-۹-۸
- ۲۹۲.....MSC و TSC مقایسه TSC و MSC ۳-۹-۸
- ۲۹۳.....معرفی شرکت‌های تولیدکننده و محصولات آنها ۴-۹-۸
- ۲۹۳.....ABB شرکت ۱-۴-۹
- ۲۹۵.....ALSTOM شرکت ۲-۴-۹
- ۲۹۶.....Jiangsu West Rectifier Co. Ltd. شرکت ۳-۴-۹
- ۲۹۷.....Zhuhai Wanlida Electrical Automation Co. Ltd. شرکت ۴-۴-۹
- ۲۹۹.....LSFC-P-E مدل TSC: Frako شرکت ۵-۴-۹
- ۳۰۰.....Claritas Power System Solution (p) Ltd. شرکت ۶-۴-۹
- ۳۰۱.....PureWave AVC مدل S&C: شرکت ۷-۴-۹

- ۳۰۲.....Shandong Hoteam شرکت ۸-۴-۹
- ۳۰۳..... ۵-۹- پروژہ‌های انجام شده
- ۳۰۳..... ۱-۵-۹ شرکت S&C: کارخانه تست قطعات نیمه‌هادی قدرت
- ۳۰۵..... ۲-۵-۹ شرکت S&C: جبران‌سازی توان راکتیو کارخانه بازیافت فلز
- ۳۰۶..... ۳-۵-۹ شرکت S&C: جبران‌سازی توان راکتیو در بارانداز اسکله
- ۳۰۶..... ۴-۵-۹ شرکت S&C: جبران‌سازی توان راکتیو در نورد فولاد
- ۳۰۷..... ۵-۵-۹ شرکت S&C: جبران‌سازی توان راکتیو شهرسازی
- ۳۰۸..... ۶-۵-۹ شرکت ABB: استفاده از Dynacomp در اتومبیل‌سازی Fiat هند
- ۳۰۸..... ۶-۹- قیمت محصولات
- ۳۱۱..... ۷-۹- بررسی مقالات
- ۳۱۴..... ۱۰- فصل دهم بازیاب دینامیک ولتاژ (DVR)
- ۳۱۴..... ۱-۱۰- مقدمه
- ۳۱۷..... ۲-۱۰- ساختار متداول DVR
- ۳۱۸..... ۳-۱۰- المان‌های اساسی DVR
- ۳۱۹..... ۱-۳-۱۰ ترانسفورماتور تزریق ولتاژ سری
- ۳۲۰..... ۲-۳-۱۰ ذخیره‌سازی انرژی
- ۳۲۱..... ۳-۳-۱۰ فیلتر LC
- ۳۲۲..... ۴-۳-۱۰ اینورتر منبع ولتاژ
- ۳۲۲..... ۵-۳-۱۰ کلیدهای باپس (By Pass)
- ۳۲۳..... ۴-۱۰- عملکرد DVR
- ۳۲۴..... ۵-۱۰- انواع ساختارهای DVR در شبکه توزیع

- ۳۲۵..... ۱-۵-۱۰ ساختار DVR بدون ذخیره‌ساز انرژی
- ۳۲۵..... ۲-۵-۱۰ ساختارهای DVR با ذخیره‌ساز انرژی
- ۳۲۶..... ۱-۶-۱۰ انواع استراتژی‌های کنترلی DVR
- ۳۲۸..... ۱-۶-۱۰ تکنیک‌های جبران‌سازی در DVR
- ۳۲۸..... ۱-۷-۱۰ بازار جهانی DVR
- ۳۲۹..... ۱-۸-۱۰ نمونه‌های عملی DVR
- ۳۲۹..... ۱-۸-۱۰ DVR محصول شرکت ABB
- ۳۳۲..... ۱-۸-۲ تجهیز DVR محصول شرکت S&C
- ۳۳۳..... ۱-۹-۱۰ پروژه‌های عملی انجام شده در زمینه DVR
- ۳۳۳..... ۱-۹-۱۰ نصب DVR توسط شرکت SRP برای ScottishPower
- ۳۳۴..... ۲-۹-۱۰ نصب DVR توسط شرکت UPM برای Caledonian Paper plc Irvine, Scotland
- ۳۳۴.....
- ۳۳۵..... ۱-۱۰-۱۰ بررسی اختراعات و مقالات چاپ‌شده در زمینه DVR
- ۳۳۸..... ۱-۱۱-۱۰ استانداردها
- ۳۳۸..... ۱-۱۱-۱۰ استانداردهای مربوط به راکتورها و ترانسفورماتورها
- ۳۳۸..... ۲-۱۱-۱۰ استانداردهای مربوط به ترستورها
- ۳۳۸..... ۳-۱۱-۱۰ استانداردهای مربوط به اتصال به شبکه
- ۳۳۹..... ۴-۱۱-۱۰ استانداردهای مربوط به عایق‌بندی
- ۳۴۱..... ۱۱- فصل یازدهم آزمایشگاه‌های الکترونیک قدرت
- ۳۴۱..... ۱-۱۱- مقدمه
- ۳۴۲..... ۱-۱-۱۱ تعاریف اولیه

- ۱۱-۱-۲ آزمایشگاه‌های تحقیقاتی ..... ۳۴۴
- ۱۱-۱-۳ آزمایشگاه‌های مرجع ..... ۳۴۶
- ۱۱-۱-۴ آزمایشگاه پایلوت ..... ۳۵۲
- ۱۱-۲-۲- بررسی آزمایشگاه‌های پیشرفته الکترونیک قدرت در جهان ..... ۳۵۲
- ۱۱-۲-۱- آزمایشگاه ملی OAK RIDGE (به اختصار ORNL) ..... ۳۵۳
- ۱۱-۲-۲- آزمایشگاه الکترونیک قدرت و درایوهای الکتریکی دانشگاه Texas Dallas (به اختصار PEDL) ..... ۳۵۴
- ۱۱-۲-۳- آزمایشگاه الکترونیک قدرت دانشگاه ایالت Utah (به اختصار UPEL) ..... ۳۵۶
- ۱۱-۲-۴- آزمایشگاه الکترونیک قدرت و درایوهای الکتریکی دانشگاه ایالت میشیگان (به اختصار آزمایشگاه MSU) ..... ۳۵۸
- ۱۱-۲-۵- آزمایشگاه پیشرفته الکترونیک قدرت و درایوهای الکتریکی دانشگاه Connecticut (به اختصار APEDL-UCONN) ..... ۳۶۱
- ۱۱-۲-۶- مرکز سیستم‌های الکترونیک قدرت دانشگاه Virginia Tech (به اختصار CPES) ..... ۳۶۲
- ۱۱-۲-۷- آزمایشگاه توان هیدروژنی تجدیدپذیر دانشگاه North Dakota ..... ۳۶۵
- ۱۱-۲-۸- آزمایشگاه توان انعطاف‌پذیر DNV GL (به اختصار FPGL) ..... ۳۶۷
- ۱۱-۲-۹- آزمایشگاه تکنولوژی و کاربرد الکترونیک قدرت در تحقیقات انرژی (به اختصار PEATER) ..... ۳۷۰
- ۱۱-۲-۱۰- آزمایشگاه ملی انرژی‌های تجدیدپذیر (به اختصار NREL) ..... ۳۷۳
- ۱۱-۲-۱۱- آزمایشگاه تست اینورتر فتوولتائیک Fraunhofer ..... ۳۷۵
- ۱۱-۲-۱۲- آزمایشگاه تست اینورتر PV دانشگاه Carlos III مادرید (UC3M) ..... ۳۷۷

## ۱۱-۲-۱۳ آزمایشگاه الکترونیک قدرت و درایوهای الکتریکی دانشگاه WISCONSIN

۳۷۹ .....(UWM) MILWAUKEE

۳۸۱ ..... ۱۱-۳-۳- معرفی سیستم‌های شبیه‌ساز HIL مورد استفاده در شبکه قدرت

۳۸۲ ..... ۱۱-۳-۱- نیازسنجی

۳۸۳ ..... ۱۱-۳-۲- بررسی بیشتر شبیه‌سازی HIL کنترل و قدرت

۳۸۶ ..... ۱۱-۳-۳- معرفی تجهیزات حاضر در شبیه‌سازی HIL

۳۹۱ ..... ۱۱-۳-۴- تولیدکنندگان

۳۹۴ ..... ۱۱-۳-۵- برخی خریداران شبیه‌سازی بلادرنگ HIL

۴۰۳ ..... ۱۱-۴- نتیجه‌گیری

## ۱۲- فصل دوازدهم پروژه‌های فنی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت ..... ۴۰۷

۴۰۷ ..... ۱۲-۱- مقدمه

۴۰۷ ..... ۱۲-۲- طراحی و ساخت مبدل توربین بادی

۴۰۸ ..... ۱۲-۲-۱- طراحی و ساخت مبدل مقیاس کامل توربین بادی چند صد کیلوواتی

۴۱۰ ..... ۱۲-۲-۲- طراحی و ساخت مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین باد دو مگاواتی

۴۱۲ ..... ۱۲-۳- طراحی و ساخت اینورتر فتوولتائیک متصل به شبکه

۴۱۳ ..... ۱۲-۳-۱- طراحی و ساخت اینورتر فتوولتائیک متصل به شبکه کوچک

۴۱۵ ..... ۱۲-۳-۲- طراحی و ساخت نمونه اینورتر فتوولتائیک نیروگاهی

۴۱۷ ..... ۱۲-۴- طراحی و ساخت SVC

۴۱۸ ..... ۱۲-۴-۱- طراحی و ساخت یک نمونه SVC قابل جابجایی

۴۲۱ ..... ۱۲-۴-۲- طراحی و ساخت یک نمونه SVC با ظرفیت بالا

۴۲۳ ..... ۱۲-۵- طراحی و ساخت Statcom

- ۴۲۳.....D-Statcom ۱-۵-۱۲ طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی
- ۴۲۷.....STS ۱-۶-۱۲ طراحی و ساخت
- ۴۲۷.....STS ۱-۶-۱۲ طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی
- ۴۲۹.....DVR ۱-۷-۱۲ طراحی و ساخت
- ۴۲۹.....DVR ۱-۷-۱۲ طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی
- ۴۳۱.....TSC ۱-۸-۱۲ طراحی و ساخت
- ۴۳۲.....TSC ۱-۸-۱۲ طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی
- ۴۳۵..... ۱-۹-۱۲ طراحی و ساخت ذخیره ساز انرژی باطری
- ۴۳۶..... ۱-۹-۱۲ طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی ذخیره ساز انرژی باطری
- ۴۳۸.....SFC ۱-۱۰-۱۲ دستیابی به دانش فنی طراحی تفصیلی
- ۴۳۸.....SFC ۱-۱۰-۱۲ دستیابی به دانش فنی طراحی و تهیه نقشه های اجرایی
- ۴۴۰..... ۱-۱۱-۱۲ دستیابی به دانش فنی طراحی تفصیلی سیستم تحریک نیروگاهی
- ۴۴۰..... ۱-۱۱-۱۲ دستیابی به دانش فنی طراحی و تهیه نقشه های اجرایی سیستم تحریک
- ۴۴۲..... ۱-۱۲-۱۲ طرح ملی آزمایشگاه الکترونیک قدرت
- ۴۴۲..... ۱-۱۲-۱۲ طرح ملی راه اندازی آزمایشگاه شبیه ساز بلادرنگ تجهیزات الکترونیک قدرت
- ۴۴۴..... ۱-۱۳-۱۲ طرح ملی شبکه آزمایشگاهی
- ۴۴۴..... ۱-۱۳-۱۲ طرح ملی راه اندازی شبکه آزمایشگاهی الکترونیک قدرت
- ۴۴۸..... ۱۳- نتیجه گیری
- ۴۴۹..... ۱۴- مراجع

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ ظرفیت سالیانه توربین باد نصب شده در جهان ..... ۳
- شکل ۲-۱ ظرفیت تجمعی توربین باد نصب شده در جهان ..... ۴
- شکل ۳-۱ قیمت تولید برق با در نظرگیری فاکتورهای مختلف ..... ۷
- شکل ۴-۱ فلسفه تولید و گسترش سیستم توربین بادی ..... ۸
- شکل ۵-۱ تحولات سیستم توربین بادی از نظر ظرفیت، قطر پره و نوع مبدل الکترونیک قدرت ..... ۸
- شکل ۶-۱ ساختار سیستم بادی با ژنراتور القایی قفس سنجابی بدون مبدل الکترونیک قدرت ..... ۱۱
- شکل ۷-۱ ساختار سیستم بادی با ژنراتور القایی دو سو تغذیه دارای مبدل قدرت مقیاس جزئی ..... ۱۲
- شکل ۸-۱ ساختار سیستم بادی دارای مبدل قدرت مقیاس کامل (مغناطیس دائم یا القایی) ..... ۱۳
- شکل ۹-۱ ظرفیت سالیانه نصب شده مبدل های الکترونیک قدرت در جهان ..... ۱۵
- شکل ۱۰-۱ درصد مشارکت هر یک از انواع مبدل الکترونیک قدرت در توان نصب شده باد در جهان ..... ۱۶
- شکل ۱۱-۱ چشم انداز نصب به کارگیری مبدل الکترونیک قدرت در توربین های بادی ..... ۱۶
- شکل ۱۲-۱ مبدل مقیاس جزئی ..... ۱۷
- شکل ۱۳-۱ مبدل تک سلولی یک طرفه [۱۸] و [۱۹] ..... ۱۹
- شکل ۱۴-۱ مبدل تک سلولی یک طرفه دارای مبدل بوست dc-dc [۱۹] ..... ۱۹
- شکل ۱۵-۱ مبدل تک سلولی یک طرفه دارای مبدل منبع جریان [۲۰] ..... ۱۹
- شکل ۱۶-۱ مبدل دوسطحی [۲۱] ..... ۲۰
- شکل ۱۷-۱ ساختار دیود کلمپ سه سطحی [۲۲] ..... ۲۱
- شکل ۱۸-۱ ساختار تمام پل سه سطحی [۲۳] ..... ۲۱
- شکل ۱۹-۱ ساختار تمام پل پنج سطحی [۲۴] ..... ۲۲
- شکل ۲۰-۱ ساختار ورودی دیود کلمپ سه سطحی و خروجی تمام پل پنج سطحی [۲۵] ..... ۲۲

- شکل ۱-۲۱ ساختار ورودی سری و خروجی سری [۲۶] ..... ۲۳
- شکل ۱-۲۲ ساختار ورودی سری و خروجی موازی [۲۷] ..... ۲۳
- شکل ۱-۲۳ ساختار ورودی موازی و خروجی موازی [۲۸] ..... ۲۴
- شکل ۱-۲۴ ساختار ورودی موازی خروجی سری [۲۹] ..... ۲۴
- شکل ۱-۲۵ ساختار مبدل ماتریسی [۳۰] ..... ۲۵
- شکل ۱-۲۶ تعداد مقالات منتشر شده در سایت IEEE در زمینه باد ..... ۲۸
- شکل ۱-۲۷ نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه شده در زیرشاخه‌های مربوط به الکترونیک قدرت سیستم باد ..... ۲۹
- شکل ۱-۲۸ میزان بودجه درخواستی برای سرمایه‌گذاری در صنعت باد ایالات متحده ..... ۳۳
- شکل ۱-۲۹ میزان بودجه واحد تحقیق و توسعه انرژی باد و سهم آن از بودجه باد، در کشورهای عضو OECD ..... ۳۵
- شکل ۱-۳۰ مشارکت هریک از عوامل تولید برق بادی از جمله مبدل الکترونیک قدرت در قیمت کل ... ۴۱
- شکل ۱-۳۱ مقایسه درصد مشارکت توربین باد در هزینه کل تولید برق بادی در نواحی فراساحلی و غیر فراساحلی ..... ۴۲
- شکل ۱-۳۲ متوسط هزینه سرمایه‌گذاری اولیه تولید برق بادی در کشورهای اروپایی ..... ۴۳
- شکل ۱-۳۳ میزان قیمت تولید برق بادی در کشور آمریکا به تفکیک ظرفیت هر توربین باد ..... ۴۴
- شکل ۱-۳۴ قیمت سرمایه‌گذاری اولیه تمامی پروژه‌های فراساحلی ..... ۴۵
- شکل ۲-۱ ظرفیت سالیانه فتوولتائیک نصب شده در جهان ..... ۵۰
- شکل ۲-۲ ظرفیت تجمعی فتوولتائیک نصب شده در جهان ..... ۵۰
- شکل ۲-۳ تکنولوژی اولیه مبدل فتوولتائیک ..... ۵۳
- شکل ۲-۴ تکنولوژی کنونی رشته‌ای مبدل فتوولتائیک ..... ۵۴



- شکل ۵-۲ تکنولوژی کنونی مازول AC مبدل فتوولتائیک ..... ۵۵
- شکل ۶-۲ نسل آتی مبدل های فتوولتائیک ..... ۵۶
- شکل ۷-۲ مبدل فتوولتائیک تک مرحله ای ..... ۵۷
- شکل ۸-۲ مبدل فتوولتائیک دو مرحله ای ..... ۵۷
- شکل ۹-۲ مبدل فتوولتائیک چند رشته ای ..... ۵۸
- شکل ۱۰-۲ مکان قرارگیری خازن در مبدل فتوولتائیک ..... ۵۸
- شکل ۱۱-۲ انواع مبدل فتوولتائیک بر اساس نوع ترانسفورماتور ..... ۵۹
- شکل ۱۲-۲ اینورتر منبع جریان کموتاسیون خط ..... ۵۹
- شکل ۱۳-۲ مبدل فتوولتائیک بدون ترانسفورماتور با ولتاژ ورودی بالا ..... ۶۰
- شکل ۱۴-۲ مبدل فتوولتائیک بدون ترانسفورماتور با ولتاژ ورودی بالا ..... ۶۰
- شکل ۱۵-۲ مبدل فتوولتائیک با اینورتر فلای بک تک ترنزیستوری با لینک فرکانس بالا ..... ۶۱
- شکل ۱۶-۲ مبدل فتوولتائیک با اینورتر فلای بک دو ترنزیستوری ..... ۶۱
- شکل ۱۷-۲ مبدل فتوولتائیک ساختار شیمیزو اصلاح شده ..... ۶۲
- شکل ۱۸-۲ مبدل فتوولتائیک با اینورتر دو ترنزیستوری ..... ۶۲
- شکل ۱۹-۲ مبدل فتوولتائیک با اینورتر فرکانس پایه ترنزیستوری ..... ۶۲
- شکل ۲۰-۲ مبدل فتوولتائیک با مبدل فلای بک dc-dc و اینورتر مدولاسیون پهنای پالس ..... ۶۳
- شکل ۲۱-۲ مبدل فتوولتائیک بدون ترانسفورماتور با ولتاژ ورودی بالا ..... ۶۳
- شکل ۲۲-۲ مبدل فتوولتائیک دو مرحله ای بدون خازن جبران ساز ..... ۶۳
- شکل ۲۳-۲ مبدل فتوولتائیک با اینورتر دیود کلمپ سه سطحی نیم پل ..... ۶۴
- شکل ۲۴-۲ مبدل فتوولتائیک با اینورتر دارای مدار کنترل توان فتوولتائیک ..... ۶۵
- شکل ۲۵-۲ مبدل فتوولتائیک چند رشته ای ..... ۶۵

- شکل ۲-۲۶ مبدل فتوولتائیک با اینورتر دارای GCC ..... ۶۶
- شکل ۲-۲۷ فتوولتائیک مستقل از شبکه با ساختار متمرکز ..... ۶۷
- شکل ۲-۲۸ فتوولتائیک مستقل از شبکه با اینورتر سه سطحی و ساختار غیرمتمرکز ..... ۶۷
- شکل ۲-۲۹ فتوولتائیک مستقل از شبکه با اینورتر چند سطحی و ساختار غیرمتمرکز ..... ۶۸
- شکل ۲-۳۰ سهم مبدل‌های فتوولتائیک متصل به شبکه و جدا از آن در اتحادیه اروپا ..... ۶۹
- شکل ۲-۳۱ سهم مبدل‌های فتوولتائیک متصل به شبکه متمرکز و غیرمتمرکز در اروپا ..... ۷۰
- شکل ۲-۳۲ سهم مازول‌های به‌کاررفته در بازار جهانی ..... ۷۱
- شکل ۲-۳۳ تعداد مقالات منتشرشده در سایت IEEE در زمینه فتوولتائیک و اینورتر آن ..... ۷۲
- شکل ۲-۳۴ تعداد کل پتنت‌های منتشرشده در زمینه فتوولتائیک و اینورتر فتوولتائیک ..... ۷۳
- شکل ۲-۳۵ نسبت تعداد پتنت‌های مشترک بین‌المللی به کل پتنت‌های فتوولتائیک ..... ۷۴
- شکل ۲-۳۶ اهداف تحقیق و توسعه در زمینه الکترونیک قدرت فتوولتائیک ..... ۷۶
- شکل ۲-۳۷ بودجه واحد تحقیق و توسعه فتوولتائیک (درصدی از فروش کل) ..... ۷۷
- شکل ۲-۳۸ تولیدکنندگان اینورترهای فتوولتائیک ..... ۷۸
- شکل ۲-۳۹ میزان تولیدی اینورتر فتوولتائیک در ده شرکت برتر جهان (برحسب مگاوات) ..... ۸۱
- شکل ۲-۴۰ درصد مشارکت کشورها در تولید اینورتر فتوولتائیک ..... ۸۱
- شکل ۲-۴۱ مقدار متوسط قیمت تمام‌شده برای نصب فتوولتائیک در کشور آمریکا ..... ۸۲
- شکل ۲-۴۲ مقدار متوسط قیمت تمام‌شده برای کشور آمریکا، ژاپن و آلمان ..... ۸۳
- شکل ۲-۴۳ درصد مشارکت قیمت هر یک از مؤلفه‌های سیستم فتوولتائیک ..... ۸۳
- شکل ۲-۴۴ میزان قیمت تولید سیستم فتوولتائیک در کشور آمریکا به تفکیک توان مبدل ..... ۸۴
- شکل ۳-۱: نظریه جبران‌سازی موازی در سیستم شعاعی الف) بدون جبران‌سازی موازی ب) با جبران‌سازی موازی
- جریانی خازنی ..... ۹۵

- شکل ۳-۲: ساختار پایه TCR و شکل موج‌های عملکردی آن ..... ۹۸
- شکل ۳-۳: TCR سه فاز الف) شش پالس ب) ۱۲ پالس ..... ۱۰۰
- شکل ۳-۴: الف) ساختار TSC ب) شکل موج‌های عملکردی ..... ۱۰۱
- شکل ۳-۵: ساختار یک FC-TCR به همراه مدار کنترل و شکل موج‌های عملکردی آن ..... ۱۰۳
- شکل ۳-۶: منحنی مشخصه تلفات SVC بر حسب توان راکتیو خروجی ..... ۱۰۵
- شکل ۳-۷: ساختار پایه TCR-TSC و منحنی مشخصه خروجی آن در ساختار TCR-TSC ..... ۱۰۶
- شکل ۳-۸: طرح کنترلی برای ساختار ترکیبی TCR-TSC ..... ۱۰۷
- شکل ۳-۹: شکل موج‌های عملکردی ساختار TCR-TSC (Ir جریان مرجع ورودی، Ic جریان مجموع TSC ها، IL جریان TCR، ITotal جمع جریان‌ها) ..... ۱۰۸
- شکل ۳-۱۰: مشخصات تلفات خروجی ساختار TCR-TSC بر حسب توان راکتیو خروجی ..... ۱۰۹
- شکل ۳-۱۱: طرح کنترلی یک SVC ..... ۱۱۰
- شکل ۳-۱۲: منحنی مشخصه V-I برای جبران‌ساز SVC ..... ۱۱۲
- شکل ۳-۱۳: نمودار فراوانی تجمعی کنفرانس‌های منتشرشده در سایت IEEE در زمینه TCR ..... ۱۱۳
- شکل ۳-۱۴: نمودار فراوانی تجمعی مقالات منتشرشده در سایت IEEE در زمینه TCR ..... ۱۱۴
- شکل ۳-۱۵: نمودار فراوانی تجمعی کنفرانس‌های منتشرشده در سایت IEEE در زمینه TCT ..... ۱۱۴
- شکل ۳-۱۶: نمودار فراوانی تجمعی مقالات منتشرشده در سایت IEEE در زمینه TCT ..... ۱۱۴
- شکل ۳-۱۷: نمودار فراوانی تجمعی کنفرانس‌های منتشرشده در سایت IEEE در زمینه TSC ..... ۱۱۵
- شکل ۳-۱۸: نمودار فراوانی تجمعی مقالات منتشرشده در سایت IEEE در زمینه TSC ..... ۱۱۵
- شکل ۳-۱۹: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه‌شده در زیرشاخه Y02E40 مربوط به TCR ..... ۱۱۷
- شکل ۳-۲۰: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه‌شده در زیرشاخه H02J3 مربوط به TCR ..... ۱۱۷
- شکل ۳-۲۱: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه‌شده در زیرشاخه G05F1/00 مربوط به TCR ..... ۱۱۷

- شکل ۳-۲۲: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه‌شده در زیرشاخه Y02E10 مربوط به TCR.....۱۱۸
- شکل ۳-۲۳: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه‌شده در زیرشاخه Y02E60 مربوط به TCR.....۱۱۸
- شکل ۳-۲۴: نمودار تجمعی پتنت‌های ارائه‌شده در تمامی زیرشاخه‌های مربوط به TCR.....۱۱۸
- شکل ۳-۲۵: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه‌شده در زیرشاخه Y02E40 مربوط به TSC.....۱۱۹
- شکل ۳-۲۶: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه‌شده در زیرشاخه H02J3 مربوط به TSC.....۱۱۹
- شکل ۳-۲۷: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه‌شده در زیرشاخه H03K17 مربوط به TSC.....۱۱۹
- شکل ۳-۲۸: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه‌شده در زیرشاخه G05F1 مربوط به TSC.....۱۲۰
- شکل ۳-۲۹: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه‌شده در زیرشاخه H02M1 مربوط به TSC.....۱۲۰
- شکل ۳-۳۰: نمودار تجمعی پتنت‌های ارائه‌شده در تمامی زیرشاخه‌های مربوط به TSC.....۱۲۰
- شکل ۴-۱: مبدل VSC پایه دوسطحی و شش پالسه و ولتاژ خروجی AC آن در حالت موج مربعی...۱۳۱
- شکل ۴-۲: ساختار پل مبدل سه سطحی شش پالسه و ولتاژ AC خروجی آن در حالت موج مربعی...۱۳۱
- شکل ۴-۳: نظریه عملکرد Statcom و مشخصات کنترلی آن.....۱۳۲
- شکل ۴-۴: مبدل ۱۲ پالسه سری و موازی.....۱۳۵
- شکل ۴-۵: مبدل ۲۴ و 6N پالسه.....۱۳۵
- شکل ۴-۶: دو سطح ساختمان مبدل ۴۸ پالسه موجود.....۱۳۶
- شکل ۴-۷: ساختمان‌های دیگر مبدل ۴۸ پالسه موجود.....۱۳۷
- شکل ۴-۸: شمای تک فاز یک مبدل سه سطحی دیود قفلی.....۱۳۹
- شکل ۴-۹: شمای تک فاز یک مبدل چهار سطحی دیود قفلی.....۱۳۹
- شکل ۴-۱۰: ساختار مغناطیسی واسط مبدل دوسطحی ۱۲ پالسه (۲×۶) با ظرفیت  $\pm 1.0 MVA$  (GTO-VSC).....۱۴۰

شکل ۴-۱۱: ساختار مغناطیسی واسط مبدل دوسطحی ۱۸ پالسه (۳×۶) با ظرفیت  $\pm 100 \text{ MVA}$  (GTO-VSC)

۱۴۱.....

شکل ۴-۱۲: ساختار مغناطیسی واسط مبدل دوسطحی ۲۴ پالسه (۴×۶) با ظرفیت  $\pm 100 \text{ MVA}$  (GTO-VSC)

۱۴۱.....

شکل ۴-۱۳: مدار پایه باز تزریق ولتاژ در مبدل دوسطحی ۱۲ پالسه برای تبدیل به حالت ۳۶ پالسه برای PCC

۱۴۲.....

شکل ۴-۱۴: مدار پایه باز تزریق ولتاژ در مبدل سه سطحی ۱۲ پالسه (۲×۶) برای تبدیل به حالت ۶۰ پالسه در

PCC..... ۱۴۳

شکل ۴-۱۵: ساختمان کنترلی پایه یک GTO- VSC Statcom..... ۱۴۴

شکل ۴-۱۶: الگوریتم کنترل PI در مبدل دوسطحی GTO – VSC Statcom..... ۱۴۵

شکل ۴-۱۷: الگوریتم کنترل مبدل سه سطحی GTO – VSC Statcom..... ۱۴۶

شکل ۴-۱۸: نمودار فراوانی تجمعی مقالات منتشر شده در سایت IEEE در زمینه Statcom..... ۱۵۱

شکل ۴-۱۹: نمودار فراوانی تجمعی مقالات کنفرانسی منتشر شده در سایت IEEE در زمینه Statcom..... ۱۵۱

شکل ۴-۲۰: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه شده در زیرشاخه Y02E40 مربوط به Statcom..... ۱۵۳

شکل ۴-۲۱: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه شده در زیرشاخه H02J3 مربوط به Statcom..... ۱۵۳

شکل ۴-۲۲: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه شده در زیرشاخه Y02E10 مربوط به Statcom..... ۱۵۳

شکل ۴-۲۳: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه شده در زیرشاخه Y04S10 مربوط به Statcom..... ۱۵۴

شکل ۴-۲۴: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه شده در زیرشاخه Y02E60 مربوط به Statcom..... ۱۵۴

شکل ۴-۲۵: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه شده در زیرشاخه H02J9 مربوط به Statcom..... ۱۵۴

شکل ۴-۲۶: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه شده در زیرشاخه Y04S40 مربوط به Statcom..... ۱۵۵

شکل ۴-۲۷: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه شده در زیرشاخه Y02B70 مربوط به Statcom..... ۱۵۵

- شکل ۴-۲۸: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه‌شده در زیرشاخه H02M7 مربوط به Statcom. ۱۵۵
- شکل ۴-۲۹: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه‌شده در زیرشاخه‌های مربوط به Statcom. ۱۵۶
- شکل ۵-۱: تغذیه‌ی ماشین سنکرون با مبدل منبع جریان تریستوری با ظرفیت کامل. ۱۷۲
- شکل ۵-۲: شماتیک ساختارهای ماشین القایی دوسوتغذیه. الف) تغذیه سیم‌پیچ روتور با استفاده از یک سیکلوکانورتر ب) تغذیه سیم‌پیچ روتور با استفاده از یک مبدل منبع ولتاژ پشت‌به‌پشت و خازن واسط dc. ۱۷۳
- شکل ۵-۳: ساختار سیستم تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت‌متغیر مبتنی بر مبدل منبع ولتاژ با ظرفیت کامل. ۱۷۴
- شکل ۵-۴: ساختار SFC دارای مبدل AFE. ۱۷۵
- شکل ۵-۵: دسته‌بندی نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای از نظر مبدل‌های الکترونیک قدرت. ۱۷۶
- شکل ۵-۶: SFC راه‌انداز نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت ثابت. ۱۷۷
- شکل ۵-۷: پل سیکلوکانورتری سه‌فاز- سه‌فاز. ۱۸۰
- شکل ۵-۸: ساختار مبدل پشت‌به‌پشت دوسطحی. ۱۸۰
- شکل ۵-۹: ساختار مبدل سه‌سطحی دیود قفل‌شده. ۱۸۱
- شکل ۵-۱۰: ساختار مبدل ۱۱ سطحی H-Bridge آبشاری. ۱۸۲
- شکل ۵-۱۱: پیکربندی ولتاژ بالا- ولتاژ پایین- ولتاژ بالا ۶/۶ پالس. ۱۸۳
- شکل ۵-۱۲: دو نوع ساختار ولتاژ بالا- ولتاژ پایین- ولتاژ بالا ۱۲/۱۲ پالس. ۱۸۴
- شکل ۵-۱۳: پیکربندی ولتاژ بالا- ولتاژ بالا ۶ پالس. ۱۸۴
- شکل ۵-۱۴: دو نوع ساختار ولتاژ بالا- ولتاژ بالا ۱۲/۱۲ پالس. ۱۸۴
- شکل ۵-۱۵: ساختارهای مورد استفاده در راه‌اندازی توربین گاز. ۱۸۵
- شکل ۵-۱۶: نمودار فراوانی تجمعی تعداد مقالات منتشرشده در کنفرانس‌ها و مجلات IEEE و ELSEVIER در زمینه مبدل‌های SFC مورد استفاده در نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای و گازی. ۱۸۷

- شکل ۵-۱۷: نمودار فراوانی تجمعی پتنت های مربوط به الکترونیک قدرت سیستم SFC نیروگاه تلمبه ذخیره ای و گازی ارائه شده در زیرشاخه H02P9..... ۱۸۸
- شکل ۵-۱۸: نمودار فراوانی تجمعی پتنت های مربوط به الکترونیک قدرت سیستم SFC نیروگاه تلمبه ذخیره ای و گازی ارائه شده در زیرشاخه H02M5..... ۱۸۸
- شکل ۵-۱۹: نمودار فراوانی تجمعی پتنت های مربوط به الکترونیک قدرت سیستم SFC نیروگاه تلمبه ذخیره ای و گازی ارائه شده در زیرشاخه H02P1..... ۱۸۹
- شکل ۵-۲۰: نمودار فراوانی تجمعی پتنت های مربوط به الکترونیک قدرت سیستم SFC نیروگاه تلمبه ذخیره ای و گازی ارائه شده در زیرشاخه H02P5..... ۱۸۹
- شکل ۵-۲۱: نمودار فراوانی تجمعی پتنت های مربوط به الکترونیک قدرت سیستم SFC نیروگاه تلمبه ذخیره ای و گازی ارائه شده در زیرشاخه F03B15..... ۱۹۰
- شکل ۵-۲۲: نمودار فراوانی تجمعی پتنت های ارائه شده در کلیه زیرشاخه های مربوط به الکترونیک قدرت سیستم SFC نیروگاه تلمبه ذخیره ای و گازی..... ۱۹۰
- شکل ۵-۲۳: دیاگرام الکتریکی نیروگاه تلمبه ذخیره ای Goldisthal..... ۱۹۵
- شکل ۵-۲۴: مدار روتور ژنراتور القایی نیروگاه Goldisthal..... ۱۹۵
- شکل ۵-۲۵: ساختار SFC سرعت متغیر ظرفیت کامل نیروگاه Grimsel 2..... ۱۹۶
- شکل ۵-۲۶: سیستم تحریک DC متعارف..... ۱۹۸
- شکل ۵-۲۷: سیستم تحریک چرخان دارای جاروبک (سیستم تحریک متعارف)..... ۲۰۰
- شکل ۵-۲۸: سیستم تحریک چرخان بدون جاروبک..... ۲۰۰
- شکل ۵-۲۹: سیستم تحریک استاتیکی..... ۲۰۰
- شکل ۵-۳۰: سیستم تحریک بدون جاروبک و بدون اکسایتر پیلوت..... ۲۰۱
- شکل ۵-۳۱: سیستم تحریک بدون جاروبک و بدون اکسایتر پیلوت..... ۲۰۱

- شکل ۵-۳۲: نمودار فراوانی تجمعی تعداد مقالات منتشرشده در کنفرانس‌ها و مجلات IEEE در زمینه سیستم‌های تحریک ..... ۲۰۳
- شکل ۵-۳۳: نمودار فراوانی تجمعی تعداد کل مقالات منتشرشده در زمینه سیستم‌های تحریک ..... ۲۰۴
- شکل ۵-۳۴: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های مربوط به الکترونیک قدرت سیستم‌های تحریک ارائه شده در زیرشاخه H02P9 ..... ۲۰۵
- شکل ۵-۳۵: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های مربوط به الکترونیک قدرت سیستم‌های تحریک ارائه شده در زیرشاخه H02P2101 ..... ۲۰۵
- شکل ۵-۳۶: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های مربوط به الکترونیک قدرت سیستم‌های تحریک ارائه شده در زیرشاخه H02K19 ..... ۲۰۶
- شکل ۵-۳۷: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های مربوط به الکترونیک قدرت سیستم‌های تحریک ارائه شده در زیرشاخه H02K1 ..... ۲۰۶
- شکل ۵-۳۸: نمودار فراوانی تجمعی کلیه پتنت‌های ارائه شده در زیرشاخه‌های مربوط به الکترونیک قدرت سیستم‌های تحریک ..... ۲۰۷
- شکل ۵-۳۹: سیستم تحریک استاتیک ژنراتور سنکرون نیروگاه سیکل ترکیبی شیروان ..... ۲۱۰
- شکل ۶-۱: مقایسه هزینه خطوط ac و HVDC هوایی ..... ۲۱۵
- شکل ۶-۲: مقایسه هزینه برای تأمین برق یک جزیره با توان ۲۰۰ مگاوات ..... ۲۱۶
- شکل ۶-۳: محل اجرای پروژه HVDC گاتلند ..... ۲۱۷
- شکل ۶-۴: مقایسه هزینه HVDC Light و HVAC ..... ۲۱۸
- شکل ۶-۵: منحنی تجمعی رشد سرمایه‌گذاری در HVDC ..... ۲۱۹
- شکل ۶-۶: یک نمونه شبکه‌ی MVDC ..... ۲۲۰
- شکل ۶-۷: سهم بازار HVDC ..... ۲۲۱



- شکل ۶-۸: مدار تک قطبی متقارن..... ۲۲۲
- شکل ۶-۹: مدار تک قطبی نامتقارن ..... ۲۲۲
- شکل ۶-۱۰: مدار دو قطبی با الکتروود زمین ..... ۲۲۳
- شکل ۶-۱۱: ساختار چند ترمیناله ..... ۲۲۵
- شکل ۶-۱۲: روند توسعه‌ی تکنولوژی HVDC ..... ۲۲۶
- شکل ۶-۱۳: مبدل دو سطحی به کار رفته در VSC-HVDC ..... ۲۲۷
- شکل ۶-۱۴: مبدل نقطه خنثی قفل شده ..... ۲۲۹
- شکل ۶-۱۵: ساختار ماژولار مبدل چند سطحی ..... ۲۲۹
- شکل ۶-۱۶: مبدل دوسطحی سری شده (CTL) ..... ۲۳۰
- شکل ۶-۱۷: مقایسه تلفات مبدل‌های دوسطحی و دوسطحی سری شده ..... ۲۳۰
- شکل ۷-۱: تأثیر ذخیره‌سازها بار مصرفی در ساعات پیک و خارج از پیک ..... ۲۳۴
- شکل ۷-۲: ظرفیت سالیانه ذخیره‌ساز نصب شده در جهان ..... ۲۳۶
- شکل ۷-۳: میزان کل ظرفیت ذخیره‌ساز نصب شده در جهان در سال ۲۰۱۰ ..... ۲۳۷
- شکل ۷-۴: وضعیت تکنولوژی هر یک از ذخیره‌سازهای انرژی ..... ۲۳۸
- شکل ۷-۵: انواع ساختارهای مبدل سیستم ذخیره‌ساز انرژی باتری جهت اتصال به شبکه ..... ۲۳۹
- شکل ۷-۶: انواع مبدل‌های بوست دوطرفه مورد استفاده در سیستم ذخیره‌ساز انرژی باتری ..... ۲۴۲
- شکل ۷-۷: انواع مبدل‌های باک دو طرفه مورد استفاده در سیستم ذخیره‌ساز انرژی باتری ..... ۲۴۳
- شکل ۷-۸: انواع مبدل‌های چند سطحی دوطرفه مورد استفاده در سیستم ذخیره‌ساز انرژی باتری ..... ۲۴۴
- شکل ۷-۹: انواع مبدل‌های دوطرفه چند پالسه مورد استفاده در سیستم ذخیره‌ساز انرژی باتری ..... ۲۴۶
- شکل ۷-۱۰: اتصال ترکیبی باتری و توربین بادی به شبکه ..... ۲۴۷
- شکل ۷-۱۱: نمودار ظرفیت ذخیره‌سازهای نصب شده در چین به استثناء هیدرو تا سال ۲۰۱۶ [۱۷۹]. ۲۵۱

شکل ۷-۱۲: نمودار تجمعی مقالات منتشرشده در سایت IEEE در زمینه ذخیره‌ساز باتری و مبدل آن

[۱۸۰]..... ۲۵۲

شکل ۷-۱۳: نمودار تجمعی اختراعات ثبت‌شده در زمینه مبدل‌های ذخیره‌ساز انرژی باتری ..... ۲۵۲

شکل ۷-۱۴: دسته‌بندی شرکت‌های فعال در زمینه سیستم ذخیره‌ساز انرژی باتری [۱۸۱]..... ۲۵۳

شکل ۷-۱۵: هزینه اولیه سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی ..... ۲۵۵

شکل ۸-۱: نمودار هزینه‌های وقفه (بر اساس یورو بر کیلووات) بر حسب زمان خاموشی ..... ۲۶۰

شکل ۸-۲: دسته‌بندی D-Statcom ..... ۲۶۲

شکل ۸-۳: ساختار Statcom بر پایه VSC سه ساق ایزوله نشده ..... ۲۶۲

شکل ۸-۴: ساختار Statcom بر پایه VSC دو ساق ایزوله نشده ..... ۲۶۳

شکل ۸-۵: ساختار Statcom بر پایه VSC سه ساق ایزوله شده ..... ۲۶۳

شکل ۸-۶: ساختار Statcom بر پایه VSC سه ساق با ترانسفورماتور ستاره-مثلث ..... ۲۶۴

شکل ۸-۷: ساختار Statcom بر پایه VSC دو ساق با ترانسفورماتور ستاره-مثلث ..... ۲۶۴

شکل ۸-۸: دسته‌بندی D-Statcom های سه فاز چهار سیمه ..... ۲۶۵

شکل ۸-۹: ساختار D-Statcom بر پایه VSC چهار ساق ..... ۲۶۶

شکل ۸-۱۰: ساختار D-Statcom بر پایه VSC سه ساق ..... ۲۶۶

شکل ۸-۱۱: ساختار D-Statcom بر پایه VSC سه ساق با ترمینال نول در سمت مثبت یا منفی باس DC

..... ۲۶۷

شکل ۸-۱۲: ساختار D-Statcom بر پایه VSC چهار ساق ترکیبی ..... ۲۶۷

شکل ۸-۱۳: ساختار D-Statcom بر پایه VSC ایزوله نشده با ترانسفورماتور زیگ-زاگ ..... ۲۶۸

شکل ۸-۱۴: ساختار D-Statcom بر پایه VSC ایزوله نشده با ترانسفورماتور ستاره-مثلث ..... ۲۶۸

شکل ۸-۱۵: ساختار D-Statcom بر پایه VSC ایزوله نشده با ترانسفورماتور اتصال T ..... ۲۶۸

شکل ۸-۱۶ ساختار D-Statcom بر پایه VSC ایزوله نشده با ترانسفورماتور شش ضلعی ..... ۲۶۹

شکل ۸-۱۷ ساختار D-Statcom با خازن تقسیم شده بر پایه VSC ایزوله نشده با ترانسفورماتور زیگزاک

..... ۲۶۹

شکل ۸-۱۸ ساختار D-Statcom با خازن تقسیم شده بر پایه VSC ایزوله نشده با ترانسفورماتور ستاره-مثلث

..... ۲۷۰

شکل ۸-۱۹ ساختار D-Statcom با خازن تقسیم شده بر پایه VSC ایزوله نشده با ترانسفورماتور اتصال T

..... ۲۷۰

شکل ۸-۲۰ ساختار D-Statcom با خازن تقسیم شده بر پایه VSC ایزوله نشده با ترانسفورماتور شش ضلعی

..... ۲۷۰

شکل ۸-۲۱ استفاده از سه عدد VSC تک فاز به عنوان D-Statcom سه فاز چهار سیمه ..... ۲۷۱

شکل ۸-۲۲ ساختار D-Statcom بر پایه VSC سه ساق متصل به ثانویه ترانسفورماتور زیگزاک ..... ۲۷۲

شکل ۸-۲۳ ساختار D-Statcom بر پایه VSC سه ساق متصل به ثانویه ترانسفورماتور ستاره-مثلث ..... ۲۷۲

شکل ۸-۲۴ ساختار D-Statcom بر پایه VSC سه ساق متصل به ثانویه ترانسفورماتور اتصال T ..... ۲۷۲

شکل ۸-۲۵ ساختار D-Statcom بر پایه VSC سه ساق متصل به ثانویه ترانسفورماتور شش ضلعی ..... ۲۷۳

شکل ۸-۲۶ ساختار D-Statcom بر پایه VSC دو ساق با خازن تقسیم شده متصل به ثانویه ترانسفورماتور

زیگزاک ..... ۲۷۳

شکل ۸-۲۷ ساختار D-Statcom بر پایه VSC دو ساق با خازن تقسیم شده متصل به ثانویه ترانسفورماتور

ستاره-مثلث ..... ۲۷۴

شکل ۸-۲۸ ساختار D-Statcom بر پایه VSC دو ساق با خازن تقسیم شده متصل به ثانویه ترانسفورماتور اتصال

T ..... ۲۷۴

شکل ۸-۲۹ ساختار D-Statcom بر پایه VSC دو ساق با خازن تقسیم شده متصل به ثانویه

- ترانسفورماتور شش ضلعی ..... ۲۷۴
- شکل ۸-۳۰ Statcom شرکت CG Power ..... ۲۷۸
- شکل ۸-۳۱ مشخصات D-Statcom پیشنهادی ..... ۲۸۱
- شکل ۸-۳۲ نمودار تجمعی اختراعات ثبت شده درزمینه D-Statcom ..... ۲۸۳
- شکل ۸-۳۳ نمودار تجمعی مقالات ژورنال چاپ شده درزمینه D-Statcom ..... ۲۸۶
- شکل ۸-۳۴ نمودار تجمعی مقالات کنفرانسی چاپ شده درزمینه D-Statcom ..... ۲۸۶
- شکل ۹-۱ شماتیک یک TSC تک فاز [۱۹۲] ..... ۲۹۰
- شکل ۹-۲ TSC سه فاز (الف) اتصال سه TSC تک فاز به صورت مثلث (ب) اتصال سه TSC تک فاز به صورت مثلث [۱۹۲] ..... ۲۹۱
- شکل ۹-۳: نمونه TSC شرکت Jiangsu West Rectifier ..... ۲۹۷
- شکل ۹-۴: نمونه تولیدات شرکت Zhuhai Wanlida Electrical Automation ..... ۲۹۸
- شکل ۹-۵: جبران ساز جریان راکتیو و تصحیح کننده کیفیت توان PureWave AVC ..... ۳۰۲
- شکل ۹-۶: نمونه محصول شرکت Shandong Hoteam ..... ۳۰۲
- شکل ۹-۷: محصول PureWave AVC از شرکت S&C ..... ۳۰۴
- شکل ۹-۸: جبران سازی توان راکتیو کارخانه بازیافت فلز ..... ۳۰۵
- شکل ۹-۹: جبران ساز توان راکتیو در بارانداز اسکله ..... ۳۰۶
- شکل ۹-۱۰: جبران ساز توان راکتیو شهرسازی ..... ۳۰۷
- شکل ۹-۱۱: نمودار تجمعی مقالات ژورنالی ارائه شده درزمینه TSC ..... ۳۱۱
- شکل ۹-۱۲: نمودار تجمعی مقالات کنفرانسی ارائه شده درزمینه TSC ..... ۳۱۱
- شکل ۱۰-۱: هزینه های وقفه (بر اساس یورو بر کیلووات) برحسب زمان خاموشی ..... ۳۱۶
- شکل ۱۰-۲: ساختار مداری مرسوم DVR ..... ۳۱۸

- شکل ۱۰-۳: مدار قدرت DVR ..... ۳۱۹
- شکل ۱۰-۴: استفاده از سه ترانسفورماتور تک فاز (الف) ستاره، (ب) مثلث ..... ۳۲۰
- شکل ۱۰-۵: (الف) اینورتر دوسطحی متداول (ب) اینورتر چند سطحی ..... ۳۲۲
- شکل ۱۰-۶: ساختار DVR با کلید کنارگذر جهت عبور جریان اتصال کوتاه یا جریان هجومی و حفاظت از المان‌ها ..... ۳۲۴
- شکل ۱۰-۷: دسته‌بندی DVR ها ..... ۳۲۴
- شکل ۱۰-۸: تأمین انرژی DVR از طریق مبدل پسیو (الف) سمت شبکه (ب) سمت بار ..... ۳۲۵
- شکل ۱۰-۹: ساختار DVR با بهره‌گیری از (الف) ولتاژ لینک DC متغیر (ب) ولتاژ لینک DC ثابت ..... ۳۲۶
- شکل ۱۰-۱۰: انواع روش‌های کنترلی اینورتر DVR ..... ۳۲۷
- شکل ۱۰-۱۱: تکنیک‌های جبران‌سازی در DVR ..... ۳۲۸
- شکل ۱۰-۱۲: DVR محصول شرکت ABB ..... ۳۳۰
- شکل ۱۰-۱۳: ساختار پایه مبدل‌های DVR محصول شرکت ABB ..... ۳۳۱
- شکل ۱۰-۱۴: DVR شرکت SRP ..... ۳۳۴
- شکل ۱۰-۱۵: نمودار تجمعی اختراعات ثبت‌شده در زمینه DVR ..... ۳۳۵
- شکل ۱۰-۱۶: نمودار تجمعی مقالات ژورنال چاپ‌شده در زمینه DVR ..... ۳۳۷
- شکل ۱۰-۱۷: نمودار تجمعی مقالات کنفرانسی ثبت‌شده در زمینه DVR ..... ۳۳۷
- شکل ۱۱-۱: استفاده از دینامومتر برای آزمایش زنجیره درایو توربین‌های بادی ..... ۳۴۸
- شکل ۱۱-۲: مدار پایه جهت آزمون مرجع مبدل‌های الکترونیک قدرت متصل به توربین بادی در برابر افت ولتاژ ..... ۳۴۸
- شکل ۱۱-۳: محدوده ولتاژ، فرکانس و توان قابل دسترسی در آزمایشگاه FPG ..... ۳۶۸
- شکل ۱۱-۴: دیاگرام تک‌خطی شبکه تست آزمایشگاه FPG ..... ۳۶۹

- شکل ۱۱-۵: شبیه‌سازی HIL کنترل ..... ۳۸۴
- شکل ۱۱-۴: شبیه‌سازی HIL قدرت ..... ۳۸۵
- شکل ۱۱-۴: اتصال موتور الکتریکی به شبیه‌ساز بلادرنگ به کمک واسط توانی ..... ۳۸۶
- شکل ۱۱-۴: شبیه‌ساز HIL ترکیبی ..... ۳۸۸
- شکل ۱۱-۴: تقویت‌کننده سوئیچینگ برای شبیه‌سازی HIL ..... ۳۹۰
- شکل ۱۱-۴: ژنراتور سنکرون و بانک بار در نقش واسط توانی در شبیه‌سازی HIL قدرت ..... ۳۹۱
- شکل ۱۱-۴: محصول eMEGAsim شرکت OPAL-RT ..... ۳۹۲
- شکل ۱۱-۴: سیستم RTDS مستقر در دانشگاه New South Wales ..... ۳۹۴
- شکل ۱۱-۱۳: سیستم RTDS مستقر در دانشگاه AALBORG ..... ۳۹۵

## فهرست جداول

- جدول ۱-۱ وظایف مبدل الکترونیک قدرت در سیستم توربین باد ..... ۱۱
- جدول ۲-۱ مقایسه مبدل‌های الکترونیک قدرت به کاررفته در توربین باد ..... ۱۴
- جدول ۳-۱ کد بین‌المللی زیرشاخه‌های مرتبط به الکترونیک قدرت در باد ..... ۲۸
- جدول ۴-۱ کمپانی‌های برتر در زمینه باد و ظرفیت مبدل‌های قدرت آن‌ها ..... ۳۶
- جدول ۵-۱ سهم تولیدکنندگان برتر توربین باد در جهان ..... ۳۸
- جدول ۶-۱ سهم تولیدکنندگان برتر در زمینه باد در کشور آمریکا [۴۲] ..... ۳۹
- جدول ۷-۱ مقایسه برخی سوئیچ‌های نیمه‌هادی در صنعت باد ..... ۴۰
- جدول ۸-۱ قیمت تمام‌شده برای نصب توربین بادی در کشورهای مختلف در سال ۲۰۱۰ ..... ۴۱
- جدول ۹-۱ تخمین‌های صورت گرفته برای کاهش قیمت توربین باد در آینده ..... ۴۵
- جدول ۱-۲ مقایسه اینورترهای متصل به شبکه و غیر متصل به شبکه ..... ۶۸
- جدول ۲-۲ وضعیت بازار هر یک از اینورترهای فتوولتائیک در سال ۲۰۱۴ ..... ۷۱
- جدول ۳-۲ شرکت‌ها و مؤسسات پیشرو در انتشار پتنت در زمینه فتوولتائیک و اینورتر آن ..... ۷۴
- جدول ۴-۲ برنامه‌های کوتاه مدت تحقیق و توسعه فتوولتائیک کشور آمریکا ..... ۷۵
- جدول ۵-۲ برنامه‌های میان‌مدت تحقیق و توسعه فتوولتائیک کشور آمریکا ..... ۷۵
- جدول ۶-۲ برنامه‌های بلند مدت تحقیق و توسعه فتوولتائیک کشور آمریکا ..... ۷۶
- جدول ۷-۲ کمپانی‌های برتر در زمینه اینورتر فتوولتائیک در سال ۲۰۱۳ ..... ۷۸
- جدول ۸-۲ استانداردهای مربوط به فتوولتائیک‌های متصل به شبکه ..... ۸۴
- جدول ۹-۲ استانداردهای مربوط به فتوولتائیک‌های مستقل از شبکه ..... ۸۵
- جدول ۱۰-۲ استانداردهای مربوط به مانیتورینگ فتوولتائیک ..... ۸۵
- جدول ۱۱-۲ استانداردهای مربوط به اینورتر ..... ۸۵

- جدول ۲-۱۲: استانداردهای مربوط به باتری و باتری شارژر ..... ۸۶
- جدول ۳-۱: کد بین‌المللی زیرشاخه‌های مرتبط به الکترونیک قدرت با کاربرد TCR ..... ۱۱۶
- جدول ۳-۲: کد بین‌المللی زیرشاخه‌های مرتبط به الکترونیک قدرت با کاربرد TSC ..... ۱۱۶
- جدول ۳-۳: کمپانی‌های برتر در زمینه تولید SVC و ظرفیت محصولات آن‌ها ..... ۱۲۵
- جدول ۳-۴: مقایسه هزینه‌های ادوات مختلف FACTS ..... ۱۲۶
- جدول ۴-۱: کد بین‌المللی زیرشاخه‌های مرتبط به الکترونیک قدرت با کاربرد Statcom ..... ۱۵۲
- جدول ۴-۲: کمپانی‌های برتر در زمینه تولید Statcom و ظرفیت محصولات آن‌ها ..... ۱۶۱
- جدول ۴-۳: مقایسه هزینه‌های ادوات مختلف FACTS ..... ۱۶۴
- جدول ۴-۴: استانداردهای مربوط به Statcom ..... ۱۶۵
- جدول ۵-۱: ظرفیت نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای جهان در سال ۲۰۰۹ ..... ۱۶۹
- جدول ۵-۲: مقایسه ساختار توربین/ژنراتور نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت متغیر از نظر مبدل الکترونیک قدرت ..... ۱۷۸
- جدول ۵-۳: کد بین‌المللی زیرشاخه‌های مرتبط به مبدل SFC نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای و گازی ..... ۱۸۷
- جدول ۵-۴: SFCهای نیروگاهی موجود در بازار الکترونیک قدرت ..... ۱۹۲
- جدول ۵-۵: چند نمونه از پروژه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت متغیر اجرا شده ..... ۱۹۳
- جدول ۵-۶: چند نمونه از SFCهای راه‌اندازی نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای نصب شده توسط TOSHIBA ..... ۱۹۴
- جدول ۵-۷: کد بین‌المللی زیرشاخه‌های مرتبط به سیستم‌های تحریک ژنراتور ..... ۲۰۴
- جدول ۵-۸: سیستم‌های تحریک تولیدی شرکت‌های برتر در زمینه الکترونیک قدرت ..... ۲۰۷
- جدول ۵-۹: قیمت برخی از سیستم‌های تحریک موجود در بازار ..... ۲۱۰
- جدول ۶-۱: مقایسه‌ی بین فناوری‌های مختلف سیستم HVDC ..... ۲۱۶
- جدول ۶-۲: رشد تکنولوژی مبدل‌های الکترونیک قدرت در VSC-HVDC ..... ۲۳۱



- جدول ۳-۶: برخی پروژه‌های VSC-HVDC اجرا شده در جهان ..... ۲۳۱
- جدول ۱-۷: مقایسه ساختارهای یک و دوطبقه مبدل‌های سیستم ذخیره‌ساز انرژی باتری در [۱۵۳].. ۲۴۰
- جدول ۲-۷: استاندارد مربوط به باتری‌های مورد استفاده در سیستم ذخیره‌ساز انرژی [۱۷۶] ..... ۲۴۸
- جدول ۳-۷: استانداردهای مربوط به سیستم ذخیره‌ساز انرژی باتری [۱۷۷] ..... ۲۴۹
- جدول ۴-۷: پروژه‌های اجرا شده از فناوری‌های مختلف سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی باتری در جهان... ۲۵۴
- جدول ۱-۸: لیست هزینه‌های تحمیلی به صنایع مختلف به دلیل کیفیت توان ضعیف ..... ۲۶۰
- جدول ۲-۸: متوسط هزینه‌های تحمیل به صنایع بر اساس نوع اختلال در کیفیت توان حاصل از بررسی انجام شده در سال ۲۰۰۷ در اروپا ..... ۲۶۱
- جدول ۳-۸: المان‌ها و سطوح ولتاژ ساختارهای مختلف D-Statcom ..... ۲۷۵
- جدول ۴-۸: مقایسه بین کیلوولت- آمپر ترانسفورماتورهای D-Statcom ..... ۲۷۶
- جدول ۵-۸: اطلاعات به دست آمده از سایر شرکت‌ها [۱۹۰] ..... ۲۸۲
- جدول ۶-۸: کد IPC اختراعات ..... ۲۸۳
- جدول ۷-۸: کد CPC اختراعات ..... ۲۸۵
- جدول ۱-۹: مشخصات TSC مدل Dynacomp از شرکت ABB ..... ۲۹۴
- جدول ۲-۹: مشخصات TSC شرکت ALSTOM مدل DT ..... ۲۹۵
- جدول ۳-۹: مشخصات TSC شرکت Wanlida ..... ۲۹۸
- جدول ۴-۹: مشخصات تکنیکی محصول LSFC-P-E از شرکت Frako ..... ۳۰۰
- جدول ۵-۹: لیست قطعات به همراه قیمت و قیمت کل TSC پیشنهادی توسط شرکت Baoding Mingrui ..... ۳۰۹
- جدول ۶-۹: لیست قیمت TSC برخی از شرکت‌ها [۱۱] ..... ۳۱۰
- جدول ۱-۱۰: خسارت صنایع مختلف در اروپا در سال ۲۰۰۲ به دلیل کیفیت توان نامطلوب ..... ۳۱۶

جدول ۱۰-۲: صرفه اقتصادی بکار گیری DVR در پروژه‌های Salt River Project و Scottish Power

۳۱۷.....

جدول ۱۰-۳: میزان هزینه‌های DVR نصب‌شده در خط ۱۳/۸ کیلوولت ..... ۳۳۲

جدول ۱۰-۴: کد اختراعات ..... ۳۳۶

جدول ۱۱-۱: لیست کاندیداهای احتمالی جهت اجرای پروژه‌های تحقیقاتی تعریف شده در ذیل سند

راهبردی فناوری‌های الکترونیک قدرت ..... ۳۴۵

جدول ۱۱-۲: لیست خریداران سیستم شبیه‌ساز HIL در دنیا ..... ۳۹۶

## فصل اول

### مبدل توربین باد

## ۱- فصل اول مبدل توربین باد

### ۱-۱- مقدمه

تکنولوژی سیستم توربین بادی<sup>۱</sup> به عنوان یکی از برترین و پیشرفته‌ترین فناوری‌های تولید انرژی تجدیدپذیر به حساب می‌آید [۱]. این تکنولوژی در سال ۱۹۸۰ با توان در حدود چند ده کیلووات (در هر واحد) آغاز شد که امروزه با ظرفیت‌های چندین مگاواتی مورد نصب و بهره‌برداری قرار می‌گیرد. هم‌اکنون سیستم‌های توربین بادی در شبکه‌های توزیع و در مقیاس توانی بالاتر در سیستم‌های انتقال به کار گرفته می‌شود [۲].

در ابتدا، مبدلی که در توربین‌های بادی مورد استفاده قرار می‌گرفت ژنراتور القایی قفس سنجابی بود که مستقیماً به شبکه متصل می‌شد. در این سیستم، چون محدوده تغییرات لغزش کم و سرعت تقریباً ثابت بود، نوسانات توان باد به طور مستقیم به شبکه برق منتقل می‌شد. همچنین هیچ‌گونه کنترل دینامیکی توان اکتیو و راکتیو در این سیستم وجود نداشت مگر اینکه تعدادی بانک خازنی برای تصحیح ضریب توان در نقطه کوپل مشترک به کار گرفته می‌شد.

با افزایش ظرفیت توربین‌های بادی، تنظیم و تثبیت ولتاژ و فرکانس اهمیت بیشتری پیدا کرده، به طوری که در دهه اخیر شاهد گسترش مبدل‌های الکترونیک قدرت به عنوان واسط‌های هوشمندی میان توربین بادی و شبکه قدرت هستیم. نقش اصلی الکترونیک قدرت در زمینه انرژی باد را می‌توان در تغییر نگرش به باد از حالت منبع انرژی منفعل بودن به حالت منبع انرژی فعال و قابل کنترل، دانست. بنابراین می‌توان افزایش نفوذ و مشارکت صنعت باد در تولید توان شبکه سراسری را تا حدودی ناشی از پیشرفت الکترونیک قدرت دانست [۳].

صنعت بهره‌وری از انرژی باد به منظور تولید توان الکتریکی، صنعت نوینی نیست. این صنعت از چندین دهه قبل مورد توجه و بررسی قرار گرفته است اما به دلیل پیچیدگی تکنولوژی و همچنین قیمت بالای آن چندان به عنوان جایگزین نیروگاه‌های فسیلی مطرح نبوده است؛ اما در سال‌های اخیر قیمت تولید برق در نیروگاه‌های بادی جدید، قابل مقایسه و حتی در

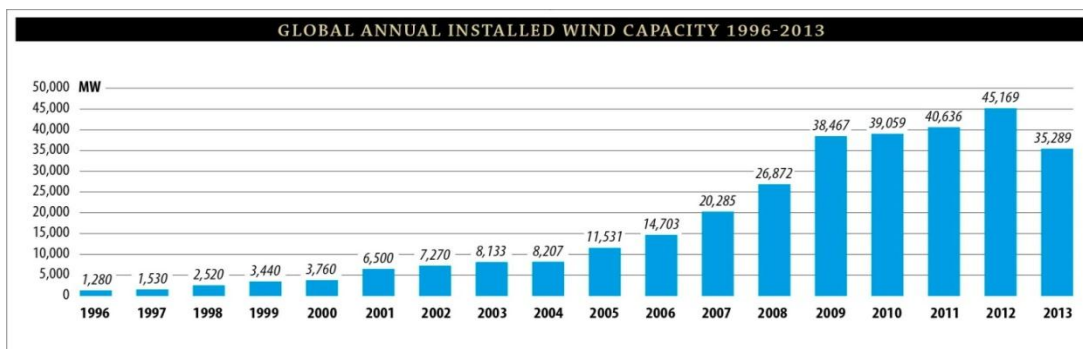
برخی موارد کمتر از قیمت تمام شده تولید برق در نیروگاه‌های زغال سنگ است. با پیشرفت تکنولوژی، سازندگان مبدل‌های بادی میل به تولید و ساخت مبدل‌هایی با توان بالاتر پیدا کرده‌اند. عدم قطعیت در وزش باد و رفتار غیرقابل پیش‌بینی آن و همچنین الزامات سرسختانه مربوط به کیفیت توان تولیدات پراکنده به‌خوبی لزوم وجود مبدل‌های الکترونیک را مشخص می‌کند [۴].

در ادامه به‌طور مختصر به وضعیت صنعت باد اشاره می‌شود. سپس به‌مرور تکنولوژی مبدل‌های توربین بادی و به‌ویژه آن‌هایی که پتانسیل خوبی برای استفاده در توان‌های بالاتر دارند، پرداخته خواهد شد. انواع مبدل‌های الکترونیک قدرت به‌کاررفته در توربین بادی مورد بحث؛ یکی مبدل‌های با توان مقیاس جزئی<sup>۱</sup> که تاکنون محبوبیت زیادی داشته‌اند و دوم مبدل‌های مقیاس کامل<sup>۲</sup> که اخیراً بیشتر و بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. در ادامه شرکت‌های فعال در زمینه صنعت باد معرفی شده و محصولات آن‌ها از نظر ظرفیت و توان و ژنراتور متناسب با آن‌ها طبقه‌بندی می‌شود. در انتها نیز میزان توجه به صنعت باد در پژوهش‌های علمی و میزان سرمایه‌گذاری در زمینه تحقیقات در صنعت باد بررسی خواهد شد.

## ۱-۲- وضعیت تولید برق بادی در جهان

شکل ۱-۱ میزان ظرفیت نصب شده سالیانه سیستم توربین بادی در جهان را از سال ۱۹۹۶ تا پایان سال ۲۰۱۳ نشان

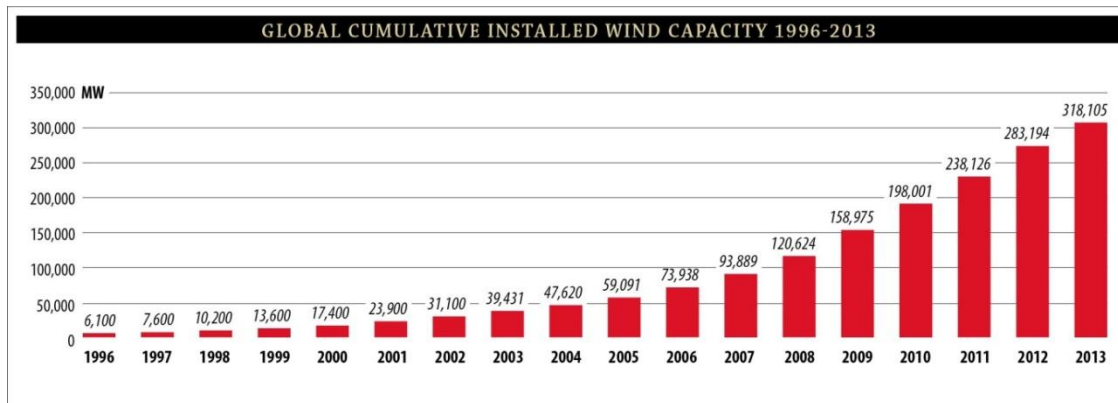
می‌دهد. همچنین ظرفیت تجمعی نصب شده در جهان تا سال ۲۰۱۳ در شکل ۲-۱ آورده شده است [۵].



شکل ۱-۱ ظرفیت سالیانه توربین باد نصب شده در جهان

1 Reduced power converters

2 Full-scale power converters



شکل ۲-۱ ظرفیت تجمعی توربین باد نصب شده در جهان

همان طور که در شکل ۲-۱ مشخص است و بر اساس آمار منتشر شده توسط سازمان مدیریت تجارت فناوری<sup>۱</sup> [۶] میزان توان استحصال شده از باد تاکنون (انتهای سال ۲۰۱۳) به ۳۱۸ گیگاوات رسیده است. در سال ۲۰۱۲ بیشترین ظرفیت نصب شده سالیانه را شاهد بودیم (حدود ۴۵ گیگاوات) و این میزان در سال ۲۰۱۳ به مقدار حدود ۳۵ گیگاوات کاهش یافته است. در بیست سال اخیر برای اولین بار در سال ۲۰۱۳، میزان تولید سالیانه افت پیدا کرده است. پیش‌بینی‌ها اندکی کاهش تولید را پیش‌بینی می‌کردند اما کاهش ناگهانی کشور امریکا از ۱۳ گیگاوات سال ۲۰۱۲ به ۱ گیگاوات سال ۲۰۱۳ بسیار غیرمنتظره بود. این امر باعث شد تا دوباره چین در صدر جدول تولیدکنندگان انرژی باد قرار بگیرد [۷]. در سال ۲۰۱۳ کشور چین ۱۶ گیگاوات به ظرفیت نصب شده خود اضافه کرد، همچنین کشورهای اروپایی به تولید خود مطابق روال قبلی ادامه دادند و در نتیجه در کل ظرفیت ۳۵ گیگاوات در سراسر جهان به توان تولیدی باد اضافه شد و به عبارت دیگر منحنی تجمعی رشد بازار ۱۲/۵ درصد افزایش یافت. بیشتر ظرفیت نصب شده در چهار سال اخیر در کشورهای خارج از کشورهای عضو سازمان همکاری و توسعه اقتصادی که به اختصار OECD<sup>۲</sup> نامیده می‌شود، بوده است. در سالان اخیر ظهور و گسترش بازار در کشورهای امریکای لاتین و آفریقا و در پی آن‌ها آسیا شدت یافته است. برای مثال، برزیل در نظر دارد تا سال ۲۰۱۴ ظرفیت نصب شده توربین باد خود را دو برابر کند و این روال را در سال ۲۰۱۵ نیز ادامه خواهد داد. بازار آفریقای جنوبی نیز از حالت رکود خارج شده است. کانادا در سال ۲۰۱۳ رکورد خوبی داشت و در سال ۲۰۱۴ نیز در نظر دارد تا رکورد جدیدی ثبت کند.

1 Business Technology Management (BTM)

2 Organization for Economic Cooperation and Development

اگرچه کانادا برای سال ۲۰۱۵ چشم‌انداز مشخص و قطعی ارائه نکرده است. کشورهای اروپایی درگیر مناظرات مربوط به حمایت از انرژی‌های تجدیدپذیر پس از سال ۲۰۲۰ و همچنین تجدید قانون‌گذاری در تعدادی از کشورها هستند و این خود عاملی است که رشد صنعت باد را به تعویق می‌اندازد. به غیر از کشور چین با تولید ۱۶ گیگاوات، سایر ۱۰ کشور برتر از قبیل آلمان و انگلستان تنها ۱۲ گیگاوات و بقیه کشورها جهان در مجموع ۷ گیگاوات انرژی بادی تولید کرده‌اند. این نشان می‌دهد که تمرکز تولید برق بادی تنها به تعداد اندکی کشور، متمرکز است و این عامل، تأثیر معکوس بر پراکندگی موزون استفاده از انرژی باد در جهان می‌گذارد که نشانه خوبی نیست. در کشور هند به دلیل سیاست‌گذاری‌های نامنظم دهلی، بازار انرژی باد در حاله‌ای از ابهام و عدم قطعیت قرار گرفته است. رقابت کردن در بازاری که رشد تقاضا در آن اندک است به شدت سخت به نظر می‌رسد. زمانی که یک هزینه و جریمه مشخصی برای کربن در سراسر جهان وجود ندارد، گزینه‌های دیگری جایگزین باد می‌شود؛ اما انرژی باد در شرایطی که یارانه به آن تعلق بگیرد بازهم قابل رقابت با سایر گزینه‌ها خواهد بود. تکنولوژی باد با خود اشتغال‌زایی فراوانی به همراه دارد و چون اشتغال‌زایی در سالیان اخیر به‌عنوان یک اولویت در جهان مطرح است، انتظار می‌رود صنعت باد بیشتر مورد استقبال قرار گیرد. همچنین هرچه مسئله امنیت انرژی در کشوری اهمیت بیشتری یابد، نگرش به سمت تولید برق از روش باد مثبت خواهد شد. اخیراً با حوادثی هم که در کشور اوکراین رخ داد بحث امنیت انرژی نیز به‌عنوان یک اولویت در این کشور مطرح شده است.

طبق گزارش سازمان انرژی آمریکا<sup>۱</sup> [۸] کاهش نرخ نصب ظرفیت بادی جدید ناشی از عدم قطعیت سیاست‌های پیش روی دولت و تأثیر آن در زمان‌بندی توسعه پروژه‌ها است. این سازمان وضعیت آمریکا در سال ۲۰۱۴ در این زمینه را خوش‌بینانه توصیف کرده و دلیل آن را پروژه‌های کمیسیون توسعه‌دهندگان می‌داند که از سال ۲۰۱۳ مقدمات ساخت و بهره‌برداری از آن فراهم شده است. در مورد سال ۲۰۱۵ هنوز پیش‌بینی قطعی ارائه نشده است.

مسئله‌ی مقرون به‌صرفه و اقتصادی بودن تولید برق از طریق انرژی باد یکی از چالش برانگیزترین موضوعات اقتصادی در سالیان اخیر بوده است و متخصصان فراوانی در مجلات اقتصادی به تحلیل این موضوع پرداخته‌اند. آقای دکتر مارکوس تاکه<sup>۲</sup>، مدیر اجرایی و مسئول تجارت بین‌الملل بخش انرژی شرکت زیمنس، در [۹] اشاره به بحران‌های مالی و اقتصادی جهانی دارد

1 Department of Energy (DoE)

2 Markus Tacke

که موجب شده تا دولت‌ها دچار بی‌ثباتی شده و تصمیم‌گیری آن‌ها تنها بر هزینه‌های کوتاه مدت متمرکز شود. در نتیجه منافع بلند مدتی که از توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر نصیب کشورها می‌شود، کمتر و کمتر می‌شود. در ادامه ایشان در مقاله خود به لزوم افزایش آگاهی از منافع بلند مدت انرژی باد می‌پردازد. طبق محاسبات انجام شده توسط تیم وی تا سال ۲۰۳۵ در حدود ۲۵ درصد از برق دنیا از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین می‌شود که در حدود یک‌چهارم از تولیدات تجدیدپذیر به باد اختصاص دارد و پس از انرژی برق‌آبی، طبق سازمان انرژی جهانی، رتبه دوم تولید برق به باد اختصاص می‌یابد. این حجم تولید برق تجدیدپذیر، باعث کاهش انتشار گاز CO<sub>2</sub> شده و همچنین برای صدها هزار نفر اشتغال‌زایی ایجاد می‌کند. علاوه بر آن ساختارهای زیربنایی بسیار پیشرفته و مدرنی به‌خصوص در نواحی دوردست ایجاد خواهد شد که فرصت‌های شغلی فراوانی را برای جوانان ایجاد خواهد کرد. از دیدگاه ژئوپلیتیک نیز باد مزایای فراوانی را به همراه خواهد داشت که کاهش وابستگی به انتقال سوخت از بزرگ‌ترین این مزایا محسوب می‌شود.

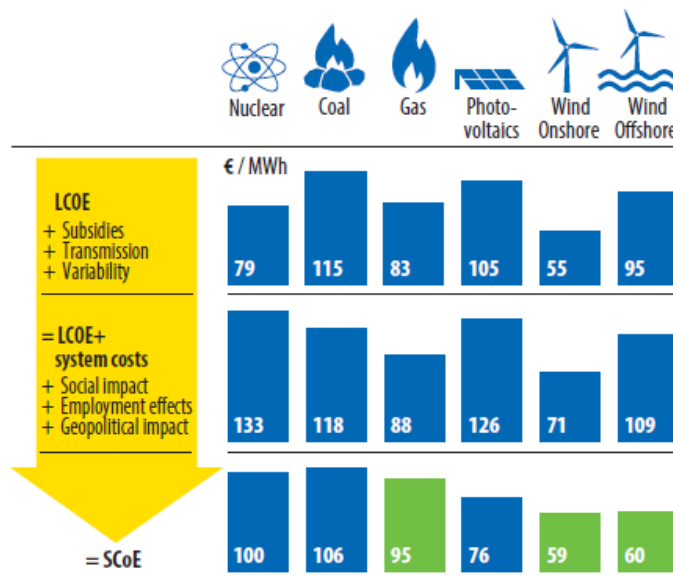
آقای هنریک اشلسدال<sup>۱</sup>، رییس بخش تکنولوژی انرژی باد شرکت زیمنس در مقاله [۱۰] به‌ضرورت تعریف جدیدی از هزینه اشاره می‌کند و همچنین از برخی از سیاست‌گذاری‌های کلان انتقاد می‌کند. به‌طور مثال مسئله مالیات سبک دی‌اکسید کربن در حدود ۴۰ یورو بر تن است که معادل با ۲۳ یورو بر مگاوات ساعت برای زغال‌سنگ و ۱۱ یورو بر مگاوات ساعت برای گاز طبیعی تمام می‌شود، این مسئله به‌عنوان یک عامل مهم در عدم توجه به مسائل زیست‌محیطی مطرح می‌شود. در مقاله به این نکته اشاره شده است که هم‌اکنون قیمت تولید برق تنها بر اساس فاکتوری به نام هزینه تراز بندی شده انرژی<sup>۲</sup> (LCoE) انجام می‌پذیرد؛ اما این فاکتور تنها برخی جنبه‌های تولید انرژی را در نظر می‌گیرد و فاکتور جامعی نیست. به‌منظور نزدیک شدن به محاسبات سود-سرمایه واقعی‌تر، شرکت زیمنس فاکتور دیگری به نام هزینه برق جامعه<sup>۳</sup> (SCoE) را معرفی می‌کند. این پارامتر نقش عوامل دیگری از قبیل هزینه‌های اجتماعی، اثرات اقتصادی و اثرات ژئوپلیتیکی را در نظر می‌گیرد. بر طبق این معیار همان‌طور که در شکل ۱-۳ نشان داده شده است، تولید برق از انرژی باد و در مرحله بعدی تولید برق از طریق گاز طبیعی اقتصادی به نظر می‌رسد.

1 Henrik Stlesdal

2 Levelized Cost of Energy

3 Society's Cost of Electricity



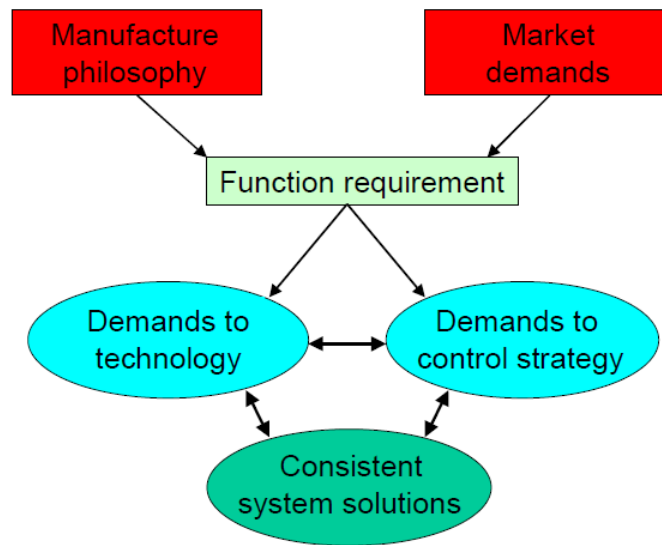


شکل ۱-۳ قیمت تولید برق با در نظرگیری فاکتورهای مختلف

این محاسبات برای سال ۲۰۵۰ کشور انگلستان صورت پذیرفته است. نکته جالب دیگری که در این مطالعه به آن پرداخته شده، مسئله یارانه است. هرگاه بحث از انرژی تجدیدپذیر می شود در ابتدا بحث تعلق گرفتن یارانه به آن ها مطرح می شود و سپس برنامه ریزی می شود تا این تکنولوژی مستقل از یارانه در آینده عمل کند؛ اما واقعیت این است که چنین دیدی درست نیست. چون هنوز فناوری هایی از قبیل زغال سنگ و هسته ای از یارانه بهره می برند و به این دلیل قیمت آن ها کمتر به نظر می رسند، بنابراین باید این شرایط برای باد و سایر انرژی های تجدیدپذیر نیز فراهم شود.

### ۱-۳- روال گسترش الکترونیک قدرت در صنعت باد

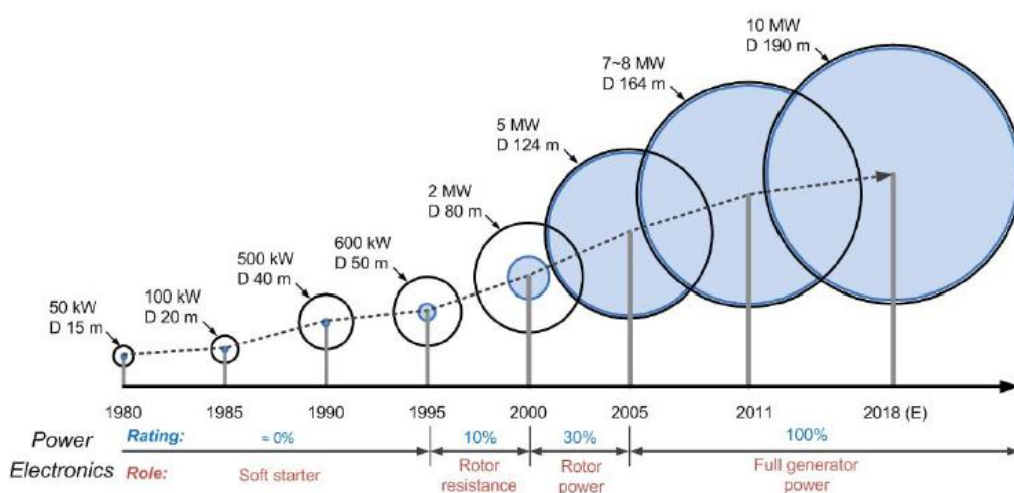
در گسترش توربین های بادی و گسترش صنعت باد دو مسئله ی مهم مطرح است. یکی از این مسائل فلسفه ی طراح از ساخت سیستم بادی و دیگری نیاز و توقعات بازار از سازنده است. بنابراین این دو عامل با یکدیگر پیوند می خورند تا یک سیستم توربین بادی که شامل پره، ژنراتور و مبدل الکترونیک قدرت است شکل بگیرد. پس از آن مسئله استراتژی کنترل و همچنین نیاز به فناوری های مدرن مطرح می شود تا به یک راه حل قطعی و صحیح در مورد ساخت سیستم بادی منجر شود. این روند در شکل ۱-۴ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱ فلسفه تولید و گسترش سیستم توربین بادی

در گذر زمان نیاز به توربین‌های بادی که بتواند توان باکیفیت مطلوب برای مصرف‌کننده تأمین کند مطرح شد. توسعه تکنولوژی الکترونیک قدرت در کنار توسعه علم مکانیک و مواد کمک کرد تا به این نیاز متقاضیان پاسخ داده شود.

شکل ۵-۱ روال گسترش توربین‌های بادی، قطر پره و میزان توان مبدل‌های الکترونیک قدرت به‌کاررفته در آن‌ها را در گذر زمان نشان می‌دهد [۱].



شکل ۵-۱ تحولات سیستم توربین بادی از نظر ظرفیت، قطر پره و نوع مبدل الکترونیک قدرت

رنگ درون دایره‌ها میزان توان مبدل‌های الکترونیک قدرت را در توربین بادی مشخص می‌کند. همان‌گونه که روی شکل هم مشخص است، توان توربین‌های بادی از حدود چند ده کیلووات در سال ۱۹۸۰ شروع شده و تا چندین مگاوات رشد یافته است. تا سال‌های حدود ۱۹۹۵ از مبدل الکترونیک قدرت در توربین‌های بادی استفاده نمی‌شد و تنها از یک‌راه‌انداز نرم تریستوری در سیستم مبدل باد استفاده می‌شد که پس از راه‌اندازی، با خارج کردن آن از مدار، ژنراتور بادی به‌طور مستقیم به شبکه متصل می‌شد. از سال ۱۹۹۵ تا سال ۲۰۰۰ از مبدل‌های مقیاس جزئی برای کنترل مقاومت روتور استفاده می‌شد. در ابتدا این مبدل یک پل دیودی بود و سپس با گسترش تکنولوژی الکترونیک قدرت از مبدل‌های پشت‌به‌پشت تمام پل برای کنترل روتور توربین‌های القایی روتور سیم‌بندی شده استفاده شد. این مبدل‌ها در رنج حدود ۱۰ درصد از توان نامی توربین بادی ساخته می‌شوند. در سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ تنظیم توان عبوری از روتور به کمک مبدل‌های مقیاس جزئی صورت گرفت. این مبدل‌ها در حدود ۳۰ درصد از توان سیستم بادی را پوشش می‌دهند. از سال‌های حدود ۲۰۰۵ به بعد مبدل‌های مقیاس کامل وارد بازار شدند. این مبدل‌ها قادر به کنترل ۱۰۰ درصد توان هستند.

هم‌اکنون رنج متداول مبدل‌های الکترونیک قدرت در حدود ۱/۵ تا ۳ مگاوات است که در آن از مبدل پشت‌به‌پشت دوسطحی استفاده شده است. در توان‌های پایین‌تر از روش‌هایی نظیر پل دیودی برای ژنراتور سنکرون و در توان‌های بالاتر مبدل‌های چند سطحی متشکل از چند مازول ولتاژ متوسط استفاده می‌شود.

به گزارش [۱۱] گرایش صنعت باد به سمت سامانه‌های باد با ظرفیت بالاتر است. در سال ۲۰۱۲ (با ظرفیت متوسط ۱/۸ مگاوات) نسبت به سال ۲۰۱۱ (با ظرفیت متوسط ۱/۷ مگاوات) افزایش داشته است. متوسط ظرفیت توربین بادی در سال ۲۰۱۲ به‌طور متوسط ۳/۱ مگاوات در کشور دانمارک، ۲/۴ مگاوات در کشور آلمان، ۱/۹ مگاوات در امریکا، ۱/۶ مگاوات در کشور چین و ۱/۲ مگاوات در کشور هند گزارش شده است. در سال ۲۰۱۲ سائز توربین‌های نصب‌شده در نواحی فراساحلی در اروپا با حدود ۱۴ درصد افزایش نسبت به سال ۲۰۱۱ به رنج ۴ مگاوات رسید. در سال ۲۰۱۳، ۳۱ کمپانی در دنیا در نظر دارند تا در مجموع ۳۸ مدل جدید برای سیستم توربین بادی با توان بالاتر از ۵ مگاوات ارائه کنند [۱۲]. بیشتر تولیدکنندگان در حال گسترش توان توربین‌های خود به رنج ۴/۵ تا ۷/۵ مگاوات هستند. لازم به ذکر است که توان ۷/۵ مگاوات بزرگ‌ترین سائزی است که از نظر اقتصادی و تجاری قابل دسترسی است؛ اما شرکت‌های مختلفی گزارش داده‌اند که برنامه رسیدن حتی به

توان‌های بالاتر را از سال ۲۰۱۲ در زمره کارهای خود قرار داده‌اند [۱۱]. در سال ۲۰۱۳ ژاپن در توربین‌های شناور خود (توان ۱۰۰ کیلووات) نیز از مبدل مقیاس کامل استفاده کرده است [۱۳].

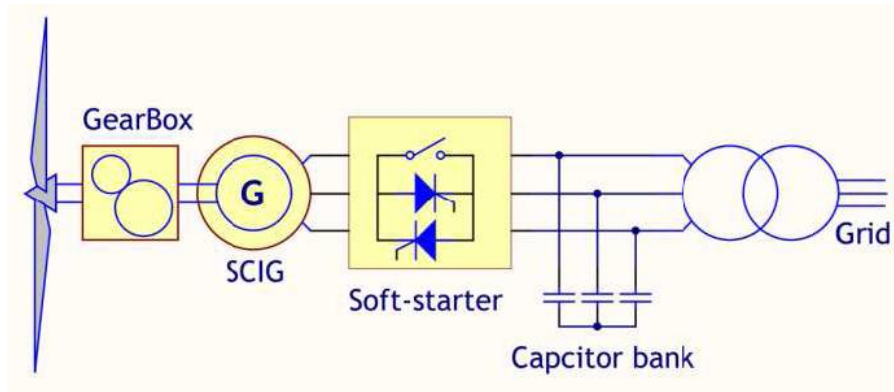
گسترش فناوری الکترونیک قدرت و افزایش ظرفیت سوئیچ‌های الکترونیک قدرت و در پی آن کاهش قیمت آن‌ها، باعث شده کاربرد مبدل‌های الکترونیک قدرت در سیستم توربین بادی به‌طور روزافزون افزایش یابد [۱۴]. صنعت توربین‌های بادی با مقیاس کوچک (کمتر از ۱۰۰ کیلووات) در سال ۲۰۱۲ تقریباً به بلوغ خود رسید و هم‌اکنون صدها سازنده در سراسر دنیا یک شبکه دلالی را به راه انداخته‌اند و در این شرایط است که اهمیت تأییدیه برای توربین‌های بادی به‌وضوح روشن می‌شود. بیشتر این تولیدکنندگان در کشورهای چین، آمریکای شمالی و اروپا متمرکز شده‌اند [۱۵].

در ادامه به دسته‌بندی و معرفی مبدل‌های الکترونیک قدرت به‌کاررفته در سیستم‌های توربین بادی خواهیم پرداخت. خصوصیات مبدل‌های مقیاس کامل و مقیاس جزئی، مزایا و کاربردهای آن‌ها مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت.

## ۱-۴- طبقه‌بندی مبدل‌های به‌کاررفته در توربین باد

انتخاب مبدل‌های الکترونیک قدرت در صنعت باد بر اساس نوع ژنراتور به‌کاررفته در سیستم توربین باد و همچنین با توجه به نوع نیازها و ملزومات سمت ژنراتور و سمت شبکه صورت می‌گیرد.

در سیستم‌های دارای ژنراتور القایی قفس سنجابی از مبدل الکترونیک قدرت استفاده نمی‌شود. در این حالت توربین بادی و ژنراتور القایی کوپل شده به آن در سرعت ثابتی می‌چرخند. (البته در حدود ۱ الی ۲ درصد با توجه به لغزش ماشین القائی تغییرات سرعت دارند.) با توجه به ثبات سرعت در این نوع، توربین بادی امکان ردیابی حداکثر توان وجود ندارد. ژنراتور القائی برای فعالیت نیاز به توان راکتیو دارد که می‌تواند از طریق شبکه یا از طریق بانک‌های خازنی نصب‌شده تأمین گردند. همچنین برای محدود کردن جریان راه‌اندازی زیاد ماشین القائی بایستی از راه‌انداز نرم استفاده کرد. این ساختار در شکل ۱-۶ نشان داده شده است.



شکل ۱-۶ ساختار سیستم بادی با ژنراتور القایی قفس سنجابی بدون مبدل الکترونیک قدرت

در سایر سیستم‌های توربین بادی استفاده از مبدل‌های الکترونیک قدرت رایج است. این مبدل‌ها به دودسته‌ی مبدل‌های مقیاس تمام و مبدل‌های مقیاس جزئی دسته‌بندی می‌شوند. بخش‌های ۱-۴-۱ به معرفی این مبدل‌ها می‌پردازد. انتظار می‌رود که این مبدل‌ها ملزومات شبکه قدرت و سمت ژنراتور را که به‌اختصار در جدول ۱-۱ آورده شده است را، برآورده کنند. اساساً مبدل الکترونیک قدرتی مقرون به‌صرفه است که با نگهداری کم بتواند نیاز دو طرف را برآورده سازد. چگالی توان بالا، قابلیت اطمینان و ماژولار بودن سیستم لازمه چنین امری است. همچنین مبدل باید توانایی ذخیره توان اکتیو و قابلیت بوست (افزاینده‌ی ولتاژ) از سمت ژنراتور به سمت شبکه داشته باشد.

جدول ۱-۱ وظایف مبدل الکترونیک قدرت در سیستم توربین باد

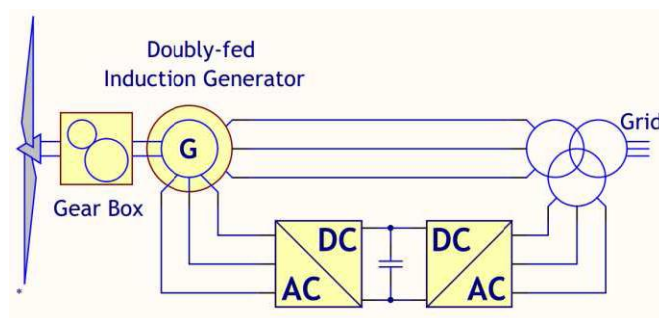
ملزومات سمت ژنراتور توربین باد	ملزومات سمت شبکه
کنترل جریان عبوری استاتور به‌منظور تنظیم گشتاور و سرعت	پاسخ به نیاز شبکه بدون در نظرگیری سرعت باد
ایجاد تعادل در انتقال توان اکتیو و بهره‌وری بیشینه از توان استحصالی	کنترل توان راکتیو سلفی-خازنی سمت شبکه
حفاظت در هنگام خطا و اضافه‌بار	پاسخ‌دهی سریع به توان اکتیو
توانایی تغییر مؤلفه اصلی ولتاژ خروجی ژنراتور توسط کنترل سرعت	قرار دهی فرکانس و دامنه ولتاژ در شرایط نرمال
	رعایت استانداردهای هارمونیک و THD جریان

### ۱-۴-۱ مبدل‌های الکترونیک قدرت مقیاس جزئی

در سیستم‌های بادی از ترکیب مبدل‌های مقیاس جزئی با ماشین القایی با روتور سیم‌بندی شده که در آن سیم‌بندی‌های استاتور و روتور قابل دسترسی هستند، استفاده می‌شود.

توان خروجی ژنراتور از طریق استاتور و روتور (و مبدل الکترونیک قدرت متصل به آن) به شبکه تزریق می‌گردد. سیستم الکترونیک قدرت متصل به روتور ژنراتور القایی، توان AC با ولتاژ و فرکانس متغیر توربین بادی را توان AC با فرکانس و ولتاژ ثابت تبدیل کرده و سپس به شبکه تزریق می‌کند. با توجه به کنترل‌پذیری توان عبوری از روتور ماشین القایی دو سو تغذیه (موسوم به DFIG) امکان دنبال کردن نسبی نقطه حداکثر توان برای توربین بادی فراهم خواهد شد.

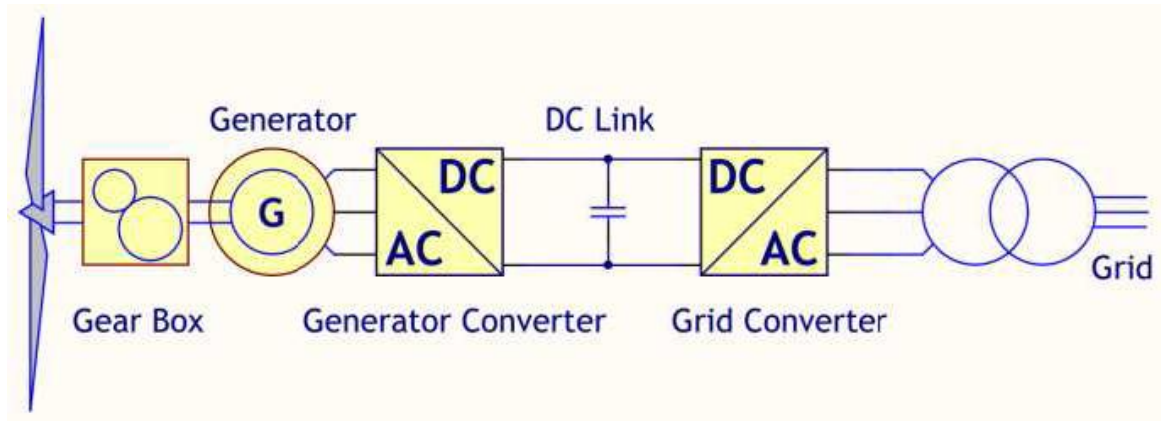
جبران‌سازی توان راکتیو موردنیاز ژنراتور القایی نیز از مزایای دیگر این روش است. همچنان با استفاده بخشی از توان توربین و ژنراتور به کمک مدار روتور می‌توان ظرفیت استاتور را در حدود ۲۵٪ در مرحله طراحی کاهش داد. این ساختار در شکل ۷-۱ نشان داده شده است.



شکل ۷-۱ ساختار سیستم بادی با ژنراتور القایی دو سو تغذیه دارای مبدل قدرت مقیاس جزئی

## ۱-۴-۲ مبدل‌های الکترونیک قدرت مقیاس کامل

مبدل‌های تمام ظرفیت در ژنراتورهای القایی و مغناطیس دائم کاربرد دارند. این مبدل‌ها، برق AC با ولتاژ و فرکانس متغیر را به برق DC تبدیل می‌کنند. سپس مبدل DC-AC این برق را با کنترل مناسب به شبکه با ولتاژ و فرکانس ثابت متصل می‌کند. البته تلفات مبدل‌های الکترونیک قدرت در ظرفیت‌های بالاتر افزایش می‌یابد. در این ساختار به‌آسانی می‌توان توان ژنراتور را به‌طور کامل کنترل کرد و سرعت روتور آن را تا  $\pm 100\%$  درصد تغییر داد. در نتیجه به‌صورت کامل می‌توان نقطه حداکثر توان (MPP) را برای توربین بادی دنبال کرد. این ساختار در شکل ۸-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱-۸ ساختار سیستم بادی دارای مبدل قدرت مقیاس کامل (مغناطیس دائم یا القایی)

### ۱-۴-۳ مقایسه کلی مبدل‌های الکترونیک قدرت در سیستم توربین باد

با توجه به مطالبی که تاکنون در مورد سیستم‌های باد شد، به یک جمع‌بندی کلی در مورد سیستم‌های باد می‌رسیم که در قالب جدول ۱-۲ بیان شده است. در این جدول مزایای هر یک از سیستم‌ها و همچنین معایب آن‌ها دسته‌بندی شده است. کاربرد این مبدل‌ها با توجه به نوع ژنراتور آن‌ها بیان شده است.

هرچند مبدل‌های مقیاس جزئی در ابتدا بسیار مورد توجه واقع شده بودند اما با افزایش توان توربین‌های بادی دیگر راندمان بالایی از خود نشان نمی‌دادند. بنابراین مبدل‌های مقیاس کامل به‌عنوان جایگزین آن‌ها معرفی شدند که هم قابلیت کنترل کامل مبدل را داشتند و هم از راندمان بالاتری برخوردار هستند.

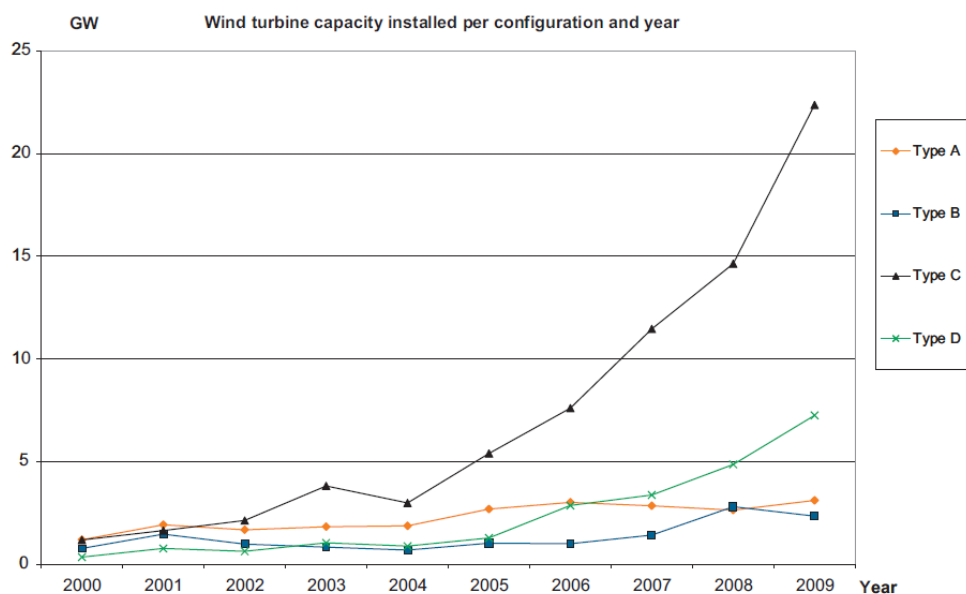
جدول ۱-۲ مقایسه مبدل‌های الکترونیک قدرت به کاررفته در توربین باد

نوع مبدل	بدون مبدل	مقیاس جزئی	مقیاس کامل
نوع مولد	القایی قفس سنجابی	القایی دوسوتغذیه	القایی دوسوتغذیه سنکرون مغناطیس دائم
مزایا	تکنولوژی ساده	قابلیت کنترل بالا کنترل جداگانه توان اکتیو و راکتیو	کنترل مبدل به طور کامل در تمام رنج سرعت بالاترین بازدهی کاهش نوسانات و لرزش‌های سیستم و در نتیجه کاهش هزینه نگهداری استفاده از جعبه‌دنده اختیاری است ایزولاسیون کامل ژنراتور از شبکه توانایی رگولاسیون ولتاژ و فرکانس
معایب	عدم قابلیت کنترل توان انتقال نوسانات به شبکه	انتقال نویز به شبکه به دلیل اتصال سیم‌بندی استاتور به شبکه آسیب‌پذیری سیستم در هنگام خطا یا اضافه‌باری	قیمت بالای ادوات الکترونیک قدرت

## ۱-۵- روال گسترش هر یک از مبدل‌های الکترونیک قدرت در باد

شکل ۱-۹ برگرفته شده از مرجع [۱۶] مقایسه‌ای میان انواع سیستم‌های توربین بادی از نظر مبدل الکترونیک قدرت به کار گرفته شده در آن‌ها را نشان می‌دهد. محور عمودی ظرفیت نصب شده مربوط به هر یک از سیستم‌های بادی را نمایش می‌دهد. گروه A و B مربوط به سیستم‌های توربین بادی هستند که بدون مبدل الکترونیک قدرت به شبکه وصل می‌شوند (A سرعت ثابت و B کنترل مقاومت روتور است)، گروه C مبدل مقیاس جزئی و گروه D مبدل مقیاس کامل است.

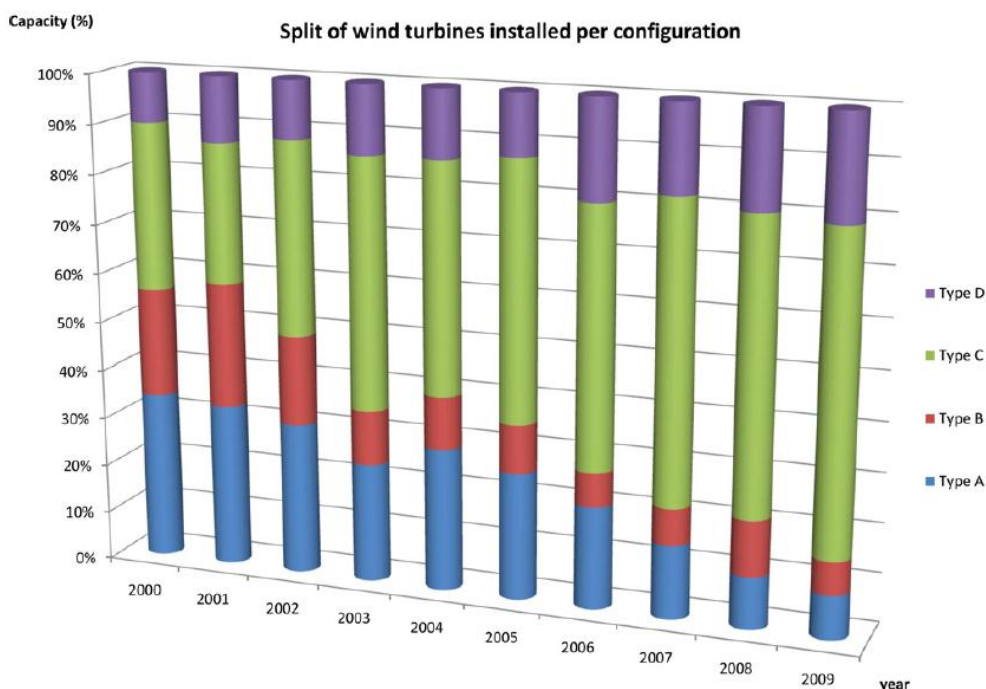




شکل ۹-۱ ظرفیت سالیانه نصب شده مبدل‌های الکترونیک قدرت در جهان

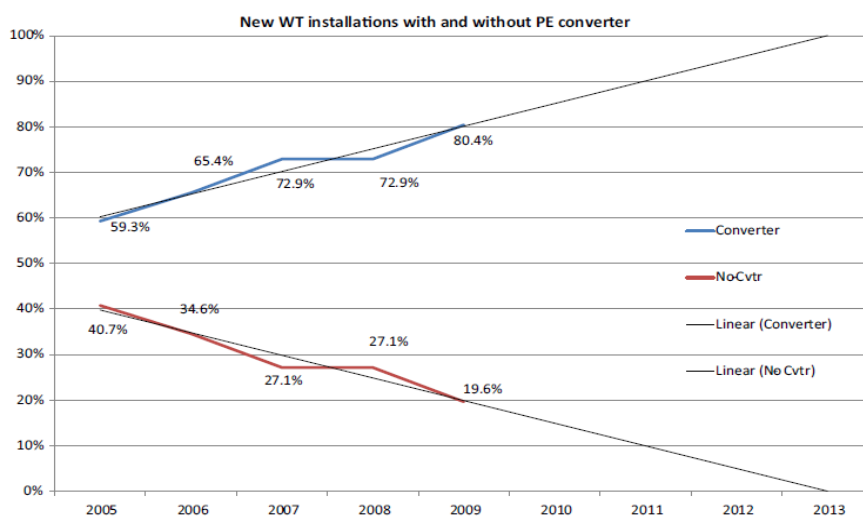
همان گونه که در شکل ۹-۱ مشخص است، مبدل‌های مقیاس جزئی از سال ۲۰۰۰ به تدریج شروع به رشد کردند و از سال ۲۰۰۲ به بعد از سایر مبدل‌های الکترونیک قدرت پیشی گرفتند. در سال ۲۰۰۹ در حدود ۲۳ گیگاوات مبدل الکترونیک قدرت مقیاس جزئی در توربین‌های بادی به کار گرفته شد. سهم توربین‌های بادی بدون مبدل به تدریج کم شده و روند نزولی در سالیان اخیر به خود گرفته است. مبدل‌های مقیاس کامل نیز تکنولوژی نوظهوری است که در سال ۲۰۰۶ به بعد روندی با شیب بیشتر از قبل به خود گرفته است. بیشترین کاربرد این مبدل در ظرفیت‌های بالا است و با گسترش باد در نواحی فراساحلی افزایش بیشتری خواهد یافت.

در شکل ۱-۱۰ درصد مشارکت مبدل‌های الکترونیک قدرت تولید سالیانه برق بادی نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که میزان مشارکت توربین‌های بادی دارای مبدل به شدت در حال افزایش است. علت اصلی چنین امری افزایش نیاز به تطبیق هرچه بیشتر مولد باد با شبکه قدرت و کنترل هر چه دقیق‌تر ولتاژ و توان است. در سال ۲۰۰۰ درصد مشارکت توربین‌های دارای مبدل کمتر از ۳۸ درصد بود اما در سال ۲۰۰۹ این میزان به بیشتر از ۸۵ درصد رسیده است. علت اصلی این امر را می‌توان در افزایش نیاز به مبدل‌هایی با راندمان بالاتر و همچنین کیفیت توان بهتر جست.



شکل ۱-۱ درصد مشارکت هر یک از انواع مبدل الکترونیک قدرت در توان نصب شده باد در جهان

در شکل ۱-۱۱ چشم انداز آتی توربین های بادی در به کارگیری مبدل های الکترونیک قدرت در آن ها نشان داده شده است. مشاهده می شود که توربین های بدون مبدل الکترونیک تا سال ۲۰۱۳ دیگر سهمی در بازار نخواهند داشت. در عوض مبدل های مقیاس کامل در سالیان بعد بازار را در دست خواهند گرفت.



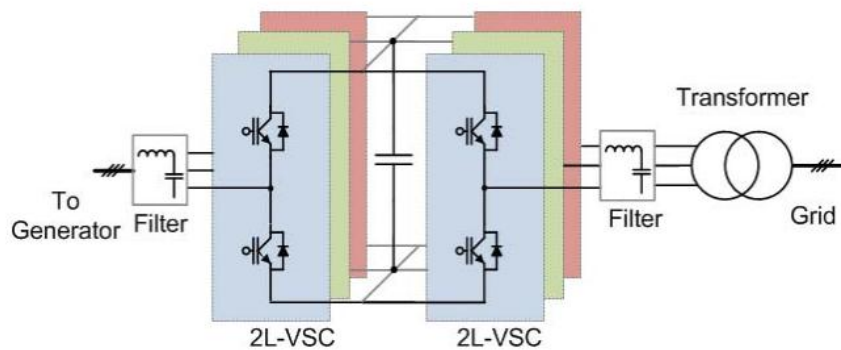
شکل ۱-۱۱ چشم انداز نصب به کارگیری مبدل الکترونیک قدرت در توربین های بادی

## ۱-۶- ساختار مبدل‌های الکترونیک قدرت سیستم توربین باد

در دسته‌بندی کلی مبدل‌های الکترونیک قدرت به کاررفته در توربین‌های بادی، مبدل‌ها به دودسته مبدل‌های مقیاس جزئی و مقیاس کامل طبقه‌بندی می‌شوند. مبدل‌های مقیاس کامل نیز خود به دودسته کلی تک‌سلولی<sup>۱</sup> و چند سلولی<sup>۲</sup> دسته‌بندی می‌شوند. در این قسمت به بررسی مختصری از انواع ساختارهای ارائه‌شده برای توربین بادی می‌پردازیم [۱۷].

### ۱-۶-۱ ساختار مقیاس جزئی

مبدل منبع ولتاژ مدولاسیون پهنای پالس دوسطحی پرکاربردترین مبدل برای ژنراتورهای DFIG توربین باد است. مطابق شکل ۱-۱۲ از این مبدل به صورت پشت‌به‌پشت در توربین بادی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از مزایای این ساختار که در نشان داده شده است، کنترل‌پذیر کامل (مبدل چهار ربعی)، ساختار نسبتاً ساده و ادوات الکترونیک قدرت کم است این امر عملکرد قابل‌اطمینان و مقاوم توربین بادی را با کمترین هزینه به ارمغان می‌آورد. از معایب این طرح نیاز به حلقه‌های لغزان و همچنین گیربکس (جعبه‌دنده) است.



شکل ۱-۱۲ مبدل مقیاس جزئی

1 Single cell

2 Multi cell

## ۱-۶-۲ ساختار مقیاس کامل

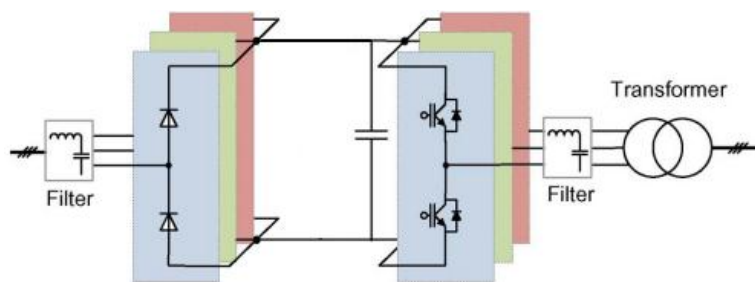
در توربین‌های بادی ژنراتورهای آسنکرون و ژنراتورهای سنکرون روتور سیم‌بندی شده و یا سنکرون مغناطیس دائم از این مبدل استفاده می‌شود. عدم نیاز به حلقه‌های لغزان در این ساختار، باعث سادگی مبدل و حتی حذف گیربکس (جعبه‌دنده) شده و امکان کنترل‌پذیری کامل سرعت و توان را فراهم ساخته است. این مبدل‌ها به دودسته تک‌سلولی و چند سلولی طبقه‌بندی می‌شوند که در ادامه به آن اشاره خواهد شد.

### ۱-۶-۲-۱ - ساختار مقیاس کامل تک‌سلولی

مبدل‌های تک‌سلولی تمامی مزایای مبدل‌های مقیاس کامل را از قبیل ساختار ساده، کنترل‌پذیری کامل توان و... را دارا هستند؛ اما در این ساختارها تنش الکتریکی ادوات الکترونیک قدرت و در نتیجه تلفات مبدل بالا است تا توان ۱۰ مگاوات از ساختار دوسطحی پشت‌به‌پشت استفاده می‌شود. تلفات بالا و تنش زیاد و مسئله کابل‌کشی در سطح ولتاژ پایین از عمده‌ترین چالش‌های این ساختار هستند. البته از مزایای این ساختار قیمت پایین آن است. چند نمونه از ساختارهای تک‌سلولی در این بخش معرفی می‌شوند.

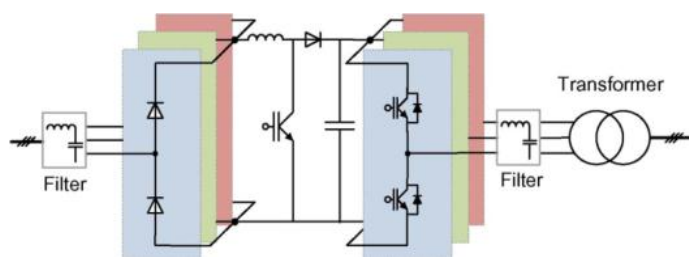
#### الف) ساختار یک‌طرفه

امروزه روند تکنولوژی به سمت ژنراتورهای سنکرون مغناطیس دائم است که از مبدل‌های مقیاس کامل استفاده می‌کند. چون هیچ توان راکتیوی در این‌گونه ژنراتورها مبادله نمی‌شود و همچنین جهت توان اکتیو از سمت توربین باد به سمت شبکه است بنابراین با قرار دادن یک پل دیودی مطابق شکل ۱-۱۳ می‌توان با کمترین هزینه این توان را دریافت نمود. همچنین استفاده از کلیدهای نیمه کنترل‌شده یا یک‌سوسازهای چند فاز و ۱۲ پالس نیز رایج است.



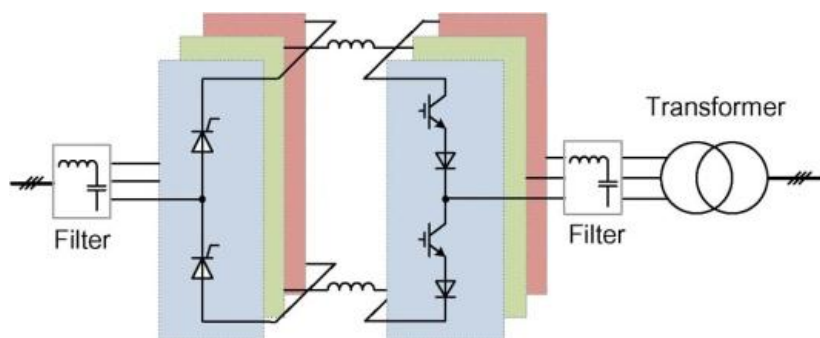
شکل ۱-۱۳ مبدل تک سلولی یک طرفه [۱۸] و [۱۹]

همچنین برای دستیابی به عملکرد سرعت متغیر و ولتاژ ثابت لینک dc از یک مبدل بوست dc-dc نیز مطابق شکل ۱-۱۴ در این ساختارها استفاده می‌شود. این مبدل می‌تواند از مدار تحریک روتور کنترل شود. نکته مورد توجه است که برای توان‌های در رنج مگاوات، مبدل dc-dc باید دارای چندین واحد interleaved باشد و یا اینکه اینورتر یک سطحی شود.



شکل ۱-۱۴ مبدل تک سلولی یک طرفه دارای مبدل بوست dc-dc [۱۹]

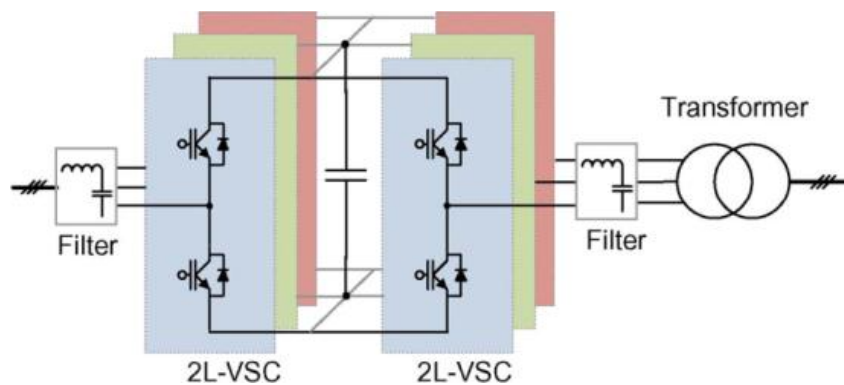
همچنین دو مبدل منبع جریان که اتصال پشت‌به‌پشت دارند نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد که در این ساختار می‌توان از اندوکتانس کابل‌های طولانی که در مسیر ژنراتور تا پایین پای برج قرار دارد نیز استفاده کرد. استفاده از مبدل منبع ولتاژ در پای برج دلخواه است.



شکل ۱-۱۵ مبدل تک سلولی یک طرفه دارای مبدل منبع جریان [۲۰]

### ب) مبدل الکترونیک قدرت دوسطحی

مبدل منبع ولتاژ مدولاسیون پهنای پالس با ولتاژ خروجی دوسطحی پرکاربردترین ساختار تاکنون بوده است. تحقیقات و علوم فراوانی در مورد این مبدل وجود دارد. مبدل پشت‌به‌پشت دوسطحی با یک ترانسفورماتور در سمت شبکه آن در شکل ۱۶-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۶-۱ مبدل دوسطحی [۲۱]

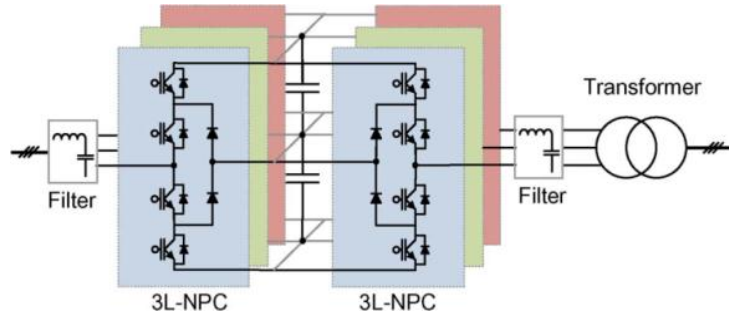
ساختار ساده، تعداد المان‌های کم، ساختار مقاوم و قابلیت اطمینان بالا از مزایای این طرح است. از معایب این طرح این است که با افزایش توان در رنج مگاوات و افزایش ولتاژ در رنج کیلوولت، تلفات کلیدزنی افزایش و بازدهی پایین می‌آید. تنش بالای کلیدها به دلیل دو عملکرد سطحی مبدل و بزرگ شدن فیلتر خروجی از دیگر اشکالات این طرح است.

### ج) مبدل چند سطحی:

با افزایش توان توربین‌های بادی دیگر مبدل‌های دوسطحی راندمان بالای خود را از دست می‌دهند. ساختارهای چند سطحی چون توانمندی تولید ولتاژ بالا را دارند و همچنین ظرفیت توانی بالایی دارند بنابراین کاندیدای خوبی برای توربین بادی توان بالا محسوب می‌شوند. ساختارهای گوناگونی در این زمینه معرفی شده است که به بررسی آنها می‌پردازیم.

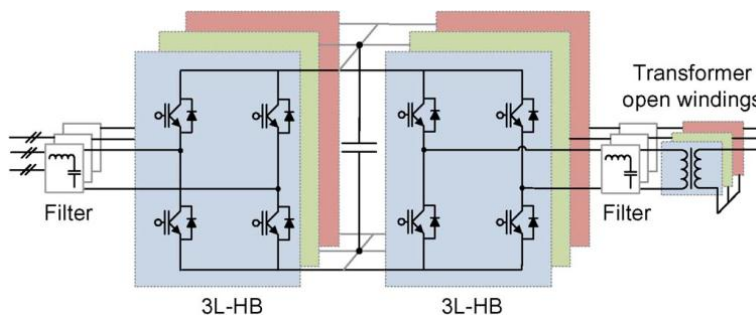
- دیود کلمپ سه سطحی: یکی از طرح‌های رایج که به مرحله تجاری‌سازی رسیده است در نشان داده شده است. تنش ولتاژ خروجی کمتر از دوسطحی است و همچنین سایز فیلتر خروجی سه سطحی نیز کوچک‌تر از دوسطحی

است. نوسانات ولتاژ نقطه میانی یکی از معایب این طرح است. امکان افزونگی یکی از مزایای این طرح نیز محسوب می‌شود. همچنین توزیع تلفات سوئیچ‌ها متقارن نیست و این امر باعث کاهش توان مبدل<sup>۱</sup> می‌شود.



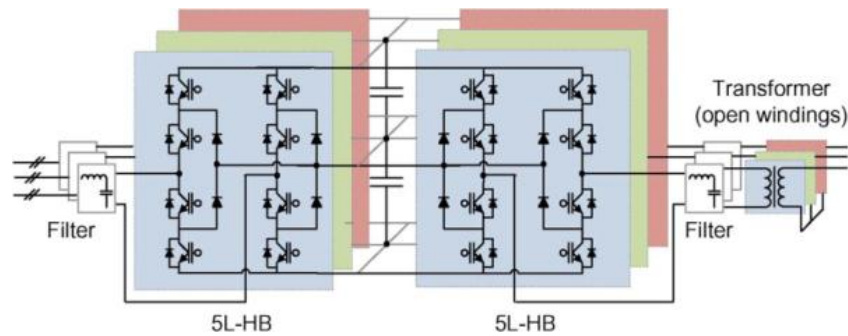
شکل ۱۷-۱ ساختار دیود کلمپ سه سطحی [۲۲]

- تمام پل سه سطحی: شامل دو مبدل تمام پل پشت‌به‌پشت است که در شکل ۱۷-۱ آورده شده است. از مزایای این طرح تعداد المان‌های کمتر و توزیع متعادل توان میان کلیدهاست. بنابراین ظرفیت توانی بالاتری نسبت به دیود کلمپ دارد. یکی از محدودیت‌های این طرح این است که منابع dc در این ساختار باید ایزوله باشند. بنابراین باید سیم‌بندی ژنراتور و ترانسفورماتور از نوع باز باشد. این مسئله از جهتی مزیت و از جهتی عیب محسوب می‌شود. ایزولاسیون فازها باعث افزایش تحمل مبدل در برابر خطا می‌شود ولی از سمت دیگر سیم‌بندی باز حجم و وزن سیستم را بالا می‌برد. تلفات بیشتر، تلفات، افزایش اندوکتانس و سنگینی بیشتر این ساختار از معایب عمده آن به شمار می‌آید.



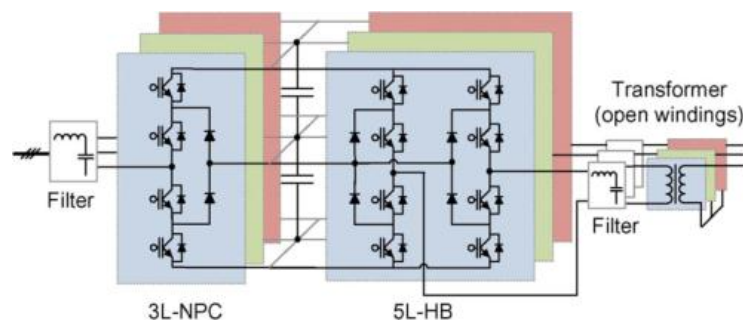
شکل ۱۸-۱ ساختار تمام پل سه سطحی [۲۳]

- پشت‌به‌پشت تمام پل پنج سطحی: توانایی تولید سطوح بالاتر ولتاژ را این ساختار دارد و مسئله‌ایزولاسیون و سیم‌بندی باز در این ساختار نیز هست. فیلتر خروجی کوچک‌تر و همچنین کاهش جریان عبوری از کابل از مزایای دیگر این طرح محسوب می‌شود.



شکل ۱-۱۹ ساختار تمام پل پنج سطحی [۲۴]

- دیود کلمپ سه سطحی سمت ژنراتور و تمام پل پنج سطحی در سمت شبکه: کیفیت بالاتر ولتاژ خروجی، عدم نیاز به سیم‌بندی باز و کاهش طول کابل ژنراتور از مزایای طرح و توزیع نامتعادل توان بین سوئیچ‌ها و تعداد بیشتر المان‌ها و کاهش ضریب اطمینان و افزایش هزینه از معایب طرح محسوب می‌شود.



شکل ۱-۲۰ ساختار ورودی دیود کلمپ سه سطحی و خروجی تمام پل پنج سطحی [۲۵]

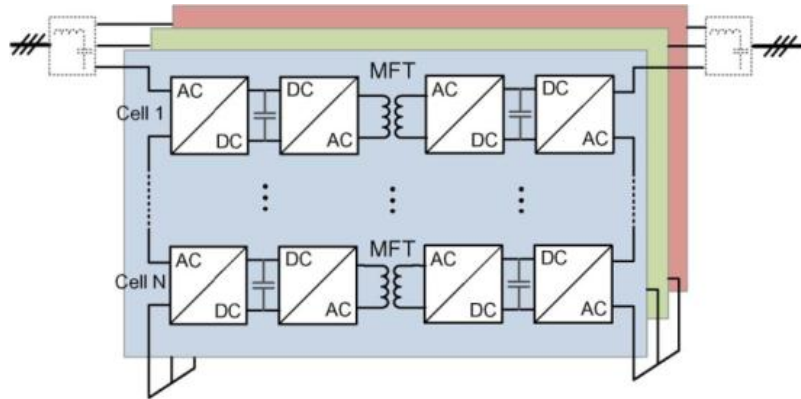
### ۱-۶-۲-۲- مبدل چند سلولی

در حال حاضر مبدل تمام پل به‌عنوان یکی از متداول‌ترین ساختارها مورد استفاده قرار می‌گیرد. لذا از سری و موازی کردن این مبدل‌ها می‌توان سطح ولتاژ و توان را افزایش داد. در این قسمت این ساختارها را معرفی می‌کنیم.

- مبدل چند سلولی تمام پل آبشاری (ورودی سری-خروجی سری)



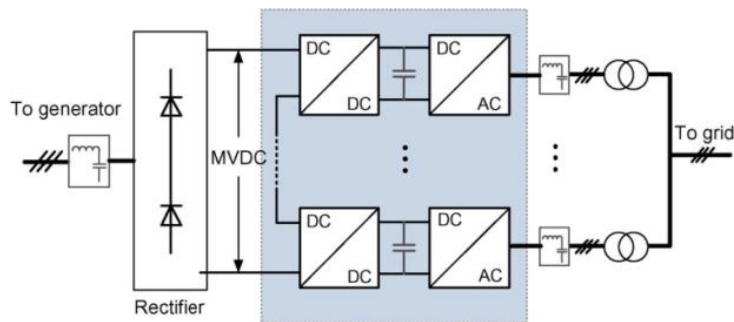
در این ساختار از مبدل های dc-dc ایزوله و گالوانیک استفاده شده است. ترانسفورماتور میانی از نوع فرکانس بالا (چندین کیلوهرتز) است و در نتیجه حجم کوچکی دارد. این ساختار می تواند به طور مستقیم به شبکه انتقال (۱۰ الی ۲۰ کیلوولت) متصل شود.



شکل ۱-۲۱ ساختار ورودی سری و خروجی سری [۲۶]

- مبدل چند سلولی (ورودی سری - خروجی موازی)

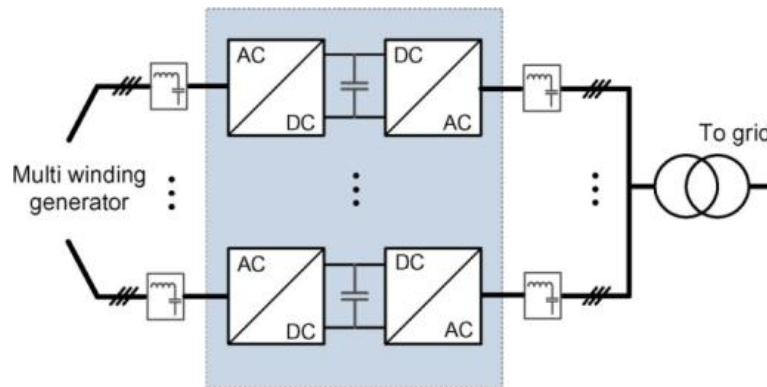
ساختار توسط شرکت Semikron پیشنهاد شده است. از ماژول های ولتاژ پایین تری در سمت ژنراتور می توان استفاده کرد.



شکل ۱-۲۲ ساختار ورودی سری و خروجی موازی [۲۷]

- مبدل چند سلولی (ورودی موازی - خروجی موازی)

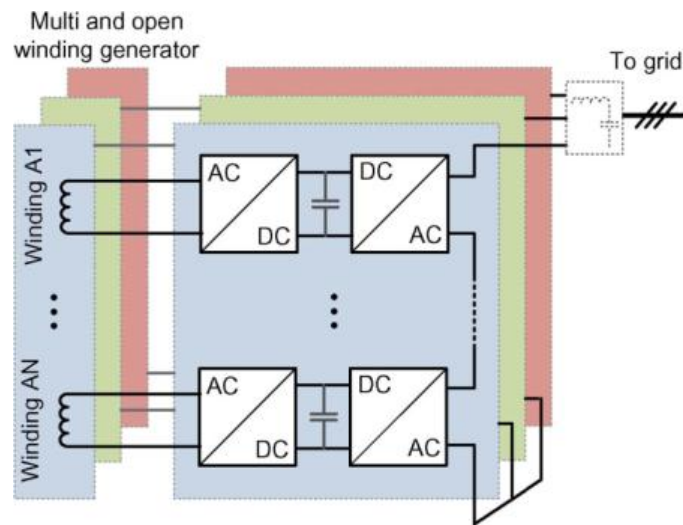
ساختار زیر برای رنج توانی ۴ الی ۵ مگاوات توسط شرکت گمزا و زیمنس پیشنهاد شده است.



شکل ۱-۲۳ ساختار ورودی موازی و خروجی موازی [۲۸]

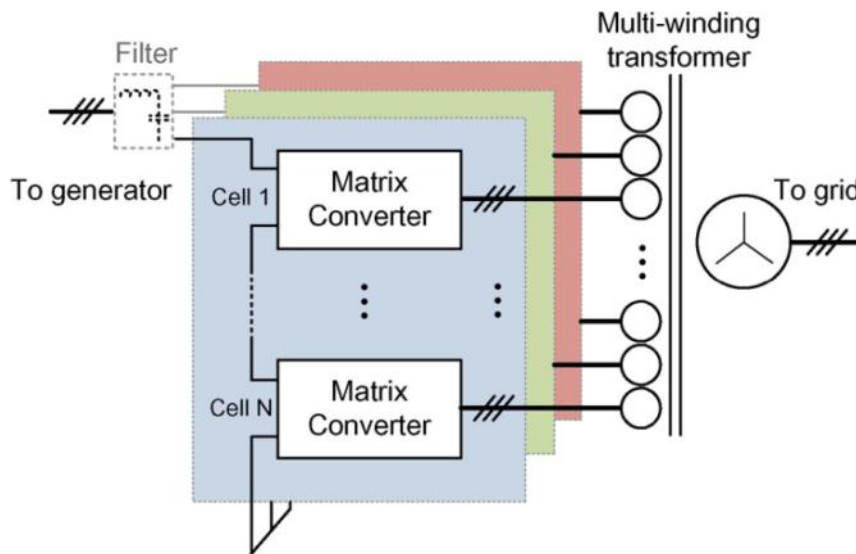
- مبدل چند سلولی (ورودی موازی - خروجی سری)

ساختار زیر بدون ترانسفورماتور است و برای توان‌های بالا ساخته شده است. سیم‌بندی ژنراتور باید ایزوله باشد.



شکل ۱-۲۴ ساختار ورودی موازی خروجی سری [۲۹]

- مبدل چند سلولی سری متصل به سلول ماتریسی
- دارای مبدل ماتریسی و یک ترانسفورماتور چند ورودی



شکل ۱-۲۵ ساختار مبدل ماتریسی [۳۰]

## ۱-۷- وضعیت تحقیقات در الکترونیک قدرت صنعت باد

### ۱-۷-۱ دلایل بهره‌وری از واحدهای تحقیقاتی الکترونیک قدرت برای سیستم‌های بادی

در طول ۳۵ سال استفاده از انرژی باد برای تولید برق، برنامه‌های بین‌المللی تحقیق و توسعه در سراسر جهان، نقش مهمی در اقتصادی سازی و افزایش قابلیت اطمینان صنعت باد داشته‌اند. این برنامه‌ها در کنار بخش صنعتی باعث شد تا صنعت باد در زمره‌ی یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان برق از انرژی‌های تجدیدپذیر قرار گیرد. برنامه‌های جاه‌طلبانه کشورها در پیشروی و گسترش باد منجر به اهمیت ویژه واحدهای تحقیق و توسعه شد. برای پیشبرد اهداف این حوزه از طرف دولت بودجه‌های تحقیقاتی به این واحدها تعلق می‌گرفت.

افزایش ظرفیت توربین‌های بادی، افزایش بهره‌وری مزارع بادی، افزایش کاربرد تولید برق در نواحی ساحلی و دورافتاده، چالش‌های طراحی، مسائل مربوط به اتصال به شبکه، مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی و همچنین مسائل اقتصادی همگی مسائلی هستند که هرچند تلاش‌های فراوانی در آن‌ها صورت گرفته است اما همچنان جای بحث و بررسی بیشتری دارند.

اهداف کلی تحقیقات آتی در دنیا به مسئله‌ی نیروگاه‌های بادی مقرون به صرفه که به شکلی بهینه با راندمان بالا به شبکه

متصل شده و برق موردنیاز را تأمین کند، اختصاص دارد.

سازمان بین‌المللی انرژی IEA در گزارشی به برآورد و ارزیابی اهداف سازمان‌های تحقیق و توسعه در دنیا از سال ۲۰۱۲ تا سال ۲۰۳۰ پرداخته است. در این گزارش اولویت‌ها و اهداف پیشروی بخش تحقیق و توسعه را به سه بخش اهداف کوتاه مدت (کمتر از ۵ سال)، میان‌مدت (بین ۵ تا ۱۰ سال) و بلندمدت (از ۱۰ تا ۲۰ سال) تقسیم کرده است. حدود ۹۴ اولویت در این گزارش مورد تأکید قرار گرفته است. [۳۰]

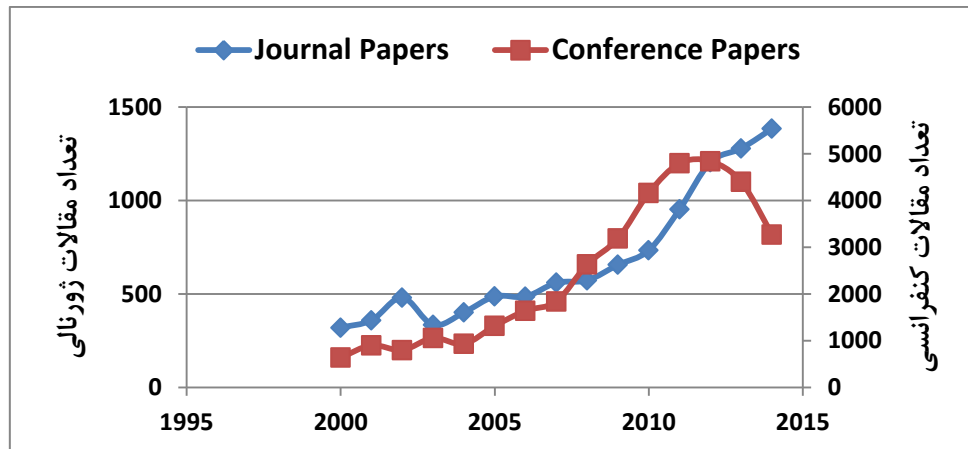
اهداف کوتاه مدت عبارت‌اند از:

- پتانسیل سنجی مناطق برای بهره‌گیری از نواحی فراساحلی و...
- تهیه اطلس جهانی باد
- روش‌های تولید مقرون به صرفه
- دستیابی به مرزهای دانش در زمینه تجهیزات تولید و تست توربین‌های بادی بزرگ
- روش‌های نفوذ بیشتر باد در بازار برق
- مسئله هماهنگی توربین‌های بادی یک مزرعه
- ساخت درایورهای الکترونیک قدرت برای بهره‌وری بیشینه از توان باد
- بازیافت توربین‌های بادی
- اهداف میان‌مدت در زمینه باد
- جایابی بهینه
- ورود صنعت باد به بخش مسکونی
- مدل‌سازی و پیاده‌سازی سیالاتی سیلان پیچیده باد
- پیش‌بینی و تخمین سرعت باد و توان تولیدی توربین
- گسترش مهندسی برای تولید و طراحی بهینه
- طراحی سیستم بادی برای شرایط بد آب و هوایی
- ساخت روتورهای جدید
- گسترش تکنولوژی کاهش نویز

- گسترش ساختارهای جدید
- الکترونیک قدرت پیشرفته
- کنترل توربین‌های بادی پیشرفته
- مطالعات شبکه برق
- برنامه‌ریزی زیست‌محیطی
- برنامه‌ریزی انتقال در نواحی فراساحلی
- اهداف بلند مدت نیز عبارت‌اند از:
- طراحی توربین‌های باد در شرایط دریایی
- مهندسی مواد پیشرفته
- ساخت ژنراتورهای پیشرفته
- ساخت بناهای مستحکم‌تر
- کنترل نیروگاه‌های بادی
- روش‌های تولید پیشرفته
- توسعه سیستم قدرت با قابلیت اطمینان بالا
- ساختار شبکه هوشمند
- ابزارهای شبیه‌سازی سیستم‌های قدرت در شرایط حضور انرژی باد

## ۱-۷-۲ بررسی مقالات منتشر شده در زمینه باد

طبق آمار انجمن مهندسی برق و الکترونیک امریکا (IEEE) از سال ۲۰۰۰ تاکنون، تحقیقات در زمینه توربین بادی نرخ صعودی داشته است. همان‌طور که در شکل ۱-۲۶ نشان داده شده است، تعداد مقاله‌های مجلات چاپ‌شده از حدود ۲۳۰ مقاله به حدود ۱۳۸۵ مقاله در سال ۲۰۱۴ رسیده است. این افزایش نشان‌دهنده توجه بخش تحقیقات در زمینه صنعت باد است.



شکل ۱-۲۶ تعداد مقالات منتشر شده در سایت IEEE در زمینه باد

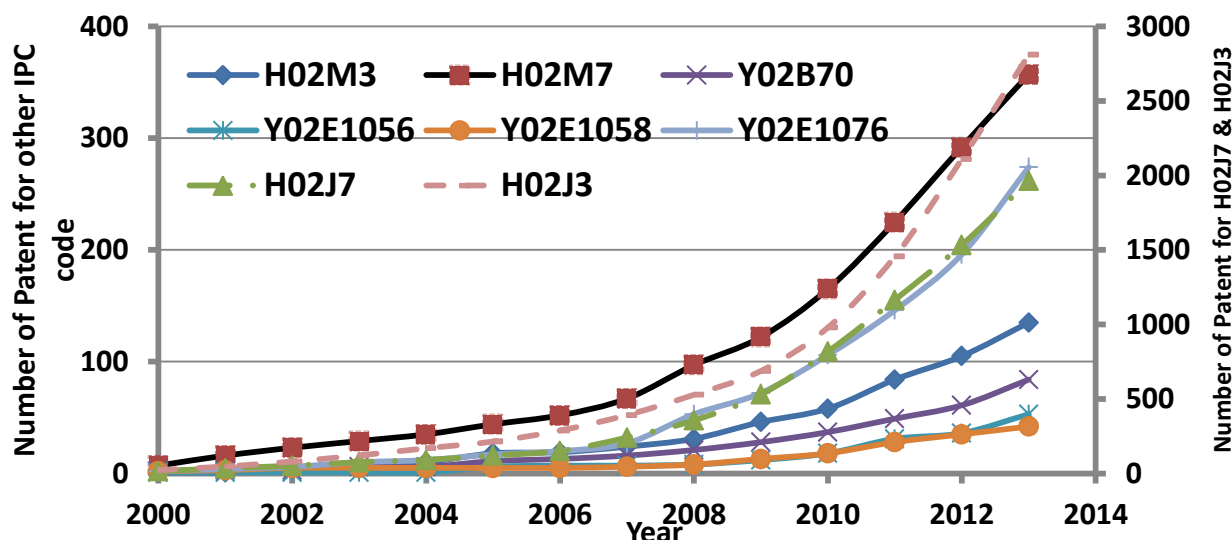
### ۱-۷-۳ بررسی پتنت‌های منتشر شده در زمینه باد

جستجوگر اداره ثبت اختراعات اروپا [۳۱] یکی از کامل‌ترین بانک‌های اطلاعاتی پتنت‌های بین‌المللی است که اطلاعات مربوط به پتنت‌های اروپا، انگلیس، سازمان جهانی مالکیت فکری و ژاپن و حدود ۹۰ کشور دیگر را دارد. در این سایت امکان جستجوی پتنت‌ها با داشتن کد CPC و یا IPC مربوط به هر گروه از پتنت‌های مربوطه فراهم است. در زمینه الکترونیک قدرت سیستم‌های بادی چندین زیرگروه مشارکت دارند. کد این زیرگروه‌ها به همراه توضیح مشخصات آن‌ها در جدول ۱-۳ آورده شده است.

جدول ۱-۳ کد بین‌المللی زیرشاخه‌های مرتبط به الکترونیک قدرت در باد

مشخصات	کد زیرگروه
مبدل‌های dc به dc	H02M3
مبدل‌های ac به dc	H02M7
باتری شارژر، مدار گیت درایو، مسائل الکترونیکی و ارتباطی در کنترل توربین باد و توربین توان کوچک	H02J7
مدیریت و بهره‌وری بهینه از انرژی باد توسط الکترونیک قدرت، ساختار بندی بهینه سیستم	Y02B73
جنبه‌های الکترونیک قدرت مشترک با سولار	Y02E1056
کنترل MPPT	Y02E1058
جنبه‌های الکترونیک قدرت باد، اتصال به شبکه	Y02E1076
مسائل مربوط به سیستم قدرت و کنترل توان اکتیو و راکتیو توربین باد، مسائل پایداری، کاهش تلفات و...	H02J3

با بررسی در زیرگروه‌های مذکور از بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳، نتایج به در قالب شکل ۱-۲۷ به نمایش درآمده است.



شکل ۱-۲۷ نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه‌شده در زیرشاخه‌های مربوط به الکترونیک قدرت سیستم باد

محور افقی نمایانگر سال، محور عمودی سمت راست مربوط به کدهای H02J7 و H02J3 و محور عمودی سمت چپ مربوط به کد سایر زیرگروه‌ها است. همان‌گونه که مشخص است، خطوط دارای نقطه‌چین یعنی کدهای H02J3 (مسائل سیستم قدرت) و H02J7 (مسائل الکترونیکی و ارتباطی) بیشترین آمار پتنت‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. پس از آن زیرگروه H02M7 (مبدل ac-dc) و در پی آن Y02E1076 (مسائل پاور الکترونیک باد در اتصال به شبکه) و H02M3 (مبدل dc-dc) و Y02B73 (مدیریت و بهره‌وری انرژی) و Y02E1056 (مسائل ترکیب با خورشیدی) و Y02E1058 (کنترل MPPT) در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود از سال ۲۰۰۵ شیب نمودارها افزایش پیدا کرده است و این عامل نشان از نوظهور بودن الکترونیک قدرت در صنعت باد است. مسائل مربوط به سیستم قدرت توجهات فراوانی را به خود جذب کرده است. مسئله‌ی کنترل هرچه بهتر مبدل، افزایش راندمان و کاهش تلفات از اولویت‌های مطرح‌شده در این زیرگروه است که این امر به گسترش الکترونیک قدرت نیازمند است. بحث‌های ارتباطی و الکترونیکی مربوط به کنترل سوئیچ‌های قدرت و همچنین به‌کارگیری مبدل‌های بادی توان کوچک نیز اولویت دوم مطرح شده است. البته یکی از عوامل بالا بودن تعداد پتنت‌ها در این زمینه، گستردگی کاربرد است. برای مثال مسائل استفاده صحیح از توربین بادی توان کوچک برای مصارف پزشکی، تجاری و... در رتبه سوم مشاهده شد که ساختار مبدل‌های الکترونیک قدرت برای افزایش توان و راندمان، کاهش تنش سوئیچ‌ها، رگولاسیون ولتاژ، مازولار بودن و... پتنت‌های فراوانی را به خود اختصاص داده است.

## ۱-۷-۴ حوزه‌های تحقیق و توسعه پیرامون الکترونیک قدرت در زمینه باد

شرکت ABB به‌عنوان یکی از شرکت‌های پیشرو در زمینه تحقیق و توسعه الکترونیک قدرت در صنعت باد در سال ۲۰۰۳ مقاله‌ای در زمینه نقش الکترونیک قدرت در صنعت باد و نگرش‌های تحقیقاتی در این زمینه منتشر کرد. در این مقاله مسئله نیاز جدی صنعت باد به الکترونیک قدرت مطرح شده است. علل نیاز به الکترونیک قدرت در حیطه برق بادی عبارت‌اند از: الف) مسائل مربوط به درون توربین از قبیل: اصلاح ضریب توان ژنراتور توربین باد، کنترل و درایو ژنراتورهای سرعت متغیر، میرایی نوسانات گشتاور، کاهش و یا حذف جعبه‌دنده از توربین بادی و در نتیجه کاهش وزن نازل. ب) مسائل مربوط به خروجی توربین باد و مسائل اتصال به شبکه از قبیل: پرداختن به مسئله رقابت بین اتصال AC+DC با اتصال AC-AC و به‌بیان دیگر ارزیابی به‌کارگیری HVAC و SVC و یا جایگزینی آن با HVDC و UPFC. مسائل مربوط به تفاوت فراوان توربین باد و ژنراتورهای نیروگاه در نوع اتصال به شبکه انتقال و توزیع، مسئله تأمین برق مداوم برای مصرف‌کننده در حالی که سرعت باد متغیر است و توربین در سرعت‌های پایین تولید برق نداشته و یا در سرعت‌های بالا توانی بیش از بار تولید می‌کند، ترکیب تولید باد با سایر منابع انرژی و در نظر گرفتن مسائل خطا، فلیکر و. مسئله‌ای پیچیده است، ج) مسائل مربوط به کنترل توان اکتیو هم درون توربین و هم بیرون آن که عبارت‌اند از: بحث تصادفی بودن توان الکتریکی تولیدی توربین بادی که باید در بررسی‌های دانشگاهی کاملاً مورد بحث و بررسی قرار گیرد و در صنعت پیاده‌سازی شود و همچنین تفاوت عمده در درایو یک توربین بادی با درایو بارهای موتوری. د) مسائل مربوط به کنترل توان راکتیو داخل و خارج از توربین باد از قبیل: نیاز به جبران‌ساز توان راکتیو SVC با افزایش سطح نفوذ توربین‌های بادی، نیاز به SVC های مجهز به مدارات اصلاح ضریب توان برای خطوط بلند HVAC و جایابی بهینه آن‌ها در شبکه. ه) مسائل مربوط به مدل‌سازی و شبیه‌سازی توربین باد از قبیل: مدل دقیق مبدل برای تست کنترل آن، مدل‌سازی تلفات مخصوصاً در IGBTها و المان‌های سلفی از قبیل سیم‌پیچ‌ها، تحلیل تنش روی سوئیچ‌ها (الکتریکی، مکانیکی و حرارتی)

مرجع [۱۷] اخیراً در سال ۲۰۱۳ به معرفی اهداف تحقیق و توسعه در زمینه الکترونیک قدرت در سیستم توربین باد پرداخته

است. این اهداف عبارت‌اند از:

- کاهش نرخ تولید برق از طریق بهبود عملکرد مبدل و افزایش راندمان آن
- طراحی و انتخاب مدار الکترونیک قدرت برای هر یک از انواع ژنراتورها



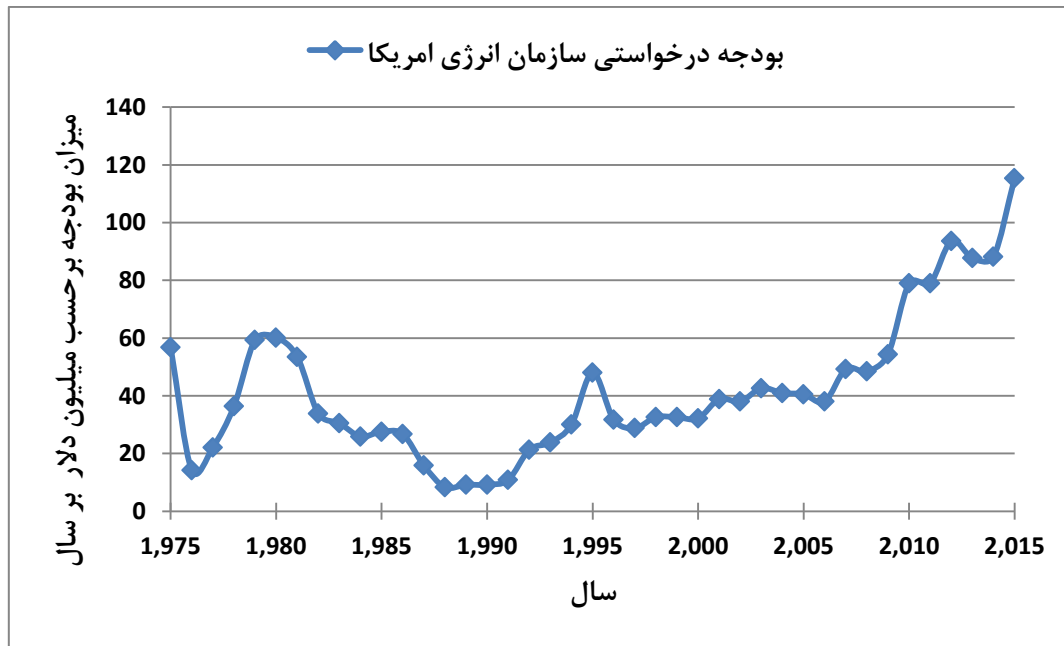
- تولید مبدل‌هایی که چگالی توان بالاتر داشته باشند. (در حجم کمتری توان را منتقل کنند) زیرا با افزایش توان توربین‌های بادی محدودیت فضای داخل نازل و یا برج بیشتر از قبل محدودیت ایجاد می‌کند.
- افزایش توان مبدل، افزایش سطوح ولتاژ با افزایش حفاظت عایقی و در نتیجه افزایش قیمت همراه است، بنابراین با عملکرد بهینه سیستم باید قیمت را پایین آورد.
- برای کاهش جریان و همچنین تلفات کابل‌ها بین نازل و پایه برج (در حدود چند ده الی چند صد متر فاصله دارد) باید رنج ولتاژ و یا سطوح آن را بالا برد که در این زمینه بخش تحقیق و توسعه باید راه‌کار ارائه دهد.
- همچنین فواصل دور توربین‌های بادی میزان هزینه نگهداری را افزایش می‌دهد و همچنین قابلیت اطمینان را کاهش می‌دهد. به منظور این امر باید به طراحی مبدل‌های ماژولار و مبدل‌هایی که دارای خاصیت افزونگی و یا redundancy که دارای قابلیت اطمینان بالایی هستند پرداخت.
- با افزایش ضریب نفوذ توربین‌های باد، مسئله آسیب دیدن توربین‌های باد و خارج شدن آن از مدار خود باعث ایجاد هزینه و همچنین مسئله ناپایداری شبکه قدرت را ایجاد می‌کند. بنابراین قابلیت اطمینان از اصلی‌ترین مسائل آینده خواهد بود.
- طبق تحقیقات صورت گرفته در مرجع بیشترین نرخ اختلال در عملکرد و خطا در توربین باد ناشی از کنترل مبدل الکترونیک قدرت آن است. بنابراین با ارتقای مبدل الکترونیک قدرت می‌توان به‌طور چشمگیری هزینه توربین باد را کاهش داد.
- تحقیقاتی که تاکنون در زمینه خطا و اختلال در توربین باد صورت گرفته بیشتر از جنس آمار و احتمالاتی بوده است اما نیاز به تحلیل‌های فیزیکی در ریشه‌یابی اختلالات امری ضروری به نظر می‌رسد.
- برای دستیابی به راندمان بهینه، تحقیقات میان‌رشته‌ای در زمینه تنش عایقی، استقامت عایق، مانیتورینگ و کنترل توربین بادی، تمهیدات آماری و احتمالاتی برای تخمین رفتار باد
- کنترل دمای اتصال کلید IGBT، سیستم‌های حفاظت هوشمند توسط سیستم مانیتورینگ و کنترل
- ساخت تجهیزات تست سوئیچ قبل از به‌کارگیری آن در شبکه قدرت و طراحی سیستم‌های کنترل پیش‌بین
- مسائل تطبیق‌پذیری توربین بادی با شبکه قدرت و حفاظت شبکه از جزیره‌ای شدن

- مسائل امنیت و پایداری شبکه قدرت در حضور گسترده توربین‌های بادی
- اتصال چندین شبکه بادی با ظرفیت کوچک به یکدیگر و بحث تبادل توان آن‌ها با شبکه
- تحقیقات گسترده در زمینه تشخیص خطا در شبکه در حضور توربین باد، آرایش توربین‌ها برای کنترل توان اکتیو و راکتیو و پاسخ به افزایش بار
- به دلیل محدودیت توربین باد به تأمین توان راکتیو، تحقیقات بر روی تجهیزاتی از قبیل Statcom برای پاسخ به نیازهای آتی شبکه امری لازم و ضروری است.
- به کارگیری HVDC برای مسافت‌های طولانی راه‌حلی برای افزایش راندمان بدون نیاز به جبران‌سازی ولتاژ است. همچنین در این حالت تعداد کمتری ترانسفورماتور استفاده خواهد شد.
- استفاده از ترانسفورماتورهای حالت‌جامد و یا ترانسفورماتورهای dc-dc در ساختار HVDC برای تبدیل ولتاژهای پایین و متوسط خروجی توربین بادی به ولتاژ بالا

### ۱-۷-۵ نرخ بودجه درخواستی برای گسترش واحد تحقیق و توسعه صنعت باد

در مورد بودجه واگذارشده به بخش باد آماری ارائه نشده است اما در مورد بودجه درخواستی از دولت برای صنعت باد می‌توان به اطلاعات ارائه‌شده در این زمینه رجوع کرد. طبق آماری که وزارت انرژی آمریکا در سال ۲۰۱۴ ارائه نمود سرمایه‌گذاری در بخش باد روالی صعودی دارد.

نرخ بودجه درخواستی برای تحقیق و توسعه در صنعت باد از سال ۱۹۷۵ تاکنون توسط دپارتمان انرژی در شکل ۱-۲۸ نشان داده شده است [۳۲]. این نرخ تا سال ۲۰۱۳ افزایش یافته و پس از یک کاهش ناگهانی در سال ۲۰۱۳ دوباره روالی رو به افزایش را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲۸ میزان بودجه درخواستی برای سرمایه‌گذاری در صنعت باد ایالات متحده

در سال ۲۰۱۴ دپارتمان انرژی ایالات متحده بودجه ۸۸/۲ میلیون دلاری برای برنامه بادی اختصاص داد تا هزینه فناوری باد را کاهش داده و بهره‌وری از توان باد را شدت بخشد. این بودجه به منظور اقدامات زیر درخواست شده است:

ارتقای تولید باد در نواحی فراساحلی: ساختن مزارع بادی فراساحلی و ارتقای بهره‌برداری از انرژی باد به صورت خانگی از زمره این فعالیت‌ها است.

تحقیق و توسعه در زمینه بهینه‌سازی نیروگاه باد: برای عملکرد بهینه نیروگاه‌های باد، برنامه‌های توسعه و تحقیق متفاوتی در نظر گرفته شده است. برنامه‌های شبیه‌سازی مناسب برای محاسبات آئرو دینامیکی پیچیده توربین باد، شناسایی و بهبود فاکتورهای مؤثر در افزایش ظرفیت توربین‌های باد و همچنین افزایش مشارکت انرژی باد در مطالعات سیستم‌های قدرت از جمله این فعالیت‌ها هستند.

ساخت واحدهای تحقیق و توسعه: به منظور ایجاد رقابت در صنعت توربین باد و همچنین کاهش هزینه تولید، این کشور در نظر دارد تا بر خلاقیت‌های مؤثر واحدهای تحقیق و توسعه تمرکز بیشتری کند.

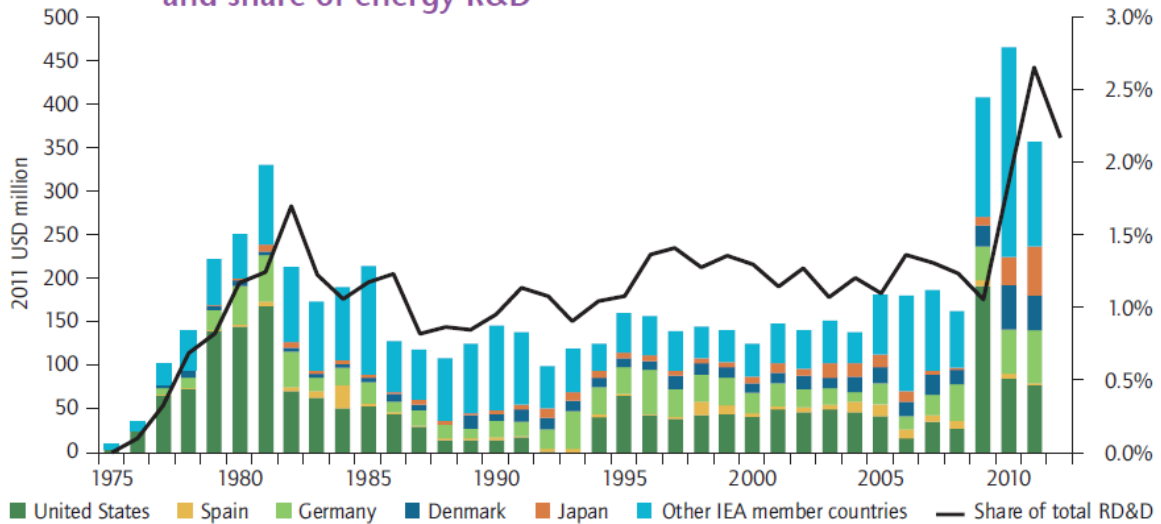
اتصال به شبکه: مسائل اتصال به شبکه و مطالعات انتقال توان و توسعه ابزارهای پیش‌بینی برای اپراتورهای شبکه

صدور گواهینامه و جواز و استانداردها: بررسی و تحلیل پیامدهای زیست‌محیطی، بررسی و تست تجهیزات در آزمایشگاه‌های ملی برای مصارف دانشگاهی و صنعتی

در گزارش [۳۳] بیان شده است که نرخ بودجه اختصاص یافته به واحد تحقیق و توسعه همچنان نسبت به سایر فناوری‌های انرژی پایین است (در حدود ۱ الی ۲ درصد از کل بودجه تحقیق و توسعه)؛ هرچند در سالیان اخیر مطابق شکل ۱-۲۹ بودجه اختصاص یافته به واحد تحقیق و توسعه بخش باد در کشورهای عضو سازمان اقتصاد و توسعه انرژی شاهد افزایش بوده است. در سال ۲۰۱۱ مقدار مشارکت بودجه تحقیق و توسعه به عدد ۲/۲ درصد افزایش یافت که تقریباً معادل با ۳۵۷ میلیون دلار امریکا است. همچنین در تحلیل چشم‌اندازهای آتی در بخش تحقیقات در سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ اشاره به افزایش درصد مشارکت باد در بخش تحقیق و توسعه دارد. علت این افزایش مشارکت را ناشی از رسیدن باد به سطحی بالا از خلاقیت در تکنولوژی می‌داند که در آن بدون حمایت‌های بیشتر دولتی امکان پیشروی میسر نیست. مشخص نمودن حمایت مالی مشخص برای واحد تحقیق و توسعه به وضوح اهداف بلند مدت کشورها و شرکت‌های حوزه صنعت باد را برای عموم آشکار می‌سازد. این امر جذب سرمایه‌گذاران را نیز در بر خواهد داشت.

در بین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ در حوزه صنعتی، در حدود ۵ درصد از درآمد هر شرکت به بخش تحقیق و توسعه اختصاص داده می‌شد؛ اما شرکت‌های خصوصی تمایل به امتیازات کوتاه مدت در بخش تحقیق و توسعه دارند تا سود سرمایه‌گذاری خود را با اطمینان و قطعیت بیشتری دریافت کنند. تحقیقات بنیادین طولانی‌مدت، معمولاً بر عهده بخش عمومی (غیرخصوصی) است که در نگاه اول هدف تأمین منافع عمومی را دنبال می‌کند. هماهنگی بین تمام گروه‌ها، دولتی و خصوصی به خصوص در زمینه فراساحلی می‌تواند منافع فراوانی را به همراه داشته باشد. نکته مهم دیگر اینکه اختصاص یک بودجه قطعی برای بخش تحقیق و توسعه و همچنین افزایش ۲ الی ۵ برابری این بودجه برای اطمینان از بهره‌برداری کامل از پتانسیل باد امری لازم و ضروری به نظر می‌رسد. همچنین گسترش مکان‌ها و مراکزی برای تست و آزمایش‌های بر روی توربین‌های بادی از دیگر چالش‌های پیشرو است. کشورهایی از قبیل آلمان، انگلستان، امریکا دست به اقداماتی در این زمینه زده‌اند.

OECD member country funding for wind energy R&D and share of energy R&D



شکل ۱-۲۹ میزان بودجه واحد تحقیق و توسعه انرژی باد و سهم آن از بودجه باد، در کشورهای عضو OECD

## ۱-۸- شرکت‌های سازنده توربین بادی در دنیا

در این بخش به معرفی شرکت‌های سازنده توربین بادی را معرفی کرده و انواع مبدل‌های ارائه شده توسط این شرکت‌ها را بیان می‌کنیم. سپس به بررسی سهم هر یک از سازندگان در بازار جهانی و همچنین بازار کشور آمریکا از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۳ را بررسی می‌کنیم. در انتها لیستی از شرکت‌های سازنده کلید الکترونیک قدرت توربین باد را ارائه می‌کنیم.

### ۱-۸-۱ معرفی شرکت‌های توربین بادی

شرکت‌های بزرگ تولیدکننده توربین‌های بادی از کشور چین، هند، دانمارک، آمریکا و آلمان می‌باشند که این شرکت‌ها در کشورهای گوناگونی توربین‌های خود را نصب کرده‌اند. رنج توربین‌های بادی این شرکت‌ها نیز تا حدودی با یکدیگر متفاوت است. همچنین در جدول ۱-۴ نوع مبدل توربین‌های بادی هر یک از شرکت‌ها آورده شده است. اطلاعات این جدول از وبسایت هر یک از این شرکت‌ها در سال ۲۰۱۳ استخراج شده است.

## جدول ۴-۱ کمپانی‌های برتر در زمینه باد و ظرفیت مبدل‌های قدرت آن‌ها

شرکت	بازار اصلی	توان توربین	نوع سیستم
Vestas	آلمان-دانمارک-کانادا-استرالیا-ایتالیا-هند-بریتانیا-اسپانیا	۳ مگاوات	مقیاس جزئی
		۲ مگاوات	مقیاس جزئی
		۳/۳ مگاوات	مقیاس کامل
Gamesa	اسپانیا-چین-ایتالیا	۲-۲/۵ مگاوات	مقیاس جزئی
		۱/۸ مگاوات	بدون مبدل ژنراتور روتور سیم‌بندی
		۵ مگاوات	مقیاس کامل
Enercon	استرالیا-آلمان-کانادا-هند-پرتغال	۴/۵ مگاوات	مقیاس کامل
		۳-۲ مگاوات	مقیاس کامل
		۸۰۰-۹۰۰ کیلووات	بدون مبدل
GE Wind	امریکا-ایتالیا-ژاپن-هلند-پرتغال-بریتانیا	۲-۱ مگاوات	مقیاس جزئی
		۳ مگاوات	مقیاس کامل
Siemens	بریتانیا-ایرلند	۶ مگاوات	مقیاس کامل
		۳/۶ مگاوات	مقیاس کامل
		۳ مگاوات	مقیاس کامل
		۲/۳ مگاوات	مقیاس کامل
Suzlon	هند	۲ مگاوات	بدون مبدل روتور سیم‌بندی
		۱/۲۵ مگاوات	بدون مبدل مغناطیس دائم
Repower	آلمانی	۵ مگاوات	مقیاس جزئی
		۲ مگاوات	مقیاس جزئی
Mitsubishi	ژاپن-امریکا	۲ مگاوات	مقیاس کامل
		۱ مگاوات	بدون مبدل مغناطیس دائم
Ecotecnia	اسپانیا	۲ مگاوات ۱/۶۷ مگاوات	مقیاس جزئی
			مقیاس جزئی
Nordex	هلند	۲/۵ مگاوات	مقیاس جزئی
		۲/۳ مگاوات	مقیاس جزئی

## ۱-۸-۲ وضعیت بازار تولید سیستم توربین بادی در جهان

طبق گزارش [۱۱] در سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹ قیمت سیستم توربین بادی به علت افزایش تقاضای جهانی، افزایش قیمت مواد و سایر عوامل افزایش پیدا کرد. به‌منظور کاهش قیمت تمام‌شده، با افزایش بازدهی و ظرفیت مبدل‌ها تلاش شد تا هزینه‌های نگهداری و عملکرد سیستم کاهش یابد. همچنین عرضه بیش از حد در بازار جهانی بازهم بر کاهش قیمت سیستم توربین بادی تأثیر داشت و به همین دلیل میزان رقابت باد با سوخت فسیلی افزایش پیدا کرد. البته صنعت باد با چالش‌های فراوانی نیز مواجه بود. فشار دولت‌ها برای کاهش قیمت سیستم باد، افزایش رقابت بین تولیدکنندگان سیستم باد در کنار قیمت پایین سوخت فسیلی و سیاست‌های مبتنی بر کاهش حمایت از صنعت باد که به علت ریاضت‌های اقتصادی شکل گرفته بود از جمله‌ی این فشارها به حساب می‌آمد. در سال ۲۰۰۸ بازهم قیمت سیستم باد در حدود ۲۰-۲۵ درصد در غرب و بیشتر از ۳۵ درصد در چین افت کرد تا اینکه در سال ۲۰۱۲ به یک ثبات رسید. هزینه بهره‌برداری و نگهداری از توربین باد به علت رقابت بین شرکت‌ها در بهبود عملکرد و افزایش بازدهی توربین‌های بادی بازهم شاهد افت چشمگیری بود. در نتیجه قیمت تمام‌شده برای توربین‌های غیر فراساحل از نظر اقتصادی قابل رقابت و حتی در برخی موارد کمتر از تولید برق به روش‌های مرسوم سنتی است. کشورهای استرالیا، هند و آمریکا جز این کشورها به حساب می‌آیند. هنوز قیمت تولید برق از روش فراساحلی در حدود دو برابر غیر فراساحل است.

در جدول ۱-۵ میزان مشارکت سازندگان توربین بادی در تولید و نصب توربین‌های بادی در سراسر جهان در طول سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۳ آورده شده است [۳۴-۳۷]. ده شرکت برتر دنیا در سال ۲۰۱۰، ۲۰۱۱، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ به ترتیب در حدود ۷۵، ۷۷، ۷۸ و ۷۰ درصد از تولیدات انرژی باد را به خود اختصاص داده‌اند. شرکت Vestas از کشور دانمارک از سال ۲۰۰۰ برترین سازنده توربین بادی در جهان بوده است. پس از آن شرکت GE-Wind به علت رقابت بسیار شدید در کشور آمریکا رتبه دوم را به خود اختصاص داده است. شرکت‌های Siemens و Enercon هر دو از کشور آلمان رتبه‌ی خود را در جدول حفظ کرده‌اند و شرکت Suzlon از هند روالی صعودی در سالیان اخیر داشته است. سایر شرکت‌های برتر مانند Gamesa از اسپانیا، Goldwind، United Power، Sinovel و Mingyang همگی از کشور چین در رتبه‌های ۵ تا ۱۰ قرار گرفته‌اند. در سال ۲۰۱۲ در حدود ۵۵۰ شرکت در سرتاسر جهان به ساخت قطعات سیستم توربین باد پرداخته‌اند و به این ترتیب با کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل در این سال روبه‌رو بوده‌ایم.

جدول ۱-۵ سهم تولیدکنندگان برتر توربین باد در جهان

Manufacturer	Turbine Installation (MW)								
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
GE Wind	2,040	2,249	3,245	4,487	2,538	3,749	3,128	7,001	2,329
Siemens	634	1,043	---	1,612	2,846	2,304	2,560	4,291	2,611
Vestas	3,217	4,028	4,665	7,483	5,039	5,780	5,160	6,323	4,622
Gamesa	1,487	2,278	3,042	2,902	2,115	2,577	3,250	2,755	1,940
Repower	368	470	608	---	---	---	3,007	2,122	2,329
Nordex	299	485	811	913	1,269	1,562	---	---	1,164
Suzlon	703	1,102	2,839	2,149	2,038	2,695	3,088	3,342	1,870
Enercon	1,637	2,131	2,839	2,418	3,769	2,812	3,169	3,703	3,458
Gold Wind	---	426	1,419	967	4,231	3,710	3,535	2,710	3,881
Sinovel	---	---	---	1,209	---	4,335	3,657	1,445	---
United power	---	---	---	---	1,538	1,640	3,007	2,122	1,411
Ming Yang	---	---	---	---	1,346	---	1,462	1,219	---
Other									
<b>TOTAL</b>	<b>11,531</b>	<b>14,703</b>	<b>20,285</b>	<b>26,872</b>	<b>38,467</b>	<b>39,059</b>	<b>40,636</b>	<b>45,169</b>	<b>35,289</b>

با این وجود، در مجموع در سالیان اخیر تولیدکنندگان صنعت باد با آسیب‌های فراوانی از قبیل افزایش قیمت مواد اولیه، کاهش حمایت‌های دولتی، تولید بیش از حد توربین در کنار کنسل شدن پروژه‌های فراوان، کاهش نیروی کار و ورشکستگی بانک‌ها در ایالات متحده و همچنین تعطیلی شرکت‌های کوچک تأمین‌کننده تجهیزات توربین بادی به علت عدم قطعیت سیاست‌گذاری‌های کلان روبه‌رو شد. شرکت Vestas هزاران نیروی خود را که در بخش تولید توربین‌های با سایز kW کار می‌کردند اخراج کرد [۳۸]. شرکت Sinovel در حدود ۳۵۰ تن از نیروهای خود را اخراج کرد [۳۹]. همچنین بسیاری از تولیدکنندگان به خصوص در کشور چین به مرز و آستانه فروپاشی رسیده‌اند و به علت افزایش بیش از حد ظرفیت سازندگان کوچک از گرده بازار خارج شده‌اند [۴۰]. شرکت Suzlon در هند پروژه‌های سه سال در دست اجرای خود را از دست داد و با بدهی‌های عظیمی روبه‌رو شد [۴۱].

نکته قابل توجه اینکه آمار نشان می‌دهد شرکت‌های سازنده توربین‌های بادی توان کوچک تقریباً در این چند سال از عرصه کنار رفته و تولیدکنندگان توربین‌های بزرگ‌تر روالی رو به گسترش داشته‌اند. البته بازار شرکت‌ها بستگی به تعاملات



سیاسی و برنامه‌ریزی‌های کلان آن کشور دارد. برای مثال سهم تولید سازندگان توربین بادی در ایالات متحده به گونه دیگری است که در جدول ۶-۱ نشان داده شده است [۴۲]. همان‌طور که مشخص است، برخی از شرکت‌های معتبر در سطح جهانی از قبیل Enercon در لیست طرف قرارداد کشور امریکا نیست.

جدول ۶-۱ سهم تولیدکنندگان برتر در زمینه باد در کشور امریکا [۴۲]

Manufacturer	Turbine Installations (MW)								
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
GE Wind	1,431	1,146	2,342	3,585	3,995	2,543	2,006	5,016	984
Siemens	0	573	863	791	1,162	828	1,233	2,638	87
Vestas	699	439	948	1,120	1,489	221	1,969	1,818	4
Gamesa	50	74	494	616	600	566	154	1,341	0
REpower	0	0	0	94	330	68	172	595	0
Mitsubishi	190	128	356	516	814	350	320	420	0
Nordex	0	0	3	0	63	20	288	275	0
Clipper	3	0	48	470	605	70	258	250	0
Acciona	0	0	0	410	204	99	0	195	0
Suzlon	0	92	198	738	702	413	334	187	0
Other	2	2	2	23	43	41	86	398	12
<b>TOTAL</b>	<b>2,374</b>	<b>2,453</b>	<b>5,253</b>	<b>8,362</b>	<b>10,005</b>	<b>5,220</b>	<b>6,819</b>	<b>13,133</b>	<b>1,087</b>

### ۱-۸-۳ شرکت‌های سازنده کلیدهای قدرت برای مبدل‌های باد

در جدول ۷-۱ لیست شرکت‌های سازنده عمده سوئیچ‌های نیمه هادی مناسب برای توربین‌های بادی آورده شده است

[۴۳].

### جدول ۷-۱ مقایسه برخی سوئیچ‌های نیمه‌هادی در صنعت باد

	<i>IGBT module</i>	<i>IGBT Press-pack</i>	<i>IGCT Press-pack</i>	<i>SiC MOSFET module</i>
<b>Power Density</b>	Low	High	High	Low
<b>Reliability</b>	Moderate	High	High	Unknown
<b>Cost</b>	Moderate	High	High	High
<b>Failure mode</b>	Open circuit	Short circuit	Short circuit	Open circuit
<b>Easy maintenance</b>	+	-	-	+
<b>Insulation of heat sink</b>	+	-	-	+
<b>Snubber requirement</b>	-	-	+	-
<b>Thermal resistance</b>	Large	Small	Small	Moderate
<b>Switching loss</b>	Low	Moderate	Moderate	Low
<b>Conduction loss</b>	Moderate	Moderate	Moderate	Large
<b>Gate driver</b>	Moderate	Moderate	Large	Small
<b>Major manufacturers</b>	Infineon, Semikron, Mitsubishi, ABB, Fuji	Westcode, ABB	ABB	Cree, Rohm, Mitsubishi
<b>Medium voltage ratings</b>	3.3 kV / 4.5 kV / 6.5 kV	2.5 kV / 4.5 kV	4.5 kV / 6.5 kV / 10 kV	1.2 kV / 10 kV
<b>Max. current ratings</b>	1.5 kV / 1.2 kA / 750 A	2.3 kA / 2.4 kA	3.6 kA / 3.8 kA / 2 kA	180 A / 120 A

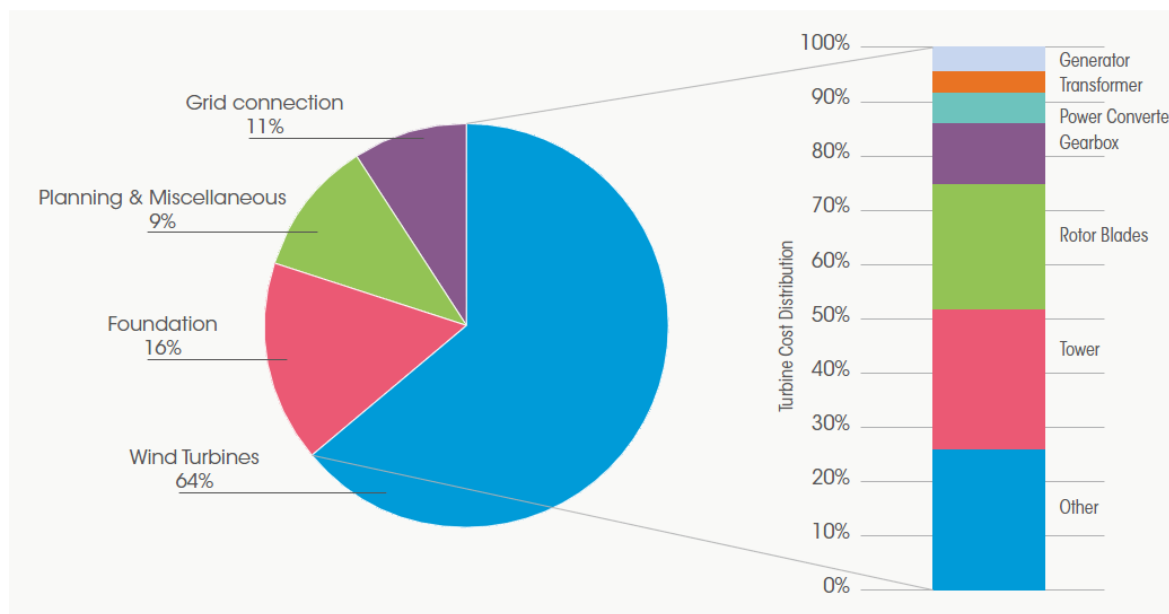
## ۹-۱- قیمت مبدل‌های توربین بادی

طبق تحقیقات مرجع [۴۴] در زمینه قیمت تمام‌شده سیستم توربین بادی و اجزای تشکیل‌دهنده آن که در سال ۲۰۱۲ منتشر شد، قیمت کل نصب سیستم توربین بادی در سال ۲۰۱۰ به صورت جدول ۸-۱ است. همان‌طور که مشخص است، در کشورهای چین و هند برای توربین‌های بادی غیر فراساحلی، در حدود ۱۳۰۰ الی ۱۴۵۰ دلار سال ۲۰۱۰ آمریکا بر کیلووات است. در کشورهای اروپایی این قیمت بالاتر بوده و در حدود ۱۸۵۰ تا ۲۱۰۰ دلار بر کیلووات است. در کشورهای آمریکای شمالی قیمت در حدود ۲۰۰۰ تا ۲۲۰۰ دلار بر کیلووات متغیر است. همچنین برای نواحی فراساحلی قیمت در حدود ۲ برابر سایر توربین‌های بادی است که در حدود ۴۰۰۰ الی ۴۵۰۰ دلار بر کیلووات ساعت تمام شده است. سایر قیمت‌ها در جدول ۸-۱ مشخص شده است.

جدول ۸-۱ قیمت تمام شده برای نصب توربین بادی در کشورهای مختلف در سال ۲۰۱۰

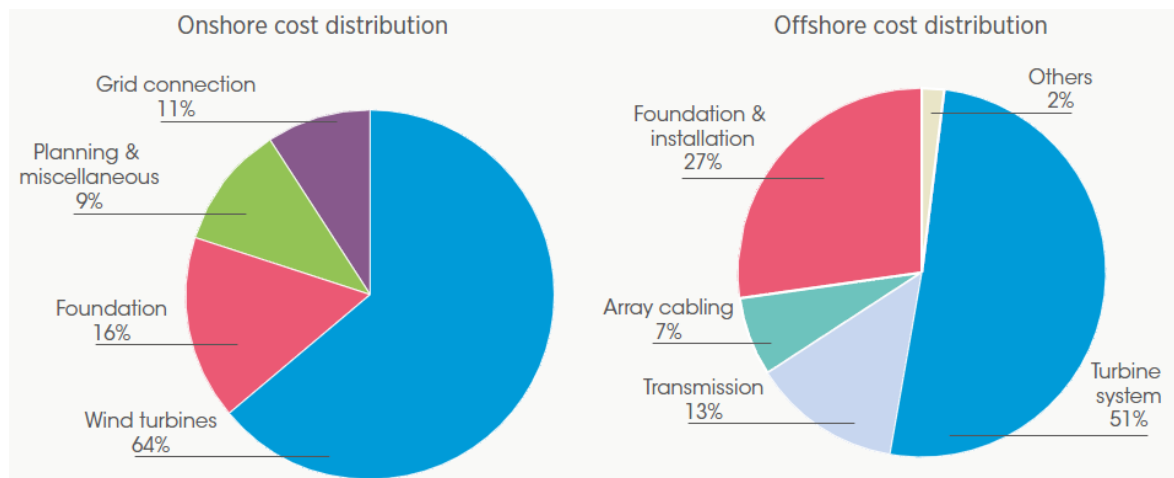
	Installed cost (2010 USD/kW)	Capacity factor (%)	Operations and maintenance (USD/kWh)	LCOE* (USD/kWh)
<b>Onshore</b>				
China/India	1 300 to 1 450	20 to 30	n.a.	0.06 to 0.11
Europe	1 850 to 2 100	25 to 35	0.013 to 0.025	0.08 to 0.14
North America	2 000 to 2 200	30 to 45	0.005 to 0.015	0.07 to 0.11
<b>Offshore</b>				
Europe	4 000 to 4 500	40 to 50	0.027 to 0.048	0.14 to 0.19

شکل ۳۰-۱ میزان مشارکت هزینه‌ی هر یک از مؤلفه‌های سیستم بادی برای نواحی غیر فراساحلی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است، در حدود ۶۴ درصد از هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، صرف توربین بادی می‌شود. مطابق دیاگرام سمت راست شکل، هزینه تمام شده برای مبدل الکترونیک قدرت در حدود ۵ درصد از هزینه توربین بادی و به عبارت دیگر در حدود ۳/۲ درصد از کل هزینه سرمایه‌گذاری اولیه تمام شده برای سیستم بادی در نواحی غیر فراساحلی است. قیمت ژنراتور و ترانسفورماتور در حدود ۳/۴ و ۳/۳ درصد از توربین بادی و به عبارت دیگر ۲/۱۷ و ۲/۱۱ درصد از کل هزینه سرمایه‌گذاری اولیه را دارند.



شکل ۳۰-۱ مشارکت هریک از عوامل تولید برق بادی از جمله مبدل الکترونیک قدرت در قیمت کل

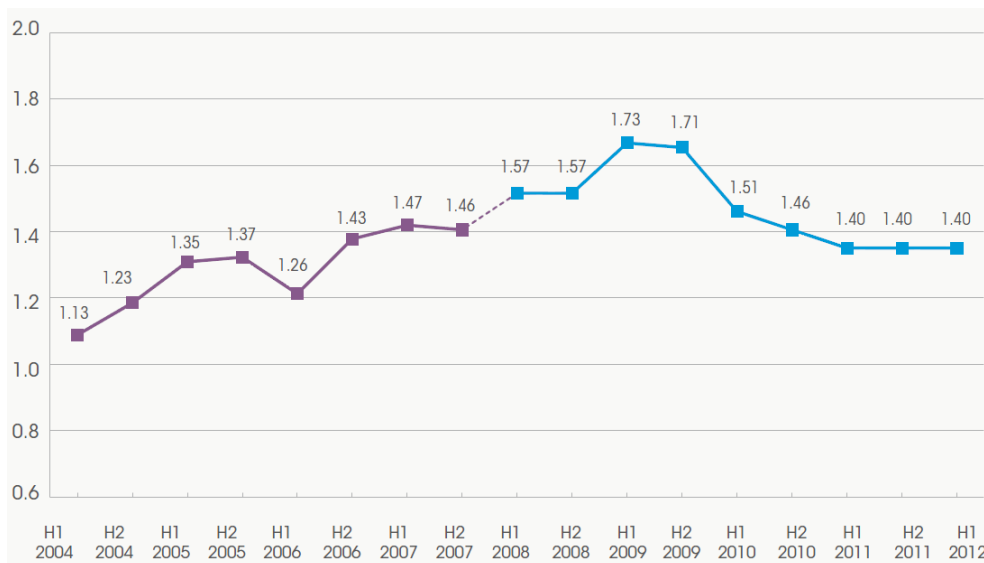
در شکل ۱-۳۱ مقایسه‌ای بین هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بین توربین‌های بادی فراساحلی و غیر فراساحلی شده است. همان‌طور که مشخص است درصد مشارکت هزینه توربین بادی در نواحی فراساحلی در حدود ۵۱ درصد است که درصد مشارکت کمتری نسبت به نواحی غیر فراساحلی (۶۴ درصد) دارد.



شکل ۱-۳۱ مقایسه درصد مشارکت توربین باد در هزینه کل تولید برق بادی در نواحی فراساحلی و غیر فراساحلی

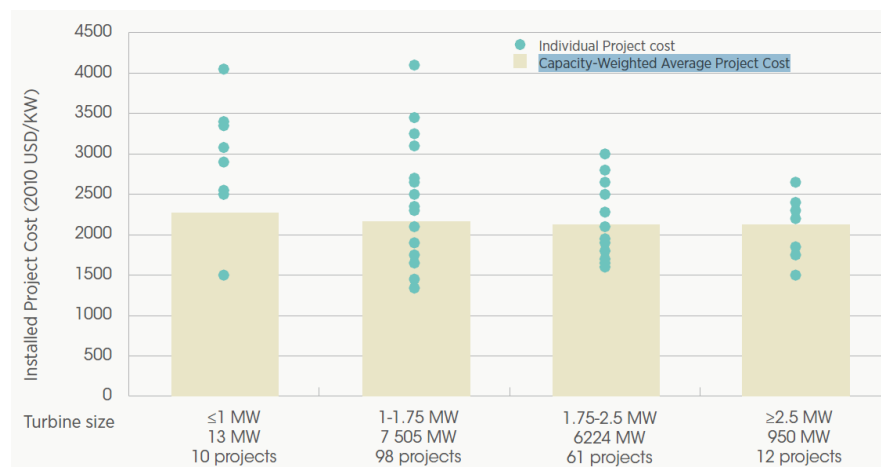
مرجع [۴۴] کاهش قیمت ۱۰ الی ۳۰ درصدی را برای هزینه اولیه توربین بادی صورت پیش‌بینی کرده است. دلایل ذکر شده برای این کاهش قیمت عبارت‌اند از: بهبود در زنجیره تأمین، افزایش مقیاس اقتصادی تولیدکنندگان، رقابت و سرمایه‌گذاری بیشتر در قسمت تحقیق و توسعه.

در شکل ۱-۳۲ قیمت تمام‌شده توربین بادی از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۲ برحسب دلار سال ۲۰۱۰ آمریکا بر مگاوات ساعت نشان داده است. تا سال ۲۰۰۹ قیمت توربین بادی به تدریج روایی صعودی داشته است اما پس از سال ۲۰۰۹ با افزایش تعداد قراردادهای بسته شده در کشورهای اروپا و آمریکا، کاهش قیمت را منجر شده است. همچنین کاهش قیمت در سال‌های دیگر ناشی از افزایش رقابت در میان سازندگان توربین بادی است.



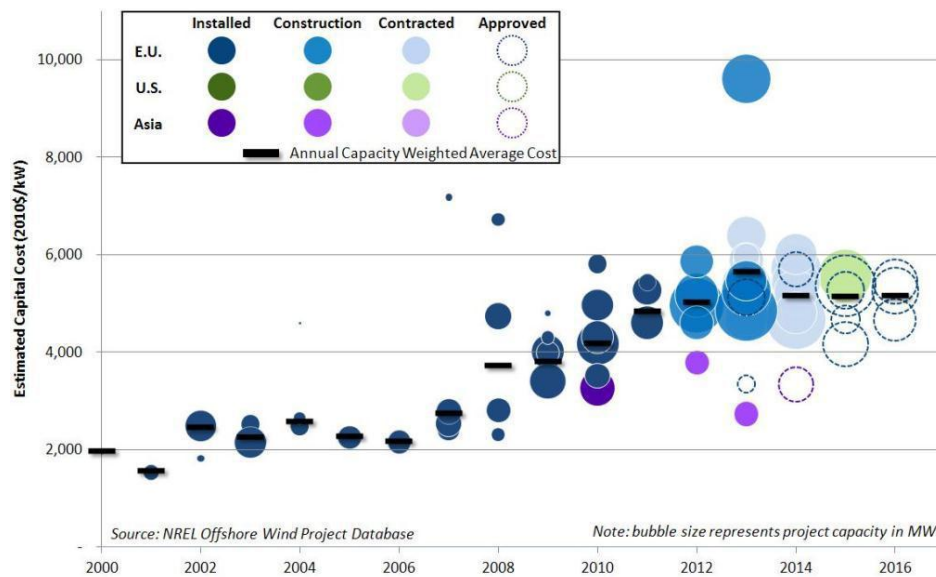
شکل ۱-۳۲ متوسط هزینه سرمایه‌گذاری اولیه تولید برق بادی در کشورهای اروپایی

در شکل ۱-۳۳ زیر هزینه‌های صورت گرفته برای اجرای پروژه‌های توربین بادی در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ بر اساس توان توربین بادی به‌کاررفته در آن‌ها دسته‌بندی شده است. همان‌گونه که مشخص است در حدود ۱۰ پروژه با توربین بادی زیر ۱ مگاوات اجرا شده است که در مجموع حدود ۱۳ مگاوات برق از این طریق تولید شده است. هزینه تمام‌شده در حدود ۲۳۰۰ دلار سال ۲۰۱۰ آمریکا بر کیلووات ساعت بوده است. همان‌گونه که مشخص است بیشترین توربین مورد استفاده دارای توان ۱-۱/۷۵ مگاوات بوده و توربین‌های توان بالاتر در رتبه‌های بعدی قرار دارند. همچنین کمترین قیمت مربوط به توربین‌های بالای ۲/۵ مگاوات است که در حدود ۲۰۵۰ دلار بر مگاوات تمام شده است.



شکل ۱-۳۳ میزان قیمت تولید برق بادی در کشور آمریکا به تفکیک ظرفیت هر توربین باد

در مرجع گزارشی تمامی پروژه‌های انجام شده در جهان در زمینه توربین‌های بادی فراساحلی در قالب شکل ۱-۳۴ آورده شده است. در این شکل محور افقی زمان و محور عمودی قیمت تخمین زده شده پروژه بر اساس دلار سال ۲۰۱۰ آمریکا بر کیلووات ساعت است. شعاع هر یک از دواير با میزان ظرفیت نصب شده رابطه مستقیم دارد. متوسط هزینه سرمایه‌گذاری اولیه در دنیا برای نقاط فراساحلی در ۵۱۲۰ دلار بر کیلووات و متوسط این قیمت در آمریکا ۵۶۰۰ دلار ارزیابی شده است. هزینه سرمایه‌گذاری اولیه در رنج ۲۵۰۰ دلار بر کیلووات تا حدود ۶۵۰۰ دلار بر کیلووات متغیر بوده است. در سال ۲۰۱۱ در حدود ۳۵ پروژه در اروپا، آمریکا و آسیا برنامه‌ریزی شده و تا سال ۲۰۱۶ به ظرفیتی در حدود ۱۰۳۷۳ مگاوات می‌رسد. هزینه سرمایه‌گذاری اولیه پروژه‌هایی که در سال ۲۰۱۱ بسته شد، در حدود ۴۸۳۹ دلار بر کیلووات بود که در حدود ۷۰۰ دلار بر کیلووات بیشتر از متوسط پروژه‌های نصب شده در سال ۲۰۱۰ بود. همچنین قیمت دلار بر کیلووات پروژه‌های تصویب شده برای سال ۲۰۱۶ در حدود ۵۳۳۳ دلار بر کیلووات که در حدود ۴ درصد افزایش قیمت نسبت به سال ۲۰۱۰ دارد. نکته قابل توجه دیگر در شکل ۱-۳۴ این است که قیمت تمام شده برای پروژه‌های آسیا کمتر از قیمت در اروپا و آمریکا است. اگرچه این قیمت امکان دارد از عواملی مانند قیمت کمتر دستمزد کارگران و سازندگان باشد اما برخی دلیل این کاهش قیمت را نگاه بسیار خوش بینانه نسبت به برآورد سرمایه‌گذاری اولیه می‌دانند.



شکل ۱-۳۴ قیمت سرمایه‌گذاری اولیه تمامی پروژه‌های فراساحلی

درزمینه کاهش قیمت توربین‌های بادی در سال‌های آتی پیش‌بینی‌های گوناگونی صورت گرفته است که در جدول ۹-۱ نمایش داده است.

جدول ۹-۱ تخمین‌های صورت گرفته برای کاهش قیمت توربین باد در آینده

	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	(%)							
IEA				-18				-23
EWEA	-11	-22	-28	-29				
GWEC	-5 to -6	-9 to -12		-16 to -18				
Mott MacDonald		-12				-23		
US DOE				-10				

همچنین در مرجع [۴۴] کاهش ۱۰ الی ۱۵ درصدی برای مبدل الکترونیک قدرت باد، ژنراتور، ترانسفورماتور و سیستم کنترل تا سال ۲۰۲۰ پیش‌بینی کرده است. علت این کاهش قیمت افزایش بازدهی مبدل‌ها توسط سازندگان در کنار تلاش‌های مراکز تحقیق و توسعه بیان می‌کند. همچنین این مرجع یکی از علل کاهش قیمت سیستم توربین‌های به‌کاررفته در نواحی

فراساحلی را ناشی از پیشرفت تکنولوژی الکترونیک قدرت، استانداردسازی طراحی کابل‌های HVDC، کاربرد عایق XLPE در کابل‌های HVDC و همچنین توسعه خطوط انتقال زیردریا می‌داند.

## ۱-۱۰ - نتیجه‌گیری

در این فصل به بررسی تغییر و تحولات انجام گرفته در زمینه باد پرداخته شد. روال رو به افزایش تولید توربین‌های بادی و نصب آن در جهان نشان‌دهنده افزایش تمایل به بهره‌وری انرژی باد در جهان را نشان می‌دهد. از دلایل گسترش صنعت باد می‌توان به مسائل زیست‌محیطی، برق‌رسانی به نقاط دور از دسترس، کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی، اقتصادی‌تر شدن تولید باد و تجدیدپذیر بودن آن اشاره کرد. آمارها نشان از افزایش ظرفیت و سایز توربین‌های بادی جدید را نشان می‌دهد. همگام با رشد ظرفیت توربین‌های بادی، مبدل‌های الکترونیک قدرت نیز از شکل مقیاس جزئی به شکل مقیاس کامل تغییر رویه داده‌اند. ساختارهای گوناگون مطرح‌شده در زمینه مبدل‌ها مورد بررسی قرار گرفته شدند. تحول مبدل‌ها از حالت تک‌سلولی و دوسطحی به سمت مبدل‌های چند سطحی و چند سلولی خود نشان‌دهنده توجه به توربین‌های بالاتر است. همچنین روال تحقیقاتی سال‌های اخیر حاکی از آن است که صنعت باد به‌عنوان یکی از صنایع و فناوری‌های مدرن با چالش‌های فراوان فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی مواجه بوده و لذا بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته است. برنامه‌های پیشروی این صنعت نشان‌دهنده دورخیز برای رسیدن به مرزهای دانش در طراحی، تولید، مدیریت انرژی و ارتقای راندمان سیستم‌های بادی است. دانش الکترونیک قدرت پیشرفته در زمره اهداف میان‌مدت کشورها قرار گرفته و رسیدن به مبدل‌های جدید از اولویت‌های صنعت باد به حساب می‌آید. همچنین نحوه بهره‌وری بیشینه از توان باد در برنامه‌های کوتاه مدت سازمان انرژی قرار دارد. بنابراین با نگاهی مثبت به آمار ارائه‌شده می‌توان پیشرفت صنعت باد پیش‌بینی کرد. البته رقابت در بازار جهانی خود امری دشوار به نظر می‌رسد. با حضور کمپانی‌های بزرگ و بین‌المللی از قبیل وستاس، جنرال الکتریک، زیمنس و گمزا و... که تاکنون بیش از ۷۰ درصد توربین‌های بادی را تولید و نصب کرده‌اند رقابت امری دشوار به نظر می‌رسد. از طرف دیگر توربین‌های بادی به سمت توان‌های بالاتر در حال گسترش هستند و بنابراین فناوری‌های توان بالا خود امری پیچیده، نیازمند دانش فنی و تجربه فراوان، سرمایه‌گذاری و ایجاد مراکز تحقیقاتی و R&D است. نکته دیگر اینکه شرکت‌های معتبر در صنعت باد دارای بازار بین‌المللی هستند و تنها برای کشور خود تولید نمی‌کنند. بنابراین دارا بودن ارتباطات بین‌المللی و سیاست‌گذاری‌ای کلان



اقتصادی و سیاسی از عوامل بسیار تأثیرگذاری در این صنعت محسوب می‌شوند. دستیابی به کلیدهای قدرت توان بالا نیز خود از مسائل فنی است که محدوده تولید صنعت باد را مشخص می‌کند.

## فصل دوم

### مبدل سیستم‌های فتوولتائیک

## ۲- فصل دوم مبدل سیستم‌های فتوولتائیک

### ۲-۱- مقدمه

فتوولتائیک به‌عنوان یکی از منابع تجدید پذیر انرژی که انرژی تابش را به برق تبدیل می‌کند از دیرباز مورد توجه بوده است. در قرن بیستم تولید برق توسط فتوولتائیک در بسیاری از کشورها انجام شد و از پیشگامان این صنعت کشورهای اتحادیه اروپا به‌خصوص کشور آلمان و همچنین کشورهای چین، امریکا بوده و هم‌اکنون (سال ۲۰۱۳) کشور ژاپن نیز به جمع این کشورها پیوسته است. کشورهای عربی نیز به دلیل پتانسیل خوب تابشی و همچنین مسئله‌ی اشتغال‌زایی، کاهش بهره‌برداری از منابع سوخت‌های فسیلی و همچنین افزایش ارتباطات بین‌المللی با کشورهای اروپایی در برنامه‌های تدوین‌شده در سند توسعه صنعت فتوولتائیک کشورشان اشاره به توسعه گسترده فتوولتائیک در برنامه‌های کوتاه مدت و بلندمدتشان داشته‌اند. در این گزارش به بررسی تحولات تولید فتوولتائیک در جهان و چشم‌اندازهای ارائه‌شده در این زمینه پرداخته می‌شود.

مبدل‌های الکترونیک قدرت نیز به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین اجزای سیستم فتوولتائیک به‌حساب می‌آیند که وظیفه بهره‌برداری بهینه از توان ماژول‌های فتوولتائیک و تزریق آن به شبکه و یا بار را بر عهده‌دارند. تاکنون مطالعات فراوانی بر روی این مبدل‌ها و نحوه کنترل آن‌ها در مقالات بین‌المللی و همچنین پتنت‌ها صورت گرفته است که در این گزارش به تحلیل آمارهای ارائه‌شده پرداخته می‌شود. همچنین در ادامه، گزارش تحولات صورت گرفته در مبدل‌های فتوولتائیک، انواع ساختارهای الکترونیک قدرت ارائه‌شده و وضعیت گسترش این مبدل‌ها در بازار جهانی بیان خواهد شد.

کمپانی‌های برتر و پیشگام در توسعه صنعت فتوولتائیک و به‌ویژه بخش مبدل‌های الکترونیک قدرت مطرح خواهند شد و محصولات آن‌ها، میزان مشارکت آن‌ها در بازار در سالیان اخیر و برخی از اهداف پیشروی این شرکت‌ها ارائه خواهد شد.

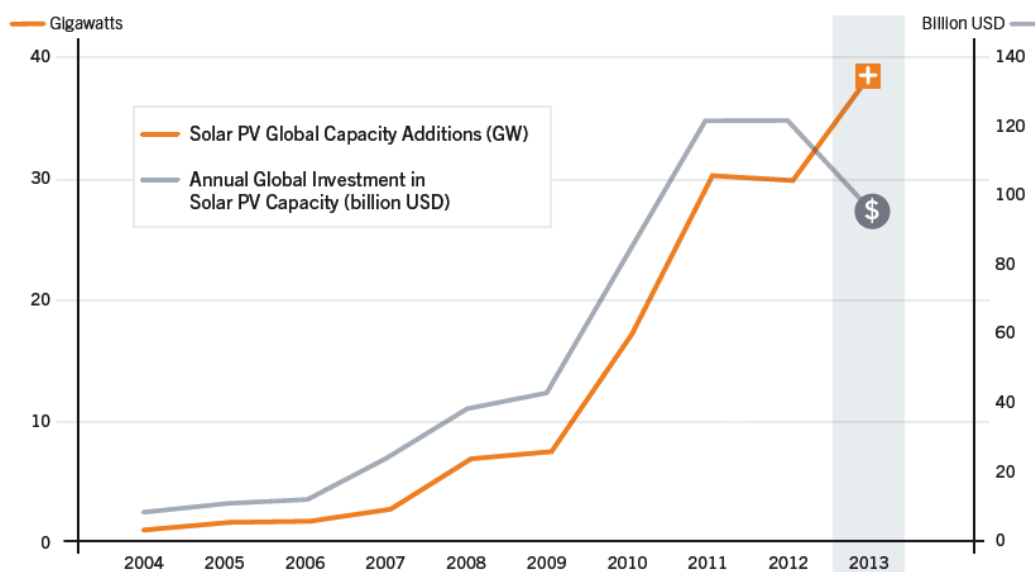
مسئله قیمت تولید برق به روش فتوولتائیک، سهم مبدل الکترونیک قدرت در آن، قیمت پروژه‌های انجام شده در جهان به تفکیک توان مبدل‌هایشان در این گزارش بررسی خواهد شد و برخی از چشم‌اندازهای پیشروی قیمت مبدل‌ها بررسی خواهد

شد.

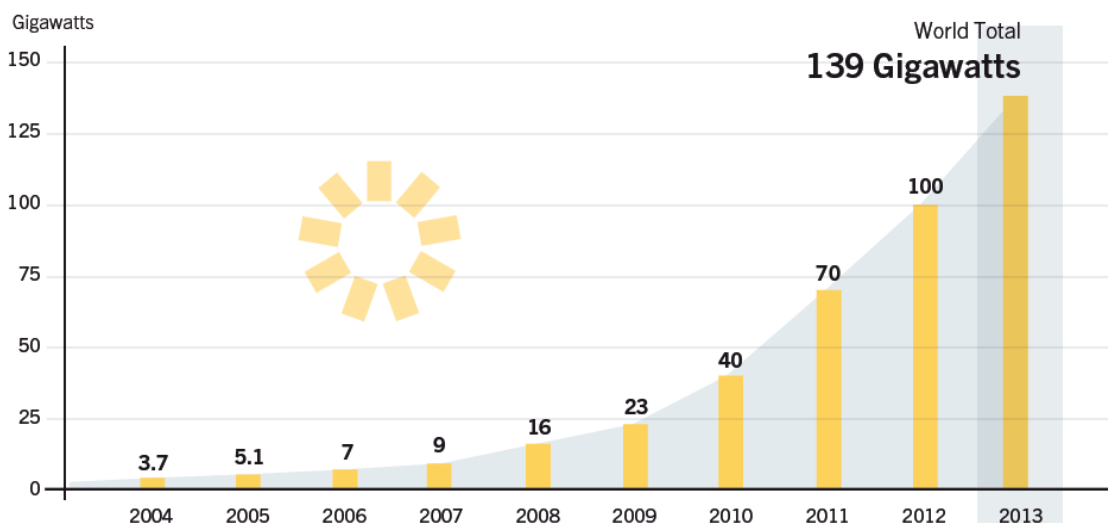
## ۲-۲- مقدمه‌ای بر وضعیت تولید برق فتوولتائیک در جهان

شکل ۱-۲ میزان ظرفیت نصب شده سالیانه فتوولتائیک در جهان را از سال ۲۰۰۴ تا پایان سال ۲۰۱۳ نشان می‌دهد.

همچنین ظرفیت تجمعی نصب شده در جهان تا سال ۲۰۱۳ در شکل ۲-۲ آورده شده است [۴۵].



شکل ۱-۲ ظرفیت سالیانه فتوولتائیک نصب شده در جهان



شکل ۲-۲ ظرفیت تجمعی فتوولتائیک نصب شده در جهان

همان طور که در شکل ۲-۱ مشخص است و بر اساس آمار منتشرشده توسط [۴۵] میزان توان نصب شده از فتوولتائیک تاکنون (انتهای سال ۲۰۱۳) به ۱۳۹ گیگاوات رسیده است. در سال ۲۰۱۳ بیشترین ظرفیت نصب شده سالیانه را شاهد بودیم (حدود ۳۹ گیگاوات) که رکورد بسیار چشمگیری است. تقریباً در حدود نیمی از ظرفیت فتوولتائیک در دو سال اخیر اضافه شده است و در حدود ۹۸ درصد از کل ظرفیت فتوولتائیک از آغاز سال ۲۰۰۴ به بعد بوده است. سه کشور چین، ژاپن و امریکا سه کشور برتر در نصب فتوولتائیک در سال ۲۰۱۳ شناخته شدند در صورتی که در دهه های اخیر اروپا در بالاترین رده قرار داشت. در میان کشورهای اروپایی تاکنون کشور آلمان پیشروی فتوولتائیک بوده است. بیشترین ظرفیت فتوولتائیک کشور چین در نواحی آفتابی غرب این کشور و به صورت پروژه های بسیار بزرگ مورد بهره برداری قرار گرفته است [۴۶]. اخیراً بازار فتوولتائیک توان کوچک که معمولاً بر روی پشت بام قرار می گیرند افزایش یافته است [۴۷]. کشور ژاپن به تأیید دولت این کشور در حدود ۶/۹ گیگاوات در سال ۲۰۱۳ به ظرفیت خود اضافه کرد. بیشتر این ظرفیت در پشت بام خانه ها نصب شد که علت این امر کمبود فضای خالی در این کشور، هزینه کمتر طرح، دسترسی بیشتر به شبکه، نزدیکی به کمپانی های معتبر ژاپن و ارائه خدمات جانبی بهتر اعلام شد [۴۸]. در کشور امریکا اهداف اقتصادی جدید برای کاهش قیمت تمام شده فتوولتائیک ارائه شد. افزایش سرمایه گذاری های بزرگ و نصب متمرکز فتوولتائیک به خصوص در امریکای شمالی یکی از این اقدامات برای کاهش قیمت انرژی خورشیدی است [۴۹]. برخلاف روال هرساله ی اروپا که بیشترین سهم جهانی (حدود ۸۲ درصد بازار در سال ۲۰۱۰) داشت، در سال ۲۰۱۳ تنها ۲۶ درصد از بازار را از آن خود کرد. این کاهش چشمگیر ناشی از معوقات دولت به سرمایه گذاران و در نتیجه کاهش اطمینان آن ها نسبت به سرمایه گذاری بیشتر فتوولتائیک بوده است [۵۰]. در ۱۴ درصد از نواحی مسکونی استرالیا و در حدود ۲۵ درصد از نواحی جنوب استرالیا، آرایه های فتوولتائیک در سقف خانه ها نصب شده است. دلیل این امر کاهش هزینه های انتقال برق بیان شده است [۵۱]. همچنین در طول سال ۲۰۱۳ و اوایل ۲۰۱۴ کشورهای اردن، کویت، عربستان سعودی و امارات متحده عربی و همچنین آفریقای جنوبی تعدادی از قراردادهای فتوولتائیک را در دولت به ثبت رسانده اند سهم بخش تجاری فتوولتائیک در حال افزایش است ولی همچنان بخش مسکونی بیشترین ظرفیت را به خود اختصاص داده است [۴۵]. در نقشه راه کشور عربستان سعودی که در سال ۲۰۱۳ تدوین شد، تبدیل عربستان به یکی از کشورهای پیشرو در صنعت فتوولتائیک در جهان تا سال ۲۰۳۰ با نصب حدود ۴۱ گیگاوات از اهداف اصلی دولت بیان شده است. علت چنین امری اشتغال زایی، عدم وابستگی به سوخت فسیلی، افزایش ارتباطات بین المللی، ایجاد بازار جهانی و جذب

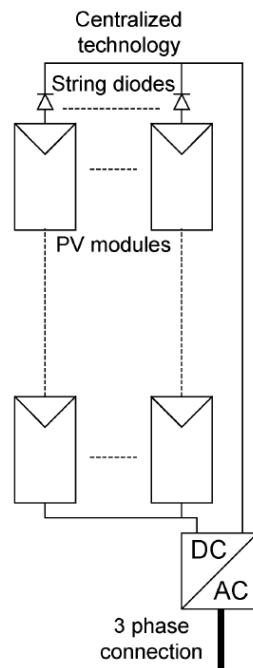
سرمایه‌گذاران خارجی و همچنین افزایش آگاهی عمومی مردم عربستان نسبت به پتانسیل تابشی کشورشان بیان شده است [۵۲، ۵۳]. مدل اقتصادی کشور عربستان به‌منظور مدرنیزه ساختن شبکه برق این کشور و مبتنی بر تئوری‌های کشور آلمان پایه‌ریزی شده است [۵۲]. کشورهای اتحادیه اروپا نیز در چشم‌اندازهای سال ۲۰۱۶ تأکید کرده‌اند که عربستان به بهترین بازار انرژی خورشیدی تبدیل خواهد شد. علت این مسئله را آگاهی دولت‌مداران و علاقه آن‌ها به اشتغال‌زایی بیان کرده‌اند [۵۴]. قیمت تمام‌شده برای برق فتوولتائیک در کشورهای اتحادیه عرب در حدود ۲۷ دلار بر کیلووات ساعت (برای سیستم‌های نصب‌شده روی زمین) الی ۳۵ دلار بر کیلووات ساعت (برای سیستم‌های نصب‌شده بر روی بام) ارزیابی شده است [۵۵].

## ۲-۳- روال گسترش الکترونیک قدرت در صنعت فتوولتائیک

بررسی روال گسترش مبدل‌های الکترونیک قدرت به‌کاررفته در فتوولتائیک را می‌توان به سه بخش اصلی، دسته‌بندی کرد. الف) وضعیت اولیه مبدل (اینورترهای متمرکز) ب) وضعیت کنونی مبدل‌ها (ماژول‌های AC و اینورترهای تک‌رشته‌ای) ج) آینده مبدل‌ها (اینورترهای چند رشته‌ای و ماژول‌های AC و سلول‌های AC). در ادامه به تحولات این مبدل‌ها می‌پردازیم.

### ۲-۳-۱ وضعیت اولیه مبدل‌های فتوولتائیک (اینورترهای متمرکز)

تکنولوژی اولیه اینورترهای فتوولتائیک [۵۶] در شکل ۲-۴ نشان داده شده است که مبتنی بر اینورترهای متمرکزی است که تعداد زیادی ماژول فتوولتائیک را به شبکه وصل می‌کند. این ماژول‌ها به دو روش به هم اتصال دارند. ماژول‌های سری که با اتصال به یکدیگر یک‌رشته را تشکیل می‌دهند که نقش افزایش ولتاژ را دارد. رشته‌های موازی که با دیود به یکدیگر متصل می‌شوند تا توان افزایش یابد.

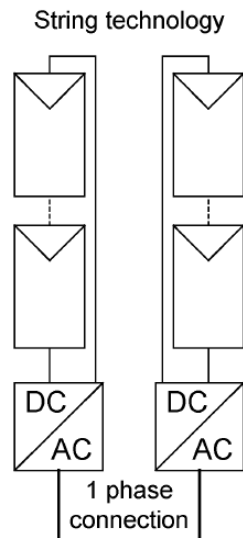


شکل ۲-۳ تکنولوژی اولیه مبدل فتوولتائیک

ساختار اولیه دارای محدودیت‌های فراوانی است، از قبیل کابل dc ولتاژ بالا بین ماژول‌های فتوولتائیک و اینورتر، تلفات توان به دلیل MPPT متمرکز، تلفات ناشی از عدم تطابق بین ماژول‌ها، تلفات در دیویدهای هر شاخه و طراحی غیرقابل انعطاف. اتصال به شبکه در این تکنولوژی از طریق ترستورهای کموتاسیون خط انجام می‌گیرد که هارمونیک‌های جریان زیاد و کیفیت توان پایینی را به همراه دارد. مقدار زیاد هارمونیک در اینورترهای اولیه عرصه را برای ظهور نسل بعدی اینورترها که نسل کنونی هستند فراهم نمود که در ادامه به معرفی آن می‌پردازیم.

## ۲-۳-۲ تکنولوژی کنونی مبدل‌های فتوولتائیک

تکنولوژی کنونی [۵۶] شامل اینورترهای رشته‌ای و ماژول‌های AC است. اینورترهای رشته‌ای که در شکل ۲-۴ نشان داده شده است یک نسخه کاهش یافته از اینورترهای متمرکز است که تنها یک رشته از ماژول‌های فتوولتائیک به آن متصل می‌شود [۵۷]. تعداد ماژول‌های یک رشته باید طوری باشد که ولتاژ کافی برای اینورتر را تأمین کند. برای مثال در اروپا حدود ۱۶ ماژول باهم در یک رشته سری می‌گردند.

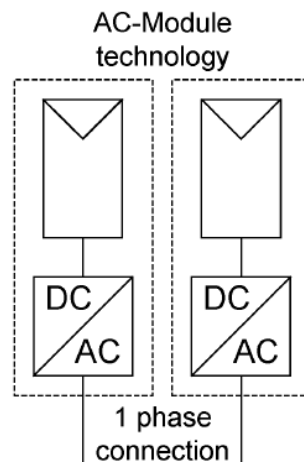


شکل ۲-۴ تکنولوژی کنونی رشته‌ای مبدل فتوولتائیک

ولتاژ مدار باز این ۱۶ ماژول تا حدود ۷۲۰ ولت می‌رسد که به این منظور معمولاً از کلیدهای قدرت IGBT یا MOSFET در حدود ۱۰۰۰ ولتی برای کلیدزنی استفاده می‌کنند که معمولاً در مرحله کلیدزنی در حدود ۴۵۰ تا ۵۱۰ ولت بر روی هر یک از کلیدها می‌افتد. امکان استفاده از ماژول‌های کمتر نیز وجود دارد اگر از مبدل‌های dc-dc و یا ترانسفورماتورهای فرکانس خط برای تقویت ولتاژ استفاده شود. این تکنولوژی دیگر مشکل تلفات در دیویدهای رشته‌ای را ندارد و همچنین امکان کنترل MPPT به‌طور جداگانه برای هر یک از رشته‌ها وجود دارد. این امر افزایش بازدهی کل سیستم را سبب می‌شود و قیمت سیستم کاهش می‌یابد.

ماژول‌های AC نشان داده شده در شکل ۲-۵ ترکیبی از اینورتر و ماژول فتوولتائیک به‌صورت یک دستگاه الکتریکی است [۵۷]. با این عمل تلفات عدم تطابق بین ماژول‌ها برطرف می‌شود و همچنین امکان کنترل جداگانه هر یک از ماژول‌های فتوولتائیک فراهم شده است. همچنین به دلیل ساختار ماژولار امکان گسترش و بزرگ‌تر کردن سیستم فراهم شده است.



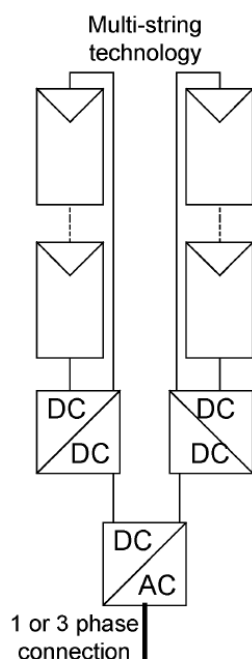


شکل ۲-۵ تکنولوژی کنونی ماژول AC مبدل فتوولتائیک

همچنین در ساختار ماژول AC امکان تعویض هر یک از ماژول‌ها توسط فردی که دانش چندان از برق ندارد نیز فراهم است. از معایب و محدودیت‌های این طرح می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد: هزینه بالاتر، بازدهی کمتر و کنترل پیچیده. این ساختار از طریق کموتاسیون خود به خودی اینورترها و با استفاده از IGBT و MOSFET کنترل می‌شود که از کیفیت توان بالایی برخوردار است.

### ۲-۳-۳ آینده مبدل فتوولتائیک

اینورترهای چند رشته‌ای در شکل ۲-۵ نشان داده شده است نسل آتی مبدل‌های فتوولتائیک است که در آن چندین رشته با مبدل‌های dc-dc به یک اینورتر مشترک متصل شده‌اند [۵۷، ۵۸] که این خود یک مزیت است زیرا هر یک از رشته‌ها به‌طور جداگانه کنترل می‌شوند. همچنین با تعداد کمتری ماژول می‌توان سیستم را راه‌اندازی کرد. امکان توسعه دادن سیستم وجود دارد. سیستم دارای بازدهی بالا و قابلیت انعطاف‌پذیری است. هدف از این طراحی افزایش ولتاژ پایین ماژول‌ها (در حدود ۰/۵ تا ۱ ولت) به سطح ولتاژ شبکه است.



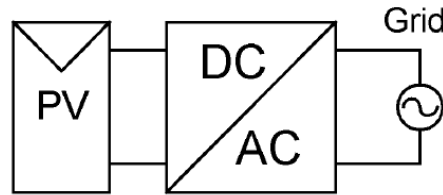
شکل ۲-۶ نسل آتی مبدل‌های فتوولتائیک

## ۲-۴- طبقه‌بندی مبدل‌های فتوولتائیک متصل به شبکه

مبدل‌های متصل به شبکه موج سینوسی در خروجی خود تولید کرده تا با شبکه برق تطبیق پیدا کنند و اغلب طوری طراحی شده‌اند که در زمان از دست رفتن شبکه خاموش شوند (به دلیل مسائل امنیتی) [۶۰]. در این اینورترها هیچ‌گونه سیستم پشتیبان (مانند باتری) وجود ندارد. طبقه‌بندی این مبدل‌ها از جنبه‌های گوناگونی صورت می‌گیرد [۵۹]. الف) از نظر تعداد مراحل تبدیل توان ب) محل قرارگیری خازن جداسازی توان ج) ترانسفورماتور و نوع اتصال آن‌ها د) نوع واسط بین فتوولتائیک و شبکه

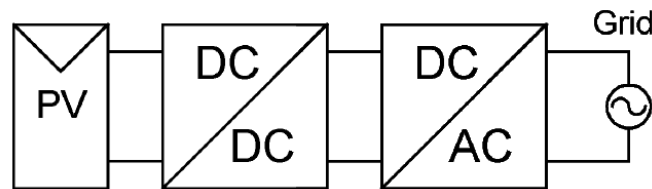
### ۲-۴-۱ تعداد مراحل فرآیند تبدیل توان

فرآیند تبدیل توان امکان دارد یک مرحله و یا چند مرحله‌ای باشد. شکل ۲-۷ دیاگرام اینورتر تک‌مرحله‌ای را نشان می‌دهد که در آن تمامی وظایف از قبیل MPPT و کنترل جریان تزریقی به شبکه و همچنین جبران‌سازی ولتاژ بر عهده اینورتر است. این ساختار در زمره اینورترهای متمرکز قرار دارد و معمولاً برای عبور پیک توان تا دو برابر توانی نامی باید طراحی شود.



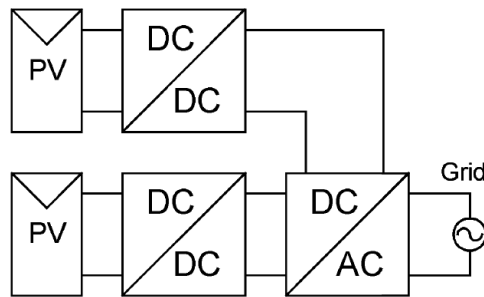
شکل ۲-۷ مبدل فتوولتائیک تک مرحله‌ای

در شکل ۲-۶ اینورتر دو مرحله‌ای نمایش داده شده است. یک مبدل dc-dc نقش MPPT را اجرا می‌کند و در برخی مواقع ولتاژ را جبران‌سازی می‌کند. بسته به نوع کنترل اینورتر، خروجی dc-dc می‌تواند dc خالص باشد که در این حالت مبدل برای عبور توان نامی طراحی می‌شود و اینورتر به کنترل جریان شبکه با PWM پردازد. همچنین جریان خروجی مبدل dc به dc می‌تواند موج سینوسی یکسوسازی شده باشد که در این حالت باید مبدل برای تحمل پیک توانی در حدود دو برابر توان نامی، طراحی شود. در این حالت اینورتر در فرکانس پایه کلیدزنی می‌کند و جریان اینورتر را سینوسی می‌کند. روش دوم در توان‌های پایین بازدهی بالاتری دارد؛ اما اگر توان نامی بالا باشد، بهتر است از کنترل PWM استفاده شود.



شکل ۲-۸ مبدل فتوولتائیک دومرحله‌ای

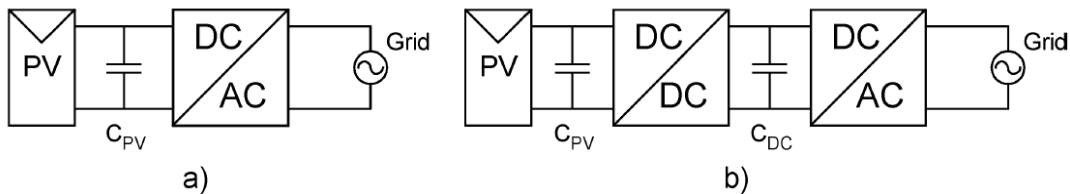
در شکل ۲-۹ اینورتر چند رشته‌ای نشان داده شده است. نقش هر یک از مبدل‌های dc-dc کنترل MPPT و در برخی موارد جبران‌سازی ولتاژ است. مبدل‌های dc-dc به لینک dc یک اینورتر متصل می‌شوند و وظیفه کنترل جریان شبکه را اینورتر بر عهده دارد. در این حالت کنترل بهتری بر مازول‌ها و رشته‌های فتوولتائیک صورت می‌گیرد. این ساختار شرایط استاندارد برای درایو سرعت متغیر موتورها را فراهم می‌کند.



شکل ۲-۹ مبدل فتوولتائیک چند رشته‌ای

### ۲-۴-۲ خازن جداسازی توان

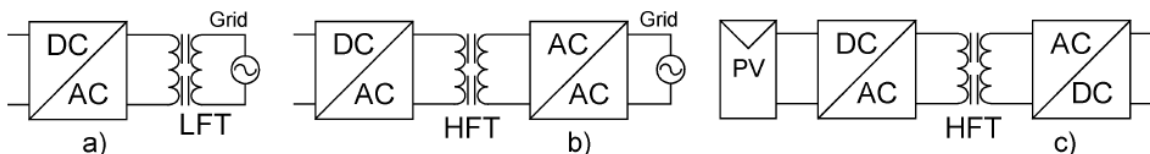
جداسازی توان معمولاً از طریق یک خازن الکترولیت صورت می‌گیرد. خازن الکترولیت یکی از اصلی‌ترین عوامل محدودکننده طول عمر سیستم به شمار می‌آید. بنابراین باید این خازن تا حد امکان کوچک باشد و ترجیحاً با یک فیلم خازنی جایگزین شود. خازن می‌تواند با مازول فتوولتائیک موازی گردد و یا در لینک dc بین مبدل‌ها قرار گیرد. در شکل ۲-۱۰ این ساختار نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۰ مکان قرارگیری خازن در مبدل فتوولتائیک

### ۲-۴-۳ ترانسفورماتورها و نوع اتصال آن‌ها

برخی از اینورترها از ترانسفورماتور فرکانس بالا در مبدل‌های dc به dc و مبدل‌های dc به ac خود استفاده می‌کنند. برخی از ترانسفورماتور فرکانس پایه متصل به شبکه استفاده کرده و در نهایت برخی از مبدل‌های فتوولتائیک بدون ترانسفورماتور عمل می‌کنند. در شکل ۲-۱۱ این مبدل‌ها نمایش داده شده‌اند.

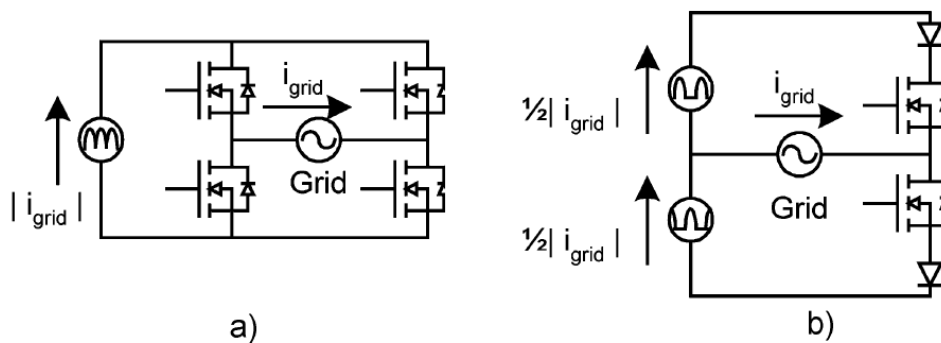


## شکل ۲-۱۱ انواع مبدل فتوولتائیک بر اساس نوع ترانسفورماتور

ترانسفورماتور فرکانس پایه هزینه، اندازه و وزن سیستم را افزایش می‌دهد. اینورترهای مدرن بیشتر مایل به استفاده از ترانسفورماتورهای فرکانس بالا هستند که طراحی آن کاملاً متفاوت است.

## ۲-۴-۴ نوع واسط‌های میان مازول و شبکه

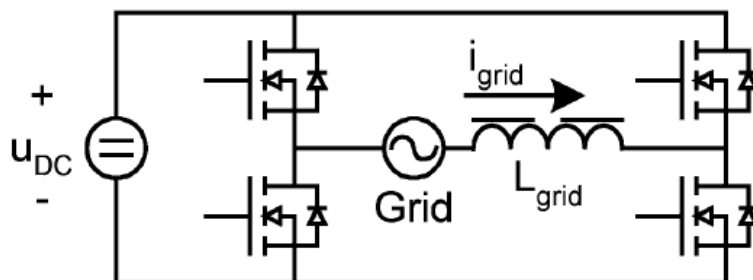
تنها اینورترهایی که به صورت منبع جریان کار می‌کنند، در این دسته‌بندی جای دارند زیرا یکی از اهداف اینورتر فتوولتائیک، تزریق جریان سینوسی به شبکه است. شکل ۲-۱۲ چهار نمونه از اینورترهای متصل به شبکه را نشان می‌دهد. ساختارهای شکل ۲-۱۲ اینورترهای منبع جریان هستند که با مدولاسیون فرکانس پایه کنترل می‌شوند. در این ساختارها کلیدزنی در ولتاژ و جریان صفر صورت می‌گیرد.



شکل ۲-۱۲ اینورتر منبع جریان کموتاسیون خط

مبدلی که مدار a را تغذیه می‌کند می‌تواند یک پوش پول با ترانسفورماتور ثانویه تک خروجی بوده و مبدلی که مدار b را تغذیه می‌کند می‌تواند یک فلای‌بک با ترانسفورماتور ثانویه دو خروجی باشد.

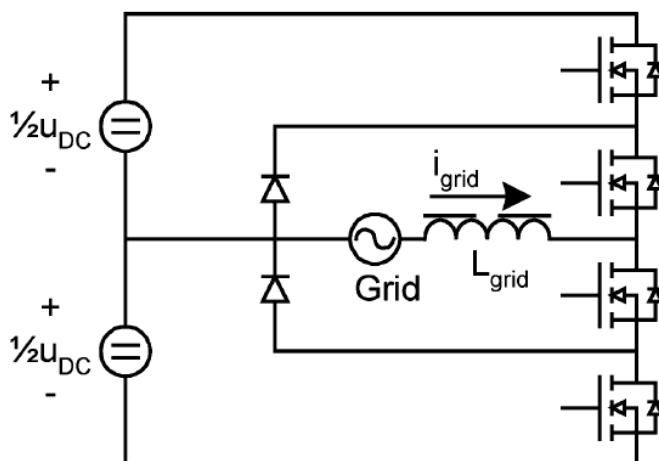
ساختار شکل ۲-۱۳ یک منبع ولتاژ سه سطحی تمام پل استاندارد است که جریان سینوسی تولید می‌کند. البته این مبدل می‌تواند از نوع نیم‌پل نیز انتخاب شود. ولتاژ دو سر شبکه و القاگر معمولاً به روش مدولاسیون پهنای پالس و یا هیستریزس کنترل می‌شود.



شکل ۲-۱۳ مبدل فتوولتائیک بدون ترانسفورماتور با ولتاژ ورودی بالا

ساختار شکل ۲-۱۴ یک منبع ولتاژ سه سطحی دیود کلمپ نیمپل را نشان می‌دهد. در این مبدل‌ها فرکانس کلیدزنی

کاهش یافته و کیفیت توان خروجی نیز بهبود می‌یابد.



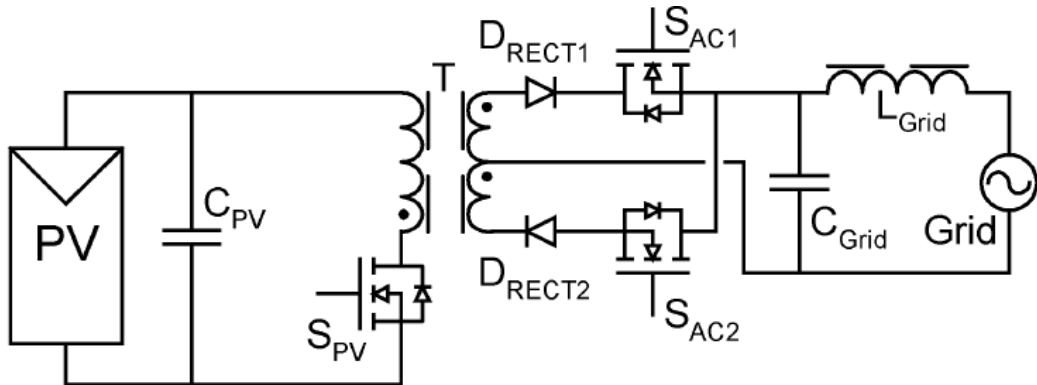
شکل ۲-۱۴ مبدل فتوولتائیک بدون ترانسفورماتور با ولتاژ ورودی بالا

## ۲-۵- انواع ماژول‌های AC

ساختار نشان داده شده در شکل ۲-۱۵ یک اینورتر فلای‌بک است [۶۱] که در آن یک مبدل فلای‌بک تک ترانزیستوری

با یک ترانسفورماتور دارای سر وسط ترکیب شده‌اند. دو خروجی ترانسفورماتور از طریق دو کلید ماسفت و دو دیود به شبکه

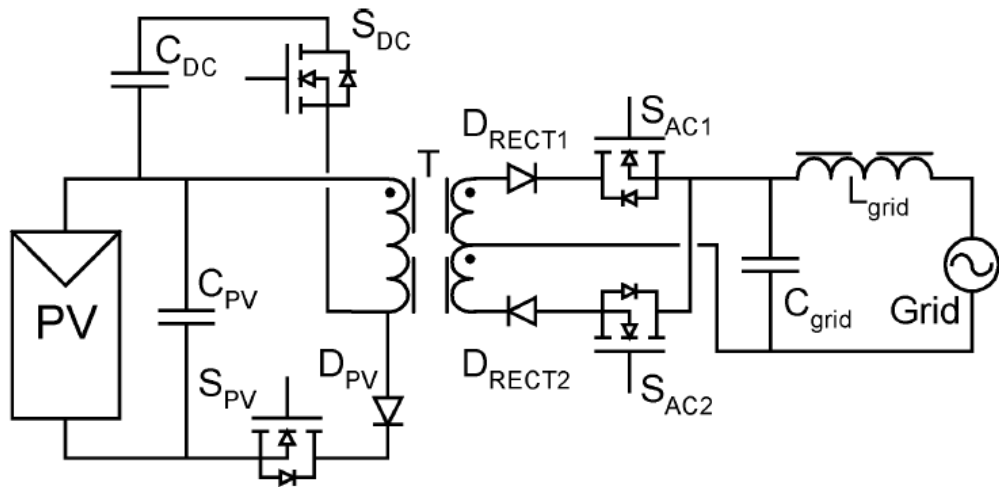
متصل شده است. جریان خروجی در این ساختار دو طرفه است.



شکل ۲-۱۵ مبدل فتوولتائیک با اینورتر فلای بک تک ترایستوری با لینک فرکانس بالا

ساختار نشان داده شده در شکل ۲-۱۶ ترکیبی از مبدل اینورتر فلای بک و باک-بوست است [۶۲]. در این ساختار معمولاً

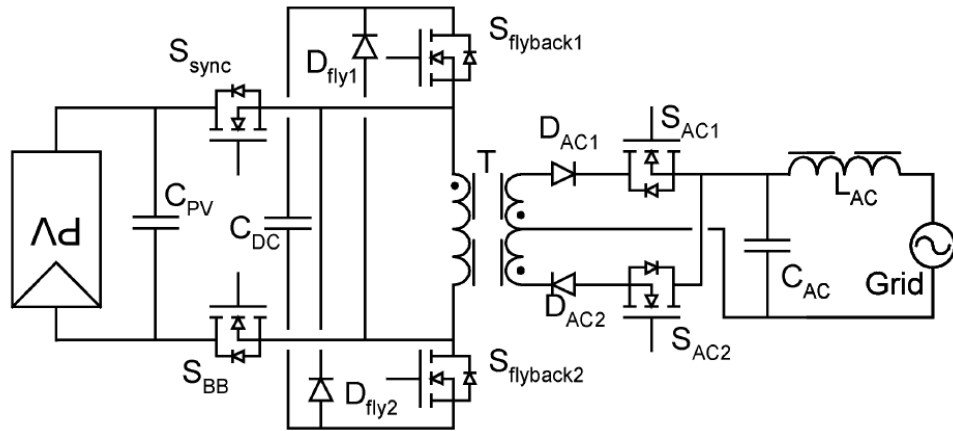
از مدار اسنابر (مقاومت-خازن و دیود کلمپ) برای حذف اضافه ولتاژ ناشی از اندوکتانس نشستی در هنگام خاموشی کلیدهای قدرت، استفاده می شود.



شکل ۲-۱۶ مبدل فتوولتائیک با اینورتر فلای بک دو ترانزیستوری

اینورتر شکل ۲-۱۷ مشابه اینورتر قبلی است با این تفاوت که به جای فلای بک تک ترایستوری از یک مبدل فلای بک دو

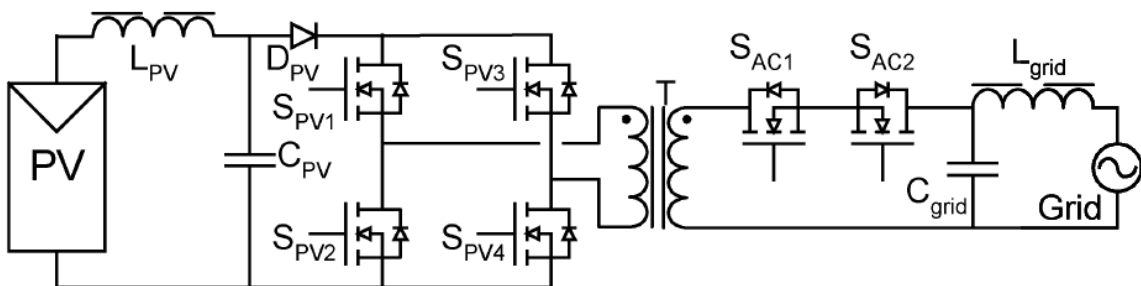
ترایستوری استفاده شده است تا مشکلات اضافه ولتاژ روی کلیدها برطرف شود [۶۳].



شکل ۲-۱۷ مبدل فتوولتائیک ساختار شیمیزو اصلاح شده

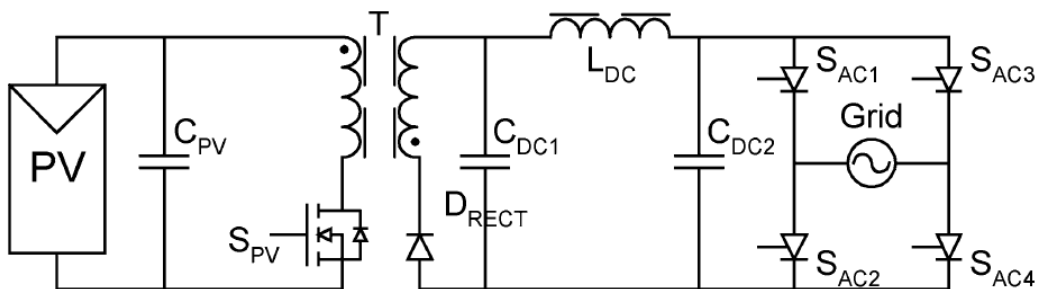
ساختار شکل ۲-۱۸ یک اینورتر باک-بوست است [۶۴]. در طرحهای قبلی مشکل حبس شدن انرژی در اندوکتانس نشتی

وجود دارد؛ اما در این مدار انرژی از طریق دیودهای اصلی بازگردانی می شود.



شکل ۲-۱۸ مبدل فتوولتائیک با اینورتر دو ترانزیستوری

ساختار شکل ۲-۱۹ ترکیب یک مبدل dc-dc فلای بک با یک اینورتر dc-ac فرکانس پایه ترایستوری است [۶۵, ۶۶].

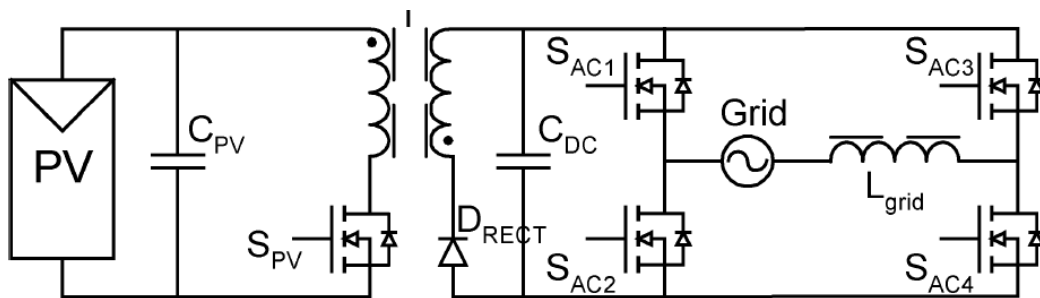


شکل ۲-۱۹ مبدل فتوولتائیک با اینورتر فرکانس پایه ترایستوری



ساختار شکل ۲۰-۲ یک مبدل فلای بک dc-dc است که یک اینورتر dc-ac مدولاسیون پهنای پالس متصل شده است.

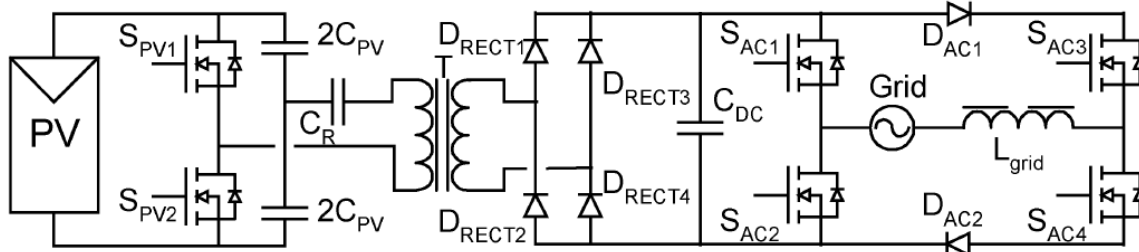
خروجی این مبدل از ۴ کلید ترانزیستوری تشکیل شده است که در فرکانس بالا کلیدزنی می‌شوند [۶۷، ۶۸].



شکل ۲۰-۲ مبدل فتوولتائیک با مبدل فلای بک dc-dc و اینورتر مدولاسیون پهنای پالس

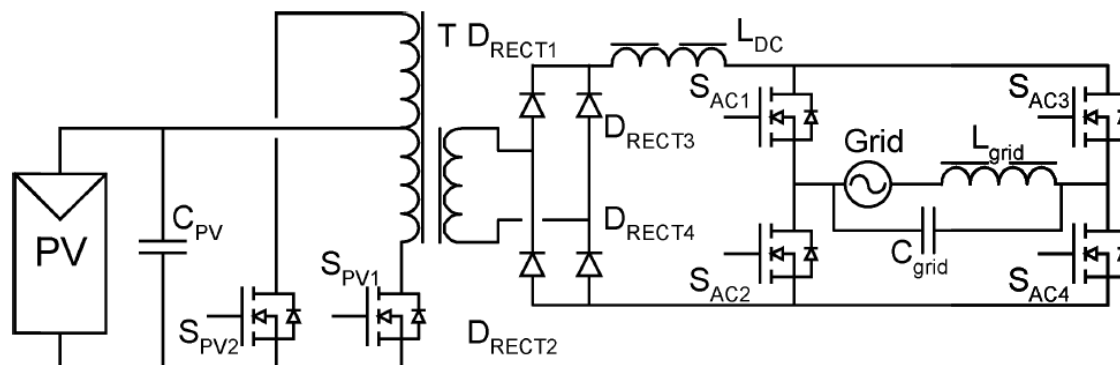
ساختار شکل ۲۱-۲ یک مبدل dc-dc رزونانسی سری است که با یک اینورتر فرکانس بالا به شبکه متصل شده است. از

مزایای این طرح عدم وجود جریان هجومی هنگام اتصال به شبکه است [۶۹].



شکل ۲۱-۲ مبدل فتوولتائیک بدون ترانسفورماتور با ولتاژ ورودی بالا

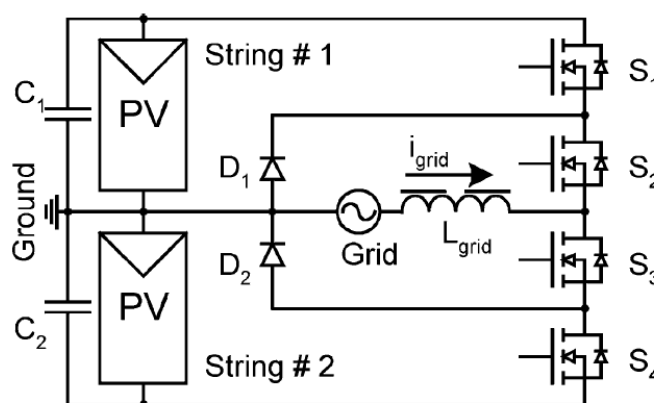
ساختار شکل ۲۲-۲ گونه‌ای از اینورتر دو مرحله‌ای بدون خازن جداساز توان است [۷۰].



شکل ۲۲-۲ مبدل فتوولتائیک دو مرحله‌ای بدون خازن جبران ساز

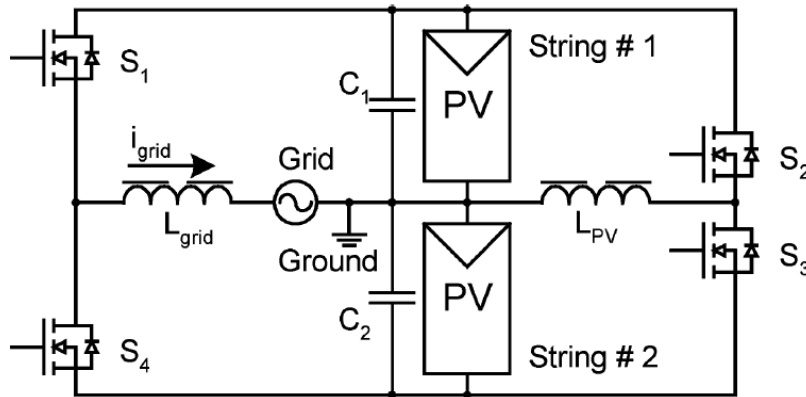
## ۲-۶- انواع اینورترهای تک‌رشته‌ای و چند رشته‌ای

در شکل ۲-۲۳ اینورتر سه سطحی دیود کلمپ نیم‌پل را نشان می‌دهد که در آن هر یک از دو رشته به زمین شبکه متصل شده‌اند [۷۱، ۵۶]. بنابراین جریان‌های خازنی زمین کاهش می‌یابد. همچنین این اینورتر می‌تواند با افزودن ترانزیستور، دیود و رشته فتوولتائیک به مبدلی ۵ سطحی گسترش یابد. البته افزایش خازن‌های جداساز عمر سیستم را کاهش می‌دهد.



شکل ۲-۲۳ مبدل فتوولتائیک با اینورتر دیود کلمپ سه سطحی نیم‌پل

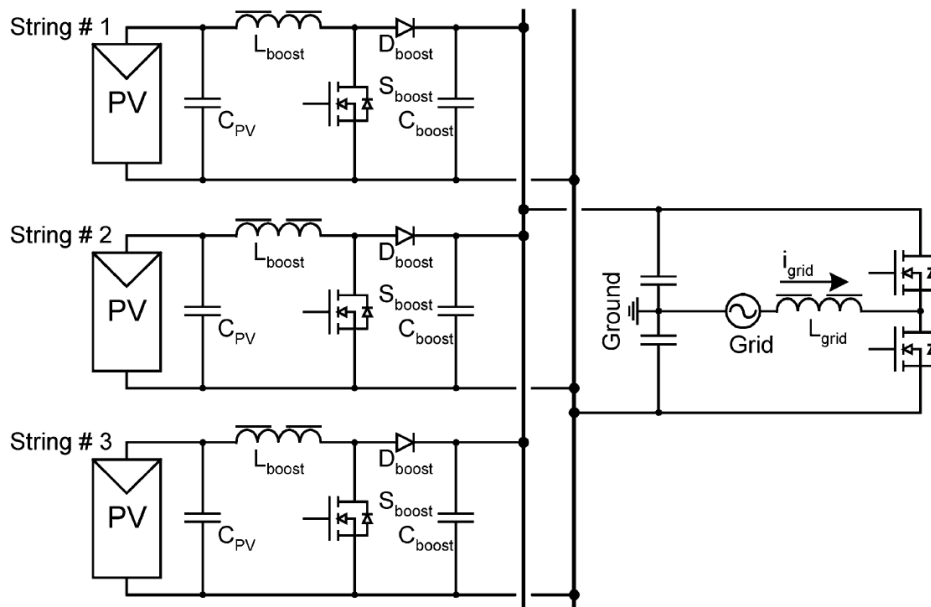
شکل ۲-۲۴ یک منبع ولتاژ دوسطحی را نشان می‌دهد [۷۲، ۷۳] که به‌عنوان واسط میان دو رشته‌ی فتوولتائیک قرار گرفته است. این مبدل تنها دو سطح ولتاژ را در خروجی تولید می‌کند بنابراین فرکانس کلیدزنی باید دو برابر شود تا مقدار اندوکتانس نیازی به تغییر نداشته باشد. تفاوت اصلی این ساختار (شکل ۲-۲۴) با ساختار قبلی (شکل ۲-۲۳)، استفاده از مدار کنترل تولید<sup>۱</sup> فتوولتائیک است که امکان MPPT هر یک از رشته‌ها را فراهم می‌کند. یکی از معایب این طرح خاصیت کاهندگی مدار است. بنابراین باید کمترین ولتاژ ورودی همواره از بیشترین ولتاژ شبکه بیشتر باشد. برای مثال در شبکه‌ای که ولتاژ ۲۳۰ ولت است، پیک ولتاژ ۳۶۰ ولت است و کمترین ولتاژ فتوولتائیک در حدود ۲۳ ولت است. بنابراین دو رشته که هر کدام حداقل ۱۸ ماژول برای ساختار شکل ۲-۲۳ و ۹ ماژول برای ساختار شکل ۲-۲۴ نیاز دارد.



شکل ۲-۲۴ مبدل فتوولتائیک با اینورتر دارای مدار کنترل توان فتوولتائیک

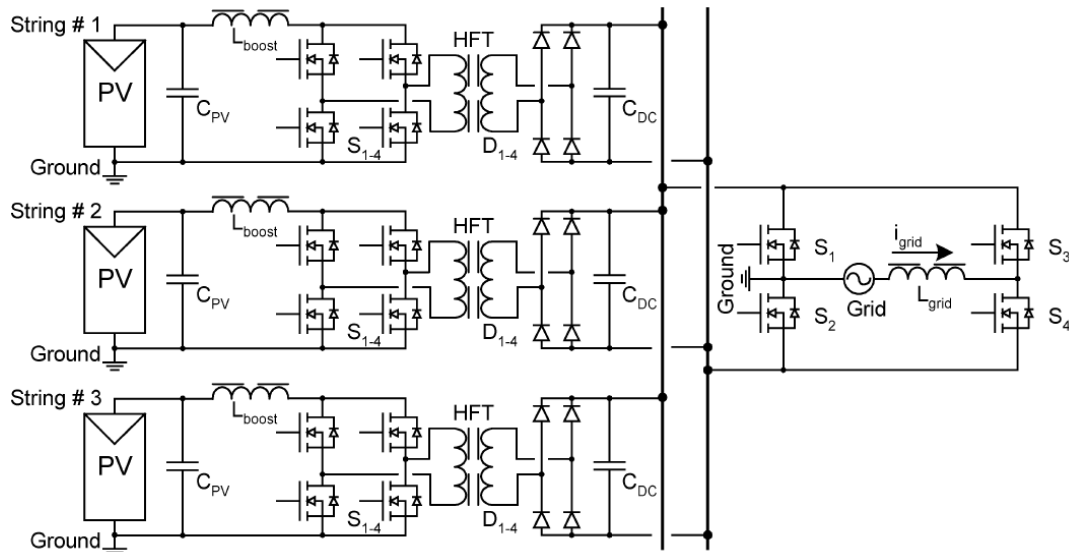
شکل ۲-۲۵ ساختار یکی از اینورترهای تجاری را نشان می‌دهد [۷۴, ۷۵] که برای سه رشته‌ی فتوولتائیک طراحی شده

است. مبدلی که واسط ماژول‌های فتوولتائیک است از نوع مبدل بوست است. یکی از مزایای این مدار حذف ریپل‌های جریان فرکانس بالای موجود در ترمینال ورودی مبدل است که توسط فیلم خازنی فیلتر می‌شود. اینورتر dc-ac این مبدل از نوع دوسطحی است.



شکل ۲-۲۵ مبدل فتوولتائیک چند رشته‌ای

یکی دیگر از مبدل‌های فتوولتائیک سه رشته‌ای در شکل ۲-۲۶ نشان داده شده است [۷۶, ۷۷]. مبدل dc-dc از نوع مبدل منبع جریان تمام پل است که دارای ترانسفورماتور فرکانس بالا و یکسوساز است. رشته‌ها به سیستم زمین متصل بوده و دارای ایزولاسیون گالوانیک نسبت به شبکه هستند. همچنین این اینورتر از نوع سه سطحی است.

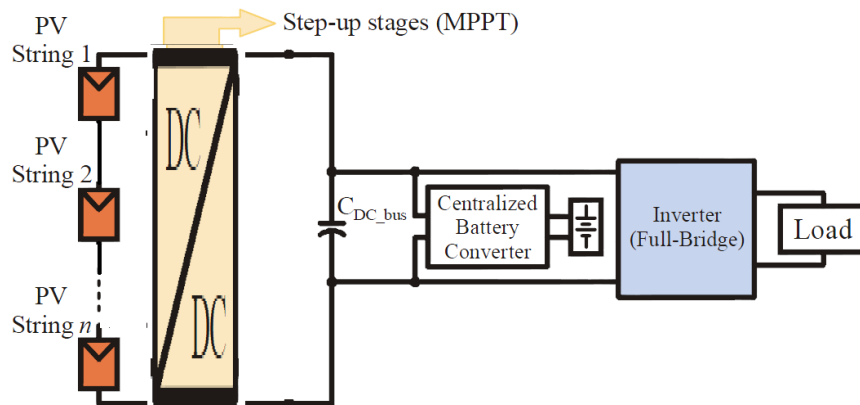


شکل ۲-۲۶ مبدل فتوولتائیک با اینورتر دارای GCC

## ۲-۷- مبدل‌های فتوولتائیک مستقل از شبکه

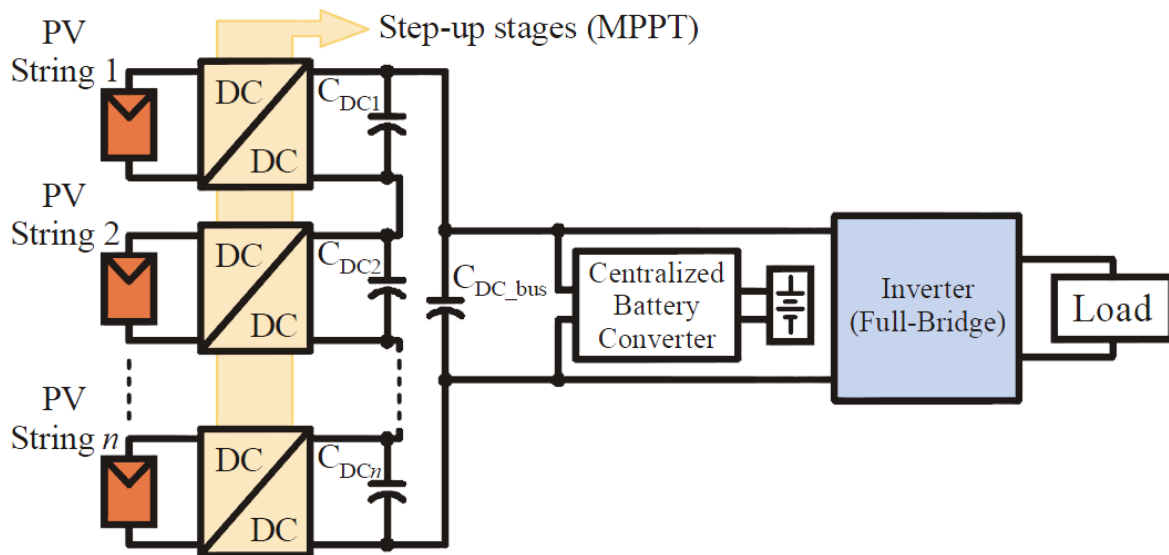
این مبدل‌ها معمولاً در سیستم‌های ایزوله‌ای به کار می‌روند که در آن یک اینورتر از یک باتری که توسط فتوولتائیک شارژ می‌شود، تغذیه می‌کند. این اینورترها اغلب به شبکه متصل نمی‌شوند و بنابراین نیازی به حفاظت جزیره‌ای شدن ندارند [۶۰].

متداول‌ترین ساختار سیستم‌های فتوولتائیک مستقل از شبکه که در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد ساختار متمرکز نشان داده شده در شکل ۲-۲۷ است. در این ساختار تنها از یک مبدل dc به dc استفاده شده است. در این ساختار MPPT به صورت مرکزی انجام می‌گیرد [۷۸].



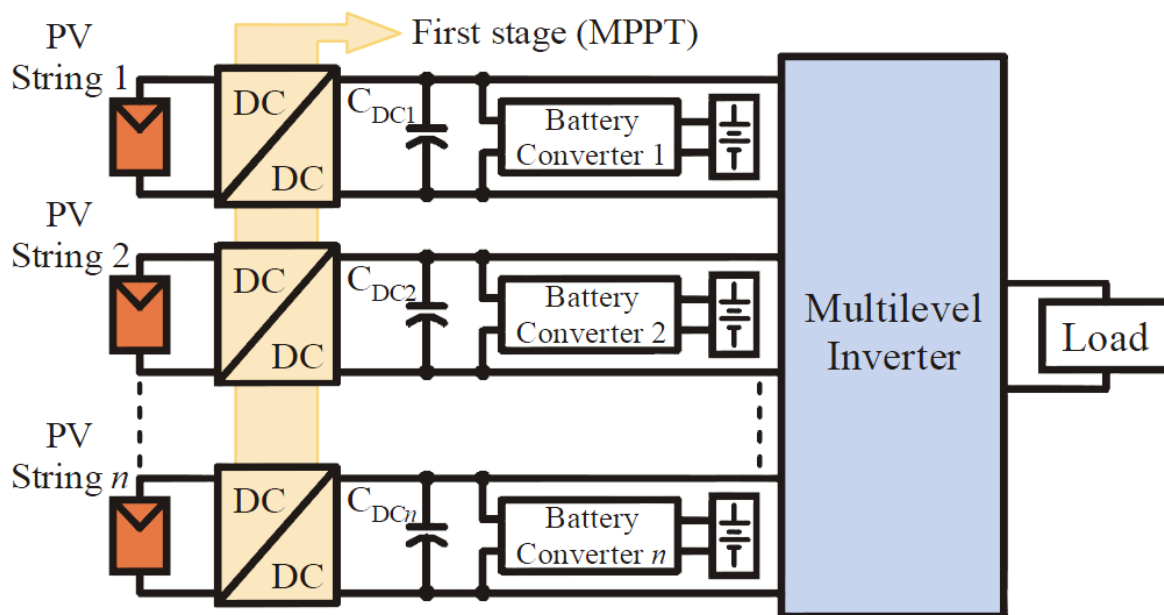
شکل ۲-۲۷ فتوولتائیک مستقل از شبکه با ساختار متمرکز

یکی از ساختارهای مطرح برای سیستم‌های مستقل از شبکه، در شکل ۲-۲۸ نشان داده شده است که در آن از یک اینورتر سه سطحی که به تعدادی فتوولتائیک غیرمتمرکز متصل است استفاده شده است [۷۹]. در ساختار توزیع‌شده MPPT به صورت جداگانه برای هر رشته انجام می‌شود. همچنین سیستم ماژولار است.



شکل ۲-۲۸ فتوولتائیک مستقل از شبکه با اینورتر سه سطحی و ساختار غیرمتمرکز

گونه‌ی دیگری از سیستم فتوولتائیک مستقل از شبکه در شکل ۲-۲۹ نشان داده شده است که در آن از اینورتر چند سطحی برای سیستم غیرمتمرکز استفاده شده است [۷۹]. در این سیستم علاوه بر ماژولار بودن، کیفیت توان خروجی نیز بالاتر است.



شکل ۲-۲۹ فتوولتائیک مستقل از شبکه با اینورتر چند سطحی و ساختار غیرمتمرکز

## ۲-۸- مقایسه مبدل‌های فتوولتائیک متصل به شبکه و مستقل از آن

شرکت SMA در [۸۰+] به مقایسه سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه و مستقل از آن پرداخته است و نتایج این

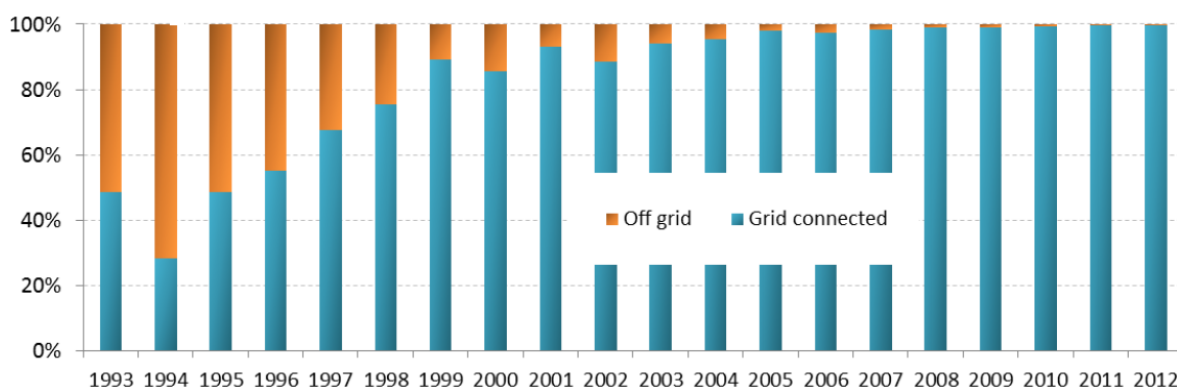
مقایسه به صورت جدول ۲-۱ است.

جدول ۲-۱ مقایسه اینورترهای متصل به شبکه و غیر متصل به شبکه

	Photovoltaic Inverters	Stand-Alone Power Inverters
Direction of energy flow	unidirectional	bidirectional
Functions	MPP Tracking sinusoidal grid current	management of batteries, generators and loads; sinusoidal grid voltage
Overload capacity	approx. 110 %	approx. 300 % (short-circuit-proof)
Active / reactive power	feed-in of active power	loads with any power factor
Typical DC voltage	125 V-750 V (string technology)	12 V, 24 V, 48 V

## ۲-۹- روال گسترش هر یک از مبدل‌های فتوولتائیک

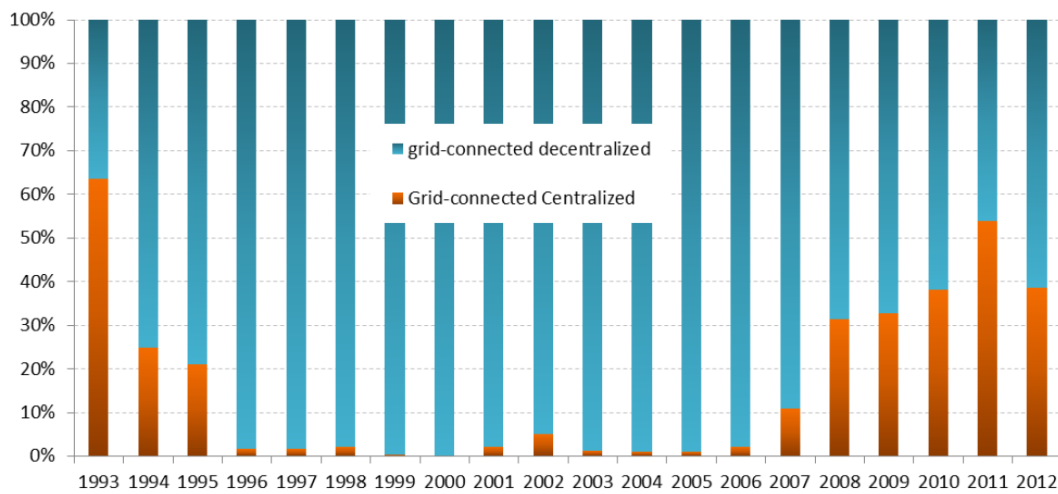
بازار مبدل‌های فتوولتائیک جدا از شبکه در مقایسه با مبدل‌های متصل به شبکه قابل مقایسه نیست. در شکل ۲-۳۰ گسترش نفوذ مبدل‌های متصل به شبکه در اتحادیه اروپا نشان داده شده است. همان‌گونه که مشخص است مبدل‌های متصل به شبکه به مرور زمان سهم عمده بازار را به خود اختصاص داده‌اند. واقعیت این است که در بیشتر کاربردهای صنعتی و سیستم‌های برقی روستایی اکثراً از سیستم‌های هیبرید استفاده می‌شود. برای مثال در کشور چین ۳۰ مگاوات مبدل‌های فتوولتائیک متصل به شبکه نصب شد در حالی که تنها ۱۰ مگاوات سیستم جدا از شبکه ایجاد شده است. در بیشتر کشورهای اروپایی از مبدل فتوولتائیک جدا از شبکه برای کاربردهای خاص مانند مناطق تفریحی و ادوات ارتباطی عمومی استفاده می‌شود. در برخی از کشورها از مبدل جدا از شبکه و مجهز به باتری یا ژنراتورهای دیزلی برای برق‌رسانی به نقاط دور از شبکه استفاده می‌شود. برای مثال کشور یونان شامل چندین جزیره است که به شبکه اصلی متصل نیستند. بنابراین در سال ۲۰۱۱ چندین مگاوات سیستم فتوولتائیک جدا از شبکه در این کشور نصب شد. نصب مبدل جدا از شبکه برای کشورهایی عملی است که تابش خورشیدی کافی در سال داشته باشند. تاکنون بسیاری از کشورهای آسیایی، اروپایی و آمریکایی استفاده از مبدل‌های جدا را در دستور کار خویش قرار نداده‌اند؛ اما احتمال چشم‌انداز استفاده از مبدل جدا از شبکه، تنها به مناطق جزیره‌ای محدود شود [۸۱].



شکل ۲-۳۰ سهم مبدل‌های فتوولتائیک متصل به شبکه و جدا از آن در اتحادیه اروپا

توسعه مبدل‌های فتوولتائیک متصل به شبکه در دو بخش مبدل‌های متمرکز و غیرمتمرکز صورت می‌گیرد که در این میان مبدل‌های غیرمتمرکز رشد سریع‌تری نسبت به متمرکز داشته‌اند. شکل ۲-۳۱ مربوط به اتحادیه اروپا است اما در

کشورهای امریکا و آسیا نیز وضعیت مشابهی مشاهده شده است. این تحول دلایل گوناگونی دارد که عبارت‌اند از الف) نگرانی‌های زیست‌محیطی به علت استفاده از زمین‌های کشاورزی در پروژه‌های متمرکز ب) دشواری‌های فراوان بخش متمرکز در رقابت با بازار عمده‌فروشی برق ج) مسئله اتصال و تزریق توان به شبکه. این عوامل پایان توسعه بیشتر برق فتوولتائیک متمرکز را در این کشورها نشان می‌دهد و البته این امر باعث تشویق سیاست مبتنی بر تولید برق در مکان مصرف آن می‌شود. کاهش هزینه سرمایه‌گذاری اولیه این پیشرفت را سرعت می‌دهد [۸۱].



شکل ۲-۳۱ سهم مبدل‌های فتوولتائیک متصل به شبکه متمرکز و غیرمتمرکز در اروپا

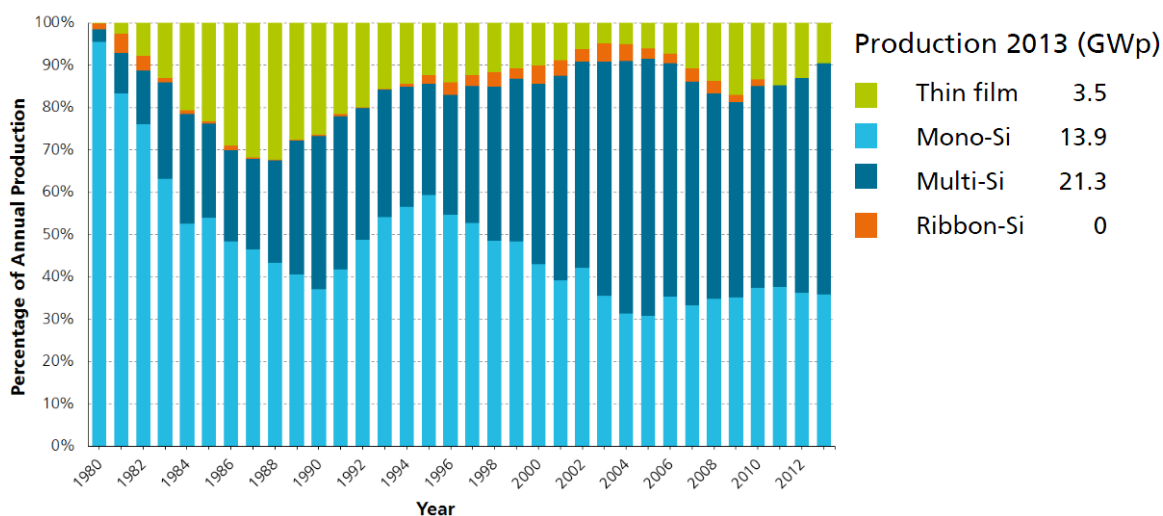
در گزارش [۸۲] وضعیت بازار در سال ۲۰۱۴ برای هر یک از مبدل‌های فتوولتائیک در قالب جدول ۲-۲ بیان شده است. همان‌گونه که مشخص است در حدود ۵۰ درصد بازار به اینورترهای رشته‌ای (مصارف شهری)، ۴۸ درصد به اینورترهای مرکزی (تجاری بزرگ و یا نیروگاهی) و حدود ۱/۵ درصد به میکرو اینورترها و درصد ناچیزی به مبدل‌های dc-dc تعلق دارد.



جدول ۲-۲ وضعیت بازار هر یک از اینورترهای فتوولتائیک در سال ۲۰۱۴

Inverter / Converter	Power	Efficiency	Market Share (Estimated)	Remarks
String Inverters	Up to 100 kWp	98%	~ 50%	<ul style="list-style-type: none"> <li>~ 15 €-cents /Wp</li> <li>Easy to replace</li> </ul>
Central Inverters	More than 100 kWp	Up to 98.5%	~ 48 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>~ 10 €-cents /Wp</li> <li>High reliability</li> <li>Often sold only together with service contract</li> </ul>
Micro-Inverters	Module Power Range	90%-95%	~ 1.5 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>~ 40 €-cents /Wp</li> <li>Ease-of-replacement concerns</li> </ul>
DC / DC Converters (Power Optimizer)	Module Power Range	Up to 98.8%	n.a.	<ul style="list-style-type: none"> <li>~ 40 €-cents /Wp</li> <li>Ease-of-replacement concerns</li> <li>Output is DC with optimized current</li> <li>Still a DC / AC inverter is needed</li> <li>~ 0.75 GWp installed in 2013</li> </ul>

همچنین از نظر تکنولوژی ماژول‌های به کار گرفته‌شده در صنعت و سهم آن‌ها در بازار نیز اطلاعاتی به صورت شکل ۲-۳۲ بیان شده است [۸۳]. مشخص است که استفاده از ماژول‌های سیلیکونی بخش عمده بازار را به خود اختصاص داده است. مرجع [۸۴] به مرور تمامی تحقیقات صورت گرفته بر روی تکنولوژی ماژول‌های فتوولتائیک تا سال ۲۰۱۱ و همچنین مسائل زیست‌محیطی مرتبط با آن‌ها پرداخته است.

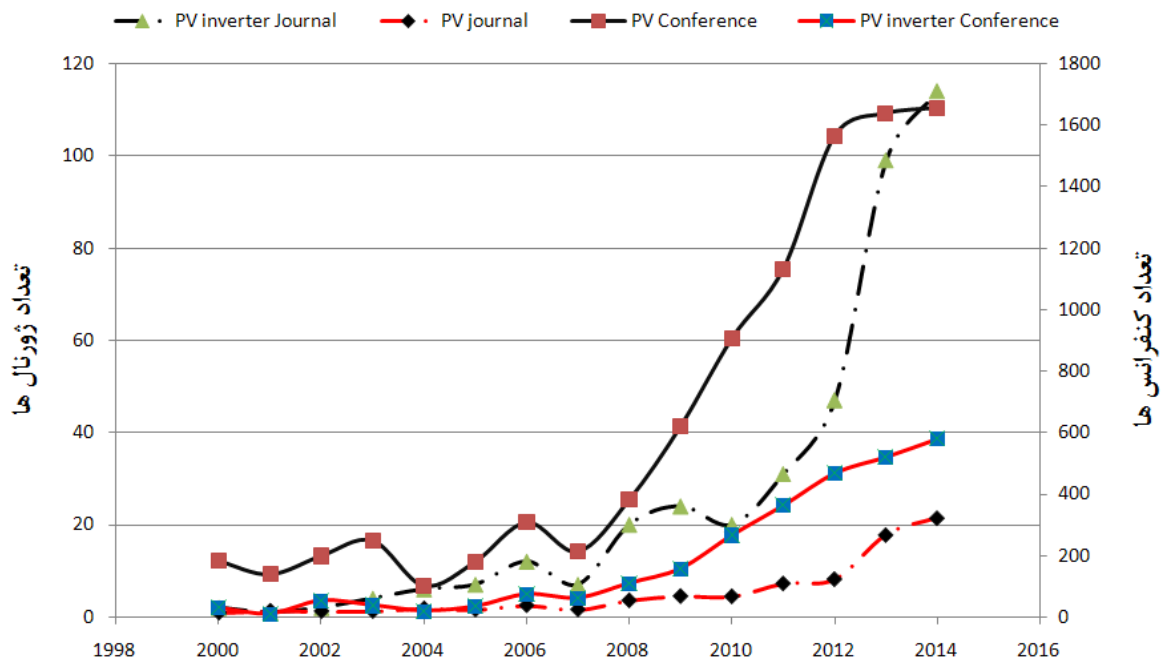


شکل ۲-۳۲ سهم ماژول‌های به کاررفته در بازار جهانی

## ۲-۱۰- وضعیت تحقیقات در مبدل فتوولتائیک

### ۲-۱۰-۱ بررسی مقالات منتشرشده در زمینه فتوولتائیک

طبق آمار انجمن مهندسی برق و الکترونیک امریکا (IEEE) از سال ۲۰۰۰ تاکنون، تحقیقات در زمینه فتوولتائیک و اینورتر به کاررفته در آن نرخ صعودی داشته است. همان طور که در شکل ۲-۳۳ نشان داده شده است. این افزایش نشان دهنده توجه بخش تحقیقات در زمینه صنعت فتوولتائیک است.



شکل ۲-۳۳ تعداد مقالات منتشرشده در سایت IEEE در زمینه فتوولتائیک و اینورتر آن

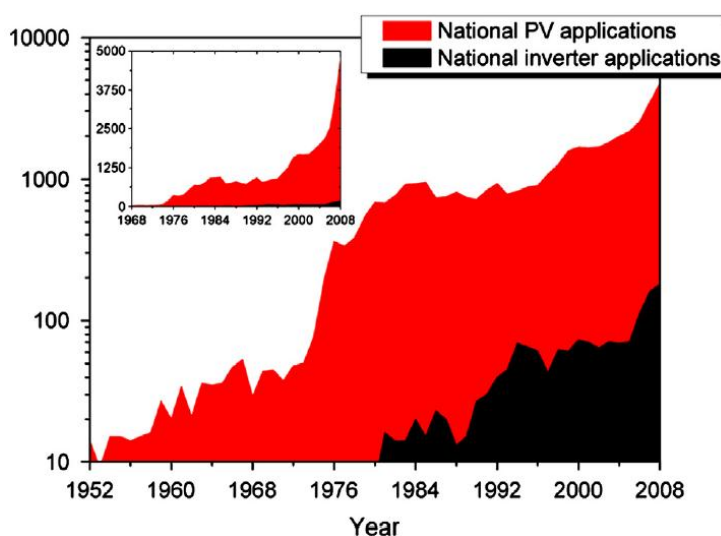
### ۲-۱۰-۲ بررسی پتنت‌های منتشرشده در زمینه فتوولتائیک

بررسی پتنت‌های منتشرشده در زمینه فناوری فتوولتائیک و تحلیل جنبه‌های تحقیق و توسعه اهمیت زیادی در درک دینامیک بازار دارد که برای قانون‌گذاران و سیاست‌گذاران این عرصه امری ضروری به شمار می‌آید. نرخ رشد پتنت‌ها و همچنین افزایش مشارکت شرکت‌ها شاخص مناسبی برای توسعه بازار فتوولتائیک است. همچنین مشخص‌سازی چشم‌اندازهای

جهانی نسبت به توسعه صنعت فتوولتائیک و جهت‌گیری‌های واحدهای تحقیق و توسعه نیز از طریق بررسی پتنت‌ها میسر است.

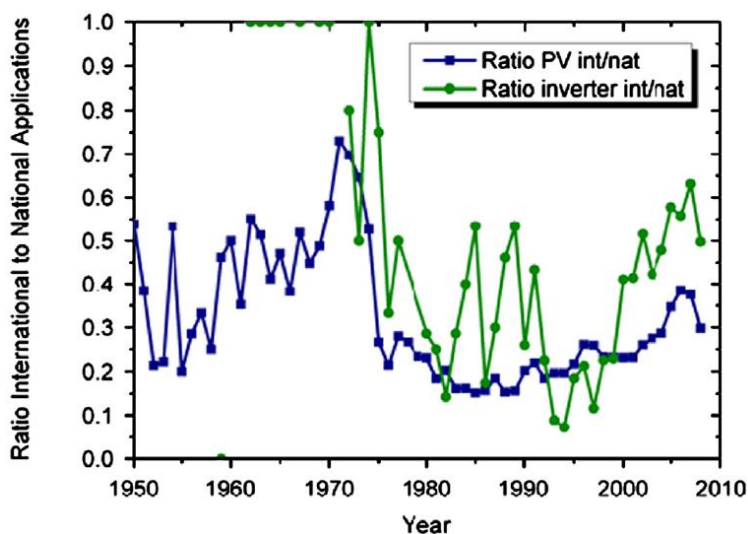
مرجع [۸۵] به بررسی پتنت‌های منتشرشده در زمینه فتوولتائیک پرداخته است. در این تحقیق منظور از national patent تمامی پتنت‌های منتشرشده در زمینه فتوولتائیک است. همچنین منظور از international patent در این مرجع، پتنت‌هایی است که در کشورهای مختلف اما با یک موضوع کاملاً مشابه چاپ شده‌اند. افزایش تعداد پتنت‌های مشترک میان کشورها نشان از افزایش تعاملات تجاری و انتقال دانش فنی فتوولتائیک به سایر نقاط جهان را نشان می‌دهد.

در شکل ۲-۳۴ تعداد کل پتنت‌های منتشرشده در زمینه فتوولتائیک و همچنین اینورترهای فتوولتائیک نشان داده شده است. همان‌گونه که مشخص است تعداد پتنت‌ها رشد فراوانی (به صورت نمایی) داشته است.



شکل ۲-۳۴ تعداد کل پتنت‌های منتشرشده در زمینه فتوولتائیک و اینورتر فتوولتائیک

همچنین در شکل ۲-۳۵ نسبت تعداد پتنت‌های مشترک بین کشورها به کل پتنت‌ها آورده شده است. دسته‌بندی برای فتوولتائیک و اینورتر آن به‌طور جداگانه صورت گرفته است. پس از سال ۲۰۰۰ این نسبت افزایش یافته است. این افزایش به علت نفوذ فتوولتائیک‌های متصل به شبکه و جدا از آن بوده است. همچنین کاهش در سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰ مربوط به رشد تحقیقات فضایی ناسا بوده است.



شکل ۲-۳ نسبت تعداد پتنت‌های مشترک بین‌المللی به کل پتنت‌های فتوولتائیک

همچنین ۲۵ کمپانی و موسسه برتر که در انتشار پتنت در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ در صنعت فتوولتائیک پیشگام بوده‌اند در جدول ۲-۳ مشخص شده‌اند. درزمینه اینورتر مشاهده می‌شود که شرکت SMA، جنرال الکترونیک، پاناسونیک، میتسویچی، سامسونگ، فرانهور و بوش درزمینه اینورترها فعالیت داشته‌اند.

جدول ۲-۳ شرکت‌ها و مؤسسات پیشرو در انتشار پتنت درزمینه فتوولتائیک و اینورتر آن

Company/Institution	PV	Inverter	Total	
1 Samsung	KR	281	6	287
2 Sanyo/Panasonic/Matsushita	JP	270	15	285
3 Sharp	JP	267	10	277
4 Canon	JP	229	18	247
5 Fuji	JP	189	0	189
6 LG	KR	172	0	172
7 Sony	JP	140	0	140
8 Applied Materials	US	96	0	96
9 DuPont	US	89	0	89
10 SunPower <sup>a</sup>	US	83	0	83
11 Semiconductor Energy Lab	US	78	0	78
12 Industrial Technology Res. Inst.	TW	77	1	78
13 Kyocera	JP	77	0	77
14 Seiko Epson	JP	67	2	69
15 Konarka Technologies	US	67	0	67
16 Schott Solar	DE	67	0	67
17 Sumitomo Chemical	JP	66	0	66
18 SMA Solar Technology <sup>a</sup>	DE	0	65	65
19 General Electric	US	64	14	78
20 Fraunhofer Gesellschaft	DE	60	6	66
21 Jusung	KR	55	0	55
22 Mitsubishi Electric	JP	54	11	65
23 Korea Electronics Telecomm	KR	51	0	51
24 Toshiba	JP	50	2	52
25 Trina Solar	CN	52	0	52
<b>Total top25</b>		<b>2701</b>	<b>150</b>	<b>2851</b>

## ۲-۱۰-۳ حوزه‌های تحقیق و توسعه پیرامون فتوولتائیک

حوزه‌های تحقیق و توسعه صنعت فتوولتائیک یکی از اصلی‌ترین مباحث نقشه راه این صنعت محسوب می‌شوند. در برنامه‌های کوتاه مدت (۱-۳ ساله) جدول ۲-۴، میان مدت (۴-۱۰ ساله) جدول ۲-۵ و بلند مدت (۱۱-۲۰ ساله) جدول ۲-۶ مربوط به تحقیق و توسعه در صنعت فتوولتائیک که در نقشه‌ی راه صنعت فتوولتائیک امریکا تدوین شده است به اهمیت این حوزه‌ها اشاره شده و در هر یک از این برنامه‌ها نقش دولت و نقش صنعت از یکدیگر تفکیک شده است [۸۶].

جدول ۲-۴ برنامه‌های کوتاه مدت تحقیق و توسعه فتوولتائیک کشور امریکا

نقش صنعت	نقش دولت
توسعه تجهیزات پیشرفته تولید PV بهبود در تمام فرآیند ساخت قطعه توسعه واحدهای تحقیق و توسعه توسعه و گسترش قطب‌های علمی توسعه پکیج فتوولتائیک برای کاهش قیمت افزایش ضریب اطمینان فتوولتائیک	افزایش تأکید دولت در مشارکت واحدهای تحقیق و توسعه با واحدهای صنعتی حمایت از واحدهای دانش‌بنیان و قطب‌های علمی

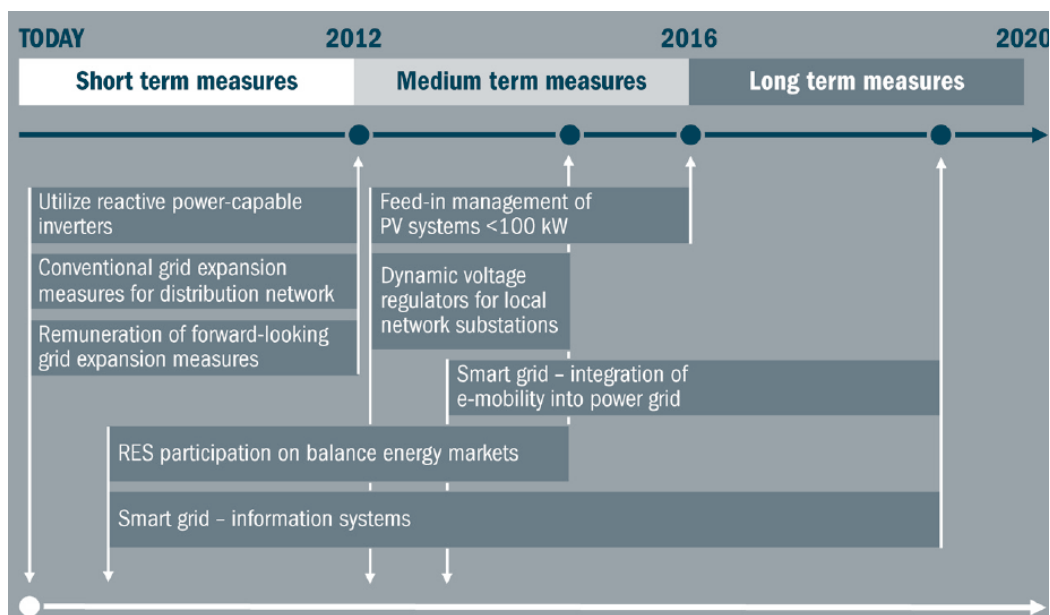
جدول ۲-۵ برنامه‌های میان مدت تحقیق و توسعه فتوولتائیک کشور امریکا

نقش صنعت	نقش دولت
توسعه مدل برای تولید عمده فتوولتائیک کاهش مصرف سیلیکون برای فتوولتائیک توسعه استانداردهای تجهیزات صنعت فتوولتائیک تحقیق بر بروی پکیج فیلم نازک توسعه ساخت ماژول‌های مجتمع توسعه فتوولتائیک‌های سایز کوچک و نصب آسان استانداردسازی فتوولتائیک‌های متمرکز نیروگاهی توانمندسازی قطب‌های علمی برای ساخت کامل	حمایت از تحقیق و توسعه برای افزایش عمر مفید فتوولتائیک تشویق به ادامه فعالیت‌های تحقیق و توسعه حمایت بیشتر از قطب‌های علمی

## جدول ۲-۶ برنامه‌های بلند مدت تحقیق و توسعه فتوولتائیک کشور امریکا

نقش صنعت	نقش دولت
ساخت مواد جدید برای افزایش راندمان	حمایت از طرح‌های اساسی در زمینه تولید مواد
ساخت مواد جدید برای کاهش قیمت	حمایت بیشتر از قطب‌های علمی
ایجاد کنترل کیفی برای تست محصولات	
همگام شدن صنعت و بخش تحقیقات	

همچنین مرجع [۸۷] به بررسی جزئی‌تری در مسائل و چالش‌های پیشروی واحدهای تحقیق و توسعه در کشور آلمان پرداخته است. در این مرجع که مربوط به نقشه راه فتوولتائیک کشور آلمان تا سال ۲۰۲۰ است، برنامه توسعه بخش الکترونیک قدرت مشخص شده است که در شکل ۲-۳۶ نشان داده شده است.

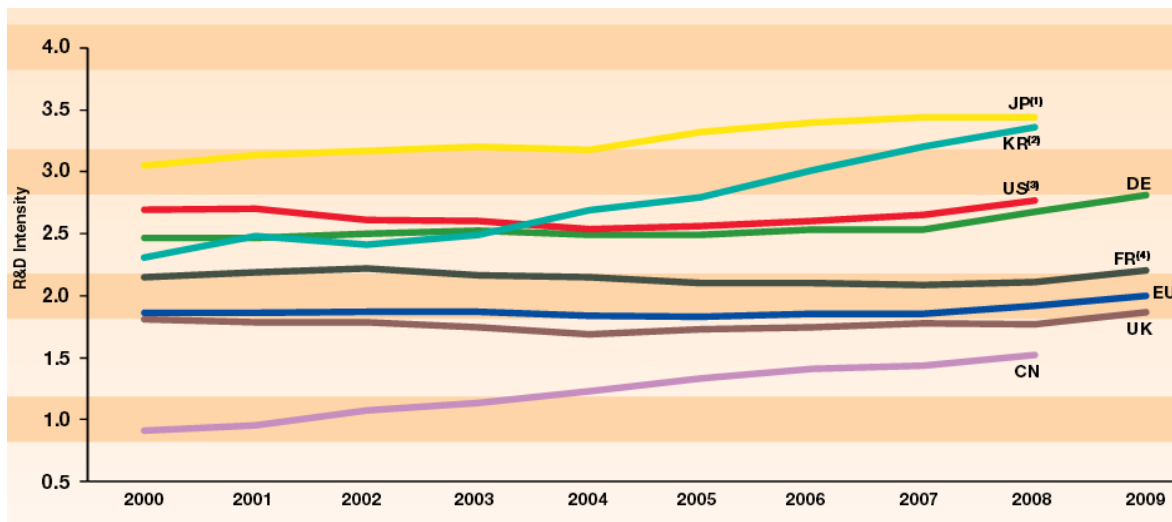


شکل ۲-۳۶ اهداف تحقیق و توسعه در زمینه الکترونیک قدرت فتوولتائیک

## ۲-۱۰-۴ سهم بودجه واحدهای تحقیق و توسعه در زمینه فتوولتائیک

طبق نتایج مراجع [۸۸] مطابق شکل ۲-۳۷ صنعت فتوولتائیک منابع چندانی برای واحد تحقیق و توسعه و فتوولتائیک‌های جدید سرمایه‌گذاری نکرده است. در حدود ۱/۵ درصد از بودجه فروش فتوولتائیک به بخش تحقیق و توسعه اختصاص داده شده است. در سال ۲۰۰۹ در برخی کشورها حدود ۶ تا ۷ درصد از فروش به واحد تحقیق و توسعه اختصاص یافت [۸۹]. این در حالی است که در شرکت‌های خصوصی و به‌خصوص در کشور چین نرخ بسیار کمتری در حدود کمتر از

یک درصد از فروش به توسعه واحد تحقیق و توسعه اختصاص داده شده است. البته با افزایش سطح نفوذ فتوولتائیک تمایل به واحدهای تحقیق و توسعه افزایش می‌یابد. در شکل زیر سهم اختصاص داده شده به واحد تحقیق و توسعه در کشورهای مختلف نشان داده شده است [۹۰]. در نقشه راه و سند توسعه فتوولتائیک در کشور آلمان تا سال ۲۰۲۰، نه هدف اصلی بیان شده است که یکی از آن‌ها افزایش سهم واحد تحقیق و توسعه تا مرز ۵ درصد در سال ۲۰۲۰ است [۸۷].



شکل ۲-۳۷ بودجه واحد تحقیق و توسعه فتوولتائیک (درصدی از فروش کل)

## ۲-۱۱- شرکت‌های سازنده اینورتر فتوولتائیک در دنیا

در شکل ۲-۳۸ دسته‌بندی جامعی از شرکت‌های برتر تولیدکننده اینورتر فتوولتائیک ارائه شده است. شرکت SMA،

ABB و Power one جز پیشگامان این صنعت محسوب می‌شوند [۹۱].



شکل ۲-۳۸ تولیدکنندگان اینورترهای فتوولتائیک

## ۲-۱۱-۱ معرفی شرکت های سازنده مبدل فتوولتائیک

جدول ۲-۷ کمپانی های برتر در زمینه اینورتر فتوولتائیک در سال ۲۰۱۳

شرکت	کشور	بازار ۲۰۱۳ (%)	توان مبدل	توضیحات
SMA[92]	آلمان	۱۶/۳	۲-۵ کیلووات ۱/۱-۵ کیلووات ۵-۶۶ کیلووات ۱۰۰-۱۱۲۰ کیلووات	اینورتر سینوسی (مصارف شهری) متصل به شبکه (مصارف شهری) اینورتر تجاری کوچک اینورتر تجاری بزرگ
ABB	سوئیس	۱۲/۲	۲۵۰-۳۰۰ وات ۲-۲/۵ کیلووات ۳-۸ کیلووات ۱۰-۱۲ کیلووات	میکرو اینورتر (با ترانس HF) اینورتر رشته ای (dc-dc و ترانس HF) اینورتر رشته ای (dc-dc و بدون ترانس) اینورتر رشته ای (با dc-dc و ترانس HF مازولار)



شرکت	کشور	بازار ۲۰۱۳ (%)	توان مبدل	توضیحات
			۲۰-۳۰ کیلووات ۵۰-۳۳۰ کیلووات ۱۰۰-۴۰۰ کیلووات تا ۱۴۰۰ کیلووات ۳/۶-۴/۶ کیلووات	اینورتر رشته‌ای بدون ترانس و HF اینورتر مرکزی با ترانس آهنی اینورترهای ماژولار موازی اینورتر برای هر فاز و ترانس چند ورودی اینورتر دارای باتری
Sungrow	چین	۱۱/۶	۱/۵-۳۰ کیلووات ۳۰ کیلووات تا ۱/۲ مگاوات	بدون ترانس با سایز کوچک و متوسط کاربرد نیروگاهی
Omron Aso	ژاپن	۱۰/۹	۳-۱۰ کیلووات	مبدل‌های توان پایین
TMEIC	ژاپن	۵/۵	۱/۸ مگاوات ۷۰۰-۱۰۰ کیلووات	اینورتر مرکزی اینورتر چند سطحی
TBEA	ژاپن	۴/۶	۲۵۰ و ۱۲۵۰ کیلووات ۱۰۰ و ۲۵۰ و ۵۰۰ کیلووات	اینورتر مرکزی بدون ترانسفورماتور اینورتر مرکزی با ترانسفورماتور
KACO	آلمان	۳/۸	۲۵۰ وات ۱-۹ کیلووات ۹-۶۰ کیلووات ۲۵-۵۵۰ کیلووات کمتر از ۲ کیلووات	مصارف ماهواره و فضایپما مصارف شهری مصارف تجاری اینورترهای متمرکز نیروگاهی اینورتر مستقل از شبکه
Growatt	چین	۳/۶	۱۵۰-۶۰۰۰ وات ۷۰۰-۳۵۰۰ وات ۱۵۰-۳۰۰۰ وات ۳۰۰-۱۰۰۰۰ وات	اینورتر سینوسی بهبودیافته اینورتر سینوسی بهبودیافته و شارژر اینورتر سینوسی خالص اینورتر سینوسی خالص و شارژر
Tabuchi Electric	ژاپن	۳/۶	۱-۱۰ کیلووات ۱۰-۲۵ کیلووات ۲-۲۰ کیلووات	کاربرد شهری کاربرد صنعتی اینورترهای دارای باتری
Advanced Energy Industries	امریکا	۳/۶	۲-۵/۲ کیلووات تا ۵۰۰ کیلووات	اینورتر رشته‌ای مصارف شهری مصارف تجاری و مقیاس متوسط

## ۲-۱۱-۲ وضعیت بازار تولید فتوولتائیک

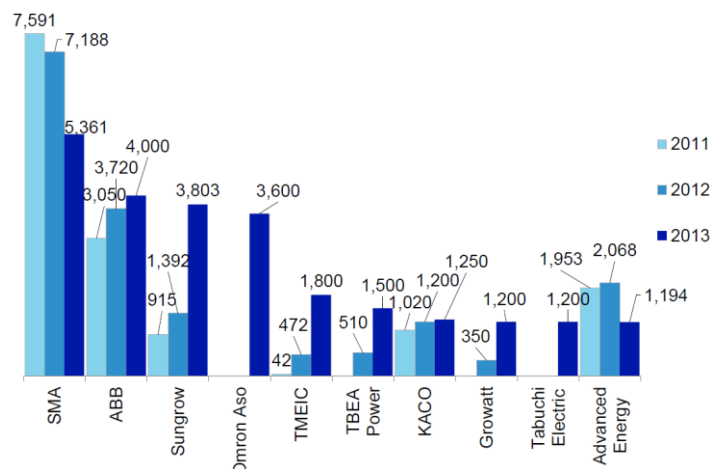
مرجع [۸۵] انتشار فتوولتائیک در بازار جهانی را ناشی از توسعه سه بخش اصلی می‌داند. الف) سلول خورشیدی سیلیکونی

که بسیار در صنعت هوافضا مورد استفاده قرار می‌گرفت. ب) ماژول‌های فتوولتائیک زمینی برای کاربرد در حالت مستقل از شبکه ج) برنامه‌های نصب فتوولتائیک‌های مقیاس بزرگ بر روی بام‌ها. افزایش بی‌سابقه نرخ رشد بازار فتوولتائیک به خصوص

در دهه اخیر باعث افزایش چشمگیری در فروش صنعتی فتوولتائیک شده است [۸۹]. علت اصلی این افزایش، برنامه نصب فتوولتائیک در پشت‌بام‌ها و اختصاص تعرفه دولتی برای عموم بوده است. همچنین افزایش نرخ رشد صنعت فتوولتائیک به معنای افزایش نرخ رشد تولید فتوولتائیک است. البته باید اشاره کرد که رشد تولید فتوولتائیک سریع‌تر از فروش آن بوده است و به همین دلیل قیمت آن کاهش پیدا کرده است. بازار فتوولتائیک در اختیار کشورهای آلمان، ژاپن، امریکا و چین قرار دارد. البته در سالیان اخیر فرانسه، ایتالیا، جمهوری چک، هندوستان، اسپانیا و بلژیک نیز به زمره سازندگان فتوولتائیک پیوسته‌اند.

شکل ۲-۳۹ میزان تولید کمپانی‌های برتر اینورتر فتوولتائیک را از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ نشان می‌دهد. سال ۲۰۱۳ تفاوت‌های زیادی با سال ۲۰۱۲ داشت. در سال ۲۰۱۳ شرکت SMA یکی از شرکت‌های چینی Jiangu Zeversolar را خرید. همچنین شرکت ABB شرکت Power One و شرکت Advanced Energy شرکت Refusol را خرید. در سال ۲۰۱۲ شش کمپانی قادر بودند تا بیشتر از نیمی از بازار را پوشش دهند اما در سال ۲۰۱۳ مجموع شرکت‌های ادغام‌شده تنها ۳۲ درصد از کل بازار را به خود اختصاص دادند [۹۳].

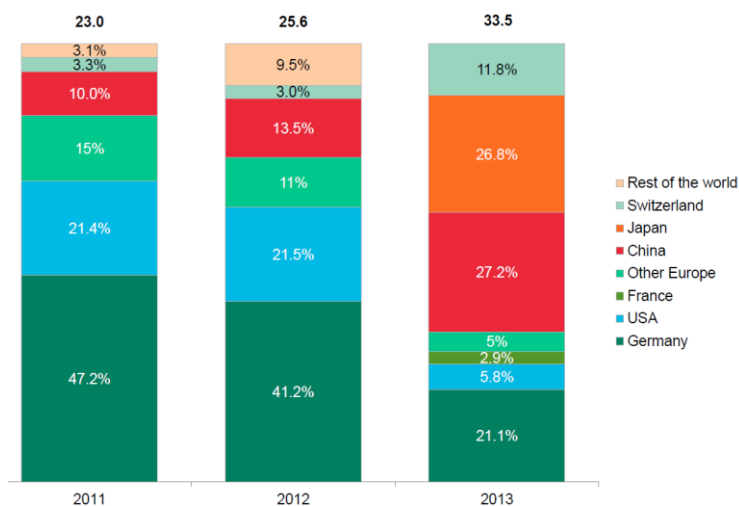
هرچند در میان ده شرکت برتر دو شرکت Omron و Tabuchi از کشور ژاپن هستند اما هردوی آنها تنها در بازار ژاپن محصولاتشان را عرضه کردند. همچنین حذف چندین شرکت اروپایی از لیست ده شرکت برتر مانند Fronius و SolarMax که به علت کاهش تقاضا در اروپا در بازار سال ۲۰۱۳ عرضه وسیعی نداشتند. همچنین شرکت چینی Sungrow که در رتبه سوم تولید اینورتر قرار دارد نسبت به سال ۲۰۱۲ در حدود ۱۷۳ درصد رشد داشته است اما در حدود ۹۲/۳ از محصولاتش را به بازار چین عرضه کرده است. شرکت SMA همچنان در رتبه اول جای دارد هرچند نسبت به سال ۲۰۱۲ در حدود ۲۵ درصد کاهش تولید داشته است ولی با این حال ۱۲ درصد از بازار را به خود اختصاص داده است. علت این کاهش و همچنین خرید شرکت چینی، انتقال تقاضا از اروپا به آسیا بیان شده است. در حال حاضر دو کشور چین و ژاپن رقیب اصلی SMA در جهان محسوب می‌شوند [۹۳].



شکل ۲-۳۹ میزان تولیدی اینورتر فتوولتائیک در ده شرکت برتر جهان (برحسب مگاوات)

همان طور که در شکل ۲-۴۰ نشان داده شده است، در سال ۲۰۱۳ شرکت SMA در آلمان در حدود ۲۵ درصد کاهش مشارکت داشت و به این ترتیب شرکت های چینی با مجموعاً ۲۷/۲ درصد از تولید کل رتبه اول کشورهای تولیدکننده اینورتر فتوولتائیک را به خود اختصاص دادند. دلیل این مسئله یکی قیمت پایین بازار و دیگری اولویت به تولید محلی برآورد شده است

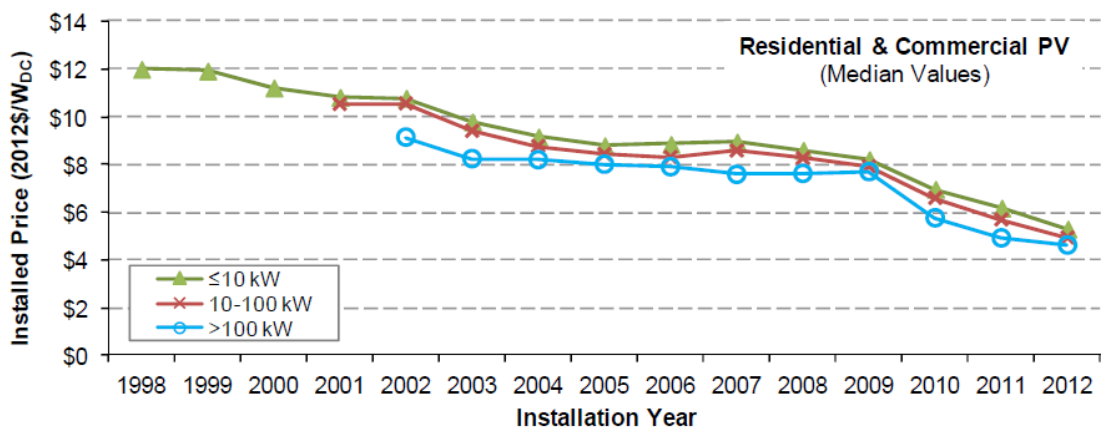
[۹۳].



شکل ۲-۴۰ درصد مشارکت کشورها در تولید اینورتر فتوولتائیک

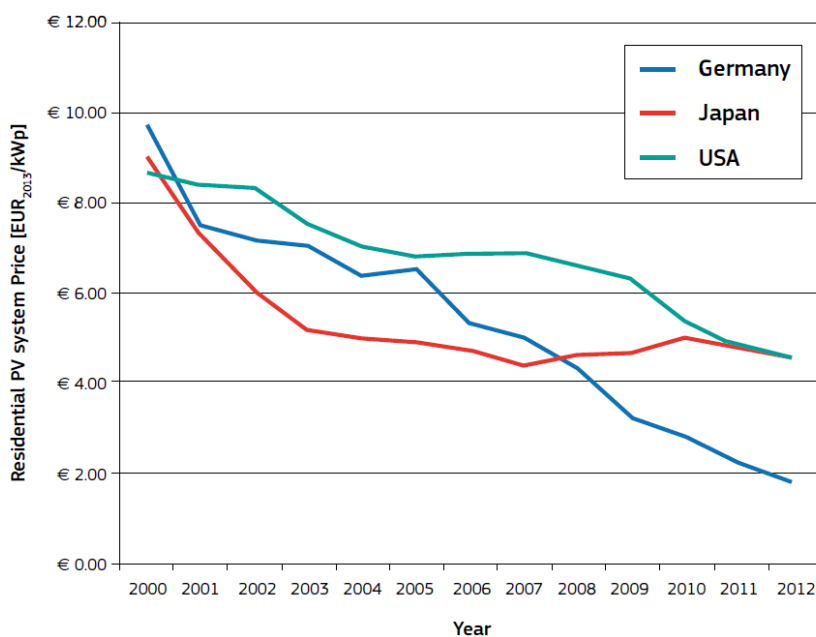
## ۱۲-۲ - قیمت مبدل‌های فتوولتائیک

مرجع [۹۴] قیمت تمام‌شده برای سیستم فتوولتائیک را در طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۲ برای مبدل‌های مختلف در کشور آمریکا مطابق شکل ۲-۴۱ نشان می‌دهد. قیمت‌ها روندی نزولی داشته و در سال ۲۰۱۲ به حدود ۵/۳ دلار بر وات برای توان‌های کمتر از ۱۰ کیلووات، ۴/۹ دلار بر وات برای رنج توانی ۱۰ تا ۱۰۰ کیلووات و ۴/۶ دلار بر وات برای توان‌های بیشتر از ۱۰۰ کیلووات رسیده است.



شکل ۲-۴۱ مقدار متوسط قیمت تمام‌شده برای نصب فتوولتائیک در کشور آمریکا

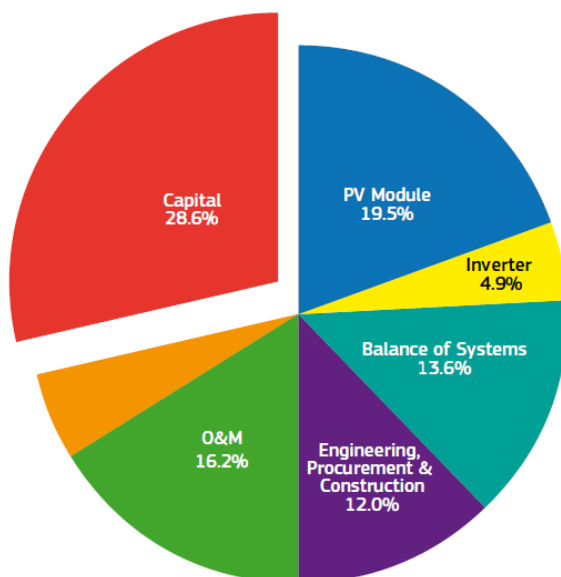
همچنین قیمت متوسط تولید برق از روش فتوولتائیک در کشورهای آلمان و ژاپن نیز در شکل ۲-۴۲ نشان داده شده است [۹۵]. همان‌گونه که در این شکل مشخص است، هزینه تولید برق فتوولتائیک در کشور ژاپن و آمریکا تقریباً در سال ۲۰۱۲ به یکدیگر نزدیک بوده و قیمت کشور آلمان از بقیه کمتر است و در حدود کمتر از ۲ یورو بر وات تعیین شده است.



شکل ۲-۴۲ مقدار متوسط قیمت تمام شده برای کشور آمریکا، ژاپن و آلمان

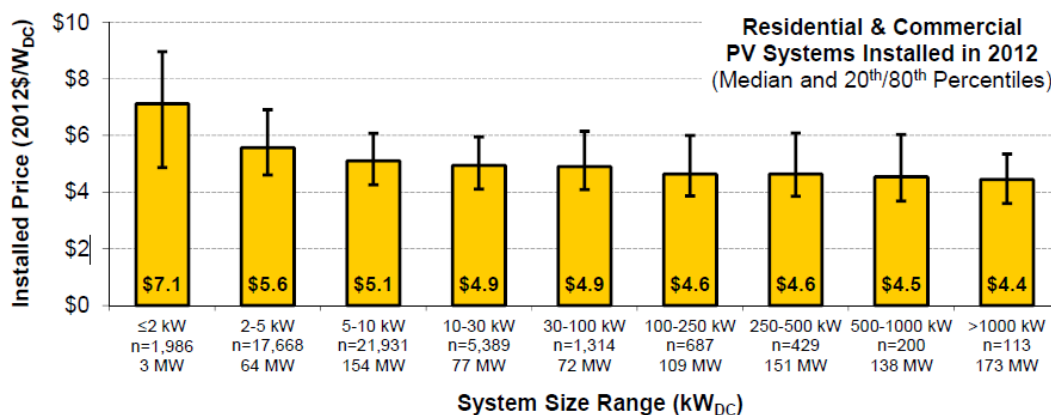
شکل ۲-۴۳ میزان مشارکت هزینه‌ی هر یک از مؤلفه‌های سیستم فتوولتائیک را نشان می‌دهد. در حدود ۵ درصد از کل

هزینه به اینورتر اختصاص دارد [۹۵].



شکل ۲-۴۳ درصد مشارکت قیمت هر یک از مؤلفه‌های سیستم فتوولتائیک

در شکل ۲-۴۴ زیر هزینه‌های صورت گرفته برای اجرای پروژه‌های فتوولتائیک در سال ۲۰۱۲ بر اساس توان مبدل به کاررفته در آن‌ها دسته‌بندی شده است [۹۴]. همان‌گونه که مشخص است کمترین هزینه و بیشترین توان تولیدی در حدود ۴/۴ دلار پروات و ۱۷۳ مگاوات است که توسط مبدل‌های بزرگ‌تر از ۱ مگاوات تولید شده است. همچنین بیشترین تعداد مبدل به کاررفته (در حدود ۲۱۹۳۱ عدد) مربوط به مبدل با توان ۱۰-۵ کیلووات است که در حدود ۵/۱ دلار بر وات هزینه دارد.



شکل ۲-۴۴ میزان قیمت تولید سیستم فتوولتائیک در کشور امریکا به تفکیک توان مبدل

## ۲-۱۳ - استانداردها

در طراحی و بهره‌برداری از مبدل الکترونیک قدرت فتوولتائیک و اتصال آن به بار و یا شبکه استانداردهای گوناگونی ارائه شده است که در دسته‌های مربوط به استانداردهای سیستم‌های متصل به شبکه، سیستم‌های مستقل از شبکه، مانیتورینگ، اینورترها، باتری شارژر، باتری‌ها، فیوز و... تقسیم می‌شوند که به برخی از آن‌ها اشاره می‌کنیم [۹۶].

جدول ۲-۸ استانداردهای مربوط به فتوولتائیک‌های متصل به شبکه

توضیحات	استاندارد
استاندارد مربوط به نصب فتوولتائیک و محل قرارگیری آن	IEC 60364-7-712
مشخصات واسط میان فتوولتائیک و شبکه	IEC 61727
روش اندازه‌گیری بازدهی سیستم فتوولتائیک	IEC 61683
کیفیت طراحی و برقراری تعادل در اجزای سیستم	IEC 62093
روش تست جلوگیری از جزیره‌ای شدن اینورتر متصل به شبکه	IEC 62116

توضیحات	استاندارد
حداقل الزامات موردنیاز برای مستندات سیستم، آزمایش راه اندازی و بازرسی	IEC 62446
محدودیت‌های هارمونیکی اتصال به شبکه	EN61000-3-2
الزامات اتصال به شبکه و جریان تزریقی به آن	IEEE 1547
الزامات اتصال فتوولتائیک به شبکه در کشور امریکا و حفاظت سیستم	NEC 690

## جدول ۲-۹ استانداردهای مربوط به فتوولتائیک‌های مستقل از شبکه

توضیحات	استاندارد
نحوه شارژ باتری و استاندارد مربوط به کنترلر باتری فتوولتائیک	IEC 62509
شاخص‌های فنی سیستم فتوولتائیک مستقل از شبکه	IEC 61194
مشخصات نامی پمپ‌هایی که به‌طور مستقیم به فتوولتائیک متصل می‌شوند	IEC 61702
مشخصات استفاده از منابع تجدیدپذیر در برق‌رسانی غیرمتمرکز روستایی	IEC/PAS 62111
توصیه‌های تست سیستم‌های فتوولتائیک مستقل از شبکه	IEEE std 1526
ارزیابی کیفی طراحی و شرایط تأیید آن برای فتوولتائیک مستقل از شبکه	IEC 62124

## جدول ۲-۱۰ استانداردهای مربوط به مانیتورینگ فتوولتائیک

توضیحات	استاندارد
مانیتورینگ عملکرد فتوولتائیک- راهبردهای اندازه‌گیری و تحلیل داده‌ها	IEC 61724
اتوماسیون و شبکه ارتباطی و ساختارهای مخابراتی	IEC 61850-7
سیستم‌ها و تجهیزات کنترل از راه دور	IEC 60870

## جدول ۲-۱۱ استانداردهای مربوط به اینورتر

توضیحات	استاندارد
دیتا شیت و اطلاعات نامی اینورترهای فتوولتائیک	En 50524
ملزومات حفاظت اینورتر فتوولتائیک	IEC 62109-1
روش اندازه‌گیری بازدهی اینورتر	IEC 61683

توضیحات	استاندارد
بازدهی کل سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه	EN 50530
استاندارد اینورتر و مبدل الکترونیک قدرت برای کاربرد مجزا از شبکه	UL 1741

### جدول ۱۲-۲ استانداردهای مربوط به باتری و شارژر

توضیحات	استاندارد
ملزومات و روش تست باتری برای سیستم فتوولتائیک	IEC 61427
توصیه‌های نصب و نگهداری باتری سرب-اسیدی	IEEE std 937
توصیه انتخاب ظرفیت باتری برای سیستم فتوولتائیک	IEEE std 1013
توصیه برای تعیین مشخصات عملکردی باتری در سیستم فتوولتائیک	IEEE std 1361
کنترل شارژر باتری	IEC 62509
کیفیت طراحی باتری شارژر	IEC 62093

همچنین در مورد تابش نور، ماژول‌های فتوولتائیک، شبیه‌سازهای فتوولتائیک و مواد به‌کاررفته در فتوولتائیک نیز

استانداردهایی ارائه شده است که برای اطلاعات بیشتر به مرجع [۹۶] رجوع شود.

## ۱۴-۲ - تجهیزات تست آزمایشگاهی

آزمایشگاه فوتون [۹۷] در کشور آلمان یکی از پیشتازان تست اینورتر فتوولتائیک در جهان است که آزمون‌های مربوط به

حدود ۱۲۰ کمپانی اینورتر فتوولتائیک برتر جهان را انجام داده و تأییدیه مربوط به راندمان کل سیستم را از A++ تا E آن‌ها را

صادر کرده است. در این آزمایشگاه آزمون‌های مختلفی بر روی اینورتر صورت می‌گیرد که عبارت‌اند از: اندازه‌گیری توان در

شرایط استاندارد، عکس‌برداری الکترومغناطیسی، عکس‌برداری حرارتی از اینورتر زیر بار، تشخیص نقطه شکست، تشخیص

ضریب دمایی، تست ایزولاسیون، تست نشتی در محیط مربوط، تست اینورترهای رشته‌ای، تست میکرو اینورتر.



آزمایشگاه Fraunhofer [۹۸] در کشور آلمان مجهز به تجهیزات مرتبط به تست اتصال اینورتر به شبکه برق است. شرایط شبکه‌های کشورهای آلمان، ایتالیا، اسپانیا و چین می‌توانند در این آزمایشگاه پیاده‌سازی شوند. تست MPPT، راندمان کلی سیستم، اندازه‌گیری‌های مربوط به مزارع خورشیدی نیز از سایر آزمون‌هایی است که در این آزمایشگاه انجام می‌شود. امکانات این آزمایشگاه عبارت‌اند از:

- شبیه‌ساز فتوولتائیک ۱/۴ مگاواتی (ماکزیمم ۲ کیلوولت و ۱۷۶۰ آمپر)
- اتصال ولتاژ متوسط (۲۰ کیلوولت)
- ترانسفورماتور قابل تنظیم ۱/۲۵ مگا ولت آمپر و نسبت ۲۰ کیلوولت به ۲۵۰-۱۰۰۰ ولت
- شبیه‌ساز شبکه سه فاز ۳۰ کیلوواتی
- ادواتی برای تشخیص مشخصات کلیدهای نیمه‌هادی قدرت
- آرایه‌های فتوولتائیک نصب‌شده روی زمین به قدرت ۱ مگاوات و...

مرکز انرژی خورشیدی فلوریدا [۹۹] با ۳۰ سال تجربه از دیگر مراکز تحقیقاتی و تست اینورتر فتوولتائیک است که به بررسی و تحلیل عملکرد اینورتر در طولانی‌مدت می‌پردازد. این مرکز به آزمون‌های تجهیزات مطابق با استانداردهای IEC درزمینه فتوولتائیک و اینورتر آن می‌پردازد و گواهی تأیید آن را در امریکا صادر می‌کند.

آزمایشگاه ملی انرژی‌های تجدیدپذیر امریکا، یکی دیگر از مراکز تحقیقاتی و تست فتوولتائیک است که امکانات تست فتوولتائیک در فضای باز و همچنین بسته را فراهم ساخته است. در این آزمایشگاه تست کالیبراسیون فتوولتائیک انجام می‌گیرد. شرایط آب و هوایی متفاوتی در این آزمایشگاه فراهم‌شده و تحلیل شکست و تشخیص مشخصات فنی فتوولتائیک در آن انجام می‌شود. قابلیت تست ماژول‌هایی تا ابعاد ۲ متر در ۲ متر فراهم شده است. مشخصات خروجی فتوولتائیک در طولانی‌مدت در حدود ۴۰ بستر تست بررسی می‌شود. پایداری فتوولتائیک و تست اتصال آن به شبکه، تست فتوولتائیک مستقل از شبکه و کنترل کیفی فتوولتائیک نیز از سایر امکانات این آزمایشگاه است.

آزمایشگاه تحقیقاتی CANMET Energy در کانادا یکی دیگر از آزمایشگاه‌های پیشرو در تست فتوولتائیک است که دارای امکاناتی نظیر شبیه‌ساز شبکه ۱۲۰ کیلوولت آمپری، منابع تغذیه dc ۶۰ کیلوواتی، تعدادی پاور آنالایزر برای عملکرد اینورتر متصل به شبکه است.

## ۲-۱۵ - نتیجه گیری

در این فصل به بررسی وضعیت صنعت فتوولتائیک در جهان و همچنین چشم‌اندازهای پیشروی آن پرداخته شد. رشد چشمگیر بهره‌برداری از فتوولتائیک در سال‌های اخیر نشانگر آگاهی کشورها از مسائل زیست‌محیطی، کاهش وابستگی به منابع اولیه فسیلی، پیشرفت تکنولوژی فتوولتائیک و همچنین نفوذ گسترش فتوولتائیک در بازار جهانی است. مبدل‌های الکترونیک قدرت فتوولتائیک نیز در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه واقع شده و تحقیقات فراوانی از جمله پتنت‌ها، کنفرانس‌ها و مجلات علمی در این زمینه صورت گرفته است و نرخ رشد نمایی داشته است. این مسئله نشان این است که هنوز این تکنولوژی به بلوغ نرسیده است. در سند چشم‌انداز صنعت فتوولتائیک کشورها نیز گسترش بخش تحقیق و توسعه فتوولتائیک نیز از اصلی‌ترین اهداف دولت و شرکت‌های این صنعت مشخص شده است. دو تکنولوژی فتوولتائیک متمرکز و رشته‌ای حدود ۹۸ درصد از بازار سال ۲۰۱۳ را به خود اختصاص داده‌اند و مبدل‌های dc-dc و میکرو اینورتر هنوز نفوذ چندان در بازار نیافته‌اند. کمپانی‌های بزرگ در صنعت مبدل فتوولتائیک و سهامشان در تولید جهانی در این گزارش مطرح شد. وضعیت بازار نیز مورد تحلیل قرار گرفت. در کشورهای آسیای شرقی نتایج نشان از ارجحیت تولید داخل نسبت به سرمایه‌گذاری در کشورهای دیگر را نشان می‌داد. البته در کشورهای اروپایی به دلیل کاهش تقاضا، روند به‌گونه‌ای است که شرکت‌ها مایل به سرمایه‌گذاری در کشورهای دیگر از قبیل چین و ژاپن و کشورهای عربی هستند. به این منظور معمولاً شرکت‌های بزرگ اروپایی اقدام به خرید شرکت‌های کوچک آسیایی کرده‌اند تا بازار خود را در سایر کشورها گسترش دهند. مسئله فتوولتائیک‌های مستقل از شبکه در سالیان اخیر تنها به نواحی فراساحلی و همچنین نواحی خاص تفریحی یا سیستم‌های مخابراتی سیار بین‌شهری تعلق گرفته است و سهم عمده بازار به فتوولتائیک‌های متصل به شبکه اختصاص یافته است. همچنین فتوولتائیک‌های متصل به شبکه خود به دو صورت متمرکز و غیرمتمرکز دسته‌بندی می‌شوند که در سال ۲۰۱۳ مبدل‌های غیرمتمرکز سهم بیشتری را به خود اختصاص دادند. بهره‌گیری از ساختار متمرکز و غیرمتمرکز بستگی به شرایط جغرافیایی و اقتصادی و ژئوپلیتیکی هر کشور دارد. همچنین قیمت دلار بر کیلووات تولید فتوولتائیک رو به کاهش است. در کشور آمریکا میزان تولید برق از مبدل‌های فتوولتائیک توان بالا (بالای یک مگاوات) تقریباً برابر با تولید برق فتوولتائیک با مبدل‌های حدود ۱۰-۵ کیلووات در سال ۲۰۱۳ بود که این امر ناشی از قوانین تصویب‌شده در هر یک ایالات این کشور است. در برخی از ایالات تولید متمرکز با مبدل توان بالا و در برخی استفاده

از مبدل‌ها در بام منازل بیشتر مورد توجه بوده است. همچنین قیمت تولید برق به این دو روش تفاوت چندانی با یکدیگر نداشته و قیمت مبدل‌های کوچک اندکی بیشتر است.

با توجه به مباحث مطرح شده می‌توان گفت روال پیشروی فتوولتائیک روالی رو به گسترش و پیشرفت است و بنابراین دستیابی به دانش فنی و تولید می‌تواند تأثیرات سازنده‌ای بر اقتصاد کشورها و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی داشته باشد. لذا پیشنهادهایی برای دستیابی به دانش فنی و هموارسازی تولید فتوولتائیک و علی‌الخصوص اینورتر آن در این گزارش بیان می‌شود.

هزینه یک اینورتر فتوولتائیک در حدود ۵ درصد از کل هزینه سیستم فتوولتائیک است. همچنین از تحلیل قیمت پروژه‌های انجام گرفته در کشور امریکا به این نتیجه می‌توان رسید که قیمت دلار بر کیلووات مطرح شده برای فتوولتائیک توان بالا و توان پایین تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. بسته به شرایط آب و هوایی، سیاست‌گذاری‌های هر منطقه، قیمت زمین و مساحت قابل بهره‌برداری و ... انتخاب نوع ساختار فتوولتائیک انجام می‌پذیرد. در نواحی که زمین در دسترس نیست، ترجیحاً فتوولتائیک‌ها روی پشت‌بام نصب می‌شوند. در مواردی که بیابانی هستند معمولاً به صورت متمرکز و بر روی زمین نصب می‌شوند. هر یک مزایا و معایبی دارند. در نواحی شهری قیمت سیستم فتوولتائیک نصب شده بر روی پشت‌بام گران‌تر از فتوولتائیک متمرکز نواحی بیابانی است. در حالی که گردوغبار در نواحی بیابانی بیشتر بوده و نیاز به نگهداری بیشتری است. در صورت تولید متمرکز نیاز به احداث خط انتقال جدید است که هزینه خط انتقال و تلفات را در بردارد؛ اما در نواحی شهری اینورترها به شبکه توزیع متصل هستند و به صورت تولید پراکنده بار را تأمین می‌کنند. در صورتی که از پنل خورشیدی در مصارف خانگی استفاده شود در این صورت نیاز به کنتورهای نسل جدید است. اگر به صورت مستقل از شبکه استفاده شود نیاز به باتری و ذخیره‌ساز انرژی است. همچنین در صورت استفاده در مصارف خانگی امکان پیک زدایی وجود ندارد ولی بار مصرفی شبکه در مجموع کاهش می‌یابد.

در سیستم‌های فتوولتائیک متمرکز امکان پیک‌سایی و دیگر مزایای تولیدات پراکنده موجود است. همچنین امکان نگهداری دوره‌ای برای فتوولتائیک‌های متمرکز وجود دارد اما این امکان برای منازل مسکونی امری زمان‌بر و دشوار به حساب می‌آید. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد تا سال ۲۰۵۰ سهم تولید متمرکز فتوولتائیک و پراکنده باهم برابر خواهد شد. بنابراین با توجه به این چشم‌اندازها توجه به هر دو نوع فتوولتائیک لازم و ضروری به نظر می‌رسد و نباید از اهمیت آن‌ها چشم‌پوشی کرد. در

مورد گسترش اینورترهای متصل به شبکه و جدا از آن نیز بررسی‌ها حاکی از آن است که حدود ۹۹ درصد بازار به فتوولتائیک متصل به شبکه اختصاص داشته و کاربرد جدا از شبکه تنها محدود به نواحی فراساحلی است. بنابراین با توجه به این چشم‌انداز در پیشنهادها بر روی اینورتر متصل به شبکه تمرکز خواهد شد. در مورد مساحت موردنیاز برای ماژول‌های فتوولتائیک باید اشاره کرد که این مترائز به جنس ماژول و بازدهی آن و همچنین شرایط محیطی بستگی دارد. نتایج آزمون استاندارد نشان می‌دهد که در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و تابش ۱۰۰۰ وات بر مترمربعی خورشید، ماژول‌های مونوسیلیکون بازدهی در حدود ۱۳-۱۵ درصد، ماژول پلی سیلیکون بازدهی ۱۲-۱۴ درصد و فیلم نازک در حدود ۱۱-۱۰ درصدی داشته و به ترتیب از راست به چپ برای تولید ماکزیمم یک کیلووات توان نیاز به ۷، ۸ و ۱۰ مترمربع ماژول دارند.

## فصل سوم

جبران کننده توان راکتیو استاتیک (SVC)

### ۳- فصل سوم جبران کننده توان راکتیو (SVC) استاتیک

#### ۳-۱- مقدمه

جبران کننده توان راکتیو استاتیک یا SVC<sup>۱</sup> فناوری بالی از تجهیزات FACTS موازی است که برای کنترل توان راکتیو در خطوط انتقال و توزیع استفاده می شود. در دو دهه اخیر، این فناوری با پیشرفت ساختارهای مختلف به بلوغ رسیده است. اساس توپولوژی های ارائه شده بر مبنای تریستورهای کموتاسیون خط می باشند. عموماً از این تجهیز برای بهبود رگولاسیون ولتاژ، پایداری، ضریب قدرت و نوسانات سیستم قدرت استفاده می گردد. در این گزارش ابتدا به اصول جبران سازی موازی پرداخته خواهد شد. سپس ساختارهای رایج SVC بحث و بررسی خواهند شد و سیستم کنترل و بهره برداری آن ها تشریح خواهد شد. در ادامه گزارش مقالات و پنت های منتشر شده در زمینه SVC به صورت آماری بررسی خواهد شد. بررسی شرکت های مهم سازنده SVC و نرخ فروش و قیمت آن ها نیز در ادامه فصل ذکر خواهد شد.

خاصیت و مشخصات ذاتی خطوط انتقال و توزیع AC به گونه ای است که توان حقیقی وابستگی تنگاتنگی با توان موهومی دارد. شبکه های انتقال و توزیع شبکه هایی سلفی هستند که با اندوکنانس سری (در واحد کیلومتر) و خازن های موازی (در واحد کیلومتر) نشان داده می شوند. بنابراین میزان بار و ضریب قدرت آن می تواند تغییرات زیادی در ولتاژ انتهایی خط ایجاد کند. بسیاری از بارها نسبت به تغییرات دامنه ولتاژ حساس هستند. کاهش ولتاژ می تواند منجر به عملکرد نامطلوب تجهیزاتی مانند موتور القایی، لامپ های جابی و ... شود. این در حالی است که اضافه ولتاژ می تواند منجر به اشباع مغناطیسی، تولید هارمونیک و آسیب عایقی گردد. البته جریان توان راکتیو می تواند منجر به افزایش تلفات انتقال نیز گردد.

علاوه بر شرایط حالت دائم، شرایط گذرا نظیر تغییرات شدید در توان راکتیو و تغییرات متعاقب ولتاژ، سوئیچینگ خط، خطاها، قطع بار و سایر اغتشاشات می تواند میزان توان حقیقی مورد نیاز سیستم قدرت را به صورت ناگهانی تغییر دهد. تغییرات

سریع در میزان توان حقیقی می‌تواند منجر به شتاب‌گیری یا کاهش سرعت ژنراتورهای سنکرون از سرعت سنکرون گردد. این امر می‌تواند منجر به حالت گذرای فرکانس<sup>۱</sup> و یا از دست رفتن سنکرونیزم شبکه گردد.

نیاز به کنترل توان راکتیو در خطوط انتقال و توزیع از ابتدای تشکیل سیستم AC احساس شده است. از ابتدای تشکیل سیستم AC، خازن‌های و راکتورهای موازی به‌صورت دائمی (یا به کمک سوئیچ مکانیکی) در شبکه قرار می‌گرفتند تا بتوان پروفیل ولتاژ مناسبی در خطوط انتقال و توزیع ایجاد کرد.

در شرایط اغتشاشات دینامیکی (سوئیچینگ خط، خروج نیروگاه، قطع بار و...) کنترل سریع توان راکتیو می‌تواند باعث کنترل مؤثر ولتاژ و پخش بار گردد که این امر منجر به بهبود پایداری سیستم قدرت خواهد گشت. در گذشته، خطوط انتقال به‌صورت محافظه‌کارانه‌ای با حاشیه پایداری بالایی طراحی می‌شدند و جبران‌سازهای دینامیکی موجود مانند کندانسورهای سنکرون و راکتور قابل اشباع به‌ندرت استفاده می‌شدند.

اما در سالیان بعد مشکلات انرژی، محیط‌زیست، حق زمین و هزینه منجر به ایجاد تأخیر در فرآیند ساخت نیروگاه‌ها و خطوط انتقال گردید. عوامل فوق منجر به تغییر دیدگاه بهره‌برداری در شبکه‌های قدرت به‌منظور استفاده حداکثری از منابع موجود گردیده است. اتصال شبکه‌های قدرت مجاور به هم منجر به استفاده بهتر از ظرفیت تولید شبکه‌های قدرت خواهند شد و جبران‌سازی سریع توان راکتیو خطوط انتقال می‌تواند حاشیه پایداری و میزان حداکثر توان قابل انتقال را افزایش دهد. نیازهای مطرح‌شده به کمک توسعه فناوری الکترونیک قدرت برطرف شده‌اند. پیشرفت در صنعت نیمه‌های قدرت و فناوری‌های کنترل الکترونیک منجر به ساخت تجهیزات SVC شده‌اند. این جبران‌سازها برای اولین بار در سال ۱۹۷۰ برای جبران‌سازی کوره‌های قوس ساخته شدند و چندین سال بعد برای جبران‌سازی خطوط انتقال به کار بسته شدند. ویژگی‌هایی نظیر سرعت پاسخ بسیار بالا، عملکرد نامحدود، قابلیت بالا و انعطاف‌پذیری بالای بهره‌برداری از ویژگی‌های تجهیز است. اولین تجهیز SVC با ظرفیت 40 MVAR در پست Shannoa سیستم قدرت Minnesota در سال ۱۹۷۸ نصب شد. این پروژه که با حمایت مالی EPRI اجرا شد همچنان در مدار است. این پروژه اساساً برای نمایش قابلیت عملکرد صنعتی SVC انجام شده بود.

از سال ۱۹۷۸، کاربرد SVC در سیستم قدرت به سرعت افزایش یافته است. تا پایان سال ۱۹۹۹، ۴۱ جبران ساز خط انتقال در آمریکا و کانادا با ظرفیت تجمعی ۹۷۱۰ مگاوار نصب شده است. همچنین ۲۸ SVC صنعتی با ظرفیت مجموع ۱۶۷۰ مگاوار در این دو کشور تا پایان سال ۱۹۹۹ ساخته شده است. به صورت جهانی نیز حداقل ۳۰۰ SVC با ظرفیت مجموع ۳۰۰۰۰ مگاوار تا سال ۱۹۹۹ متصل شده است و تعداد دیگری نیز در مرحله مذاکره، نیازسنجی و برنامه ریزی بوده است.

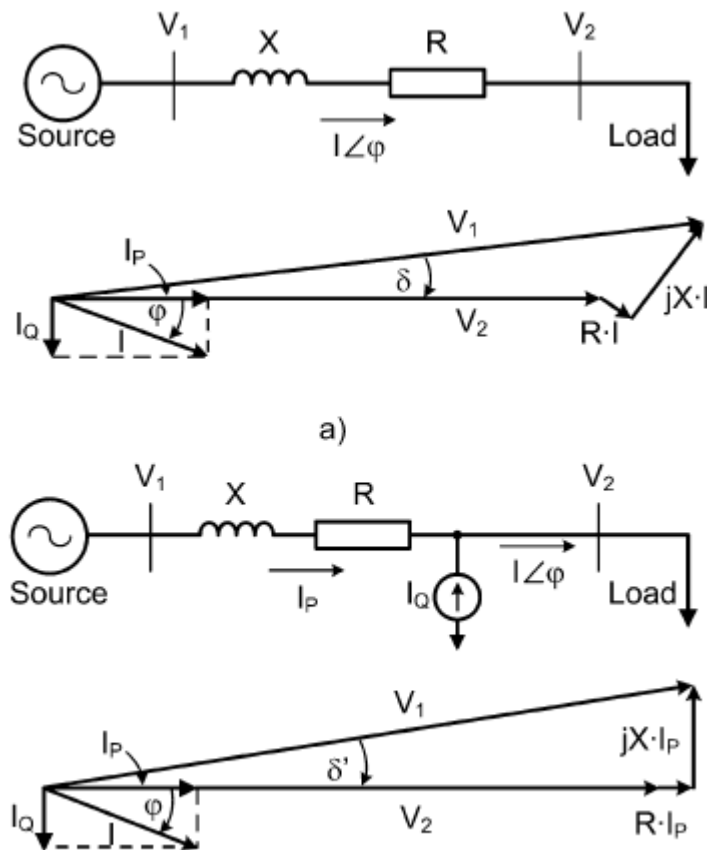
راه‌های فراوانی برای تولید و کنترل توان راکتیو به کمک سوئیچ‌های نیمه‌هادی و مدارات وجود دارد. اگرچه توپولوژی‌های مبتنی بر GTO (که توانمندی تولید توان راکتیو بدون استفاده از راکتور و خازن را دارد) نیز صنعتی و تجاری‌سازی شده است، هم‌اکنون ترستورها در کنار راکتورها و خازن‌ها بیشترین سهم بازار را در اختیار دارند [۱۰۰]. در گزارش قسمت Statcom به تفصیل راجع به دسته مبدل‌های مبتنی بر GTO بحث شده است.

### ۳-۲- مفاهیم و اصول پایه‌ای توان راکتیو

در مدار خطی، مؤلفه ac توان لحظه‌ای برابر توان راکتیو است که فرکانس  $100/120$  HZ در سیستم  $50/60$  HZ دارد. توان راکتیو تولیدشده توسط منبع AC در ۲۵٪ سیکل درون خازن و راکتور ذخیره می‌شود و در ۲۵٪ سیکل بعدی به منبع AC بازگشت داده می‌شود. به عبارت دیگر نوسان توان راکتیو بین منبع AC و خازن و راکتور (و بین آن‌ها) در فرکانس HZ  $100/120$  برقرار است. به همین علت توان راکتیو را می‌توان با SVC جبران نمود تا مانع گردش آن بین بار (خازنی و سلفی) و منبع گردیده و باعث افزایش پایداری ولتاژ گردد.

شکل ۳-۱ تئوری عملکرد جبران‌سازی موازی توان راکتیو را در یک سیستم AC پایه به تصویر کشیده است که شامل منبع AC خط انتقال و یک بار سلفی است.





شکل ۳-۱: نظریه جبران سازی موازی در سیستم شعاعی الف) بدون جبران سازی موازی ب) با جبران سازی موازی جریانی خازنی

در دیاگرام فازوری، زاویه فاز جریان نسبت به سمت بار سنجیده شده است به این معنا که جریان اکتیو ( $I_p$ ) هم فاز با ولتاژ بار است. از آنجاکه بار سلفی فرض شده است، از منبع، توان راکتیو می گیرد و در نتیجه جریان عبوری از ژنراتور و خطوط افزایش می یابد. در صورتی که بتوان توان راکتیو را در نزدیکی بار تأمین کرد، جریان خط کاهش خواهد یافت که منجر به کاهش تلفات توان و بهبود رگولاسیون ولتاژ در ترمینال های بار خواهد شد. این امر را می توان به سه طریق استفاده از خازن، استفاده از منبع ولتاژ و استفاده از منبع جریان اجرا کرد. در شکل ۳-۱، استفاده از منبع جریان برای جبران کردن بخش راکتیو جریان بار به تصویر کشیده شده است.

با جبران سازی توان راکتیو، رگولاسیون ولتاژ سیستم بهبود می یابد و مؤلفه راکتیو جریان بار از منبع کشیده نخواهد شد. اگر بار نیازمند جبران سازی پیش فاز باشد، یک راکتور مورد نیاز خواهد بود. یکی از مزایای استفاده از منابع جریان و ولتاژ به جای ادوات پسیو مانند سلف و خازن در آن است که توان راکتیو تولید شده مستقل از ولتاژ در نقطه اتصال خواهد بود [۱۰۱].

### ۳-۳- روش های تولید توان راکتیو

بنا بر تعریف، سلف ها و خازن ها به ترتیب توان راکتیو را از شبکه AC متصل شده جذب و تزریق می کنند. این تجهیزات به همراه سوئیچ های مکانیکی برای تزریق و جذب کنترل شده توان راکتیو استفاده می شدند. در سال های بعد برای تزریق و جذب پیوسته توان راکتیو از کندانسورهای سنکرون استفاده شد که در حالات اضافه تحریک و تحریک کاهش یافته قابل بهره برداری بود. همچنین در گذشته از راکتورهای قابل اشباع در کنار خازن های ثابت برای کنترل پیوسته توان راکتیو استفاده شده است.

در ادامه پیشرفت تجهیزات کنترل توان راکتیو، کاربرد ادوات نیمه هادی در تجهیزات کنترل توان راکتیو از سال ۱۹۷۰ شروع شده و در سال ۱۹۸۰ به صورت گسترده ای مورد پذیرش قرار گرفت. این مدارات قدرت که قابلیت تولید توان راکتیو مرجع را دارند بنا بر پیشنهاد Cigre، Static Var Generator نام گرفته اند. با توجه به این نام، SVC تجهیزاتی است که توان راکتیو خروجی آن برای جبران سازی پارامتر خاصی از شبکه قدرت کنترل می گردد.

بسیاری از تجهیزات کنترل شده ترستوری در حقیقت با سوئیچینگ سنکرون اندوکتانس و خازن نسبت به شبکه، امپدانس متغیر موازی به وجود می آورند. با کنترل مناسب سوئیچینگ توان راکتیو خروجی را می توان از حداکثر مقدار القائی تا حداکثر مقدار خازنی در ولتاژ شبکه کنترل کرد.

انواع دیگر تجهیزات در حال رشد قابلیت تولید راکتیو را بدون استفاده از اندوکتانس و خازن دارند. این تجهیزات که نظیر کندانسورهای سنکرون می باشند، مقدار دامنه ولتاژ تولیدی داخلی را برای کنترل توان راکتیو خروجی تغییر می دهند (نظیر Statcom). این در حالی است که بقیه تجهیزات تقریباً به صورت منبع جریان کنترل شده عمل می کنند.

در این فصل بر معرفی SVCها که از تجهیزات کنترل کننده تریستوری و سلف و خازن استفاده می کنند تکیه دارد. سایر تجهیزات نظیر Statcom در گزارش مربوطه بررسی شده اند.

### ۳-۳-۱ کندانسور سنکرون

کندانسورها به مدت ۵۰ سال نقش مهمی در کنترل ولتاژ و توان راکتیو شبکه ایفا کرده اند. در عمل کندانسور سنکرون، ماشین سنکرون متصل به شبکه است. پس از سنکرون سازی واحد به شبکه، جریان تحریک برای تبادل توان راکتیو با شبکه کنترل می شود. در صورت استفاده از مدار تحریک خودکار مناسب، کندانسور سنکرون به خوبی می تواند توان راکتیو را به صورت پیوسته کنترل کند. از کندانسورهای سنکرون در شبکه های توزیع و انتقال برای بهبود پایداری و تنظیم ولتاژ در شرایط مختلف وقوع خطا و بار استفاده شده است. البته امروزه استفاده از کندانسورهای سنکرون، کاربرد زیادی ندارد چرا که استفاده از آنها مستلزم هزینه سرمایه گذاری و بهره برداری بالا است. همچنین کندانسورهای سنکرون در تأمین جریان خطا مشارکت دارند. همچنین دینامیک نسبتاً کند در کنار تلفات و هزینه بالا از معایب کندانسورهای سنکرون در مقایسه با تجهیزات SVC است. یکی از مزایای تجهیزات کندانسور، قابلیت تحمل اضافه بار موقت است.

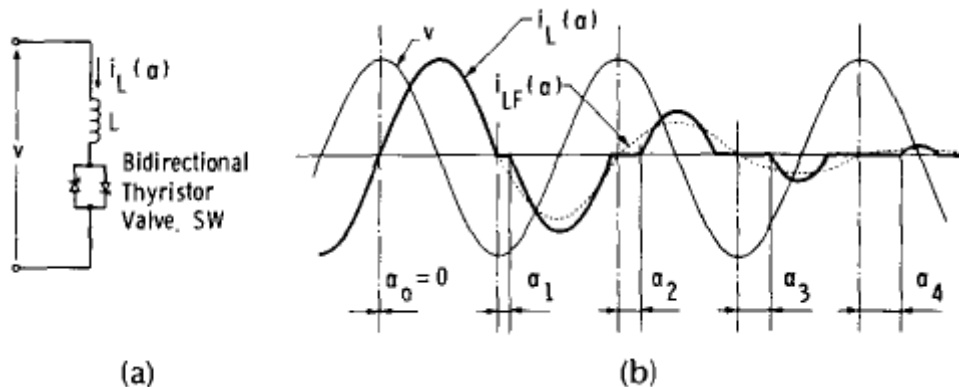
### ۳-۳-۲ خازن های ثابت یا سوئیچ شونده مکانیکی

خازن های موازی برای اولین بار در سال ۱۹۱۴ برای اصلاح ضریب قدرت به کار رفت. جریان پیش فاز خازن، جریان پس فاز کشیده شده توسط بارهای عمدتاً القائی را جبران می کند. برای انتخاب مقدار خازن موازی می بایستی به عوامل گوناگونی نظیر میزان توان راکتیو کشیده شده توسط بار توجه کرد. در شرایطی که میزان بار متغیر باشد، توان راکتیو مورد نظر نیاز نیز در بازه گسترده ای در حال تغییر است. در چنین حالتی، استفاده از یک جبران ساز خازن ثابت به اضافه جبران یا کاهش جبران خواهد انجامید. برای دستیابی به جبران سازی قابل تنظیم توان راکتیو می توان از سوئیچ کردن خازن ها استفاده کرد. با توجه به میزان نیاز به توان راکتیو، می توان خازن را به مدار وارد یا از مدار خارج نمود. هموار بودن فرایند کنترلی (و نزدیک بوده آن به حالت پیوسته) تنها به تعداد خازن های موجود در بانک خازن وابستگی دارد. فرآیند سوئیچینگ عمدتاً توسط رله ها و

قطع کننده‌های مدار (C.B) صورت می‌پذیرد. این روش‌ها مبتنی بر سوئیچ‌های مکانیکی و رله‌هاست که دارای دینامیک کند و قابلیت اطمینان پایین هستند. همچنین این تجهیزات جریان هجومی بسیار بالا ایجاد می‌کنند و نیاز به تجهیزات فراوانی دارند.

### ۳-۳-۳ راکتور کنترل شده تریستوری<sup>۱</sup>

ساختار یک نمونه تک فاز TCR در شکل ۲-۳ نشان داده شده است. این ساختار عموماً شامل یک راکتور (با هسته هوائی) ثابت و یک ولو<sup>۲</sup> تریستوری دو طرفه است. تریستورها عموماً ظرفیت ولتاژی ۴۰۰۰ تا ۶۰۰۰ ولت و ظرفیت جریانی ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ آمپر دارند. بنابراین در یک ولو صنعتی تعداد زیادی از تریستورها (بین ۱۰ تا ۴۰) باهم سری می‌شوند تا بتوانند به ظرفیت معادل ولتاژ بالادست پیدا کنند. برای هدایت ولو معادل، می‌بایستی پالس‌های همزمان به گیت همه تریستورها اعمال کرد.



شکل ۲-۳: ساختار پایه TCR و شکل موج‌های عملکردی آن

جریان راکتور را با سیستم سوئیچینگ مناسب می‌توان از مقدار بیشینه (نظر حالت اتصال کوتاه ولو) تا مقدار کمینه (نظیر حالت مدار باز  $\alpha=180$ ) کنترل کرد.

فلسفه سوئیچینگ ایجاد تأخیر در فرمان پالس تریستورها نسبت به لحظه پیک ولتاژ است. در نتیجه ایجاد تأخیر، زمان هدایت تریستورها و عبور جریان از اندوکتانس‌ها کنترل می‌شود. این موضوع در شکل ۲-۳ نشان داده شده است. در این شکل

1 - Thyristor Controlled Reactor (TCR)

2 - valve

$i_L(\alpha)$ ،  $i_L F(\alpha)$  و  $V$  به ترتیب نشانگر جریان راکتور، جریان مؤلفه اصلی راکتور، جریان مؤلفه اصلی راکتور و ولتاژ شبکه است. دامنه  $i_L F(\alpha)$  (جریان مؤلفه اصلی راکتور) را می‌توان به صورت تابعی از زاویه آتش  $\alpha$  تعریف کرد:

$$i_L F(\alpha) = \frac{V}{L\omega} \left( 1 - \frac{2}{\pi} \alpha - \frac{1}{\pi} \sin 2\alpha \right)$$

که در رابطه فوق  $V$  دامنه ولتاژ AC،  $L$  اندوکتانس راکتور TCR و  $\omega$  فرکانس زاویه‌ای شبکه AC است.

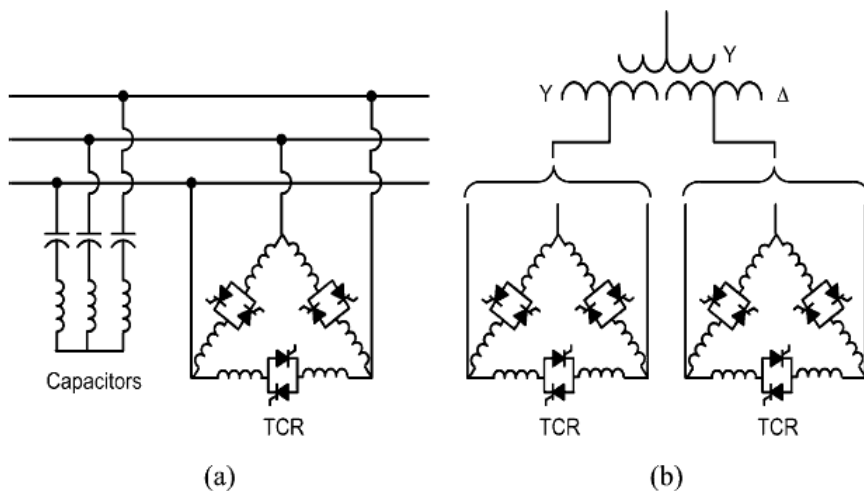
همان‌طور که در شکل ۳-۲ نشان داده شده است، کنترل زاویه هدایت منجر به شکل موج غیر سینوسی خواهد شد. به تعبیری دیگر، TCR هارمونیک‌های جانبی تولید می‌کند. در صورتی که کنترل زاویه آتش در نیم شکل‌های جریان مثبت و منفی به صورت متقارن انجام شده باشد، تنها هارمونیک‌های مرتبه فرد تولید خواهد شد. دامنه این هارمونیک‌ها تابعی از  $\alpha$  است و برابر رابطه زیر است.

$$I_{Ln}(\alpha) = \frac{V}{WL} \frac{4}{\pi} \left[ \frac{\sin \alpha \cos(n\alpha) - n \cos \alpha \sin(n\alpha)}{n(n^2 - 1)} \right], n = 2k + 1, k = 1, 2, \dots$$

که در آن حداکثر دامنه هارمونیک‌های شاخص ۵، ۷، ۹، ۱۱ و ۱۳ برابر ۱۳/۷۸٪، ۵/۰۵٪، ۲/۵۹٪، ۱/۵۷٪، ۱/۰۵٪ و ۰/۷۵٪ هستند.

در یک سیستم سه فاز، سه TCR تک فاز را می‌توان در آرایش مثلث به کار برد. در این صورت، جریان‌های هارمونیک مضرب ۳ (نظیر ۳، ۹، ۱۵ و ...) در ساختار مثلث به صورت جریان گردش جاری شده و اجازه ورود به شبکه را نمی‌یابند.

دامنه سایر هارمونیک‌های تولیدی TCR را به کمک مدارات چند پالس، چند بانکه و یا فیلترینگ می‌توان کاهش داد. ساختار TCR سه فاز ساده و چند پالس در شکل ۳-۳ نمایش داده شده است.



شکل ۳-۳: سه فاز (الف) شش پالس (ب) ۱۲ پالس

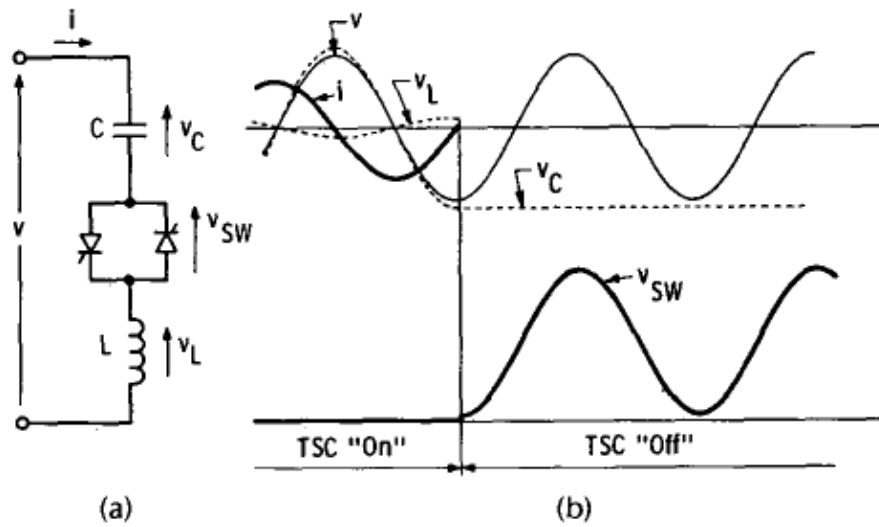
در ساختار ۱۲ پالس فیلترهای پسیو قابل حذف هستند چرا که هارمونیک‌های مرتبه ۵ و ۷ به کمک اختلاف فاز ناشی از ترانسفورماتور حذف خواهد گردید.

در مجموع TCR با ویژگی‌های نظیر قابلیت کنترل حالت پیوسته، حداکثر تأخیر یک نیم شکل و نبود حالات گذرا شناخته می‌شود. هرچند که ویژگی‌های ایجاد هارمونیک‌های با فرکانس پایین و تلفات بالا از جمله ویژگی‌های منفی این تجهیز هستند.

### ۳-۳-۴ خازن سوئیچ شونده تریستوری

خازن سوئیچ شونده تریستوری (TSC<sup>۱</sup>) در ابتدا توسط ASEA در سال ۱۹۷۱ معرفی شد که پیشنهاد شده بود بانک خازنی به قسمت‌های کوچک‌تر تقسیم‌شده و هر یک به صورت جداگانه توسط ولو تریستوری خود به شبکه قطع و وصل شوند. ساختار یک TSC تک فاز در شکل ۳-۴ نمایش داده شده است. این ساختار شامل یک خازن، یک ولو تریستوری و یک اندوکتانس کوچک محدودکننده جریان است تا بتواند در شرایط غیرعادی (مانند کنترل نامناسب) جریان عبوری از ولو تریستوری را محدود کند. همچنین این اندوکتانس کوچک می‌تواند از وقوع رزونانس با اندوکتانس شبکه در برخی فرکانس‌های خاص جلوگیری کند.

1 -Thyristor Switched Capacitor



شکل ۳-۴: الف) ساختار TSC ب) شکل موج‌های عملکردی

در شرایط دائم، هنگامی که ولو تریستوری بسته باشد و بانک خازنی به ولتاژ سینوسی شبکه متصل باشد

جریان شاخه برابر است با:  $V = V_m \cdot \sin(\omega t)$

$$I_{steady-state} = V \frac{n^2}{n^2 - 1} \omega C \cos \omega t$$

$$n = \frac{1}{\sqrt{\omega^2 LC}} = \sqrt{\frac{X_C}{X_L}}$$

با عدم ارسال فرمان‌های گیت به ولو تریستوری، می‌توان ولو را خاموش و خازن را از مدار قطع کرد.

در هنگام عبور جریان از نقطه صفر، ولتاژ خازن در مقدار پیک  $V_{peak}$  قرار دارد و بعد از قطع بانک خازن از مدار، در این

ولتاژ باقی می‌ماند.

$$V_{peak} = \frac{Vn^2}{n^2 - 1}$$

بنابراین ولتاژ دو سر ولو تریستوری در حالت قطع بین صفر و مقدار ولتاژ پیک خط به خط AC نوسان می‌کند.

در صورتی که ولتاژ خازن جدا شده از شبکه ثابت باقی بماند، بانک TSC را می‌توان بدون هیچ‌گونه حالت گذرا مجدداً وارد

شبکه کرد. عمدتاً بانک خازنی مجاز به تخلیه پس از قطع اتصال به شبکه است. بنابراین اتصال مجدد بانک خازنی به شبکه

باید در ولتاژی بین صفر و  $V_{peak}$  انجام پذیرد تا حالت گذرا وجود نداشته باشد. این امر با دنبال کردن ولتاژ دو سر ولو تریتوری و نقطه گذر از صفر آن ممکن است.

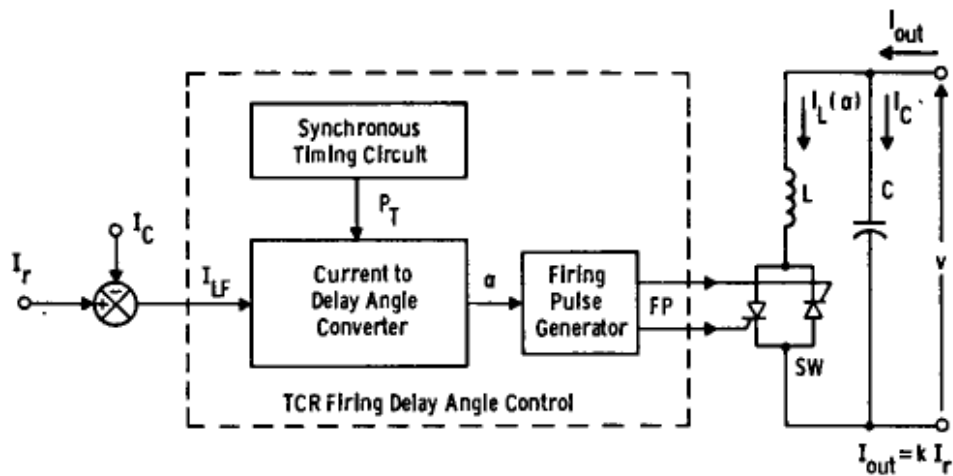
به صورت کلی TSCها دارای مشخصات نظیر کنترل گسسته، تأخیر نیم سیکلی و عملکرد بی هارمونیک هستند. به رغم سادگی تئوری ساختار TSC، برخی از ملاحظات عملی کاربردهای آن را محدود کرده است. عواملی نظیر کنترل گسسته توان راکتیو، نیاز به یک ولو تریتوری مجزا برای هر بانک خازنی، قیمت بالا، ولتاژ نامی مورد نیاز بالای ولو تریتوری (دو برابر ولتاژ پیک خط به خط شبکه) و مدارهای الزامی حفاظتی ولو تریتوری از ملاحظات عملی مورد اشاره هستند.

برای برطرف کردن برخی از معایب TSC، می توان یکی از تریتورهای موجود در ولو را با یک دیود جایگزین کرد. در این حالت، جریانهای هجومی (در صورت کلیدزنی مناسب) خواهد گردند.

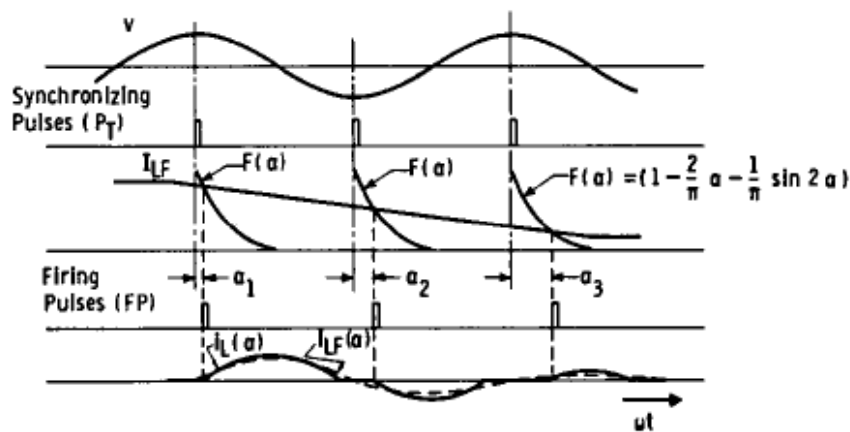
### ۳-۳-۵ ساختار ترکیبی خازن ثابت و TCR

ساختار یک تجهیز SVC که ترکیبی از یک خازن ثابت و یک TCR تشکیل شده است در شکل ۳-۵ نشان داده شده است.





(a)



(b)

شکل ۳-۵: ساختار یک FC-TCR به همراه مدار کنترل و شکل موج‌های عملکردی آن

جریان عبوری از راکتور به کمک کنترل زاویه آتش (که در بخش TCR تشریح شد) تنظیم می‌شود. البته باید توجه داشت که در کاربردهای عملی، خازن ثابت موجود در ساختار طرح یک شبکه فیلتری خواهند بود که در فرکانس اصلی تولیدکننده توان راکتیو و در فرکانس‌های بالای جذب‌کننده هارمونیک‌های تولید TCR هستند.

در این ساختار توان راکتیو ثابت خروجی خازن ثابت به کمک کنترل مناسب توان راکتیو جذب‌شده TCR جبران شود. در حداکثر توان خروجی خازنی این تجهیز SVC، TCR با زاویه آتش  $90^\circ = \alpha$  غیرفعال است. برای کاهش توان راکتیو خازنی خروجی، بایستی جریان راکتور با کاهش زاویه آتش افزایش یابد. در توان راکتیو خروجی صفر، توان راکتیو خروجی TCR به‌صورت کامل توان راکتیو خروجی بانک خازنی ثابت را خنثی می‌کند.

در صورت کاهش بیشتر زاویه آتش (با فرض ظرفیت سلفی بیشتر TCR نسبت به FC) اثر TCR غالب خواهد شد و توان راکتیو خروجی SVC، سلفی خواهد شد.

کنترل TCR موجود در این تجهیز SVC ترکیبی بایستی چهار عملکرد زیر را داشته باشد.

عملکرد اول: امکان سنکرون شدن با شبکه

در این عملکرد، بر مبنای اطلاعات PLL (که ولتاژهای شبکه AC را دریافت می کند) که شامل پالس های زمان بندی تولید شده در هنگام مشاهده پیک ولتاژ شبکه است، تجهیز SVC می تواند به شبکه متصل شود.

عملکرد دوم: تبدیل فرمان جریان راکتیو به زاویه آتش این عملکرد به کمک پیاده سازی آنالین رابطه موجود بین زاویه آتش و جریان راکتیو TCR قابل حصول است.

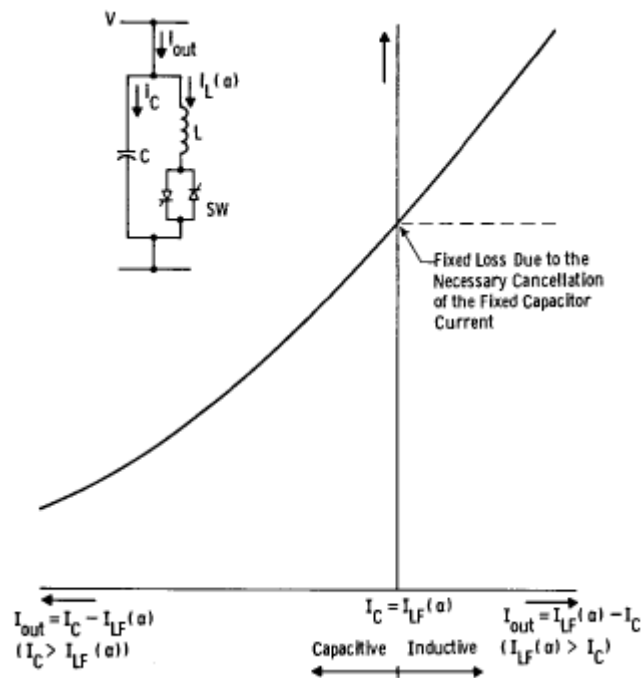
عملکرد سوم: تعیین جریان مرجع راکتیو TCR

با تعیین جریان مرجع تجهیز SVC و کم کردن مقدار جریان راکتیو تولیدی خازن به سادگی می توان جریان مرجع راکتیو TCR را تعیین کرد.

عملکرد چهارم: تولید پالس های تریستورها

آتش زنی تریستورهای موجود در ولوها به کمک مدارات تولید پالس ویژه تریستورها انجام می شود. این مدارات زاویه آتش را از مدار کنترل دریافت می کنند و در زمان مناسب، پالس جریان بالائی (با حداکثر دامنه ۱/۵ آمپر) به گیت تریستور مربوطه ارسال می کنند. شکل موج های عملکردی SVC ترکیبی در شکل ۳-۵ آورده شده است.

منحنی مشخصه تلفات SVC برحسب توان راکتیو خروجی آن در شکل ۳-۶ ترسیم شده است.



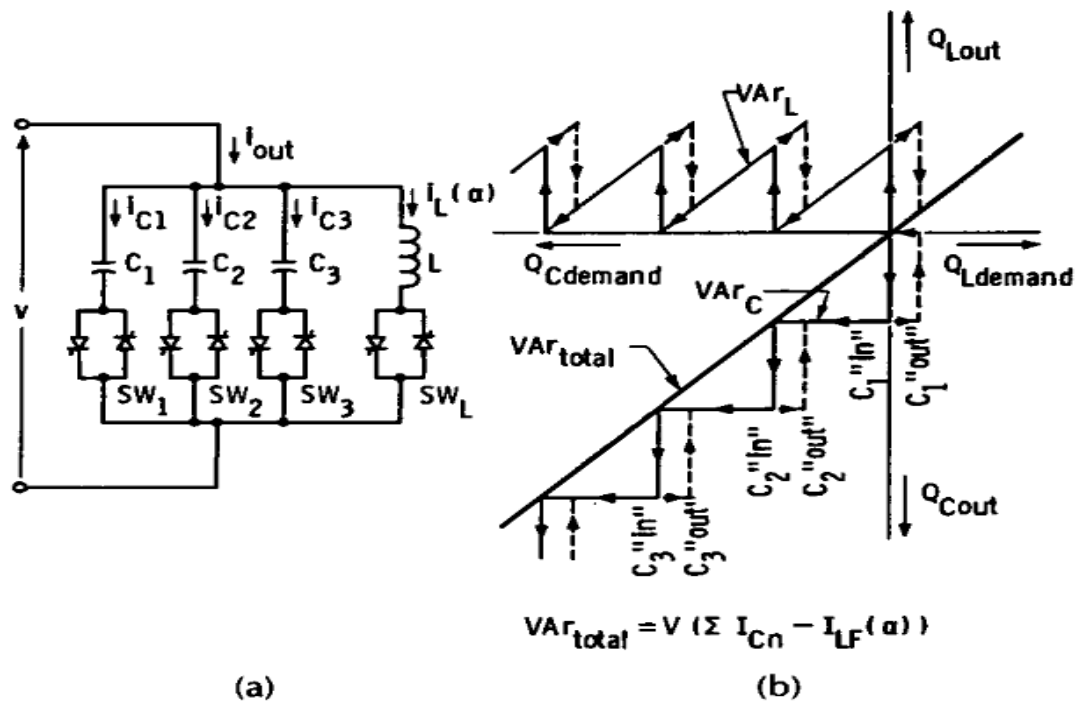
شکل ۳-۶: منحنی مشخصه تلفات SVC برحسب توان راکتیو خروجی

همان طور که در شکل ۳-۶ مشاهده می‌شود، تلفات SVC نسبت مستقیمی با جریان TCR دارد به گونه‌ای که تلفات مبدل در حرکت از نقطه حداکثر خازنی به نقطه حداکثر خازنی به نقطه حداکثر سلفی تقریباً به صورت خطی افزایش می‌یابد. حتی در صورتی که SVC تبادل توان راکتیو با شبکه نداشته باشد، تلفات ثابتی وجود دارد. در اصل در این نقطه TCR با تولید توان راکتیو سلفی اقدام به جبران توان راکتیو خازن کرده است که این امر موجب ایجاد تلفات نسبتاً بالا گردیده است. مشخصه تلفات این تجهیز در صنایعی که نیاز به توان راکتیو خروجی بالایی دارند (نظیر صنایع فولاد برای تصحیح ضریب قدرت) بسیار مناسب است. این در حالی است که در صنایعی که نیاز به توان راکتیو خروجی کم است (و TCR باید توان راکتیو خازن ثابت را جبران کند)، این مشخصه نامناسب است.

### ۳-۳-۶ ساختار TSC+TCR

ساختار TSC+TCR در ابتدا برای جبران‌سازی خطوط انتقال در نظر گرفته شد. هدف از این ساختار کاهش تلفات دائم و افزایش انعطاف‌پذیری در بهره‌برداری است. یک ساختار پایه تک فاز TSC-TCR در شکل ۳-۷ نشان داده شده است. این ساختار شامل N شاخه TSC و یک شاخه TCR است. تعداد شاخه‌های N بر اساس ملاحظات عملی (مانند سطح ولتاژ،

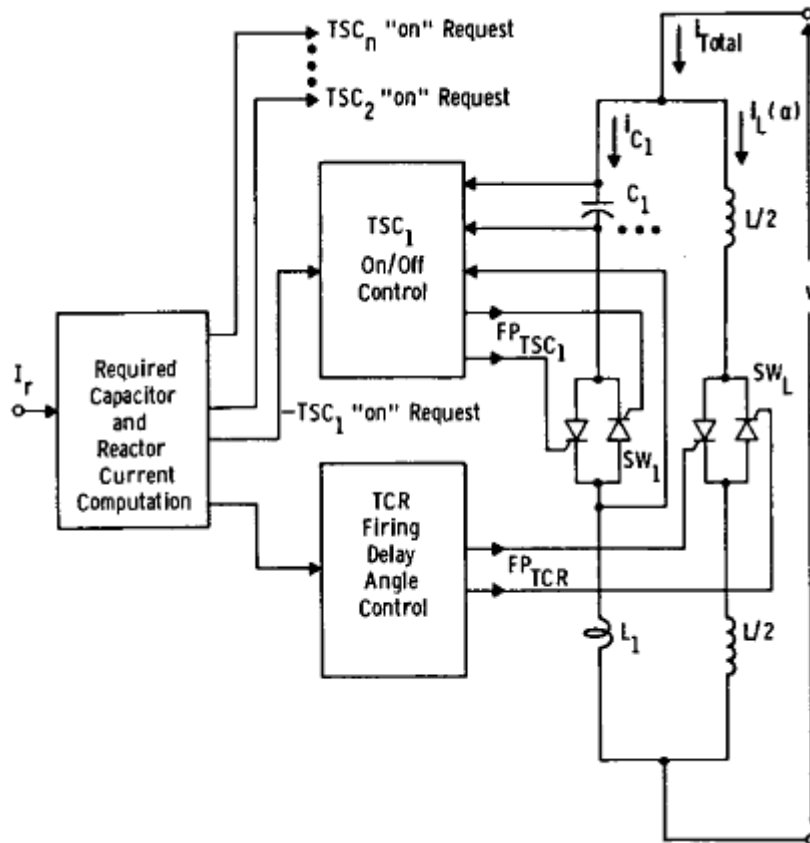
حداکثر ظرفیت خازنی موردنیاز، ظرفیت جریانی ولوهای تریستوری، قیمت تجهیزات و ... تعیین می‌گردد. البته رنج توان راکتیو سلفی قابل تولید را نیز با اضافه کردن شاخه‌های TCR دیگر می‌توان افزایش داد. [۱۰۲] نحوه عملکرد ساختار پایه TCR-TSC را با توجه به شکل ۷-۳ می‌توان توضیح داد [۱۰۱].



شکل ۷-۳: ساختار پایه TCR-TSC و منحنی مشخصه خروجی آن در ساختار TCR-TSC

بازه توان راکتیو خازن خروجی به N بازه تقسیم شده است. در بازه اول، توان راکتیو خروجی ساختار بین 0 و  $VAR_{max}/N$  قابل کنترل است که در آن حداکثر ظرفیت خازنی خروجی است. در این بازه تنها یک بانک خازنی (به کمک کلید زنی تریستورها) و TCR در مدار است. تریستورهای TCR به گونه‌ای کلیدزنی می‌شوند که توان راکتیو کل خروجی ساختار TCR-TSC برابر مقدار تعیین شده گردد. در بازه‌های دوم، سوم و ... و n ام، توان راکتیو خازنی خروجی در بازه‌های  $(VAR_{max}/N, 2VAR_{max}/N)$ ،  $(2VAR_{max}/N, 3VAR_{max}/N)$ ، ...،  $((n-1)VAR_{max}/N, VAR_{max})$  قابل کنترل است.

این کنترل پذیری از سوئیچینگ مناسب TSC ها و کنترل TCR نشأت می گیرد. برای جلوگیری از سوئیچینگ های مکرر، یک بازه هیستریزیس بین سطح "ورود" و "خروج" TSC ها در نظر گرفته شده است. یک طرح عملی برای کنترل ساختار TCR-TSC در شکل ۳-۸ نشان داده شده است.



شکل ۳-۸: طرح کنترلی برای ساختار ترکیبی TCR-TSC

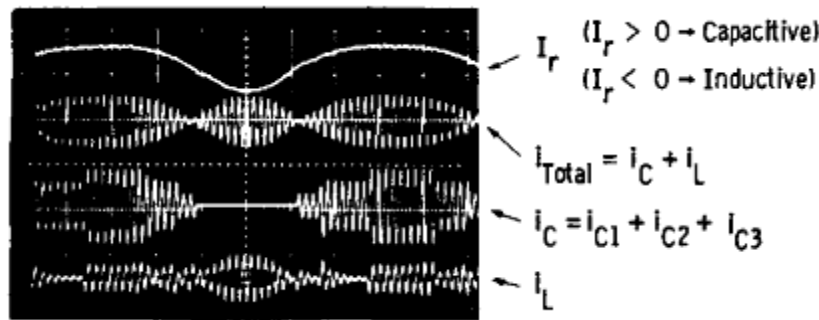
این کنترل سه نقش را ایفا می کند:

اول: تعداد شاخه های TSC مورد نیاز برای ورود و میزان توان راکتیو مورد نیاز به جذب توسط TCR را محاسبه می کند.

دوم: سوئیچینگ شاخه های TSC را بدون وقوع حالت گذرا ممکن می کند.

سوم: فرمان های لازم برای کنترل زاویه آتش TCR را تولید و ارسال می کند.

یک نمونه از شکل موج های عملکردی ساختار TCR-TSC در شکل ۳-۹ نشان داده شده است.



شکل ۳-۹: شکل موج‌های عملکردی ساختار TCR-TSC ( $I_r$  جریان مرجع ورودی،  $I_c$  جریان مجموع TSC ها،  $I_L$  جریان منحنی مشخصه تلفات خروجی میدل برحسب توان خروجی TCR-TSC را باید با توجه به ساختار آن به دست آورد. در حالت عدم تبادل توان راکتیو، تمامی بانک‌های خازنی از مدار خارج می‌شوند و جریان TCR تقریباً برابر صفر است. این شرایط منجر به حالت بی تلفات در ساختار TSC-TCR خواهند شد.

با افزایش توان راکتیو موردنیاز خروجی، تعداد بانک‌های خازنی موردنیاز برای حضور در مدار بیشتر می‌شود. از طرفی TCR نیز برای دنبال کردن توان راکتیو مرجع می‌بایستی توان سلفی بیشتری جذب کند.

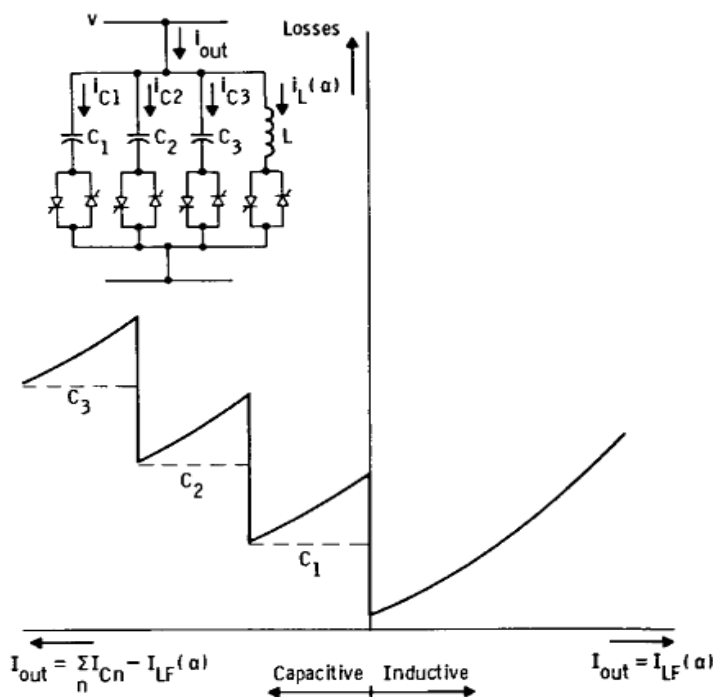
با اضافه شدن بانک خازنی، تلفات ثابتی به ساختار اضافه می‌شود همچنین با افزایش توان راکتیو سلفی جذب‌شده توسط TCR تلفات آن افزایش می‌یابد. با توجه به موارد ذکرشده، با اضافه شدن پی‌درپی TSC ها، تلفات ناشی از TSC ها به صورت ثابتی افزایش می‌یابند. به صورت کمی تلفات ساختار TCR-TSC به صورت متوسط متناسب با توان راکتیو خروجی افزایش می‌یابد.

( $I_{Total}$ ، TCR جمع جریان‌ها)

منحنی مشخصه تلفات خروجی میدل برحسب توان خروجی TCR-TSC را باید با توجه به ساختار آن به دست آورد. در حالت عدم تبادل توان راکتیو، تمامی بانک‌های خازنی از مدار خارج می‌شوند و جریان TCR تقریباً برابر صفر است. این شرایط منجر به حالت بی تلفات در ساختار TSC-TCR خواهند شد.

با افزایش توان راکتیو موردنیاز خروجی، تعداد بانک‌های خازنی موردنیاز برای حضور در مدار بیشتر می‌شود. از طرفی TCR نیز برای دنبال کردن توان راکتیو مرجع می‌بایستی توان سلفی بیشتری جذب کند.

با اضافه شدن بانک خازنی، تلفات ثابتی به ساختار اضافه می‌شود همچنین با افزایش توان راکتیو سلفی جذب‌شده توسط TCR تلفات آن افزایش می‌یابد. با توجه به موارد ذکرشده، با اضافه شدن پی‌درپی TSC ها، تلفات ناشی از TSC ها به صورت ثابتی افزایش می‌یابند. به صورت کمی تلفات ساختار TCR-TSC به صورت متوسط متناسب با توان راکتیو خروجی افزایش می‌یابد.



شکل ۳-۱۰: مشخصات تلفات خروجی ساختار TCR-TSC برحسب توان راکتیو خروجی

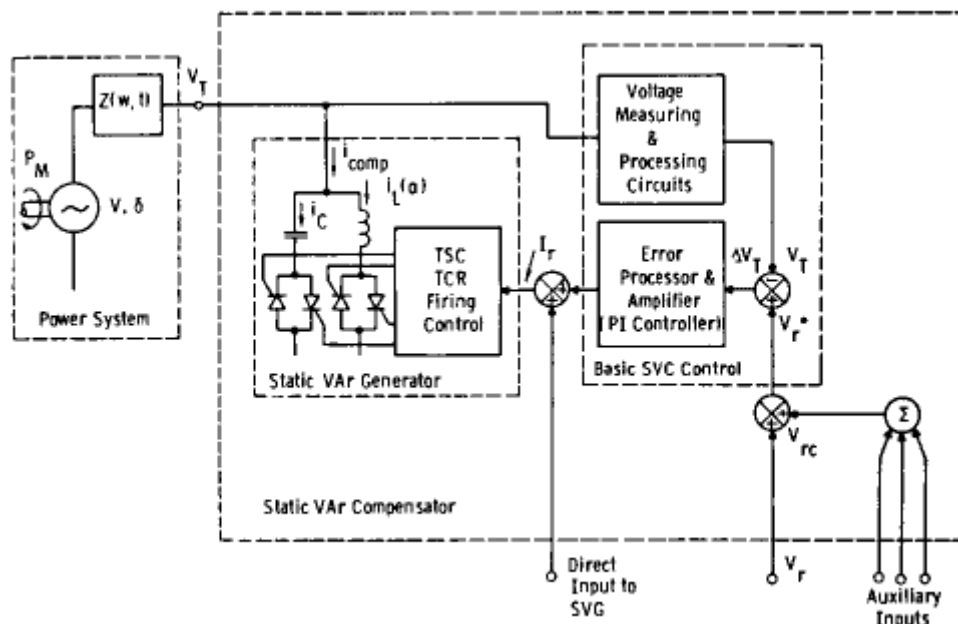
همان طور که در شکل ۳-۱۰ نشان داده شده است، مشخصه تلفات این تجهیز در کاربردهایی که نیاز به کنترل دینامیکی توان راکتیو است (و توان راکتیو متوسط خروجی کمی دارند) بسیار مناسب است. با هماهنگی مناسب میان کنترل TSCها و TCR می توان کنترل کامل پیوسته داشت. جبران سازهای ترکیبی TCR+TSC با مشخصاتی نظیر کنترل پیوسته، عدم وجود حالات گذرا، هارمونیک کمتر (به دلیل سایز کوچک TCR در مقایسه با توان خازنی) و گرانی شناخته شده هستند. در صورت کاهش سایز TCR در ساختار ترکیبی، هزینه اندکی کاهش می یابند اما این کاهش در برابر هزینه TSCها و کنترل پیشرفته سیستم زیاد نیست.

### ۳-۴- کنترل جبران سازهای استاتیک توان راکتیو

کنترل مناسب ولتاژ ترمینال به صورت قابل ملاحظه ای قابلیت انتقال توان در سیستم قدرت را بالا می برد. به ویژه آن که رگولاسیون ولتاژ در ترمینال های خط انتقال، تغییرات سراسری ولتاژ را محدود کرده و ضمن جلوگیری از ناپایداری (فروپاشی)

ولتاژ، حاشیه پایداری گذرا در سیستم را بالا می‌برد. این در حالی است که با استفاده از کنترل مناسب ولتاژ ترمینال می‌توان نوسانات سیستم قدرت را میرا کرد.

برای لحاظ کردن ملاحظات سیستم، توان راکتیو SVC به‌گونه‌ای کنترل می‌شود تا ولتاژ نقاط خاص از شبکه را در مرجع از پیش تعیین شده حفظ کند. یک ساختار کنترلی که از SVC به‌عنوان جبران‌ساز توان راکتیو خط انتقال استفاده می‌کند در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۱: طرح کنترلی یک SVC

سیستم قدرت در ترمینال‌های SVC به‌صورت یک ژنراتور ( $V < \delta$ ) و یک امپدانس (مجموع امپدانس ژنراتور و خطوط انتقال) که تابعی از فرکانس زاویه‌ای شبکه ( $w$ ) و زمان ( $t$ ) است نشان داده شده است. وابستگی امپدانس قدرت ( $Z$ ) به زمان ( $t$ ) از وقوع خطاها و سوئیچینگ خطوط ناشی می‌شود.

SVC شامل بانک‌های TSC و TCR است که برای تنظیم دامنه جریان راکتیو کشیده شده (یا تزریق شده) به شبکه در مقدار مرجع از پیش تعیین شده کنترل می‌شوند. در حالت کنترل پایه SVC، SVC در نقش تنظیم‌کننده ایده‌آل ولتاژ ترمینال عمل می‌کند. برای این منظور دامنه ولتاژ ترمینال اندازه‌گیری شده و با مقدار مرجع ولتاژ مقایسه می‌گردد. سپس خطا به



کنترل کننده PI داده می شود تا مقدار جریان مرجع SVC را به دست دهد. به تعبیری دیگر جریان SVC مقدار مرجع  $I_r$  را دنبال خواهد کرد تا ولتاژ ترمینال در مقدار مرجع خود باقی بماند.

اگر در کاربردهای خاص، برای جبران سازی سیستم قدرت نیاز به تغییر مقدار مرجع ولتاژ نسبت به زمان باشد، سیگنال های اصلاحی تعیین شده به کمک ورودی های کمکی به مقدار مرجع ولتاژ اضافه می گردد. SVC به کمک کنترل حلقه بسته خود، این مقدار مرجع را دنبال خواهد کرد. ورودی های کمکی مورد استفاده عمدتاً شامل شیب رگولاسیون ولتاژ و میرا سازی نوسانات قدرت است.

### ۳-۴-۱ شیب رگولاسیون

در بسیاری از کاربردها، SVC به عنوان تنظیم کننده ایده آل ولتاژ ترمینال استفاده نمی شود. بلکه این اجازه به ولتاژ ترمینال داده می شود که ولتاژ ترمینال متناسب با جریان جبران سازی تغییر کند. این استراتژی مزایای فراوانی دارد. اولاً، ناحیه فعالیت خطی جبران ساز با ظرفیت خازنی و سلفی معلوم، افزایش می یابد. شیب رگولاسیون به این معناست که ولتاژ ترمینال در حالات جبران سازی خازنی حداکثری و جبران سازی حداکثری سلفی می تواند به ترتیب کمتر از ولتاژ بی باری و بالاتر از ولتاژ بی باری قرار داشته باشد. دوم، رگولاسیون ایده آل (بدون شیب) ممکن است در اثر انتخاب نامناسب مقدار مرجع ولتاژ ترمینال وارد ناحیه نوسان گردد. سوم، استفاده از کنترل شیب رگولاسیون منجر به اشتراک گذاری بار راکتیو بین SVC های گوناگون و دیگر دستگاه های تنظیم کننده ولتاژ می گردد [۱۰۳].

برای پیاده سازی "شیب افت کاهشی" دلخواه می توان از یک ورودی کمکی استفاده کرد. در این شیوه مقدار مرجع ولتاژ با ترمینال با ضریبی متناسبی از جریان جبران ساز SVC جمع می گردد و مقدار مرجع ولتاژ ترمینال اصلاح شده را به دست می دهد. این مقدار برابر است با:

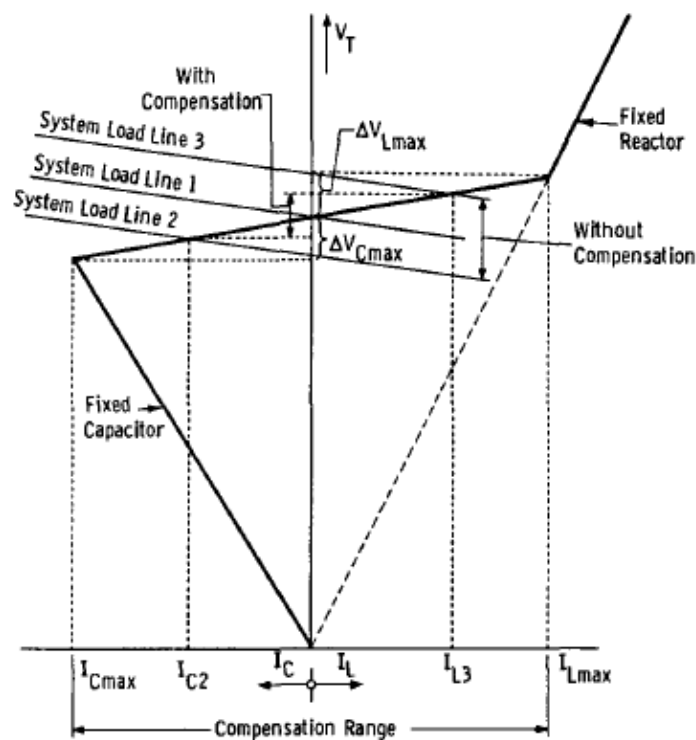
$$V_r^* = V_r + KI_{COMP}$$

رابطه فوق نشان دهنده آن است که مقدار مرجع ولتاژ تصحیح شده (و بنابراین مقدار دامنه ولتاژ اندازه گیری شده ترمینال) از نقطه ثابت بی باری تا نقطه حداکثر توان خازنی کاهش می یابد. پس از این نقطه، رفتار مانند خازن ثابت خواهد بود. به صورت

مشابه مقدار مرجع ولتاژ تصحیح شده (و بنابراین مقدار دامنه ولتاژ اندازه‌گیری ترمینال) در نقطه ثابت بی‌باری تا نقطه حداکثر توان سلفی افزایش می‌یابد. پس از این نقطه، رفتار مانند راکتور ثابت خواهد بود.

منحنی مشخصه ولتاژ ترمینال برحسب جریان خروجی (با شیب افت کاهشی معلوم) به همراه خطوط بار (مشخصه سیستم

AC) در شکل ۳-۱۲ نشان داده شده است [۱۰۱].



شکل ۳-۱۲: منحنی مشخصه V-I برای جبران‌ساز SVC

در شکل ۳-۱۲ خط بار ۱، مشخصه V-I مربوط به SVC را در ولتاژ نامی قطع می‌کند و بنابراین جریان جبران‌ساز صفر است. خط بار ۲ در زیر خط بار ۱ قرار دارد که ممکن است در اثر وقوع یک افت ولتاژ ایجاد شده باشد. خط بار ۳ در قسمت بالای خط بار ۱ قرار دارد این امر که ناشی از یک اضافه ولتاژ در سیستم قدرت است ممکن است در اثر خروج ناگهانی یک بار ایجاد شده باشد. نقطه تقاطع این خط بار با منحنی مشخصه V-I مربوط به SVC در قسمت سلفی قرار دارد. مطابق شکل، حضور SVC نرخ تغییرات ولتاژ را نسبت به حالت بدون جبران‌سازی به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش داده است.

### ۳-۴-۲ میرا سازی نوسانات قدرت

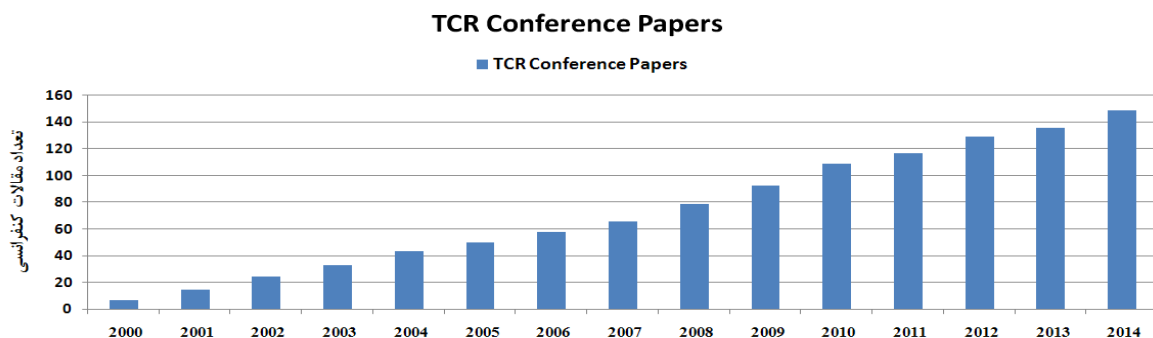
برای میرا سازی نوسانات سیستم قدرت، عمدتاً باید ولتاژ ترمینال SVC متناسب با نرخ تغییر زاویه روتور تغییر کند. تغییر زاویه روتور منجر به تغییرات فرکانس و توان حقیقی می شود. در عمل، عموماً تغییرات فرکانس سیستم یا توان حقیقی عبوری اندازه گیری می شود و برای کنترل توان راکتیو خروجی SVC و تنظیم ولتاژ ترمینال استفاده می گردد [۱۰۴].

در یک طرح امکان پذیر کنترلی از فرکانس نمونه گرفته شده و به مقدار مرجع ثابت ولتاژ به کمک یک ورودی اضافی، جمع می گردد. سیگنال اضافه شده، جریان خروجی SVC را وادار به قرار گرفتن در اطراف نقطه کار ثابت می کند تا به ارتقای پایداری سیستم کمک کند. برای این امر در صورت افزایش (یا کاهش) فرکانس، ولتاژ ترمینال افزایش می یابد (یا کاهش) تا مانع از افزایش (یا کاهش) بیشتر سرعت ژنراتور گردد.

### ۳-۵- وضعیت تحقیقات در زمینه Statcom

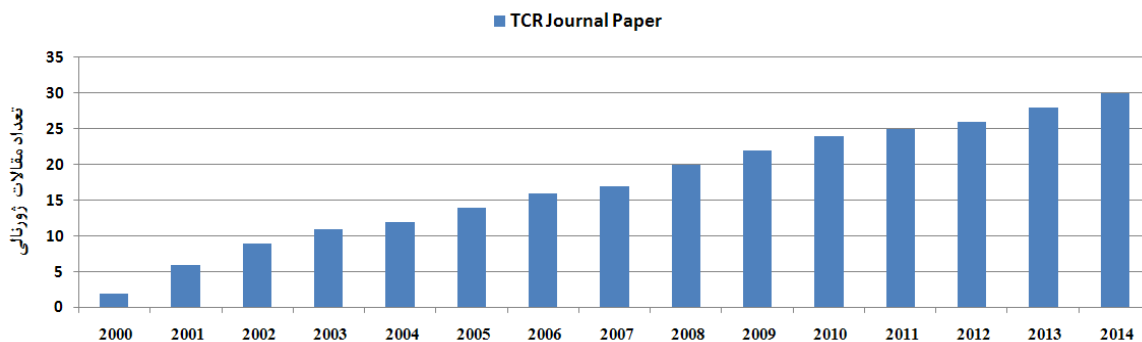
#### ۳-۵-۱ بررسی آماری مقالات تحقیقاتی منتشر شده در زمینه Statcom

طبق آمار انجمن مهندسی برق و الکترونیک آمریکا (IEEE) از سال ۲۰۰۰ تاکنون، تحقیقات در زمینه SVC وضعیتی ثابت و محدود داشته است. برای بررسی بهتر این موضوع پایگاه IEEE Xplore برای یافتن تحقیقات مرتبط (ژورنالی و کنفرانسی) جستجو شده است و نتایج آن در شکل ۳-۱۳ الی شکل ۳-۱۸ نمایش داده شده است. نتایج (اعم از مقالات و کنفرانس های) نامربوط با بررسی مناسب، از فهرست آماری حذف شده اند.



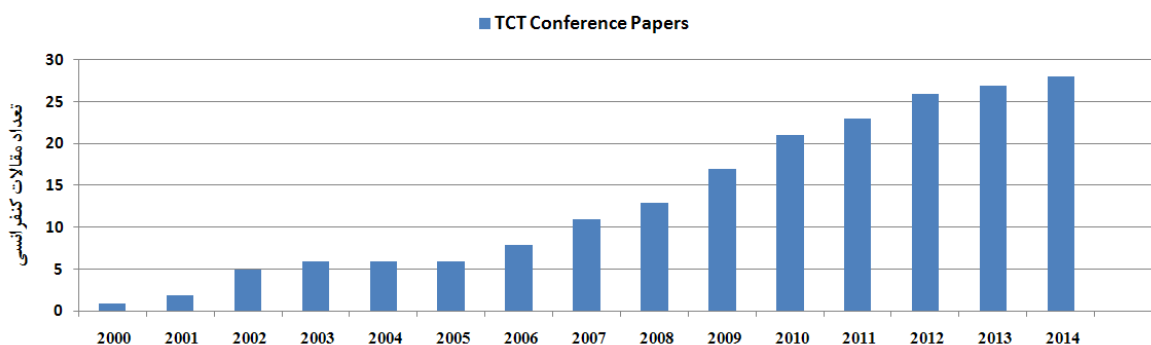
شکل ۳-۱۳: نمودار فراوانی جمعیتی کنفرانس های منتشر شده در سایت IEEE در زمینه TCR

### TCR Journal Paper



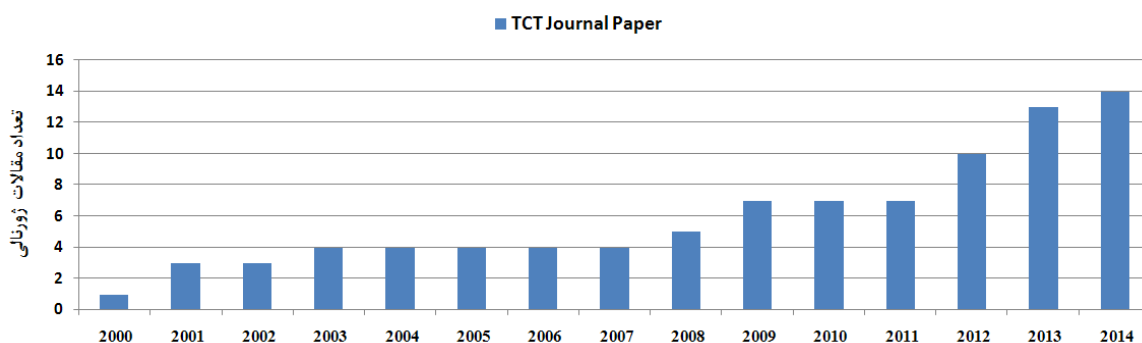
شکل ۳-۱۴: نمودار فراوانی تجمعی مقالات منتشرشده در سایت IEEE در زمینه TCR

### TCT Conference Papers



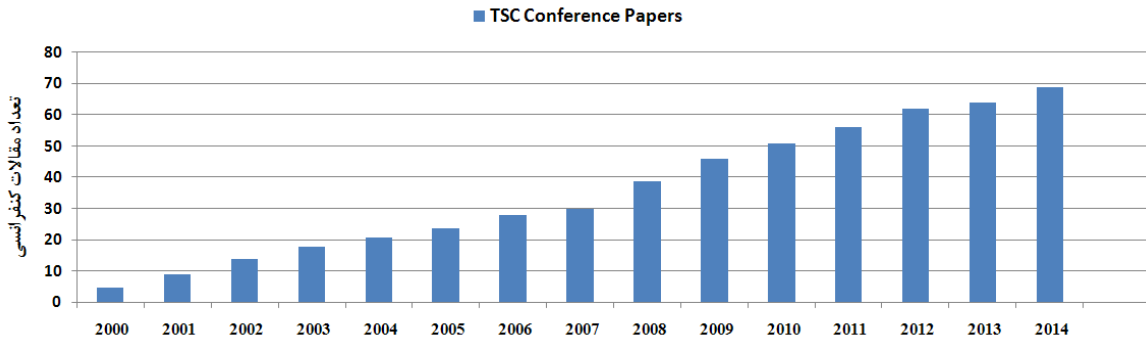
شکل ۳-۱۵: نمودار فراوانی تجمعی کنفرانس‌های منتشرشده در سایت IEEE در زمینه TCT

### TCT Journal Paper



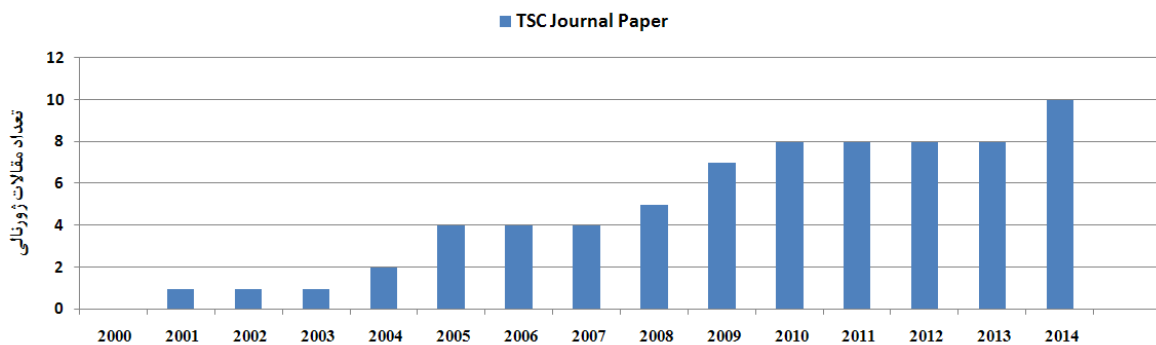
شکل ۳-۱۶: نمودار فراوانی تجمعی مقالات منتشرشده در سایت IEEE در زمینه TCT

### TSC Conference Papers



شکل ۳-۱۷: نمودار فراوانی تجمعی کنفرانس‌های منتشرشده در سایت IEEE در زمینه TSC

### TSC Journal Paper



شکل ۳-۱۸: نمودار فراوانی تجمعی مقالات منتشرشده در سایت IEEE در زمینه TSC

مطابق آمار استخراج‌شده، از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۱۴ تحقیقات اندکی در زمینه TCR منتشر شده است به‌گونه‌ای که در این بازه به‌صورت میانگین سالانه بترتیب ۲ و ۹/۹۳ مقاله ژورنال و کنفرانس در این خصوص منتشر شده است. همچنین در این بازه به‌صورت میانگین سالانه ۰/۷۳ و ۱/۸۶ مقاله ژورنال و کنفرانس در خصوص TCT منتشر شده است. نکته مهم نیز آن است که در برخی از موارد تحقیقاتی، ادوات SVC محور اصلی نبوده‌اند و صرفاً بخشی از سیستم بزرگ‌تر بوده‌اند که شامل تجهیزات کنترل‌کننده پیشرفت‌های نظیر Statcom بوده‌اند. در آخر در این بازه به‌صورت میانگین سالانه ۰/۶۶ و ۴/۶ مقاله ژورنال و کنفرانس در خصوص TSC منتشر شده است. آمار اندک مقالات ژورنالی و کنفرانسی چاپ‌شده در خصوص تجهیزات SVC نشان‌دهنده بلوغ این تکنولوژی است.

### ۳-۵-۲ بررسی پتنت‌های منتشرشده در زمینه SVC

جستجوگر اداره ثبت اختراعات اروپا [۳۱] یکی از کامل‌ترین بانک‌های اطلاعاتی پتنت‌های بین‌المللی است که اطلاعات مربوط به پتنت‌های اروپا، انگلیس، سازمان جهانی مالکیت فکری، ژاپن و حدود ۹۰ کشور دیگر را دارد. در این سایت امکان جستجوی پتنت‌ها با داشتن کد CPC و یا IPC مربوط به هر گروه از پتنت‌های مربوطه فراهم است. در زمینه الکترونیک قدرت با کاربرد SVC چندین زیرگروه مشارکت دارند. کد این زیرگروه‌ها به همراه توضیح مشخصات آن‌ها در جدول ۱-۳ آورده شده است.

جدول ۱-۳: کد بین‌المللی زیرشاخه‌های مرتبط به الکترونیک قدرت با کاربرد TCR

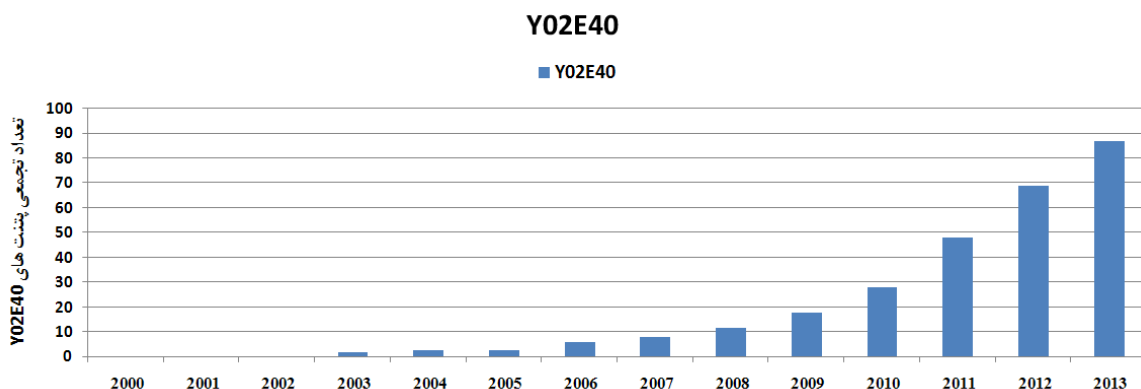
کد زیرگروه	مشخصات
Y02E40	فناوری‌های مرتبط با شبکه تولید، انتقال و توزیع توان
H02J3	ساختارهای مداری برای شبکه AC یا سیستم توزیع AC با تکیه بر جنبه‌های مدیریت، برنامه‌ریزی و کنترل
G05F1/00	سیستم‌های تنظیم خودکار
Y02E10	استخراج انرژی از منابع تجدیدپذیر
Y02E60	فناوری‌های مؤثر در کاهش گازهای گلخانه‌ای

جدول ۲-۳: کد بین‌المللی زیرشاخه‌های مرتبط به الکترونیک قدرت با کاربرد TSC

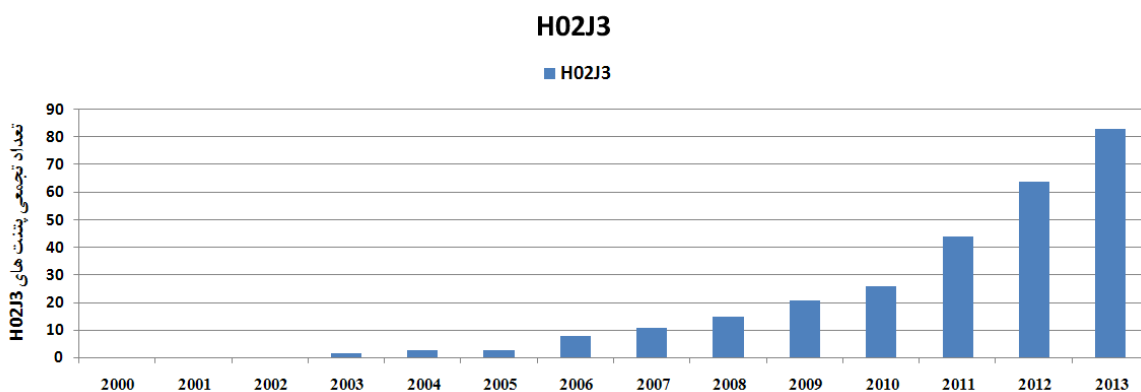
کد زیرگروه	مشخصات
Y02E40	فناوری‌های مرتبط با شبکه تولید، انتقال و توزیع توان
H02J3	ساختارهای مداری برای شبکه AC یا سیستم توزیع AC با تکیه بر جنبه‌های مدیریت، برنامه‌ریزی و کنترل
H03K17	سوئیچینگ الکترونیکی بدون تماس مکانیکی
G05F1/00	سیستم‌های تنظیم خودکار
H02M1	جزئیات سیستم تبدیل انرژی

با بررسی در زیرگروه‌های مذکور از بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴، نتایج به در قالب شکل ۳-۱۹ الی شکل ۳-۳۰ به

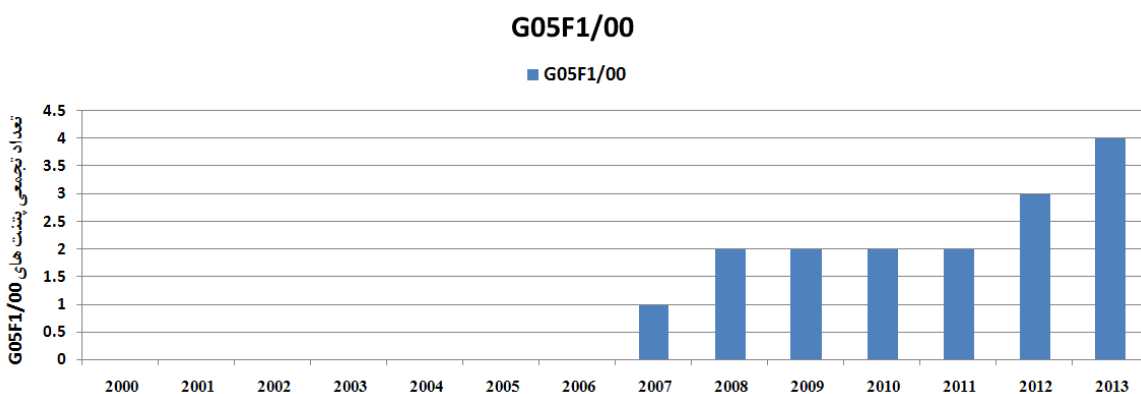
نمایش درآمده است.



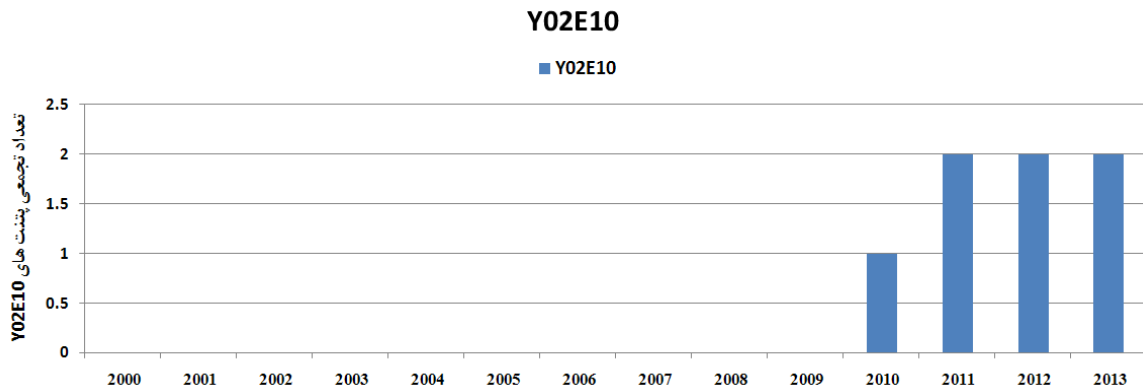
شکل ۳-۱۹: نمودار فراوانی تجمعی پتنت های ارائه شده در زیرشاخه Y02E40 مربوط به TCR



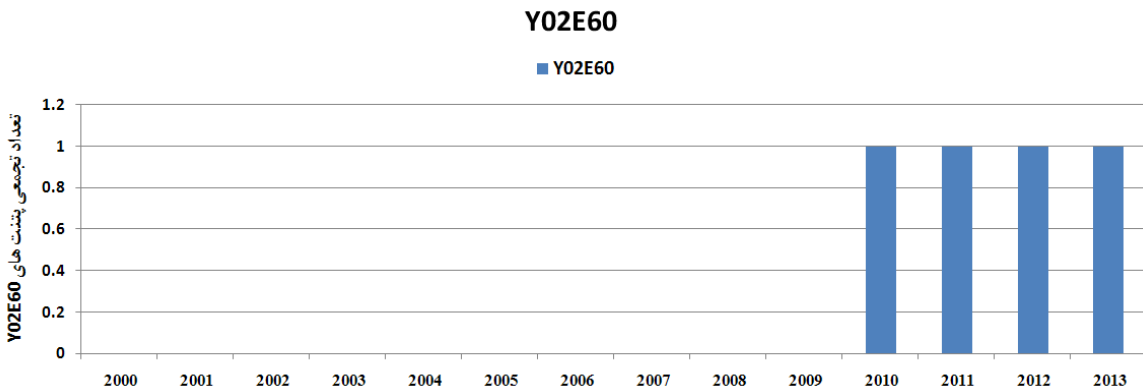
شکل ۳-۲۰: نمودار فراوانی تجمعی پتنت های ارائه شده در زیرشاخه H02J3 مربوط به TCR



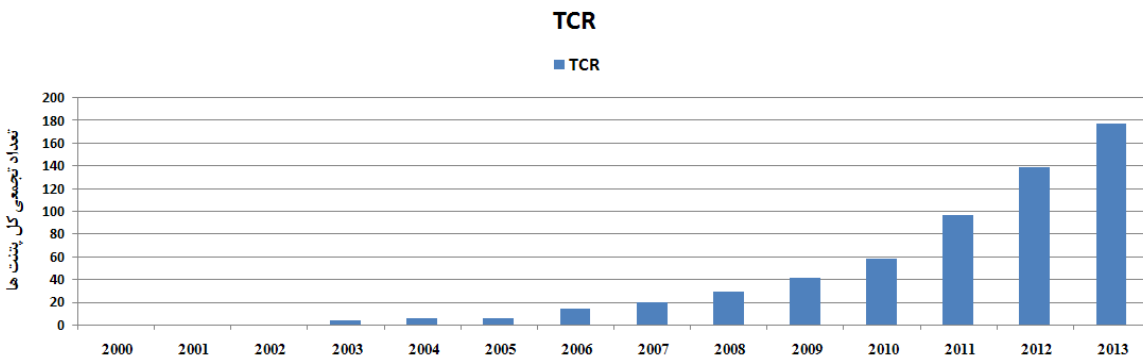
شکل ۳-۲۱: نمودار فراوانی تجمعی پتنت های ارائه شده در زیرشاخه G05F1/00 مربوط به TCR



شکل ۳-۲۲: نمودار فراوانی تجمعی پتنت های ارائه شده در زیرشاخه Y02E10 مربوط به TCR

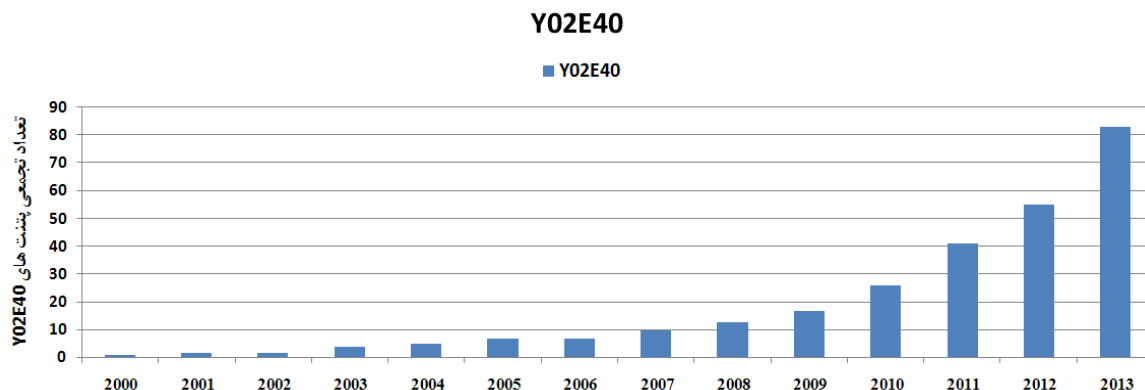


شکل ۳-۲۳: نمودار فراوانی تجمعی پتنت های ارائه شده در زیرشاخه Y02E60 مربوط به TCR

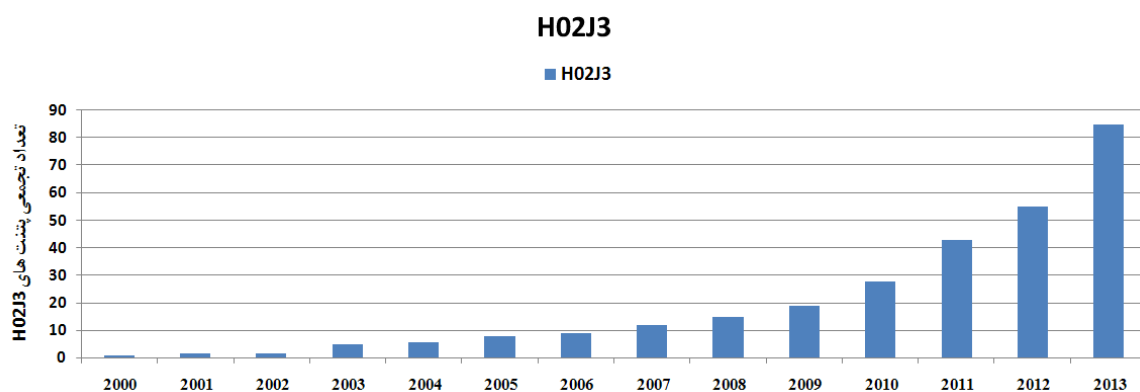


شکل ۳-۲۴: نمودار تجمعی پتنت های ارائه شده در تمامی زیرشاخه های مربوط به TCR

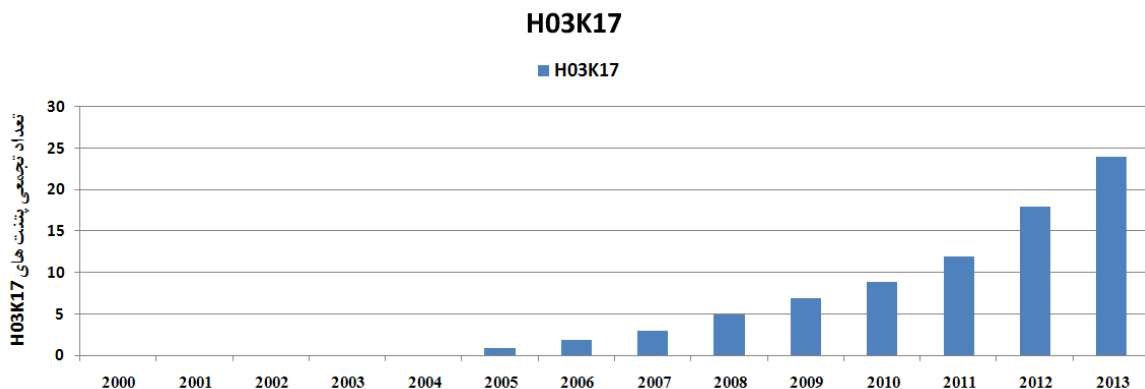




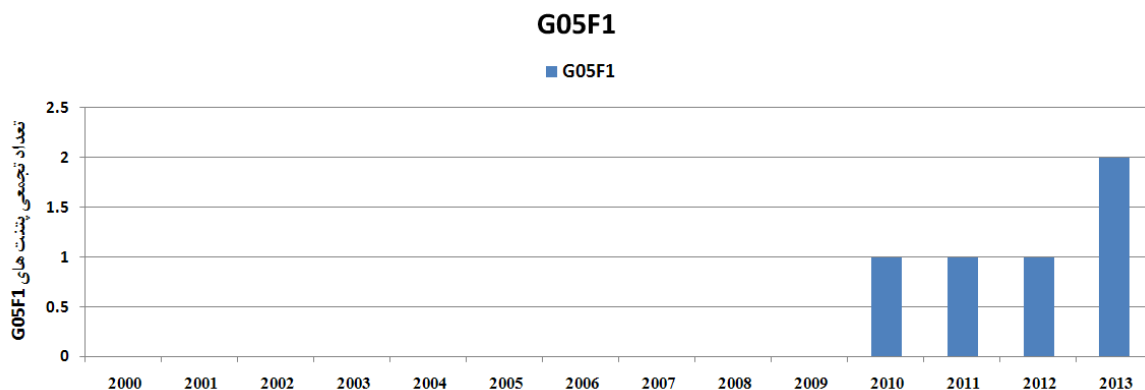
شکل ۳-۲۵: نمودار فراوانی تجمعی پتنت های ارائه شده در زیرشاخه Y02E40 مربوط به TSC



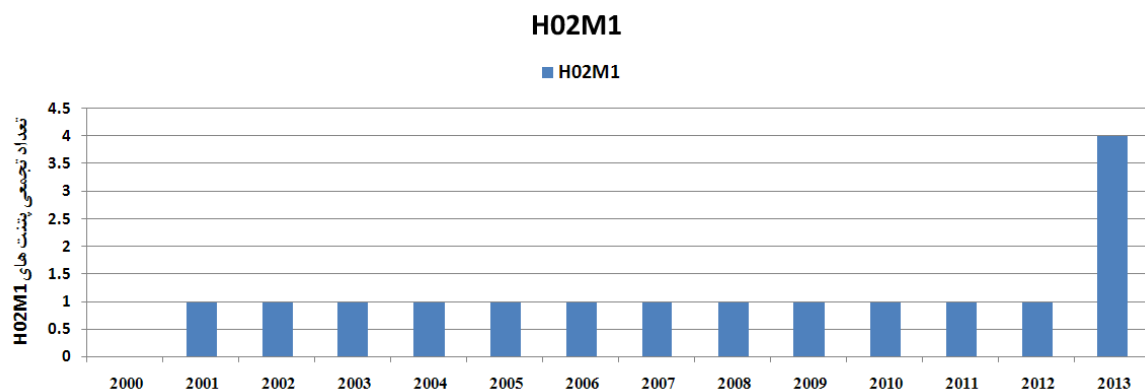
شکل ۳-۲۶: نمودار فراوانی تجمعی پتنت های ارائه شده در زیرشاخه H02J3 مربوط به TSC



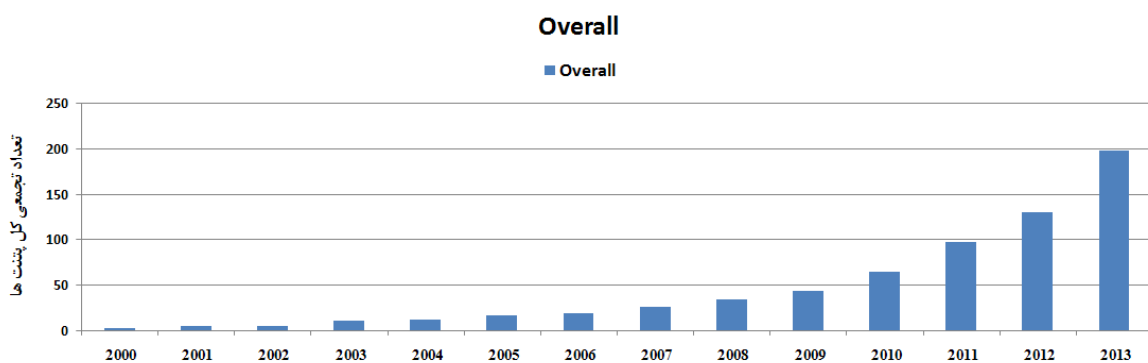
شکل ۳-۲۷: نمودار فراوانی تجمعی پتنت های ارائه شده در زیرشاخه H03K17 مربوط به TSC



شکل ۳-۲۸: نمودار فراوانی تجمعی پتنت های ارائه شده در زیرشاخه G05F1 مربوط به TSC



شکل ۳-۲۹: نمودار فراوانی تجمعی پتنت های ارائه شده در زیرشاخه H02M1 مربوط به TSC



شکل ۳-۳۰: نمودار تجمعی پتنت های ارائه شده در تمامی زیرشاخه های مربوط به TSC

همان گونه که مشخص است کدهای Y02E40 (فناوری‌های مرتبط با شبکه تولید، انتقال و توزیع توان) و H02J3 (ساختارهای مداری برای شبکه AC یا سیستم توزیع AC با تکیه بر جنبه‌های مدیریت، برنامه‌ریزی و کنترل) بیشترین آمار پتنت‌ها را در هر دو تجهیز TSC و TCR به خود اختصاص داده‌اند. در تجهیز TCR پس از آن‌ها زیرگروه G05F/00 (سیستم‌های تنظیم خودکار) و در پی آن Y02E10 (استخراج انرژی از منابع تجدیدپذیر) و Y02E60 (فناوری‌های مؤثر در کاهش گازهای گلخانه‌ای) در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. در تجهیز TSC پس از آن‌ها زیرگروه H03K17 (سوئیچینگ الکترونیکی بدون تماس مکانیکی) و در پی آن G05F1 (سیستم‌های تنظیم خودکار) و H02M1 (جزئیات سیستم تبدیل انرژی) در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند.

همان گونه که مشاهده می‌شود از سال ۲۰۰۹ شیب نمودارها افزایش پیدا کرده است. با توجه به بلوغ تکنولوژی SVC این موضوع قدری تعجب برانگیز است. با توجه به این موضوع رویه‌های تحقیقاتی ثبت شده در پتنت‌های بین‌المللی در مورد TSC و TCR در بازه‌های ماقبل سال ۲۰۰۹ و بعد از آن جداگانه بررسی می‌شود.

در خصوص تکنولوژی TCR، موضوعات تحقیقاتی ثبت شده در پتنت‌های بین‌المللی ماقبل سال ۲۰۰۹ میلادی شامل موارد زیر بوده‌اند:

- کاربرد TCR در صنایع (راه‌آهن، کوره، معدن، حفاری)
- کاهش تلفات هدایتی TCR
- هماهنگی TCR با کندانسور، OLTC و ...
- بهره‌گیری دوگانه از مبدل HVDC با کموتاسیون خط در نقش SVC
- ترکیب TCR با TSC و FC و ... به منظور دستیابی به مشخصات خروجی متناسب
- کاربرد کنترل‌کننده‌های غیرخطی در TCR
- مطالعات طراحی راکتور

از سویی دیگر با گسترده شدن و پذیرش تکنولوژی Statcom (که یکی از عوامل آن مطرح شده ایده مبدل‌های ماژولار است) و سایر فناوری‌های مبتنی بر مبدل‌های منبع ولتاژ، از سال ۲۰۰۹ تعداد پتنت‌های منتشر شده افزایش پیدا کرده است. در

زمینه تکنولوژی TCR، موضوعات تحقیقاتی ثبت شده در پتنت‌های بین‌المللی بعد از سال ۲۰۰۹ میلادی شامل موارد زیر بوده‌اند:

- کاربرد فیلتر فعال به منظور بهبود مشخصات هارمونیک TCR
- کاربرد TCR در کنار Statcom و هماهنگی آن‌ها
- کنترل TCR با میکروکنترلرهای جدید DSP و FPGA
- شبیه‌سازی SVC بر شبیه‌ساز زمان واقعی
- پیش‌بینی توان راکتیو موردنیاز شبکه و دنبال کردن آن به کمک TCR
- تمرکز بر ساخت SVC های قابل حمل و نقل
- تولید نرم‌افزارهای جدید برای شبیه‌سازی SVC
- کنترل TCR به کمک شبکه فازی-عصبی، تخمین گر حالت و ...
- کنترل آشوب در شبکه به کمک SVC
- سازگاری SVC با سیستم کنترل PLC
- تخمین پارامترهای شبکه AC به کمک SVC
- طراحی راکتورهای پیشرفته
- ایجاد هماهنگی میان SVC و مزارع باد

در خصوص تکنولوژی TSC، موضوعات تحقیقاتی ثبت شده در پتنت‌های بین‌المللی ماقبل سال ۲۰۰۹ میلادی شامل موارد زیر بوده‌اند. بایستی در نظر داشت که در اکثر پتنت‌های ثبت شده تجهیز TSC در کنار بقیه تجهیزات FACTS بوده است.

- مدارات درایو گیت تریستور
- منابع تغذیه داخل SVC
- جبران‌سازی دینامیک عدم تعادل سه فاز
- سنکرون سازی با شبکه (مدارات تشخیص گذر از صفر)

با در نظر داشتن تکنولوژی TSC، موضوعات تحقیقاتی ثبت شده در پتنت‌های بین‌المللی بعد از سال ۲۰۰۹ میلادی شامل

موارد زیر بوده‌اند:

- جبران‌سازی توان راکتیو هیبرید
- کاربرد ادوات جبران‌سازی ترکیبی توان راکتیو راه‌آهن
- هماهنگی TSC و برقریب به‌منظور کاهش اثرات مخرب TSC
- کنترل سیستم‌های ترکیبی توان راکتیو برای کاهش هارمونیک، افزایش کیفیت توان، بهبود پاسخ مزارع باد، کاهش جریان‌های هجومی، کاهش فلیکر
- طراحی ولو‌های جدید تریستوری به‌منظور مدیریت بهتر حرارتی
- سازگاری TSC با پروتکل‌های ارتباطی

نرخ ثابت و اندک تحقیقات در کنار شیب بالا رونده پتنت‌های ثبت شده بیانگر آن است که به‌رغم بلوغ دانش مربوط به

تجهیزات SVC، بازار مربوط به آن‌ها حفظ شده و در آینده نزدیک نیز پایدار خواهد بود.

### ۳-۶- وضعیت بازار SVC در جهان

ادوات FACTS که از تجهیزات استاتیک الکترونیک قدرت تشکیل شده‌اند، امکان کنترل‌پذیری و انتقال بیشتر توان از

شبکه الکتریکی را فراهم می‌کنند. به‌صورت کلی تلاش برای ارتقای امنیت و پایداری شبکه و ارتقاء کیفیت توان فرصت

مناسبی برای حضور بیشتر ادوات FACTS فراهم کرده است. با تمرکز بر بخش بازار، ادوات FACTS را می‌توان حول سه

محور نوع جبران‌سازی، صنعت مورد استفاده و جغرافیا تقسیم‌بندی کرد. هر کدام از محورها را نیز می‌توان تقسیم‌بندی کرد.

از تجهیزات اساسی (مورد استفاده در بازار) ادوات FACTS می‌توان به انواع SVC، Statcom، FSC، TCSC و UPFC

اشاره کرد. SVC پرکاربردترین تجهیز FACTS است و ۹۰٪ بازار جبران‌ساز موازی (SVC و Statcom) در سال ۲۰۱۳ را

تشکیل می‌دهد. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۱۸، SVC همچنان بیشترین سهم بازار را داشته باشد.

بازار ادوات FACTS از منظر صنعت را می‌توان به بخش‌های شبکه‌های برق، صنعت فولاد، معدن، توربین‌های بادی و راه‌آهن برقی تقسیم‌بندی کرد. در بین صنایع فوق بیشترین سهم بازار به ترتیب متعلق به شبکه برق، صنایع فولاد و معدن است. عوامل جغرافیایی، پارامترهایی نظیر مقررات محیط‌زیستی، حق زمین و مقررات و استانداردهای حکومتی در خصوص احداث خطوط انتقال جدید از عوامل مؤثر بر گسترش بیشتر ادوات FACTS هستند.

بازار ادوات FACTS را از منظر جغرافیا نیز می‌توان به چهار قسمت، آمریکا، اروپا، APAC و ROW<sup>۱</sup> تقسیم‌بندی کرد. در سال ۲۰۱۲ آمریکا بزرگ‌ترین بازار برای ادوات FACTS بوده است. پیش‌بینی شده تا سال ۲۰۱۸ آمریکا همچنان بازار مصرف پیش‌تاز این تجهیزات باشد. در سوئی دیگر منطقه APAC با رشد سریع صنعتی، بازار روبه رشدی برای ادوات FACTS دارد. پیش‌بینی شده است در سال ۲۰۱۸ حجم بازار ادوات FACTS در ناحیه APAC بیشتر از آمریکا باشد. دست‌آخر آنکه، به دلیل الزامات و ایجاد انگیزه‌های حکومتی در اروپا برای گسترش توان بادی، پیش‌بینی شده است که حجم بازار ادوات FACTS در اروپا گسترش یابد [۱۰۰].

با توجه به جمیع موارد یادشده، پیش‌بینی شده است که حجم بازار تجهیزات FACTS از عدد ۹۱۲/۸۵ میلیون دلار در سال ۲۰۱۲ به عدد یک میلیارد و ۳۸۶ میلیون دلار در سال ۲۰۱۸ برسد که نشانگر رشد سالانه ۷/۲۳ درصدی است. از سوئی دیگر مطابق پیش‌بینی بریتانیا بازار ادوات FACTS در سال ۲۰۱۱ برابر ۴۶۲/۱۱ میلیون دلار با رشد ۱۰٪ بوده است [۱۰۵].

### ۳-۷- بررسی تولیدکنندگان جهانی SVC

بنا بر آمار Research and Markets، کمپانی‌های ABB (شاخه سوئیس)، ALSTOM (فرانسه)، Siemens (آلمان)، Mitsubishi Electric (ژاپن)، توشیبا (ژاپن)، Fuji Electric، Rongxin Power Electronic و Shandong Taikai و Power Electronic Company از تولیدکنندگان SVC به شمار می‌روند. [۱۰۶] تولیدات و پروژه‌های انجام شده کمپانی‌های برتر در جدول ۳-۳ نشان داده شده است.

جدول ۳-۳: کمپانی‌های برتر در زمینه تولید SVC و ظرفیت محصولات آن‌ها

نوع سیستم	حداکثر توان SVC	محل اصلی پروژه‌های اجرا شده	شرکت
TCR/TSC/FC/ MSC	±300 MVAR	Mongolia, 220 KV, ± 100 MVAR, Water cooled, 2012, Brazil, 220 KV, -75 to 150 MVAR, Water cooled, 2013 Congo, 220 KV, ±75 MVAR, 2013 Sweden, 21.5 KV, 0-41 MVAR, 2013 Canada, 735 KV, ±300 MVAR, 2011	ABB
MSR/MSC/TC R/TSC/FC		Brazil, 345/15 KV, -60 to +100 MVAR New Zealand, 230 KV, ±100 MVAR	ALSTOM
TCR/TSC/FC	1000 MVA	KotaBaja Mainstation SMS, 30 KV, -(2*130) to 150 MVAR, 1983 Chini, 11 KV, -240 to 250 MVAR, 1998 Bom Jesus da Lapa, 500 KV, -360 to 250 MVAR, 2003 Saudi Arabia, 400 KV, -200 to 6000 MVAR, 2012 Saudi Arabia, 400 KV, -150 to 450 MVAR, 2011	Siemens
		Japan, 500 KV, -20 to 80 MVAR, Japan, -40 MVAR, Relocateable,	Toshiba
Water cooled, DSP controlled	300 MVAR		Rongxin Power Electronic

جدول ۳-۳ فهرست شرکت‌های تولیدکننده SVC، آخرین تولیدات آن‌ها و میزان فروش آن‌ها را بیان کرده است. اطلاعات فوق از وبسایت شرکت‌ها استخراج شده است. بر مبنای نتایج مطالعه، شرکت (یا سازمان)‌های جهانی قادر هستند SVC تا مرز ظرفیت 1000 MVAR تولید کنند. در ادامه به بررسی بیشتر نتایج حاصل شده می‌پردازیم.

با در نظر داشتن میزان فروش (مطابق بررسی پروژه‌های نصب‌شده در سراسر جهان)، شرکت‌های ABB و Siemens پرفروش‌ترین شرکت‌های جهانی بوده‌اند. از سوی دیگر شرکت Rongxin Power Electronics سهم بازار بالایی در چین دارد.

### ۳-۸- بررسی مقایسه‌ای هزینه مبدل‌های SVC

برای بررسی مقایسه‌ای هزینه SVC عمدتاً از اطلاعات دو مرجع [۱۰۷] و [۱۰۸] استفاده شده است. این دو مرجع نیز هزینه‌های تخمینی را بر طبق گزارش‌های EPRI و استعلام از سازندگان به دست آورده‌اند. اگرچه هزینه‌های تخمینی ارائه شده توسط دو مرجع متفاوت هستند، برخی نکات کلی بین آن‌ها مشترک هستند. بر طبق اطلاعات ارائه شده، هزینه بخش کنترل شده SVC برابر ۴۰ دلار بر کیلووار است. این هزینه در برابر خازن موازی (باقیمت ۸ دلار بر کیلووار) و Statcom (باقیمت ۵۰ دلار بر کیلووار) به ترتیب گران‌تر و ارزان‌تر است. هزینه سایر ساختارهای FACTS نیز برای مقایسه در جدول ۳-۴ ذکر شده‌اند.

جدول ۳-۴: مقایسه هزینه‌های ادوات مختلف FACTS

نوع تجهیز	تخمین مرجع [۱۰۷]	تخمین مرجع [۱۰۸]
خازن موازی	8 \$/KVAR	***
خازن سوئیچ شونده مکانیکی	***	<50 \$/KVAR
راکتور موازی سوئیچ شونده مکانیکی	***	<50 \$/KVAR
خازن سری	20 \$/KVAR	***
TSC	***	<50 \$/KVAR
SVC	40 \$/Kvar (Controlled Part)	80 \$/KVAR
TCSC	40 \$/Kvar (Controlled Part)	***
Statcom	50 \$/KVAR	150 \$/KVAR (3-Phase) 200 \$/KVAR (1-Phase)
UPFC-Series Portion	50 \$/KW series power flow	***
UPFC-Shunt Portion	50 \$/KVAR controlled part	***



## فصل چهارم

جبران ساز استاتیک StatCom

## ۴- فصل چهارم جبران ساز استاتیک StatCom

### ۴-۱- مقدمه

ادوات جبران ساز توان راکتیو مبتنی بر سوئیچ‌های الکترونیک قدرت ترისტوری در سال ۱۹۷۰ گسترش یافتند. این تجهیزات به صورت TCR یا TSC و یا به صورت ترکیب آن‌ها با فیلترهای پسیو (برای جذب هارمونیک‌های تولیدشده از فرآیند سوئیچینگ مبدل‌های الکترونیک قدرت) استفاده می‌شوند. این تجهیزات اساساً از امپدانس متغیر برای کنترل توان راکتیو استفاده می‌کنند. به صورت مثال، TCR، میزان راکتور دیده‌شده از سمت شبکه را با کنترل زاویه آتش تنظیم می‌کند. این تکنولوژی به حد بلوغ رسیده است اما درجه انعطاف‌پذیری عملکردی این تجهیز کم است.

با ابداع تکنولوژی مبدل‌های منبع ولتاژ که از سوئیچ‌های کموتاسیون خودی نظیر GTO، IGBT، JEGT، IGCT (Injection – Enhanced Gate Transistor) و GCT استفاده می‌کنند، گونه‌های جدیدی از ادوات FACTS نظیر Statcom و UPFC به وجود آمده‌اند. مبدل VSC (که DC/AC نیز نامیده می‌شود) پایه اساسی تجهیزات جدید FACTS است.

این مبدل‌ها از طریق کنترل مناسب جبران راکتیو (از طریق سوئیچینگ)، توان راکتیو مبادله شده با شبکه را کنترل می‌کنند. ویژگی‌های نظیر زمان سریع پاسخ، حجم فیزیکی کم، پروفیل ولتاژ مناسب، انعطاف‌پذیری کنترلی بالا و پاسخ دینامیکی مناسب از مشخصه‌های Statcom است. این تجهیز تحت نام‌های<sup>۱</sup>ASVC،<sup>۲</sup>ASVG،<sup>۳</sup>Statcom،<sup>۴</sup>SVG،<sup>۵</sup>SSVC و<sup>۶</sup>SSC نیز شناخته می‌شود. مرکز EPRI<sup>۷</sup> در آمریکا، مرکزی پیشرو در زمینه تحقیقات و شریک مؤثری در تعدادی از پروژه‌های فعلی Statcom بوده است. شرکتهایی نظیر GE، زیمنس، ABB، ALSTOM، Mitsubishi، Toshiba به همراه مراکز

1 Advanced Static VAR Compensator

2 Advanced Static VAR Generator

3 Static Condenser

4 Static VAR Generator

5 Synchronous Solid VAR Compensator

6 Static Synchronous Compensator

7 Electric Power Research Institute

تحقیقاتی نقش مهمی در ساخت و نصب پروژه‌های Statcom در سراسر دنیا داشته‌اند. به دلیل ویژگی‌های ذاتی (نظیر یک درجه آزادی کنترلی بیشتر) این تجهیز کیفیت کنترلی بالاتری نسبت به SVC دارد.

مبدل‌های منبع ولتاژ مبتنی بر GTO در ظرفیت توان بالا تجاری‌سازی شده‌اند. این مبدل‌ها (مبتنی بر GTO) عموماً در فرکانس پایه کلیدزنی می‌شوند. اگرچه تجهیزات IGBT و IGCT نیز هم‌اکنون ظرفیت توانی بالایی دارند، اکثراً در کاربردهای با توان کم و متوسط مورد استفاده می‌گیرند و عمدتاً با تکنیک PWM (1-3 KHZ) کلیدزنی می‌شوند. استفاده از این تجهیزات سوئیچینگ در کاربردهای توان بالا هنوز به صورت کامل تجاری‌سازی نشده است و محدود است. هم‌اکنون دو نوع ساختار پل‌های VSC شامل چند پالسه و چند سطحی عمدتاً به کمک تکنیک‌هایی نظیر سوئیچینگ فرکانس پایه، PWM یا هارمونیک انتخابی کلیدزنی می‌شوند. در کاربردهای با توان بالا عموماً از مبدل GTO-VSC با کلیدزنی فرکانس پایه استفاده می‌گردد.

طرح جدیدی به منظور عبور از تکنیک‌های سوئیچینگ PWM و مبدل‌های چند سطحی با کلیدزنی فرکانس پایه پیشنهاد شده است. در این طرح، یک ولتاژ DC چند سطحی در قسمت DC مبدل VSC تزریق می‌شود تا مرتبه پالس‌های خروجی (بدون استفاده از مبدل VSC دیگر) چند برابر گردد. با اقتصادی شدن این روش، صرفه‌جویی فراوانی در زمینه تجهیزات حالت جامد و تجهیزات مغناطیسی صورت خواهد پذیرفت.

## ۴-۲- معرفی Statcom

مبدل VSC، پایه اساسی Statcom است و ترکیبی از سوئیچ‌های باقابلیت کموتاسیون خودی (نظیر GTO، IGBT، IGCT و غیره) و دیودهای موازی معکوس است. سوئیچ‌های قدرت به کاررفته به صورت موج مربعی (و کلیدزنی فرکانس پایه) یا PWM (با فرکانس کلیدزنی بالا) یا حذف هارمونیک انتخابی (و کلیدزنی با فرکانس کم) کلیدزنی خواهند شد. یک منبع ولتاژ DC در سمت ورودی مبدل VSC وجود دارد که عمدتاً توسط یک خازن ایجاد می‌گردد. خروجی مبدل VSC نیز یک موج چند سطحی است که سینوسی در نظر گرفته می‌شود. در مبدل VSC، کلیدهای قدرت عمل اینورتری را انجام می‌دهند و دیودهای موازی معکوس عملکرد یکسوسازی دارند [۱۰۹].

عموماً Statcom از واحدهای VSC شش پالس، خازن‌های سمت DC (در نقش ذخیره‌ساز انرژی)، واسط‌های مغناطیسی (نظیر ترانس‌های واسط) و یک کنترل‌کننده تشکیل شده است.

هدف اصلی Statcom ایجاد یک ولتاژ AC خروجی سه فاز بی هارمونیک و قابل کنترل در نقطه PCC است تا بتوان با کنترل جریان راکتیو مبادله شده با شبکه، میزان توان راکتیو مبادله شده با شبکه را تنظیم کرد. Statcom به دلیل برخورداری از درجه آزادی کنترلی، امکان کنترل توان حقیقی عبوری را به شرط وجود یک منبع توان مانند ذخیره‌سازهای انرژی نیز دارد هرچند که در برخی از تکنیک‌های سوئیچینگ ممکن است از این قابلیت استفاده نشود. در نتیجه Statcom قابلیت عملکرد چهار ربعی را دارد. رابطه توان تولیدی Statcom به‌قرار زیر است [۱۱۰]:

$$S = \frac{V_s V_c}{X_L} \sin \alpha - J \left( \frac{V_s V_c}{X_L} \cos \alpha - \frac{V_s^2}{X_L} \right) = P - JQ$$

در رابطه فوق  $S$ ،  $P$ ،  $Q$ ،  $V_s$ ،  $V_c$ ،  $X_L$  و  $f$  به ترتیب برابر توان ظاهری، توان حقیقی، توان موهومی، ولتاژ شبکه، ولتاژ خروجی Statcom، راکتانس نشتی، فرکانس سیستم و اختلاف فاز میان  $V_s$  و  $V_c$  هستند. توان حقیقی و موهومی مبادله شده به ترتیب با تغییرات و اختلاف دامنه‌های ولتاژ  $V_s$  و  $V_c$  کنترل می‌شوند.

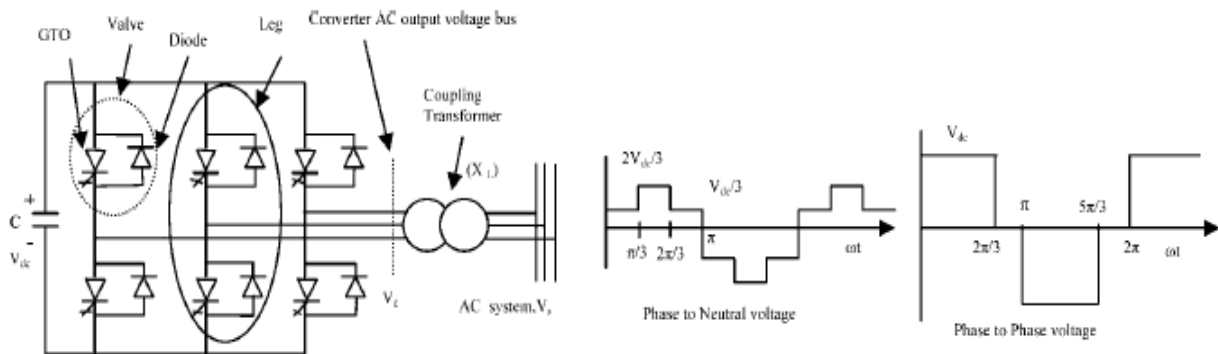
برای مقدار پس‌فاز و پیش‌فاز  $\alpha$ ، توان حقیقی از Statcom به شبکه و بالعکس منتقل خواهد شد. در صورتی که  $(\alpha=0)$  باشد، توان موهومی مبادله شده برابر است با:

$$Q = \frac{V_s}{X_L} (V_c - V_s)$$

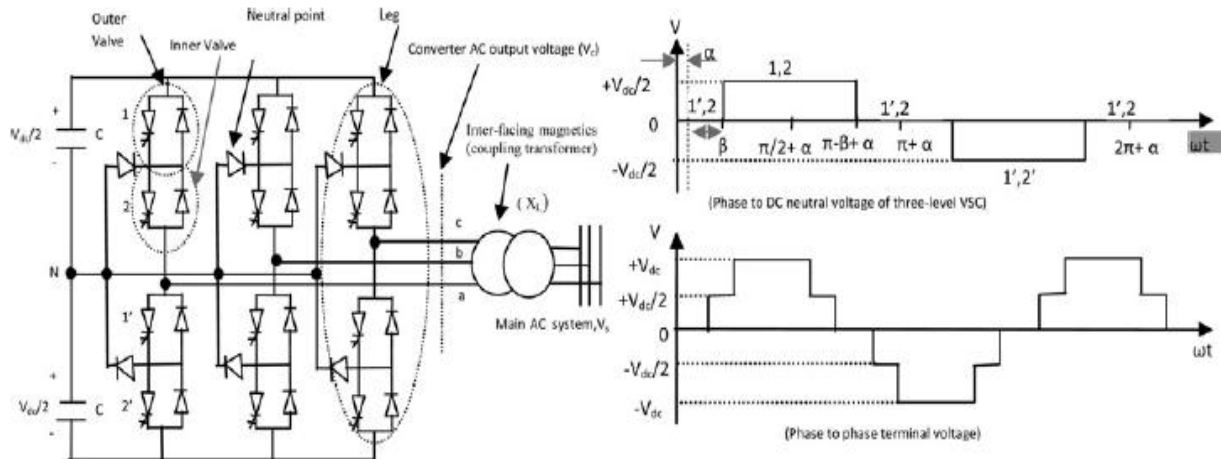
در استراتژی کلیدزنی فرکانس پایه، دامنه ولتاژ خروجی Statcom ( $V_c$ ) از ولتاژ لینک DC نشأت می‌گیرد و توسط آن قابل کنترل است. از سوی دیگر فاز ولتاژ خروجی Statcom نسبت به ولتاژ شبکه به کمک کنترل زاویه  $\alpha$  ممکن است.

در استراتژی کلیدزنی PWM، با وجود دو درجه آزادی، دامنه و فاز ولتاژ خروجی را به کمک کنترل ضریب مدولاسیون  $m$  می‌توان کنترل کرد. هرچند که این روش در تجهیزات با قدرت بالا عملی نیست.

ساختار و تشکیل موج‌های دو ساختار دوسطحی و سه سطحی متداول که از تکنیک سوئیچینگ فرکانس پایه استفاده می‌کنند در شکل ۱-۴ و شکل ۲-۴ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱: مبدل VSC پایه دوسطحی و شش پالسه و ولتاژ خروجی AC آن در حالت موج مربعی

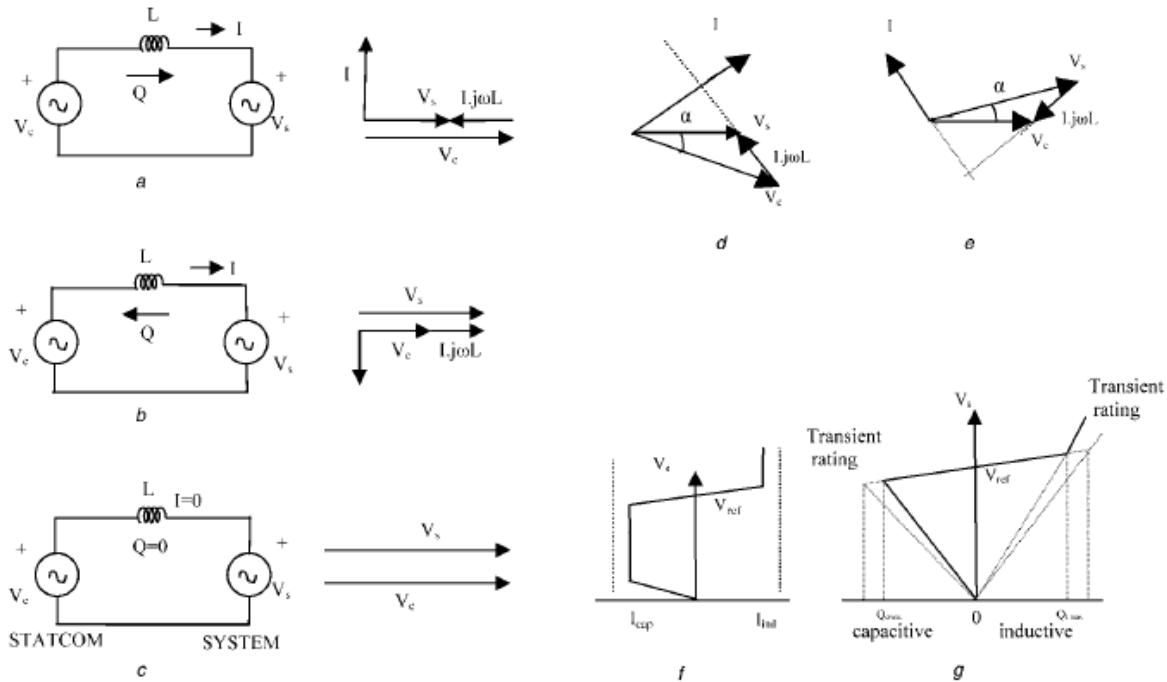


شکل ۴-۲: ساختار پل مبدل سه سطحی شش پالسه و ولتاژ AC خروجی آن در حالت موج مربعی

در عمل، Statcom جریانی (تقریباً) سینوسی با اختلاف فاز مشخص نسبت به ولتاژ شبکه، به شبکه تزریق می کنند که بیانگر جریانی راکتیو است (فرض  $\alpha=0$ ). به کمک کنترل این جریان (با تنظیم دامنه ولتاژ خروجی Statcom) می توان میزان توان راکتیو مبادله شده با شبکه را تنظیم کرد. دامنه و فاز جریان تزریقی Statcom به دامنه ولتاژ خروجی Statcom و اختلاف فاز آن نسبت به ولتاژ شبکه وابسته است. در صورتی که  $V_S$  (دامنه ولتاژ شبکه) بزرگ تر از  $V_C$  (دامنه ولتاژ، Statcom) باشد، Statcom در حالت خازنی به شبکه توان راکتیو تزریق خواهد کرد، در صورتی که  $V_C < V_S$ ، Statcom در حالت راکتوری، از شبکه توان راکتیو جذب خواهد کرد؛ و در نهایت در صورتی که  $V_S = V_C$  باشد، هیچ گونه مبادله توان راکتیو مبادله توان راکتیو صورت نخواهد پذیرفت. باید در نظر داشت که در ظرفیت توان بالا از روش ذکر شده (سوئیچینگ در فرکانس پایه) استفاده

می‌شود. با تنظیم زاویه  $\alpha$  می‌توان توان موردنیاز تلفات مبدل و شارژ خازن DC تا سطح ولتاژ معین را تأمین کرد. بدین ترتیب با کنترل زاویه  $\alpha$  می‌توان به تمامی اهداف کنترلی مورد نظر دست یافت.

دیگرام فازوری عملکرد Statcom در سه حالت ذکرشده در شکل ۳-۴ نشان داده شده است.



شکل ۳-۴: نظریه عملکرد Statcom و مشخصات کنترلی آن

### ۳-۴- ادوات و تکنولوژی سوئیچینگ

در مراجع مختلف تحقیقاتی [۱۱۱]، [۱۱۲]، [۱۱۳]، [۱۱۴] و [۱۱۵] از کلیدهای گوناگونی نظیر تریستور، GTO، IGBT، JEGT، IGCT، BJT و MOS برای کاربردهای گوناگونی نظیر مبدل‌های VSC، مبدل‌های منبع جریان و ... استفاده شده است. هر کدام از کلیدهای مورد اشاره، مشخصه‌های گوناگونی از نظر فرکانس مجاز کلیدزنی، ظرفیت تجهیز، تأخیرات زمانی روشن و خاموش شدن، ولتاژ فروپاشی مستقیم و معکوس، افت ولتاژ هدایتی و تلفات سوئیچینگ دارند. تریستورهای متداول تا ظرفیت‌های بسیار بالا تجاری‌سازی شده‌اند. این سوئیچ تکنولوژی بالغی دارد و جزء اصلی یک SVC است. این سوئیچ قابلیت کموتاسیون خودی را ندارد و زمان پاسخ نسبتاً کندی دارد. در عرصه سوئیچ‌های قدرت، سوئیچ‌های باقابلیت کموتاسیون خودی

در حوزه فناوری‌های نوظهور قرار دارند. در این دسته، سوئیچ‌های نظیر GTO، IGBT و IGCT به صورت گسترده‌ای در تجهیزات جدید FACTS استفاده می‌شوند. پارامترهای طراحی مانند مشخصات مدار درایو سوئیچ‌ها، فرکانس سوئیچینگ، تلفات سوئیچینگ و هزینه طراحی تعیین‌کننده انتخاب سوئیچ مناسب خواهد بود. در بین تجهیزات باقابلیت خاموش شونده، GTO تکنولوژی بالغی دارد و تا ظرفیت‌های بالا تجاری‌سازی شده است. این سوئیچ در ظرفیت‌های توان بسیار بالا در تجهیزات گوناگون FACTS مانند Statcom، SSSC (Static Synchronous Series Compensator) و ... به کاررفته است. کاربرد کلید IGBT در ظرفیت‌های متوسط به بالا نسبتاً جدید است و (به علت فرکانس بالای کلیدزنی) عموماً در ادوات FACTS که از تکنیک‌های سوئیچینگ PWM استفاده می‌کنند کاربرد دارد. در بین کلیدهای باقابلیت خاموش‌کنندگی خودی، IGCT بالاترین تکنولوژی ساخت را دارد و مزایایی نظیر تلفات کلیدزنی کم، فرکانس سوئیچ زنی بالا و عدم نیاز به مدارات اسنابر را دارد. یک نمونه صنعتی Statcom در سطح ولتاژ 138KV در کالیفرنیا به کمک سوئیچ‌های IGCT ساخته شده است. سوئیچ‌های IGCT به دلیل قیمت بالا، هنوز تجاری‌سازی نشده‌اند.

دو تکنیک معروف و پذیرفته‌شده سوئیچینگ کلیدزنی فرکانس پایه (یک پالس در هر سیکل قدرت) یا PWM (چندین پالس در هر نیم سیکل) بسته به نوع سوئیچ مورد استفاده در Statcom انتخاب می‌شوند.

در تکنیک PWM، سوئیچ‌های قدرت در یک سیکل ولتاژ خروجی، چندین بار تغییر وضعیت می‌دهند. در نتیجه کیفیت ولتاژ خروجی Statcom (نظیر THD کل و دامنه هارمونیک‌های با فرکانس پایین) افزایش می‌یابد. البته می‌توان از تکنیک حذف هارمونیک انتخابی استفاده کرد که برای حذف هارمونیک‌های مرتبه ۳، ۵ و ۷ طراحی می‌شود. هارمونیک‌های مرتبه بالاتر به کمک طراحی مناسب فیلترهای خروجی حذف می‌شوند؛ اما دو تکنیک سوئیچینگ PWM و حذف هارمونیک انتخابی به دلیل تلفات کلیدزنی بالا، در توان‌های بالا کاربرد ندارند. دو تکنیک مورد اشاره عمدتاً در Statcom های با توان نامی کم و متوسط کاربرد دارند و عمدتاً در شبکه‌های توزیع نصب می‌شوند که D-Statcom نام دارند. در این سطح توان، فرکانس سوئیچینگ تجهیزات عامل اصلی در طراحی PWM-VSC است. عمدتاً فرکانس سوئیچینگ مبدل‌های مبتنی بر IGBT، 3KHZ در نظر گرفته می‌شود. این در حالی است که فرکانس سوئیچینگ مبدل‌های مبتنی بر IGCT و GCT برابر 500 HZ در نظر گرفته می‌شود. البته در این سطح توان، می‌توان از تکنیک‌های سوئیچینگ نرم نظیر ZVS نیز برای کاهش تلفات سوئیچینگ و اثرات الکترومغناطیسی استفاده کرد.

GTO تجهیز بسیار معروف باقابلیت کموتاسیون خودی است که تا ظرفیت‌های بالائی تجاری‌سازی شده است. GTO- VSC ستون فقرات اصلی Statcom های با ظرفیت بالا است که برای کاهش تلفات سوئیچینگ در فرکانس قدرت کلید زنی می‌شود.

## ۴-۴- انواع ساختار Statcom

بسیاری از ساختارهای VSC به‌تازگی در Statcom استفاده‌شده‌اند و ساختارهای چند پالسه و چند سطحی به‌صورت قابل‌ملاحظه‌ای پذیرفته‌شده‌اند. برای مثال ساختار دوسطحی و چند پالسه ساختار بالغی است و در پروژه‌های عملی نظیر 100 Statcom USA 500/161KV, MVA و Japan, 154KV,  $\pm 80$ MVA SVG استفاده شده است [۱۰۹].

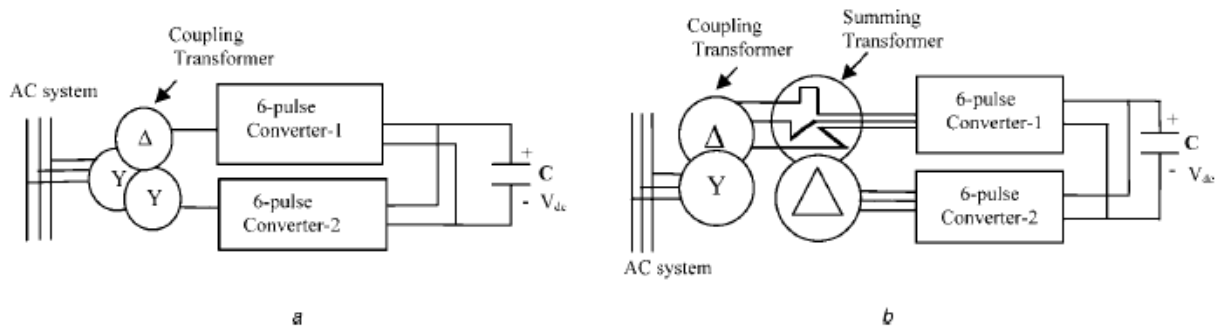
المان پایه مبدل ۶ پالسه VSC در شکل ۴-۱ نشان داده شده است که شامل سه ساق (هر ساق شامل دو ولو است) و خازن لینک DC است. هر ولو شامل کلید باقابلیت کموتاسیون خودی و یک دیود موازی معکوس است [۱۱۶].

همان‌طور که در شکل ۴-۱ نشان داده شده است، ولتاژ فاز-نول و ولتاژ خط به خط این مبدل به ترتیب شامل سطوح 0,  $\pm V_{dc}/2$ ,  $\pm 2V_{dc}/3$  و  $\pm V_{dc}$  هستند. این ولتاژها هارمونیک‌های جریان غیرقابل‌قبولی ایجاد خواهد کرد. برای کاهش THD، از مبدل چند پالسه (که ترکیب N عدد مبدل پایه شش پالسه است) استفاده می‌شود. این ترکیب N تائی با یک زاویه جابجایی مشخص کلیدزنی می‌شود و در نهایت ولتاژ تولیدی آن‌ها به کمک یک ترانسفورماتور inter-phase جمع می‌گردد تا مبدل معادل  $6 \times N$  پالسه ساخته شود. مبدل نهایی حاصله، ولتاژ تولیدی نزدیک‌تری به حالت سینوسی خواهد داشت.

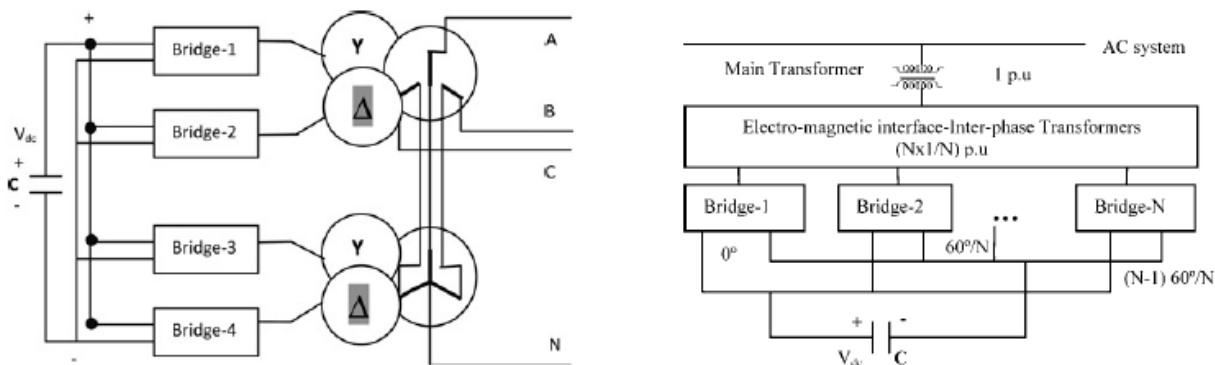
در یک مبدل چند پالسه، زاویه جابجایی بین دو مبدل ۶ پالسه مجاور،  $2\pi/6N$  رادیان است و ولتاژ سه فاز خروجی آن هارمونیک‌های فرد از مرتبه  $(6NK \pm 1)$  دارد که در آن  $K=1, 2, \dots$  است. با افزایش تعداد پالس نهائی (6N)، شکل موج خروجی بسیار به حالت سینوسی نزدیک‌تر می‌شود و حتی هارمونیک‌های مرتبه پایین نیز خنثی می‌گردد. مبدل 6N پالسه در مقایسه با مبدل ۶ پالسه پایه‌ای، میزان توان راکتیو قابل حصول را بالا برده و باعث بهبود عملکرد هارمونیکی می‌گردد.



این ساختار همچنین هارمونیک جریان dc را کاهش می دهد و هزینه فیلترگذاری را به صورت قابل ملاحظه ای کاهش می دهد. مبدل های پایه ۱۲ پالس (۲\*۶ پالس)، ۲۴ پالس (۴\*۶ پالس) و ۶N پالس (۶\*N پالس) در شکل ۴-۴ و شکل ۴-۵ نشان داده شده اند.

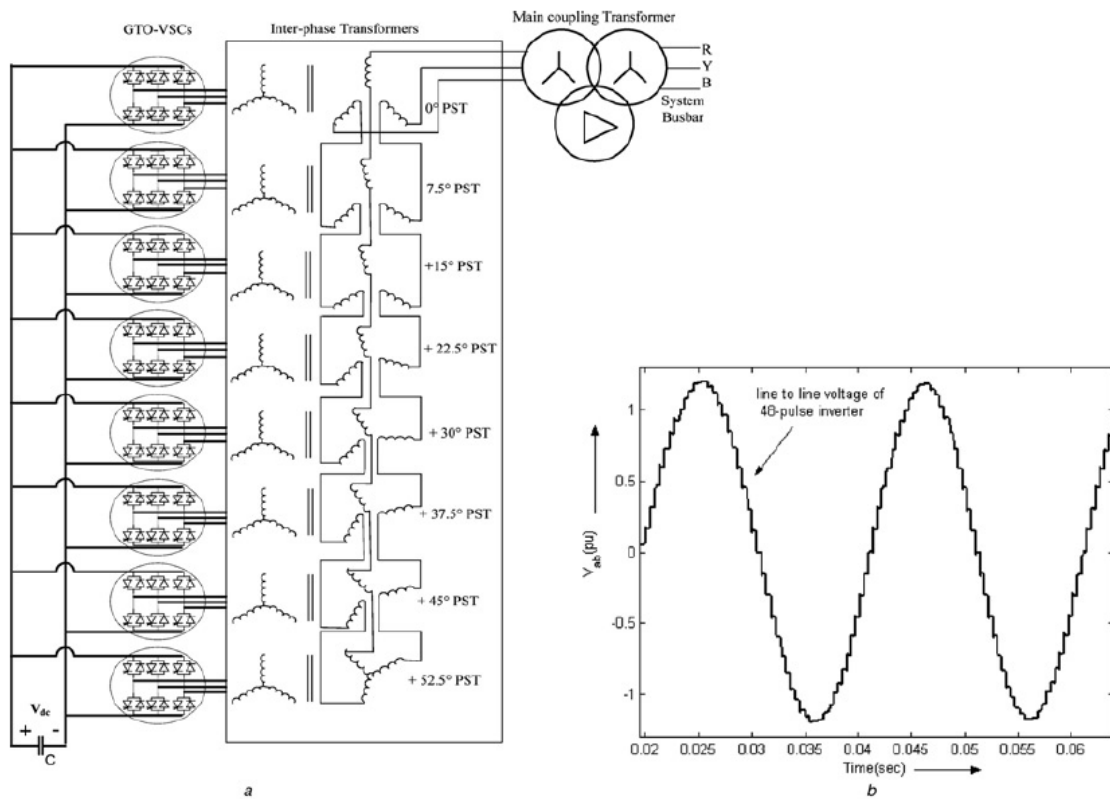


شکل ۴-۴: مبدل ۱۲ پالس سری و موازی

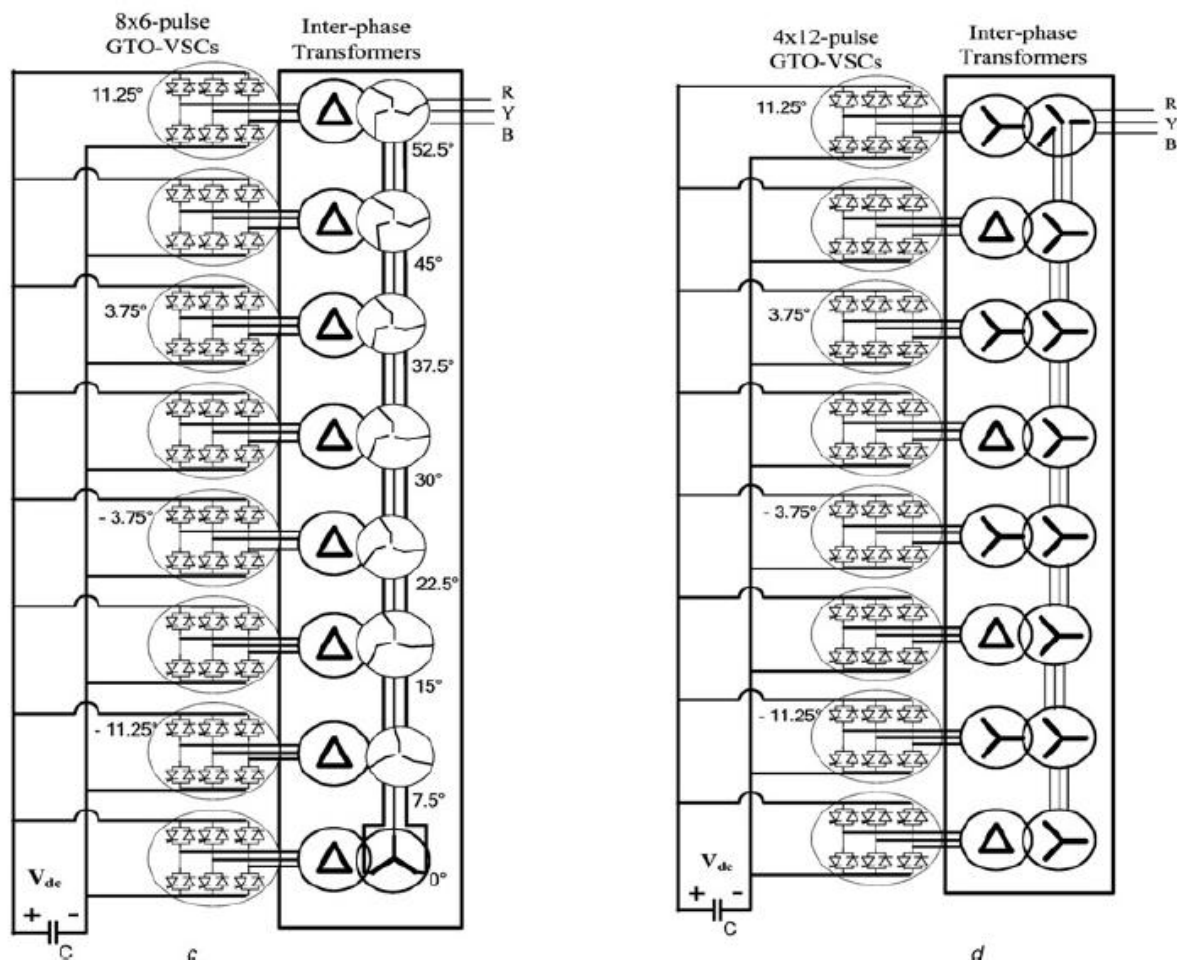


شکل ۴-۵: مبدل ۲۴ و ۶N پالس

بایستی در نظر داشت که افزایش مرتبه پالس، تعداد تجهیزات الکترونیکی، مغناطیسی و ادوات جانبی را زیاد می کند که منجر به افزایش هزینه ها خواهد شد. اگرچه این امر منجر به بهبود اوضاع هارمونیک و کیفیت عملکرد تجهیز خواهد شد. اکثر کاربردهای صنعتی از مبدل ۴۸ پالس استفاده می کنند که مدارات مغناطیسی آن در دو مرحله توسط ترانسفورماتورها طراحی می شوند. در این طراحی ها از ترانسفورماتورهای Inter-Phase برای جمع وگذاشتن ولتاژهای خروجی مبدل های ۶ پالس استفاده می کنند و در آخر ولتاژ مجموعه به کمک یک ترانس کوپلینگ به شبکه متصل می گردد. ساختار مغناطیسی دوسطحی Invyarn موجود در  $\pm 80\text{MVA}$  Statcom در شکل ۴-۶ نشان داده شده است. البته ساختارهای مغناطیسی دیگری نیز برای مبدل ۴۸ پالس پیشنهاد شده است که در شکل ۴-۷ نشان داده شده است.



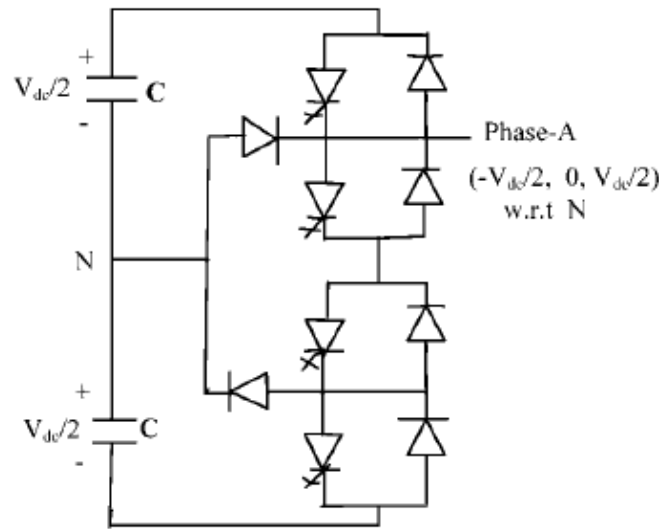
شکل ۴-۶: دو سطح ساختمان مبدل ۴۸ پالس موجود



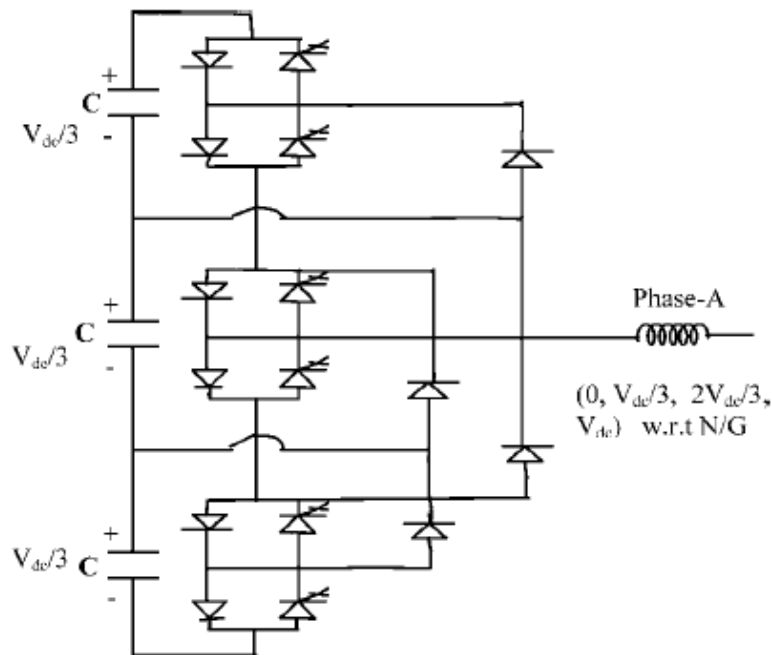
شکل ۴-۷: ساختمان‌های دیگر مبدل ۴۸ پالس موجود

از بین ساختارهای چند پالس، ساختارهای ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ پالس بیشترین را در Statcom های صنعتی دارند. عمدتاً ساختار ۱۲ پالس دوسطحی از دو مبدل پایه‌ای ۶ پالس تشکیل شده است که قسمت‌های DC آنها موازی هستند؛ اما قسمت‌های AC این دو مبدل ممکن است به دو صورت سری یا موازی به هم متصل شدند. این دو حالت در شکل ۴-۴ نمایش داده شده‌اند. ساختار مغناطیسی مبدل ۱۲ پالس به گونه‌ای است که یک مبدل ۶ پالس به ترانس Y-Y و مبدل ۶ پالس دیگر به ترانس Y-Δ متصل شده است. در نتیجه ولتاژهای خروجی به میزان ۳۰ اختلاف فاز خواهند داشت. ترانس Y-Δ تعداد دوری ۱/۷۳ برابر ترانس Y-Y خواهد داشت تا دو ترانس Y-Y و Y-Δ نسبت ولت بر آمپر یکسانی داشته باشند. ولتاژ نهایی حاصل شده به شکل ولتاژ چند پله‌ای ۱۲ پالس منجر خواهد شد که حاوی هارمونیک‌های مرتبه  $12K \pm 1$  (مثلاً ۱۱، ۱۳، ۲۳ و ... با دامنه ۰/۰۹، ۰/۰۷۶ و ۰/۰۴۳ و ... برابر دامنه فرکانس اصلی) هستند.

یک راهکار دیگر برای تولید ولتاژ چند پله‌ای و نزدیک به حالت سینوسی، استفاده از مبدل‌های چند سطحی است [۱۱۷] و [۱۱۸]. به علت ساختار پیچیده اتصال ترانسفورماتورها و مدارها در ساختار چند پالسه، مبدل‌های چند سطحی مورد توجه قرار گرفته‌اند. در ساختار چند سطحی، شکل موج ولتاژ پلکانی به کمک سطوح گوناگون منابع ولتاژ DC که توسط خازن‌های DC به وجود می‌آیند ساخته می‌شود. در این رسته، مبدل سه سطحی با حالت موج مربعی بسیار متداول است. مبدل  $N$  سطحی با تقسیم خازن DC به  $N-1$  قسمت حاصل می‌شود. در نتیجه ولتاژ فاز و خط خروجی به ترتیب  $N$  سطح و  $2N-1$  سطح خواهند داشت. هنگامی که تعداد سطوح زیاد باشند، مؤلفه هارمونیک موجود در ولتاژ خروجی Statcom به اندازه‌ای کاهش می‌یابد که نیازی به حضور فیلتر AC نخواهد بود. مزیت‌های اصلی مبدل چند سطحی عبارت‌اند از: مؤلفه‌های هارمونیک کم ولتاژ خروجی در مقایسه با مبدل پالسی، تنش ولتاژی کاهش یافته سوئیچ‌ها ( $1/(N-1)$  برابر  $V_{dc}$ ) و ظرفیت بزرگ‌تر مبدل. برخی از مراجع تحقیقاتی پیش‌بینی کرده‌اند که مبدل‌های چند سطحی به صورت کامل جایگزین مبدل‌های چند پالسه در Statcom‌های با ظرفیت بالا خواهند شد. از سه نوع متداول مبدل‌های چند سطحی، ساختارهای دیود قفلی (در این دسته مبدل سه سطحی تکنولوژی بالغی دارد)، در Statcom‌های صنعتی به کاررفته و تجاری‌سازی شده‌اند [۱۱۹] و [۱۲۰]. در مبدل‌های سه سطحی، به کمک کنترل زاویه مرده، می‌توان دامنه ولتاژ AC را کنترل کرد. این در حالی است که در مبدل‌های دوسطحی شش پالسه برای این کار ملزم به تغییر دامنه ولتاژ DC هستیم. نوع دوم و سوم مبدل‌های چند سطحی، ساختارهای H-bridge و خازن معلق هستند. در این ساختارها، به ازای تعداد سطح یکسان، تعداد سوئیچ‌های برابری استفاده می‌کنند اما اختلاف فراوانی در زمینه تعداد ادوات پسیو مورد استفاده وجود دارد. سه ساختار متفاوت مبدل‌های چند سطحی (از ۳ الی ۹ سطح) به صورت کامل در مراجع تحقیقاتی بررسی شده‌اند. هرچند که دو ساختار دوم و سوم به دلیل پیچیدگی، مورد استفاده صنعتی قرار نگرفته و تجاری‌سازی نشده‌اند. برای کلیدهای باقابلیت سوئیچینگ کند (نظیر GTO)، کاربرد ساختار سه سطحی دیود قفلی با کلیدزنی فرکانس پایه در طراحی Statcom با ظرفیت بالا، کاملاً در صنعت پذیرفته شده است. شمای تک فاز یک مبدل سه سطحی دیود قفلی و چهار سطحی دیود قفلی در شکل ۴-۸ و شکل ۴-۹ نشان داده شده است.



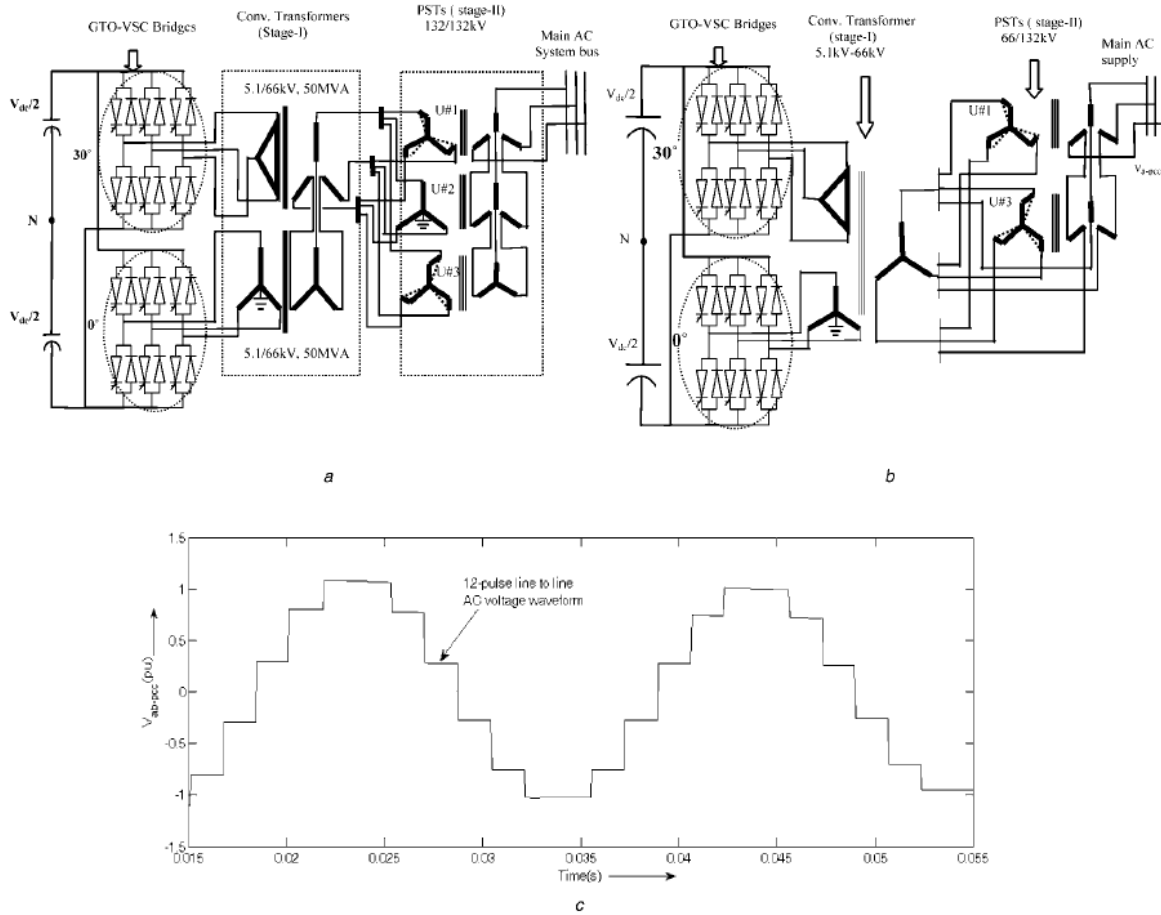
شکل ۴-۸: شمای تک فاز یک مبدل سه سطحی دیود قفلی



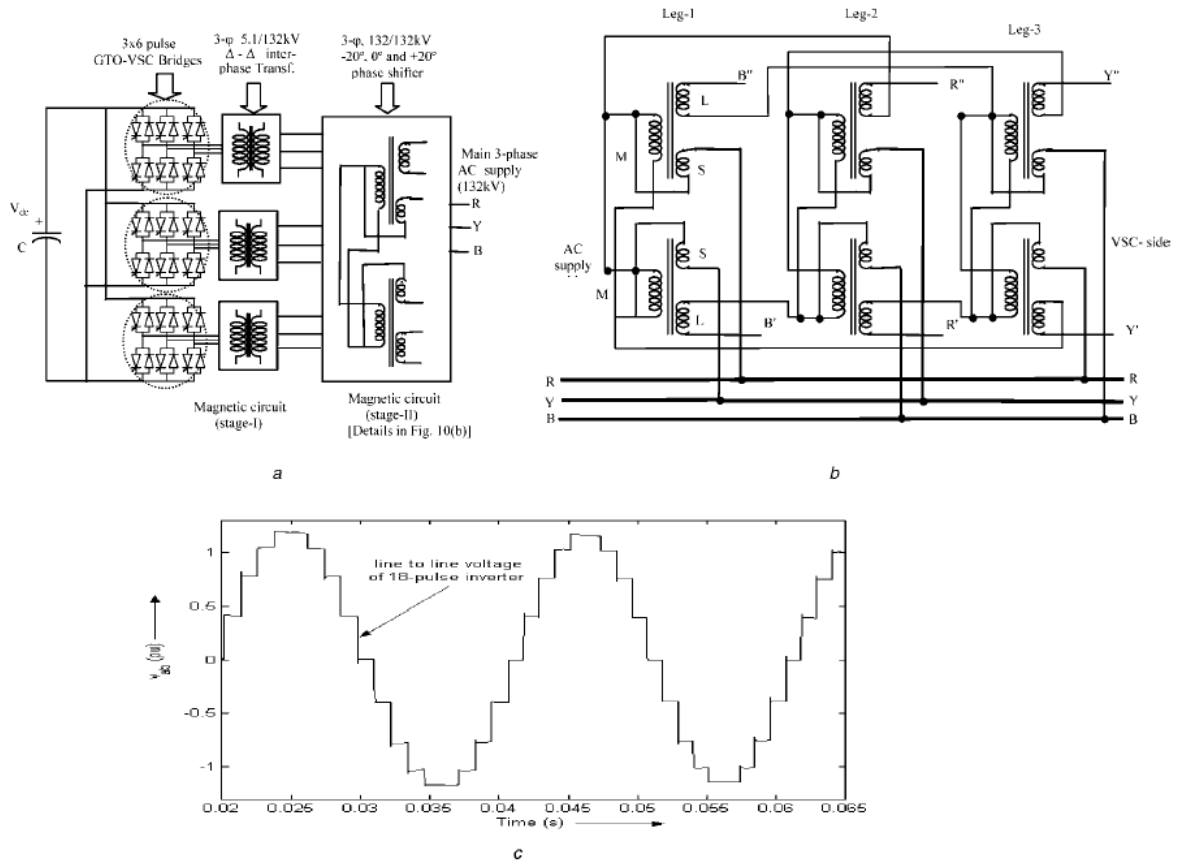
شکل ۴-۹: شمای تک فاز یک مبدل چهار سطحی دیود قفلی

همان طور که قبلاً ذکر شده، ساختار مبدل ۴۸ پالس به دلیل عملکرد عالی و مؤلفه‌های هارمونیکی مناسب کاربرد گسترده‌ای در Statcom های با ظرفیت بالا دارند. این در حالی است که مبدل‌های ۱۲، ۱۸ و ۲۴ پالس تحت عملکردی موج مربعی، رفتار هارمونیکی نامناسبی دارند که منجر به عدم کاربرد آنها شده است. برخی مراجع تحقیقاتی مبدل‌های ۱۲، ۱۸ و

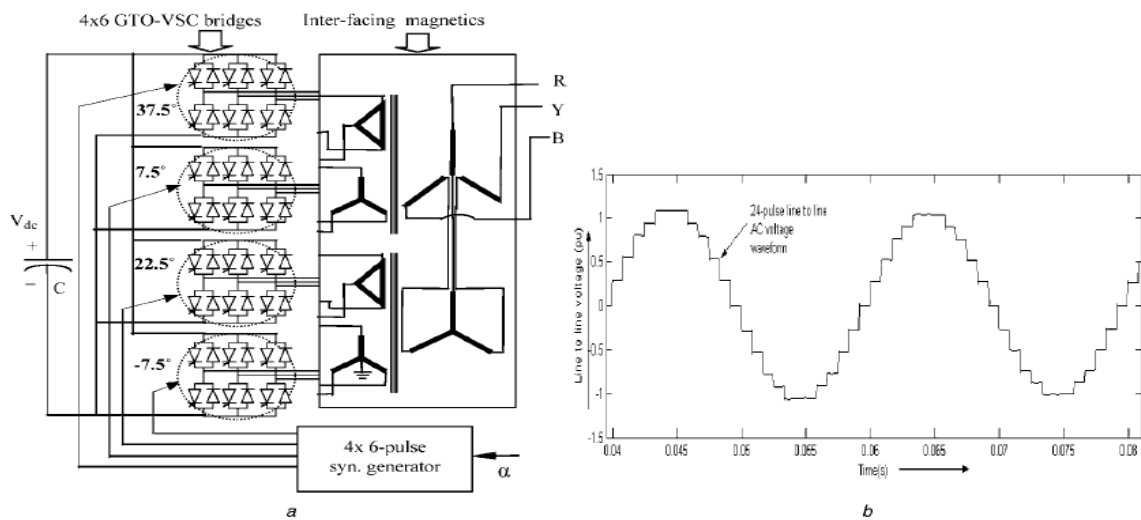
۲۴ پالسه را با ساختار مغناطیسی جدیدی ترکیب کرده و ضمن بهبود اثرات هارمونیکی، از آن‌ها برای کنترل ولتاژ و ضریب قدرت استفاده کرده‌اند. این ساختار در شکل ۴-۱۰، شکل ۴-۱۱ و شکل ۴-۱۲ نشان داده شده‌اند.



شکل ۴-۱۰: ساختار مغناطیسی واسط مبدل دوسطحی ۱۲ پالسه (۲×۶) با ظرفیت  $\pm 100$  MVA (GTO-VSC)



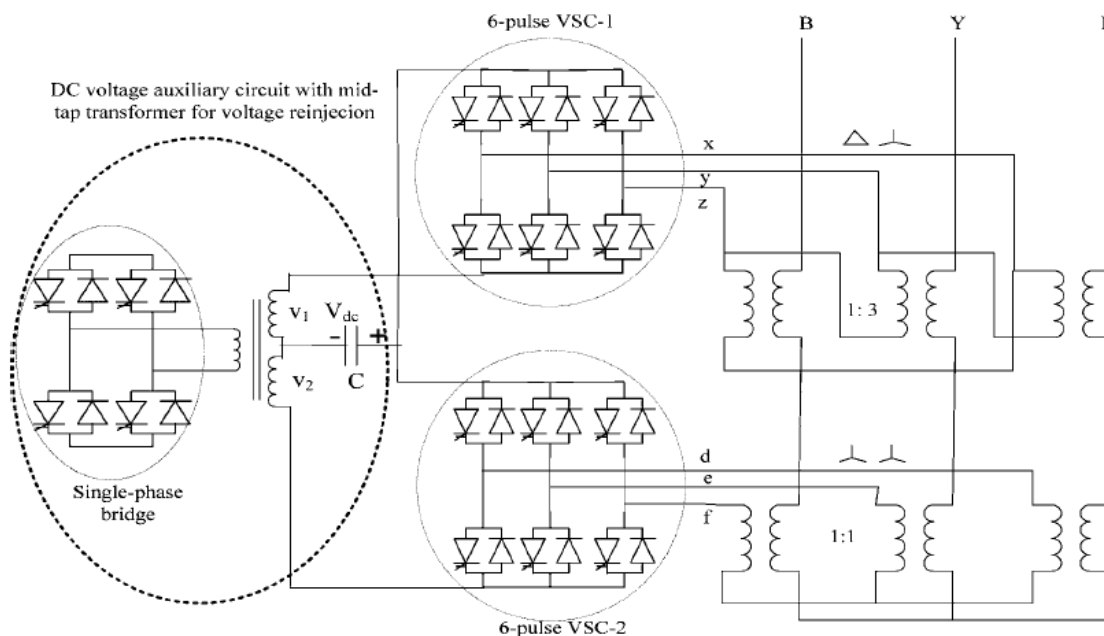
شکل ۴-۱۱: ساختار مغناطیسی واسط مبدل دوسطحی ۱۸ پالسه (۳×۶) با ظرفیت  $\pm 1000$  MVA (GTO-VSC)



شکل ۴-۱۲: ساختار مغناطیسی واسط مبدل دوسطحی ۲۴ پالسه (۴×۶) با ظرفیت  $\pm 1000$  MVA (GTO-VSC)

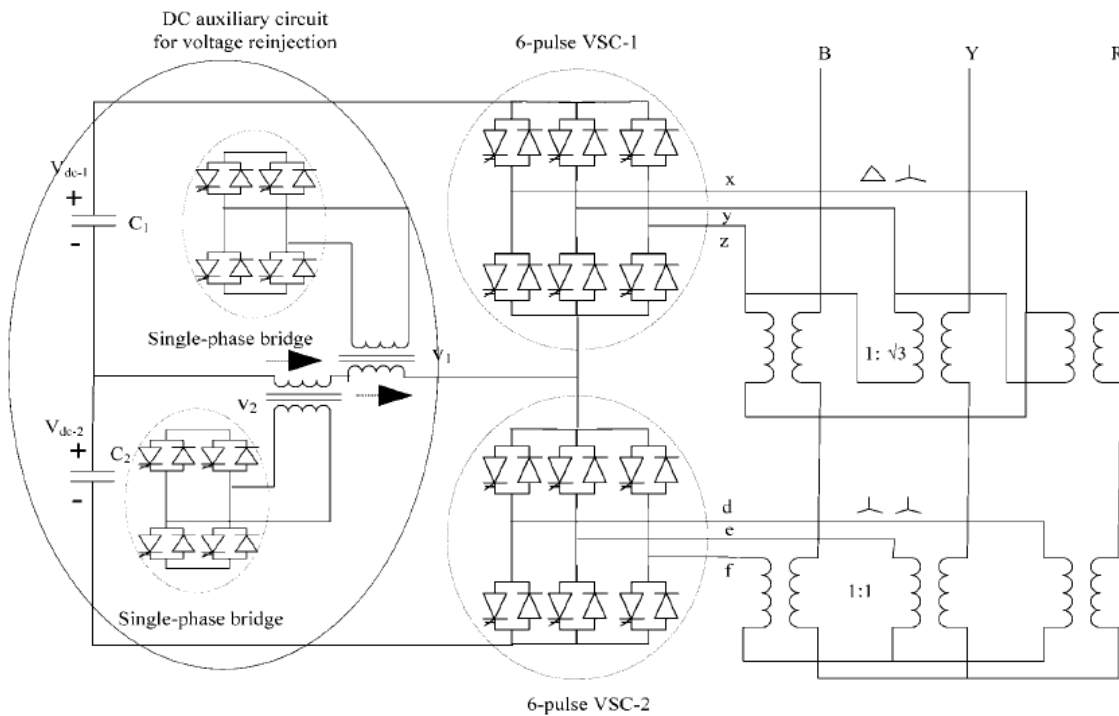
مبدل ۴۸ پالسه (شرح داده شده در قسمت های قبل) (GTO-VSC) با کلیدزنی فرکانس پایه کاربرد فراوانی در صنعت دارد. به طور مثال دو Statcom نصب شده در Inuyama (154 KV) و TVA (161KV) از این ساختار استفاده می کنند. در ساختار چند سطحی، ساختار سه سطحی به صورت گسترده ای در Statcom های با ظرفیت بالا استفاده شده اند. اولین UPFC با ظرفیت  $\pm 160\text{MVA}$  (که دارای یک Statcom 138 KV است) به کمک ساختار سه سطحی GTO-VSC ساخته شده است. یک Statcom با ظرفیت  $\pm 36\text{MVA}$  نیز از سال ۲۰۰۱ در ایالت تگزاس نصب شده است که از ساختار سه سطحی IGBT-VSC استفاده می کند. Statcom هایی با ظرفیت  $\pm 100\text{MVA}$  (345 KV) و  $\pm 80\text{MVA}$  به ترتیب در Marçay و کره جنوبی متصل شده اند که از ساختار سه سطحی IGBT-VSC استفاده می کنند [۱۰۹].

یک ایده جدید در خصوص افزایش تعداد سطوح مبدل چند سطحی، ایده باز تزریق در مدار DC مبدل VSC است [۱۲۱]. این ایده منجر به افزایش مرتبه پالس ولتاژ خروجی خواهد شد. در این ایده ملزومات مبدل و ساختار مغناطیسی حداقل است. ساختارهای ساده برای باز تزریق در مبدل های دو و سه سطحی به ترتیب در شکل ۴-۱۳ و شکل ۴-۱۴ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۳: مدار پایه باز تزریق ولتاژ در مبدل دوسطحی ۱۲ پالسه برای تبدیل به حالت ۳۶ پالسه برای PCC





شکل ۴-۱۴: مدار پایه باز تزریق ولتاژ در مبدل سه سطحی ۱۲ پالس (۲×۶) برای تبدیل به حالت ۶۰ پالس در PCC

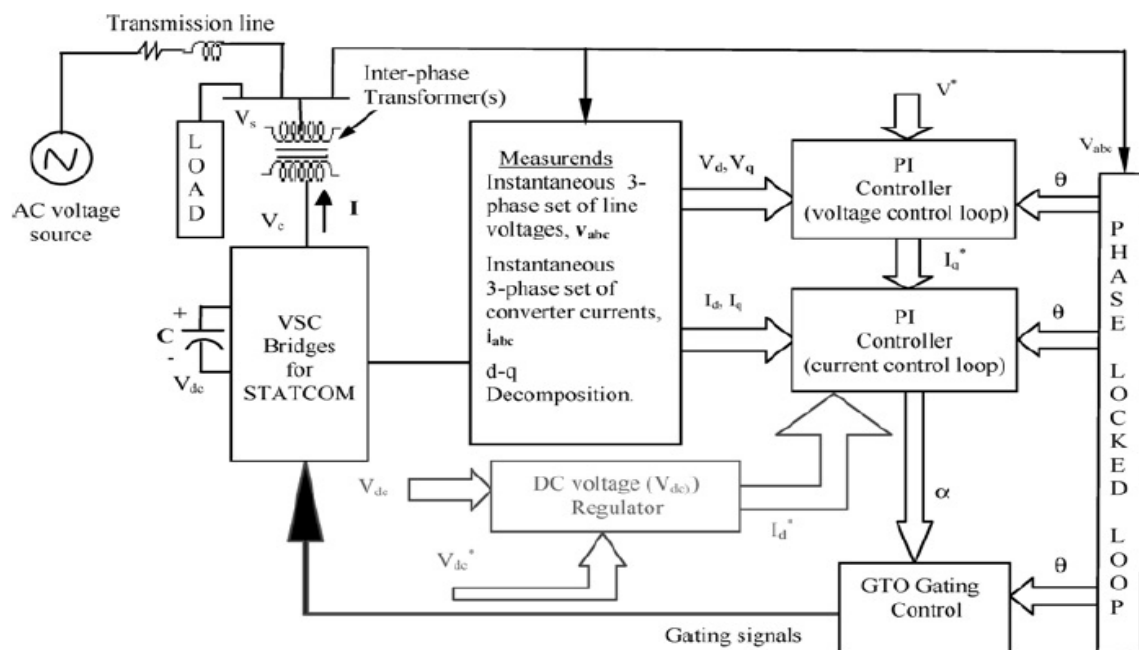
با به کارگیری این ایده به کمک تنها دو مبدل شش پالس (با کلیدزنی فرکانس پایه) می توان یک Statcom ۳۶ پالس ساخت. همچنین به کمک دو مبدل شش پالس (با کلیدزنی فرکانس پایه) و تزریق یک ولتاژ DC چند سطحی می توان یک Statcom ۶۰ پالس ساخت. به کمک این ایده جذاب، مرتبه پالس پایه چند برابر افزایش می یابد که منجر به بهبود قابل ملاحظه عملکرد هارمونیک خواهد شد. لازم به ذکر است که در برخی از مراجع تحقیقاتی، استفاده از یک منبع جریان با تزریق مجدد جریان در لینک DC پیشنهاد شده است. لازم به ذکر است که ایده باز تزریق ولتاژ یا جریان در لینک DC به صورت صنعتی پیاده سازی و تجاری نشده است.

## ۴-۵- استراتژی های کنترلی

کنترل مبدل Statcom، قسمتی حیاتی در موفقیت کنترل دینامیکی توان راکتیو در سیستم قدرت است. بسته به ملزومات بهره برداری، نوع کاربرد، پیکربندی سیستم و کاهش تلفات پارامترهای کنترلی ضروری برای دستیابی به کارکرد مطلوب تعیین می شوند. تاکنون روش های کنترلی بسیاری برای مدار قدرت Statcom پیشنهاد شده است [۱۲۲] و [۱۲۳].

در ساختار دوسطحی موج مربعی، پارامتر زاویه فاز (اختلاف فاز بین دو سر اندوکتانس نشتی)، ابزار کنترلی اصلی است. این شیوه کنترلی در ساختار دوسطحی موج مربعی اعمال می‌شود و ولتاژ DC بنا بر ملزومات، به صورت دینامیکی بالاتر یا پایین‌تر از ولتاژ شبکه قرار می‌گیرد تا بتوان میزان توان راکتیو تبادل شده با شبکه را کنترل کرد. در ساختار سه سطحی، زمان Dead-angle برای تنظیم ولتاژ خروجی AC کنترل می‌شود. در این شیوه کنترلی، ولتاژ لینک  $(V_{dc})$  ثابت نگاه داشته می‌شود. سیستم کنترل برای Statcom هائی که به روش PWM کنترل می‌شوند (عمدتاً در رنج توانی متوسط و پایین)، به کمک تغییر دامنه و فاز سیگنال مدولاسیون  $m$ ، دامنه و فاز ولتاژ خروجی Statcom را تغییر می‌دهند. در این شیوه کنترلی، ولتاژ لینک DC ثابت نگاه داشته می‌شود.

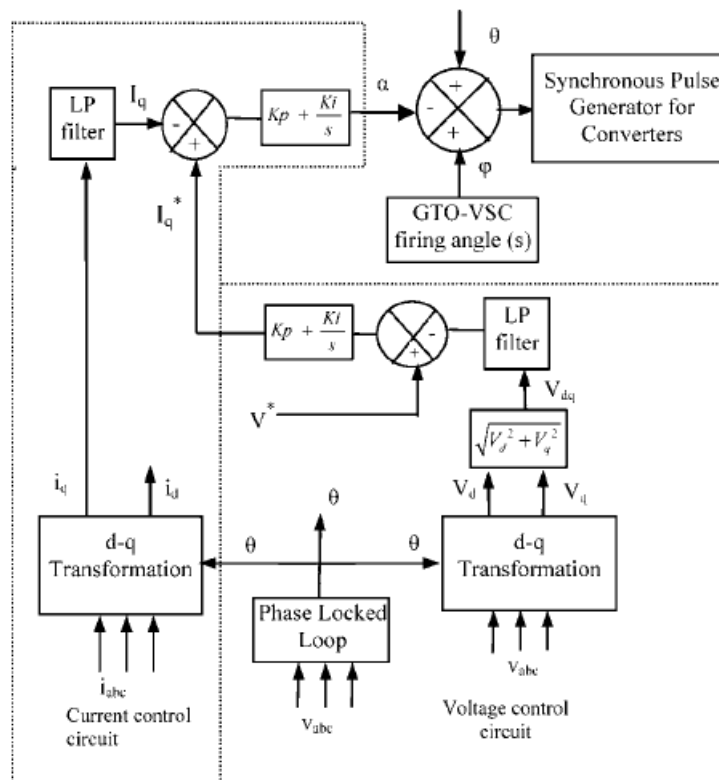
بلوک دیاگرام‌های یک ساختار کنترلی پایه در شکل ۴-۱۵ نشان داده شده است. برای رگولاسیون ولتاژ از دو کنترل حلقه بسته بنام‌های حلقه کنترلی جریانی داخلی و حلقه کنترل ولتاژ خارجی استفاده شده است. اگر هدف، تنظیم ولتاژ در PCC به کمک Statcom باشد، کنترل کننده خارجی ولتاژ با مقایسه ولتاژ اندازه‌گیری شده و مرجع، مقدار مرجع جریان راکتیو را تعیین و به حلقه کنترل کننده جریان اعمال می‌کند. حلقه کنترل کننده جریان داخلی با کلیدزنی مناسب، مرجع جریان دریافتی را دنبال می‌کند. کنترل کننده‌های مورد استفاده عمدتاً PI یا PID هستند و الگوریتم کنترلی در قاب گردان dq اجرا می‌شود.



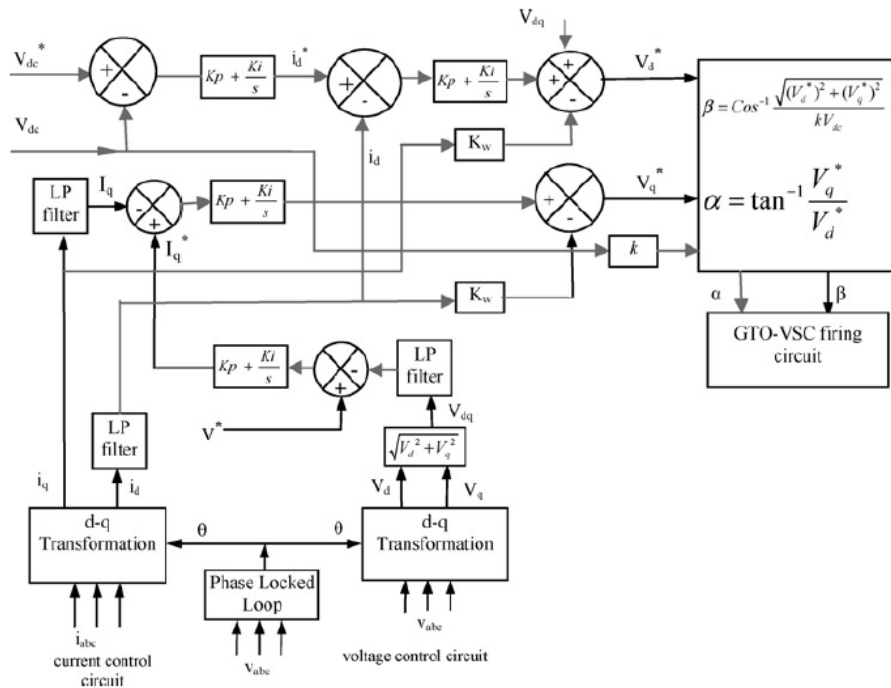
شکل ۴-۱۵: ساختمان کنترلی پایه یک GTO-VSC Statcom

شکل ۴-۱۶ و شکل ۴-۱۷ پیاده‌سازی این شیوه کنترلی در مبدل‌های دوسطحی و سه سطحی GTO-VSC Statcom را نشان می‌دهد. مباحث تحقیقاتی مدل‌سازی و طراحی سیستم کنترل به صورت جامع در مراجع تحقیقاتی بررسی شده است. در فرآیند طراحی و پیاده‌سازی سیستم کنترلی، به دست آوردن سیگنال‌های ورودی فراوانی لازم است. در این فرآیند، ابتدا ولتاژهای ضروری AC و DC و جریان‌های موردنیاز اندازه‌گیری می‌شوند. در مرحله بعدی، این سیگنال‌ها پردازش (نظیر تبدیل abc/dq) می‌شوند.

در این مدارها عموماً از حلقه قفل فاز PLL برای به دست آوردن اطلاعات فاز و فرکانس مؤلفه اصلی توالی مثبت ولتاژ سیستم (که Statcom باید به آن سنکرون شود) استفاده می‌شود. در مرحله بعدی سیگنال‌های جبران‌ساز بر اساس متدولوژی انتخابی (نظیر کنترل‌کننده‌های خطی، غیرخطی و خاص منظوره) تعیین می‌گردد و سپس سیگنال‌های فرمان گیت به سوئیچ‌های نیمه‌هادی اعمال می‌گردد.



شکل ۴-۱۶: الگوریتم کنترل PI در مبدل دوسطحی GTO – VSC Statcom



شکل ۴-۱۷: الگوریتم کنترل مبدل سه سطحی GTO – VSC Statcom

#### ۴-۵-۱ اندازه گیری سیگنال

ولتاژها و جریان های لحظه ای (نظیر ولتاژهای لحظه ای باس PCC) ورودی های پایه ای به کنترل کننده ها هستند و عمدتاً توسط CT و PT یا سایر سنسورها اندازه گیری می شوند. ولتاژهای DC خازن ها و جریان سمت DC به کمک سنسورهای اثر هال یا سایر سنسورها اندازه گیری می شوند.

#### ۴-۵-۲ سیگنال های جبران کننده ها

سیگنال های جبران کننده عموماً در حوزه زمان یا فرکانس به دست می آید. سیگنال های حوزه زمان مربوط به بدرهای جریان و ولتاژ اندازه گیری شده و به کمک تبدیل هایی نظیر dq یا  $\alpha\beta$  جداسازی می شوند. مقادیر تبدیل شده به کنترل کننده هایی نظیر PI یا PID اعمال می گردند تا سیگنال جبران ساز محاسبه شود. برای تنظیم ولتاژ در سیستم قدرت، کنترل پایه ای بر مبنای کنترل جریان راکتیو تزریقی Statcom قرار دارد [۱۰۹].

در مورد کنترل PWM، دو نوع استراتژی کنترلی کنترل ولتاژ (Vc) و کنترل جریانی (CC) عمومیت یافته‌اند. در روش‌های کنترل جریانی (CC) جبران‌سازی خطای جریان و مدولاسیون ولتاژ، فرمان‌های گیت را می‌سازد [۱۲۴]. در این استراتژی (CC)، کنترل‌کننده‌های خطی و غیرخطی به صورت گسترده‌ای استفاده شده‌اند. در دسته کنترل‌کننده‌های خطی، کنترل‌کننده PI، فیدبک حالت، dead-bit-control و کنترل پیش‌بین در مراجع تحقیقاتی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در دسته کنترل‌کننده‌های غیرخطی، کنترل‌کننده‌های هیستریزیس، مدولاسیون دلتا و کنترل بهینه آنالین مورد استفاده قرار گرفته‌اند. برای بهبود کنترل‌پذیری و عملکرد Statcomها در شرایط مختلف سیستم، تکنیک‌های مختلف کنترل فازی، شبکه عصبی و هوش فازی-عصبی در کنترل Statcomها در مراجع تحقیقاتی بررسی شده است. برخی مراجع تحقیقاتی روش کنترل غیرمستقیم جریان به کمک DSP برای بهبود عملکرد سیستم الکتریکی را پیشنهاد داده‌اند. برخی دیگر از مراجع تحقیقاتی نیز تمرکز اصلی خود را بر کنترل Statcom در شرایط بروز نامتعادلی ولتاژ برقرار داده‌اند [۱۲۵].

#### ۴-۶- انتخاب اجزاء و سائز آن‌ها

شرایطی نظیر کاربرد، ملزومات بهره‌برداری و استراتژی کنترلی اعمالی، ظرفیت اجزاء مختلف Statcom نظیر خازن‌های DC، اندوکتانس پراکندگی ترانسفورماتور کوپلینگ و مبدل الکترونیک قدرت را تعیین می‌کند. سوئیچ‌های باقابلیت کموتاسیون خودی (نظیر GTO، IGBT، IGCT و...) و دیود موازی معکوس آن‌ها تشکیل یک ولو می‌دهند. بسته به ظرفیت ولتاژ و جریان سوئیچ‌ها، تعدادی از ولوها به صورت سری و موازی بسته می‌شوند تا به ظرفیت ولتاژ و جریان مناسب برسیم.

مقدار مؤثر ظرفیت جریانی به محدودیت‌های جریان خروجی AC مبدل ارتباط دارد. این در حالی است که مقدار حداکثر جریان به محدودیت‌های سوئیچ در کموتاسیون خودی وابسته است. لازم به ذکر است که یک یا دو ولو اضافی برای در نظر گرفتن مباحث قابلیت اطمینان در نظر می‌گیرند [۱۲۶]. برای درک بهتر سوئیچ‌ها باید در نظر داشت که حداکثر ظرفیت سوئیچ‌های باقابلیت کموتاسیون خودی در سال ۲۰۱۲ بصورت زیر است:

GTO 6 KV, 6 KA

IGBT 6.5 KV, 2 KA

IGCT 6 KV, 6 KA

THYRISTOR 8 KV, 3.5 KA

GTO پرکاربردترین و عملی‌ترین سوئیچ در مدارات Statcom با ظرفیت بالا است.

به صورت کلی ولتاژ نامی لینک DC می‌بایستی به گونه‌ای انتخاب شود که ولتاژ تولیدی Statcom در حالت عدم تبادل توان راکتیو برابر ولتاژ شبکه باشد. مقدار خازن لینک DC را نیز می‌توان بر اساس حداکثر میزان انرژی ذخیره مورد نیاز یافت. طراحی خازن DC برای Statcom به میزان ریپل ولتاژ خازن DC نیز وابسته است [۱۲۷]. باید در نظر داشت که احتمال رزونانس بین خازن DC و راکتانس کوپلینگ وجود دارد. در مجموع اندازه خازن لینک DC با در نظر گرفتن مجموع عوامل فوق محاسبه می‌شود. البته انتخاب مقدار مناسب خازن لینک DC در مراجع مختلف از زوایایی گوناگون بررسی شده است. مشخصات حالت دائم و گذرای کنترل‌کننده و اثر ریپل ولتاژ AC در سمت DC (این اثر در حالت تعادل کم است ولی در حالت عدم تعادل زیاد است) بایستی در فرآیند طراحی خازن DC مورد بررسی قرار بگیرند. در صورتی که فرض بر تبادل توان اکتیو بین Statcom و شبکه باشد، باید مقدار خازن بالاتری در نظر گرفت. همچنین، مقدار خازن لینک DC در روش کنترل PWM بسیار کمتر از عملکرد موج مربعی است. به صورت کلی در مبدل‌های چند پالسه، میزان خازن لینک DC با افزایش تعداد پالس‌ها کاهش می‌یابد اما در مبدل‌های چند سطحی مقدار خازن لینک DC تقریباً مستقل از تعداد سطوح است [۱۱۹].

انتخاب میزان راکتور سری تأثیر بسیار مهمی بر ظرفیت توان راکتیو مبدل دارد و هیچ‌گاه میزان آن از  $0.15 \text{ pu}$  بالاتر نخواهد رفت. انتخاب مقدار راکتور خروجی وابستگی فراوانی به ملزومات هارمونیک جریانی در نقطه PCC دارد. از لحاظ هارمونیک، انتخاب حداکثر مقدار مجاز مورد علاقه است اما این انتخاب سطح ولتاژ مورد نیاز برای تولید توسط Statcom را بالا می‌برد [۱۲۸].

تلفات مبدل الکترونیک قدرت پارامتر مهمی است که بازده کلی مبدل را کاهش می‌دهد. تلفات مبدل الکترونیک قدرت به ترتیب با فرکانس سوئیچینگ و ولتاژ DC رابطه مستقیم و مجذور دارد. برای کاهش تلفات در این مبدل، فرکانس سوئیچینگ و ضریب مدولاسیون به ترتیب می‌بایستی حداقل و حداکثر باشند.

## ۴-۷- کاربردهای Statcom

تجهیز Statcom کاربردهای چند منظوره‌ای در کنترل پارامترهای سیستم قدرت در حالات ماندگار و دینامیکی دارد. این تجهیز برای کاربردهایی نظیر ارتقاء کیفیت توان، کنترل توان راکتیو، تنظیم ولتاژ، میرا سازی نوسانات قدرت، میرا سازی نوسانات پیچشی، ارتقاء ظرفیت خط انتقال، ارتقاء پایداری حالت دائم، دینامیکی، گذرا و ولتاژ کارایی کاملاً اثبات شده و تکنولوژی بالغی دارد.

قابلیت پاسخ سریع (زیر یک سیکل)، کنترل پذیری مناسب، قابلیت ساخت در ظرفیت‌های گوناگون (کم، متوسط و زیاد)، اشغال فضای کم و حاشیه پایداری بالا از ویژگی‌های مثبت تجهیز Statcom است. ویژگی‌های مثبت یادشده منجر به جایگزینی سریع Statcom با ادوات جبران ساز راکتیو با قابلیت کموتاسیون اجباری SVC و سایر کنترل کننده موجود در سیستم قدرت شده است. البته تجهیز Statcom در شبکه‌های توزیع نیز کاربرد دارد.

تجهیز Statcom مورد کاربرد در شبکه‌های توزیع، D-Statcom نام دارد و به صورت گسترده‌ای در بهبود کیفیت توان، تنظیم ولتاژ، تغذیه بارهای غیرخطی / نامتعادل، جبران سازی ضریب قدرت و حذف هارمونیک به کاررفته است.

برخی مراجع کاربرد احتمالی Statcom در ایجاد ولتاژ برای مزارع بادی دور از ساحل و دارای توربین‌های بادی سرعت ثابت متصل به ژنراتورهای القائی را بررسی کرده‌اند. در این مزارع با ترکیب کردن یک ذخیره‌ساز انرژی و Statcom ولتاژ اولیه موردنیاز برای راه‌اندازی مزرعه بادی تولید خواهد شد. در صورتی که Statcom با یک منبع ذخیره‌ساز انرژی ترکیب شود می‌تواند علاوه بر بهبود کیفیت توان، عملکردی نظیر UPS و تبادل توان حقیقی را نیز انجام دهند.

هم‌اکنون Statcom های صنعتی در خطوط فشارقوی و توان بالا وجود دارند. البته به تازگی – Back to Back – Statcom صنعتی نیز برای بهبود پایداری ولتاژ مطرح شده‌اند. این ساختار شبیه VSC-HVDC است با این تفاوت که این

ساختار تنها به تبادل توان راکتیو بین دو سیستم خواهد پرداخت [۱۰۹].

## ۴-۸- آخرین گرایش‌ها و آینده پژوهی

IGBT و IGCT سوئیچ‌های برجسته‌ای هستند که کاربرد آن‌ها در Statcom (کنترل شده با استراتژی PWM) رو به افزایش است [۱۱۳]، [۱۱۴] و [۱۰۹]. دلیل این گسترش، تلفات اندک سوئیچینگ و سرعت پاسخ بالای این کلیدها است. البته از بین این دو کلید، IGCT کاندیدای مناسب برای Statcom های با توان بالا است. با توجه به بهبود کیفیت و روند سریع تجاری‌سازی، این تجهیزات هم‌اکنون با ظرفیت‌های بالا قابل دسترسی است. طراحی و توسعه Statcom های با ظرفیت بالا به کمک PWM-IGCT-VSC از نقاط مهم آینده پژوهی است.

در بین ساختارهای گوناگون مبدل‌های چند سطحی، ساختار سه سطحی کاربردهای عملی یافته و تجاری‌سازی شده است. مطابق بررسی مراجع مختلف تحقیقاتی، ساختارهای دیگر مبدل‌های چند سطحی به دلیل کنترل پیچیده (نظیر کنترل تعادل ولتاژ خازن‌های لینک DC) در حال حاضر امکان تجاری‌سازی ندارند. پیشنهاد کنترل‌کننده‌های جدید برای این موضوع از نکات مهم آینده پژوهی است.

انتظار می‌رود که در آینده بتوان Statcom موجود در خطوط فشارقوی را به گونه‌ای مؤثرتر در برابر خطاهای متقارن و نامتقارن کنترل کرد. استفاده و بررسی کنترل‌کننده‌های فازی، عصبی و فازی-عصبی در تحقیقات آینده از گزینه‌های ممکن است.

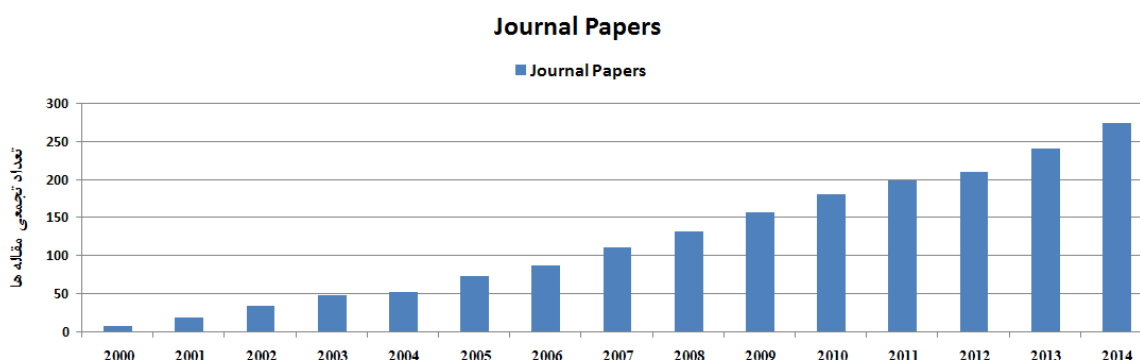
در آینده سیستم قدرت، Statcom های متعددی وجود خواهد داشت. کنترل هماهنگ این Statcom ها و تعیین سایز آن‌ها به منظور استفاده حداکثر از سیستم موجود (ظرفیت خطوط انتقال موجود) از مطالعات جذاب آینده پژوهی خواهد بود. تکنیک باز تزریق ولتاژ در لینک DC به تازگی برای بهبود عملکرد هارمونیک مبدل‌های چندپالسه موج مربعی مطرح شده است. بررسی بیشتر این موضوع و امکان تجاری‌سازی آن از مطالعات مهم آینده پژوهی خواهد بود.



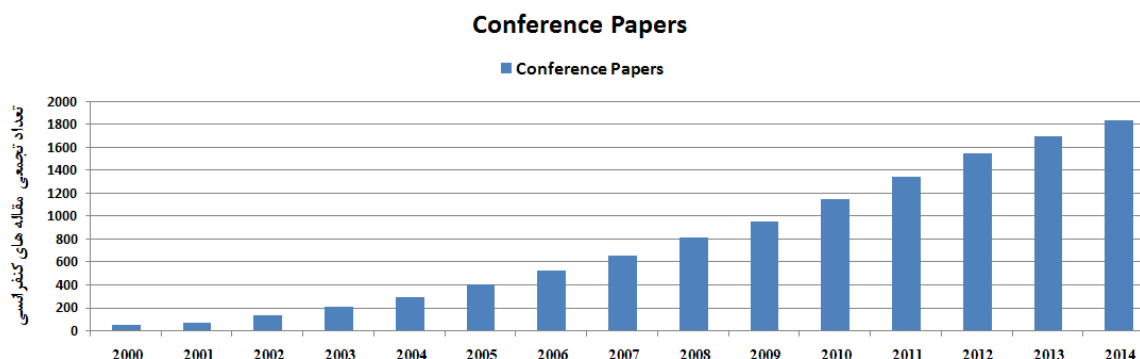
## ۴-۹- وضعیت تحقیقات در زمینه Statcom

### ۴-۹-۱ بررسی آماری مقالات تحقیقاتی منتشر شده در زمینه Statcom

طبق آمار انجمن مهندسی برق و الکترونیک آمریکا (IEEE) از سال ۲۰۰۰ تاکنون، نرخ تحقیقات (به استثناء برخی سال‌های محدود) نرخ صعودی داشته است. برای بررسی بهتر این موضوع پایگاه IEEE Xplore<sup>۱</sup> برای یافتن تحقیقات مرتبط (ژورنالی و کنفرانسی) جستجو شده است و نتایج آن در شکل ۳-۱۳ و شکل ۴-۱۹ نمایش داده شده است. نتایج (اعم از مقالات و کنفرانس‌های) نامربوط با بررسی مناسب، از فهرست آماری حذف شده‌اند.



شکل ۴-۱۸: نمودار فراوانی تجمعی مقالات منتشر شده در سایت IEEE در زمینه Statcom



شکل ۴-۱۹: نمودار فراوانی تجمعی مقالات کنفرانسی منتشر شده در سایت IEEE در زمینه Statcom

1 <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>

با توجه به داده‌های گردآوری شده، تعداد مقالات ژورنالی سالانه چاپ شده در زمینه Statcom از ۸ مقاله در سال ۲۰۰۰ به ۳۳ مقاله در سال ۲۰۱۴ رسیده است. از سوئی دیگر تعداد مقالات کنفرانسی سالانه چاپ شده در زمینه Statcom از ۵۸ مقاله در سال ۲۰۰۰ به ۱۴۲ مقاله در سال ۲۰۱۴ رسیده است. این افزایش نشان‌دهنده توجه به بخش تحقیقات در زمینه تجهیز Statcom است.

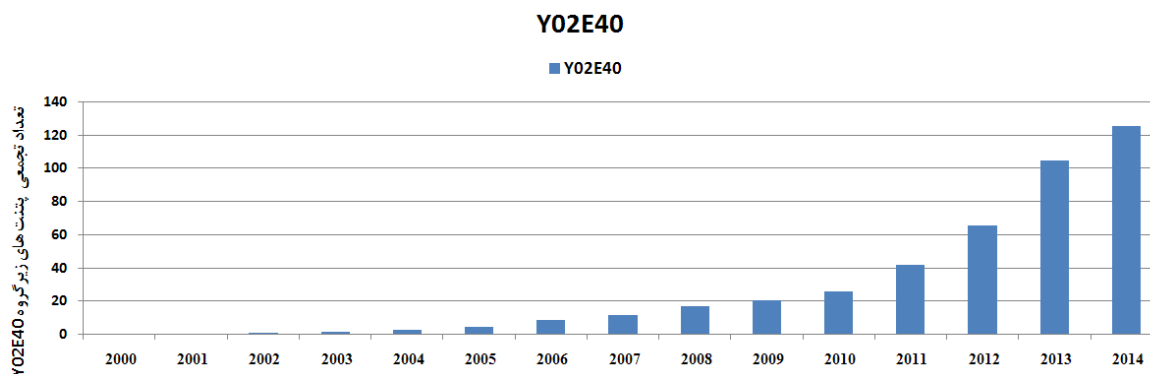
#### ۴-۹-۲ بررسی پتنت‌های منتشر شده در زمینه باد

جستجوگر اداره ثبت اختراعات اروپا [۳۱] یکی از کامل‌ترین بانک‌های اطلاعاتی پتنت‌های بین‌المللی است که اطلاعات مربوط به پتنت‌های اروپا، انگلیس، سازمان جهانی مالکیت فکری، ژاپن و حدود ۹۰ کشور دیگر را دارد. در این سایت امکان جستجوی پتنت‌ها با داشتن کد CPC و یا IPC مربوط به هر گروه از پتنت‌های مربوطه فراهم است. در زمینه الکترونیک قدرت با کاربرد Statcom چندین زیرگروه مشارکت دارند. کد این زیرگروه‌ها به همراه توضیح مشخصات آن‌ها در جدول ۱-۳ آورده شده است.

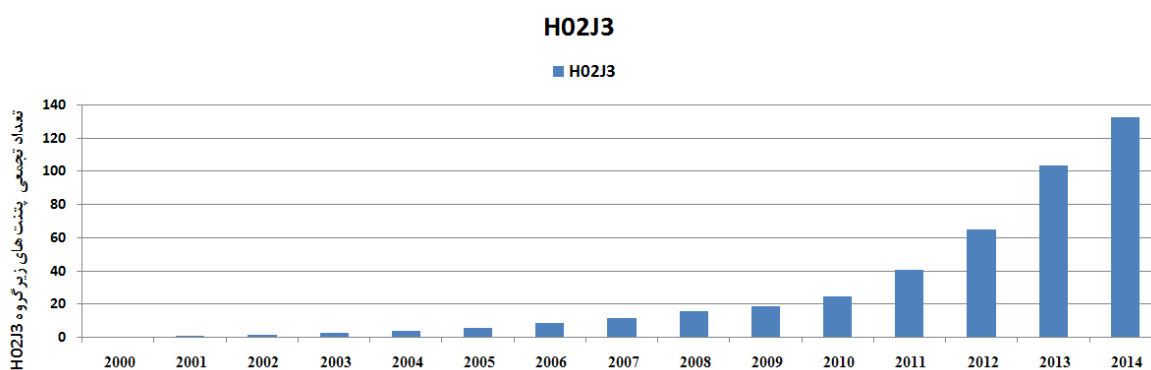
جدول ۱-۴: کد بین‌المللی زیرشاخه‌های مرتبط به الکترونیک قدرت با کاربرد Statcom

مشخصات	کد زیرگروه
فناوری‌های مرتبط با شبکه تولید، انتقال و توزیع توان	Y02E40
ساختارهای مداری برای شبکه AC یا سیستم توزیع AC با تکیه بر جنبه‌های مدیریت، برنامه‌ریزی و کنترل	H02J3
استخراج انرژی از منابع تجدیدپذیر	Y02E10
سیستم‌ها و تجهیزات حامی تولید، انتقال و توزیع توان	Y04S10
فناوری‌های مؤثر در کاهش گازهای گلخانه‌ای	Y02E60
ساختارهای مداری برای تغذیه اضطراری	H02J9
جنبه‌های اختصاصی تکنولوژی مخابرات و فناوری اطلاعات موجود در سیستم تولید، انتقال، توزیع و مصرف توان	Y04S40
فناوری‌های مؤثر برای مدیریت و مصرف کارای توان در سمت مصرف	Y02B70
تبدیل توان AC به DC و برعکس	H02M7

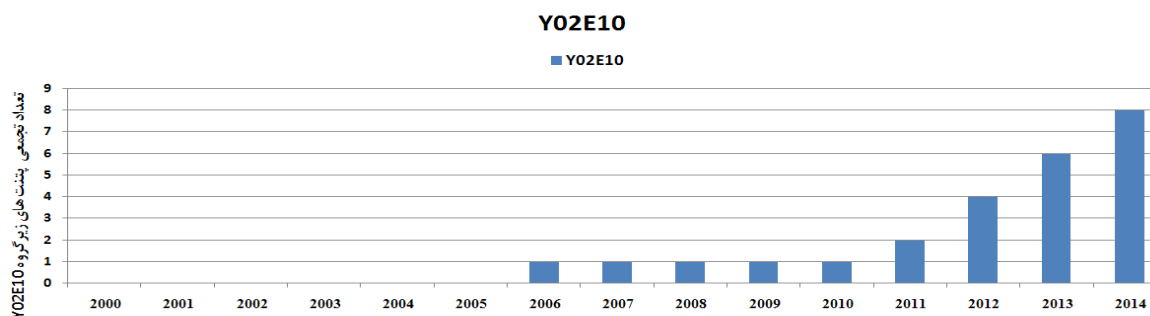
با بررسی در زیرگروه‌های مذکور از بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴، نتایج در قالب شکل ۴-۲۰ تا شکل ۴-۲۷ به نمایش درآمده است.



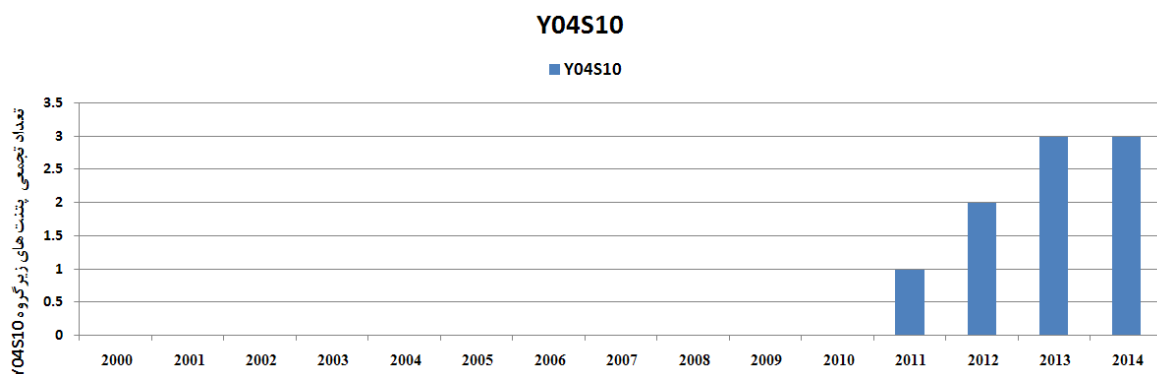
شکل ۴-۲۰: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه‌شده در زیرشاخه Y02E40 مربوط به Statcom



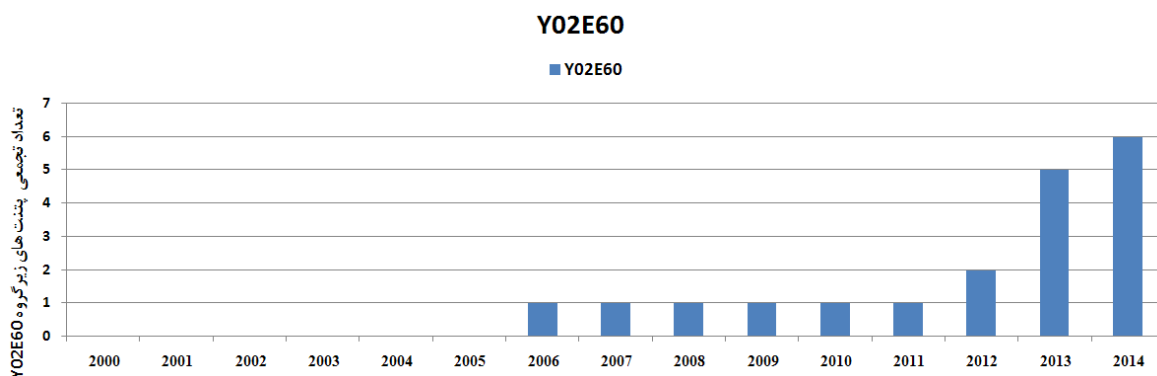
شکل ۴-۲۱: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه‌شده در زیرشاخه H02J3 مربوط به Statcom



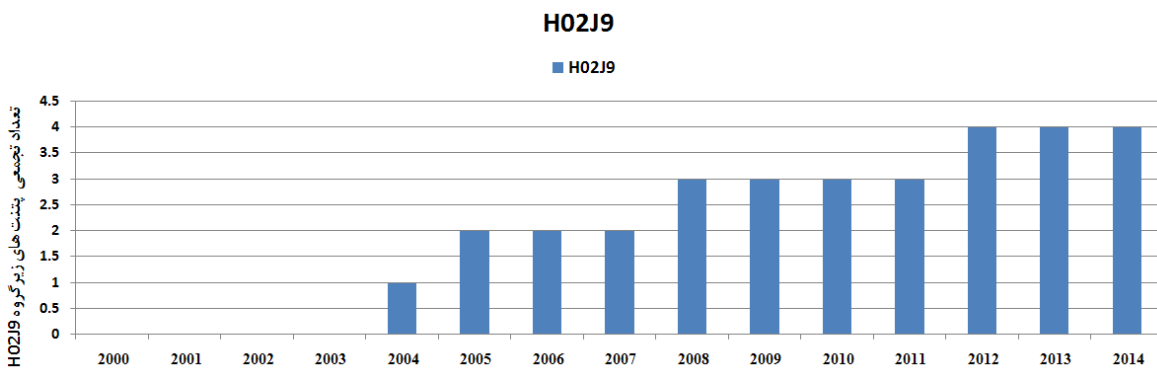
شکل ۴-۲۲: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه‌شده در زیرشاخه Y02E10 مربوط به Statcom



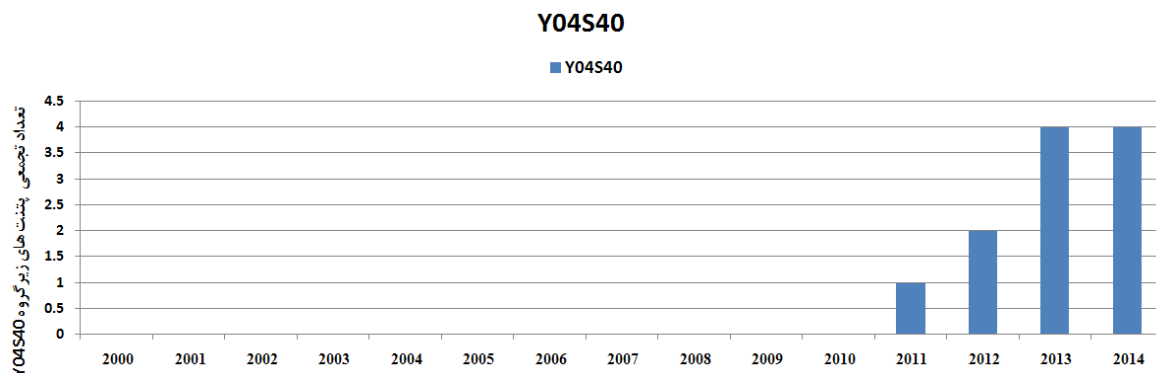
شکل ۴-۲۳: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه شده در زیرشاخه Y04S10 مربوط به Statcom



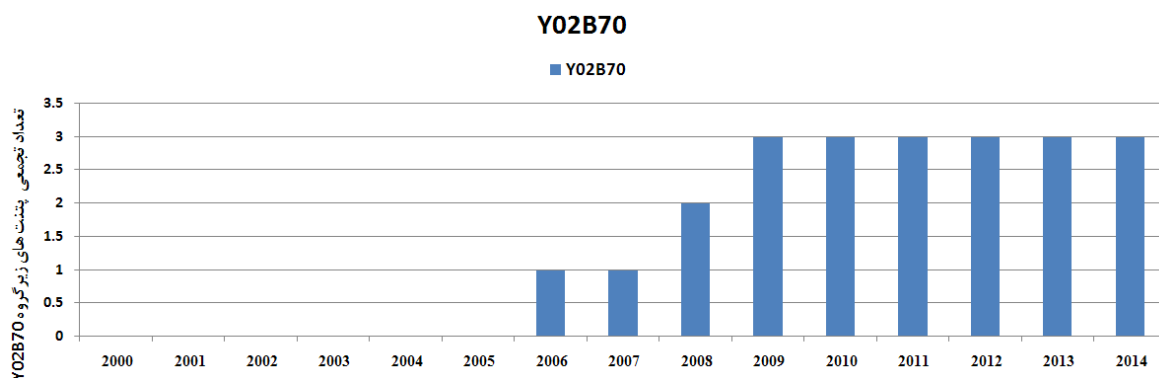
شکل ۴-۲۴: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه شده در زیرشاخه Y02E60 مربوط به Statcom



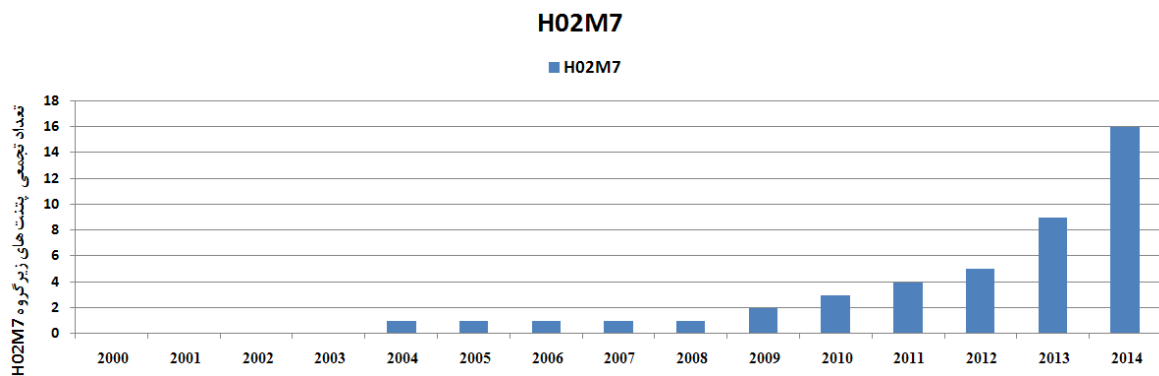
شکل ۴-۲۵: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه شده در زیرشاخه H02J9 مربوط به Statcom



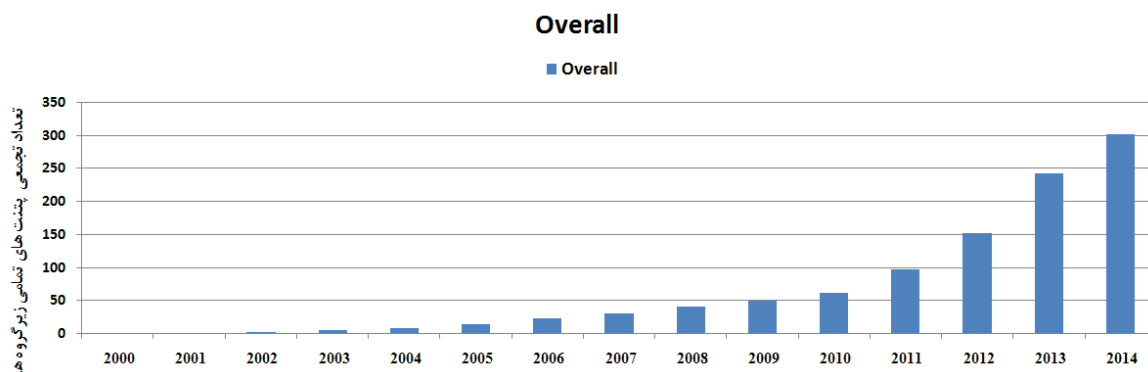
شکل ۴-۲۶: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه شده در زیرشاخه Y04S40 مربوط به Statcom



شکل ۴-۲۷: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه شده در زیرشاخه Y02B70 مربوط به Statcom



شکل ۴-۲۸: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه شده در زیرشاخه H02M7 مربوط به Statcom



شکل ۴-۲۹: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه‌شده در زیرشاخه‌های مربوط به Statcom

همان‌گونه که مشخص است کدهای Y02E40 (فناوری‌های مرتبط با شبکه تولید، انتقال و توزیع توان) و H02J3 (ساختارهای مداری برای شبکه AC یا سیستم توزیع AC با تکیه بر جنبه‌های مدیریت، برنامه‌ریزی و کنترل) بیشترین آمار پتنت‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. پس از آن‌ها زیرگروه H02M7 (تبدیل توان AC به DC و برعکس) و در پی آن Y02E10 (استخراج انرژی از منابع تجدیدپذیر) و Y04S40 (سیستم‌ها و تجهیزات حامی تولید، انتقال و توزیع توان) و Y02E60 (فناوری‌های مؤثر در کاهش گازهای گلخانه‌ای) و H02J9 (ساختارهای مداری برای تغذیه اضطراری) و Y04S40 (جنبه‌های اختصاصی تکنولوژی مخابرات و فناوری اطلاعات موجود در سیستم تولید، انتقال، توزیع و مصرف توان) و Y02B70 (فناوری‌های مؤثر برای مدیریت و مصرف کارای توان در سمت مصرف) در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود از سال ۲۰۱۱ شیب نمودارها افزایش پیدا کرده است و این عامل نشان از مورد توجه قرار گرفتن Statcom است. با توجه به اختلاف بسیار زیاد در رویه‌های تحقیقاتی در قبل و بعد از سال ۲۰۱۱، این دو بازه زمانی به صورت جدا از هم بررسی خواهند شد.

در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۱ تمرکز پتنت‌های ثبت‌شده بر موضوعات زیر است:

- کلیدزنی شش‌پالسه Statcom
- بهره‌برداری چندمنظوره از تجهیزات الکترونیک قدرت (نظیر نقش‌های UPS، Statcom و ...)
- کاربرد احتمالی Statcom در یخ‌زدایی خطوط

- ایجاد هماهنگی میان Statcom و سایر تجهیزات سیستم قدرت (نظیر OLTC، SVC و ...)
  - شیوه‌ها و اهداف کنترلی Statcom (نظیر کنترل غیرخطی، کنترل هارمونیک، کنترل جریان، کنترل کننده مبتنی بر passivity)
  - مدل‌سازی Statcom در معادلات پخش بار
  - بهره‌گیری دوگانه از مبدل‌های واسط انرژی‌های تجدیدپذیر (متصل به PV و مزارع بادی) در نقش Statcom
  - تأمین انرژی موردنیاز Statcom (برای تأمین تلفات داخلی) از منابع تجدیدپذیر
- از سال ۲۰۱۱، با مطرح‌شدن و فراگیری مبدل‌های چند سطحی و H-Bridge تعداد پنت‌های ثبت‌شده به‌صورت چشمگیری افزایش یافته است. در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۱۱ تمرکز پنت‌های ثبت‌شده بر موضوعات زیر است:
- بالانس ولتاژ DC در Statcom های چند سطحی
  - مدل‌سازی Statcom های چند سطحی در مباحث پخش بار
  - کنترل عدم تعادل در شبکه به کمک Statcom های چند سطحی
  - ارائه ساختارهای جدید و طراحی Statcom های ماژولار، قابل حمل و کم‌حجم و (احتمالاً بدون نیاز به ترانسفورماتور)
  - کنترل ولتاژ شبکه و ولتاژ لینک DC در Statcom های با ساختار H-Bridge
  - بررسی رفتار ضمن خطای Statcom های با ساختار H-Bridge
  - طراحی Statcom های با ساختار H-Bridge با ظرفیت‌های نامتقارن
  - کنترل Statcom های با ساختار H-Bridge برای تزریق همزمان توان اکتیو و راکتیو
  - هماهنگی با شبکه
  - کنترل Statcom های با ساختار H-Bridge با تئوری توان لحظه‌ای، فازی-عصبی، تئوری آشوب، تطبیقی، زمان مرده، رد اغتشاش و هیستریزس
  - کنترل Statcom های با ساختار H-Bridge به‌منظور میرا سازی نوسانات سیستم قدرت، محدود کردن جریان خروجی، میرا سازی نوسانات زیرسکرون و بهبود کیفیت توان

- ایفای نقش دوگانه DGها در نقش Statcom
- تجهیز Statcom به مخابرات سریال
- مانیتورینگ Statcom با PLC
- یخزدایی خطوط انتقال با Statcom
- کنترل هماهنگ Statcom با سایر تجهیزات شبکه قدرت
- مدل سازی Statcom های با ساختار H-Bridge

### ۳-۹-۴ نرخ بودجه درخواستی برای گسترش واحد تحقیق و توسعه Statcom

با توجه به بررسی‌های انجام شده مرجع جامع و قابل اتکائی برای بررسی بودجه‌های جهانی اختصاصی یافته برای گسترش تجهیز Statcom وجود ندارد؛ اما آمارهایی در خصوص بودجه اختصاصی دولت‌ها به گسترش الکترونیک قدرت وجود دارد. توسعه Statcom به توسعه اجزاء پایه‌ای تشکیل‌دهنده آن نظیر سوئیچ‌های قدرت، خنک کاری سوئیچ‌ها، دانش کنترل Statcom، ساختارهای جدید مبدل الکترونیک قدرت، میکرو کنترلرها و ... بستگی دارد.

دپارتمان انرژی آمریکا برای توسعه نسل جدید سوئیچ‌های قدرت برنامه دارد. این کشور هم‌اکنون اشتراک بازار ۵۰٪ ای درزمینه نیمه‌هادی دارد. آمریکا در نظر دارد از مواد نیمه‌هادی Wide – Bandgap (نظیر SiC و GaN-Si) برای ساخت سوئیچ‌های با ظرفیت بالا (در کاربرد قدرت) طراحی ساختارهای جدید مبدل‌ها، افزایش چگالی توان، افزایش فرکانس سوئیچینگ، بهبود مدیریت حرارتی و کاهش تلفات سوئیچینگ و هدایتی استفاده کند. تمامی موارد ذکر شده مستقیماً به ارتقای عملکرد Statcom نیز ارتباط دارند. دپارتمان انرژی آمریکا بودجه ۲۷ میلیون دلاری برای تحقیق و توسعه در این خصوص برای سال ۲۰۱۵ در نظر گرفته است. [۱۲۹]

از سوی دیگر بریتانیا، سندی در خصوص گسترش الکترونیک قدرت کاربردی درزمینه انرژی دارد. این کشور در نظر دارد در افق ۱۰ ساله (شروع از سال ۲۰۱۱) سهم بازار خود از تجهیزات الکترونیک قدرت (نظیر HVDC، FACTS، مبدل‌های انرژی تجدیدپذیر و ...) را افزایش دهد. گسترش ادوات نیمه‌هادی Wide Band gap (نظیر SiC و GaN) نیز از دیگر اهداف بریتانیا درزمینه الکترونیک قدرت است. بریتانیا در پروژه‌های تحقیقاتی مربوط به این بخش از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۶



(پیش‌بینی شده) در حدود ۶۰/۷ میلیون یورو سرمایه‌گذاری کرده است. گسترش زمینه‌های فوق مستقیماً منجر به توسعه Statcom خواهد شد [۱۰۵].

از طرفی ژاپن که هم‌اکنون نیز در بخش نیمه‌هادی‌ها، کشور پیشرو جهانی است، برای توسعه سوئیچ‌های نیمه‌هادی با ظرفیت بالا برنامه‌ریزی کرده است. ژاپن برای دستیابی به هدف فوق، توسعه ماده SiC برای ساخت سوئیچ‌های باقابلیت تحمل دمای بالا و فشار بالا برنامه‌ریزی کرده است. این کشور بر توسعه نسل جدید اینورترهای کم اتلاف (با بازده بالای ۹۹٪)، خودروهای برقی و راه‌آهن پرسرعت برقی برنامه‌ریزی کرده است. این کشور برای دستیابی به اهداف فوق در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ به ترتیب ۱/۹۸ میلیارد یورو (۱۴/۹۲ میلیون دلار) و ۴/۵ میلیارد یورو (۳۳/۹۲ میلیون دلار) سرمایه‌گذاری کرده است [۱۳۰].

#### ۴-۱۰- وضعیت بازار Statcom در جهان

با توجه به نبود اطلاعات جامع در خصوص وضعیت بازار Statcom، برای داشتن دیدی بهتر می‌توان بازار ادوات FACTS را بررسی کرد. ادوات FACTS که از تجهیزات استاتیک الکترونیک قدرت تشکیل شده‌اند، امکان کنترل‌پذیری و انتقال بیشتر توان از شبکه الکتریکی را فراهم می‌کنند. به صورت کلی تلاش برای ارتقای امنیت و پایداری شبکه و ارتقاء کیفیت توان فرصت مناسبی برای حضور بیشتر ادوات FACTS فراهم کرده است. با تمرکز بر بخش بازار، ادوات FACTS را حول سه محور نوع جبران‌سازی، صنعت مصرف‌کننده و جغرافیا می‌توان تقسیم‌بندی کرد. هر کدام از محورها را نیز می‌توان تقسیم‌بندی کرد.

از تجهیزات اساسی (مورد استفاده در بازار) ادوات FACTS می‌توان به انواع SVC، Statcom، FSC، TCSC و UPFC اشاره کرد. SVC پرکاربردترین تجهیز FACTS است و ۹۰٪ بازار جبران‌ساز موازی (SVC و Statcom) در سال ۲۰۱۳ را تشکیل می‌دهد. بنابراین تنها ۱۰٪ از سهم بازار جبران‌سازهای موازی در حال حاضر به Statcom تعلق دارد. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۱۸، SVC همچنان بیشترین سهم بازار را داشته باشد. از سوئی دیگر پیش‌بینی شده است UPFC سهمی در بازار نخواهد داشت.

بازار ادوات FACTS از منظر صنعت را می‌توان به بخش‌های شبکه‌های برق، صنعت فولاد، معدن، توربین‌های بادی و راه‌آهن برقی تقسیم‌بندی کرد. در بین صنایع فوق بیشترین سهم بازار به ترتیب متعلق به شبکه برق، صنایع فولاد و معدن است.

با در نظر داشتن اثرات جغرافیائی، پارامترهائی نظیر مقررات محیط‌زیستی، حق زمین و مقررات و استانداردهای حکومتی در خصوص احداث خطوط انتقال جدید از عوامل مؤثر بر گسترش بیشتر ادوات FACTS هستند.

بازار ادوات FACTS را از منظر جغرافیا نیز می‌توان به چهار قسمت، آمریکا، اروپا، APAC و ROW<sup>۱</sup> تقسیم‌بندی کرد. در سال ۲۰۱۲ آمریکا بزرگ‌ترین بازار ادوات FACTS بوده است. پیش‌بینی شده می‌شود آمریکا همچنان بازار مصرف پیش‌تاز این تجهیزات تا سال ۲۰۱۸ باشد. در سوئی دیگر منطقه APAC با رشد سریع صنعتی، بازار روبه رشدی برای ادوات FACTS دارد. پیش‌بینی شده است در سال ۲۰۱۸ حجم بازار ادوات FACTS در ناحیه APAC بیشتر از آمریکا باشد. دست‌آخر آنکه، به دلیل الزامات و ایجاد انگیزه‌های حکومتی در اروپا برای گسترش توان بادی، پیش‌بینی شده است که حجم بازار ادوات FACTS در اروپا گسترش یابد [۱۰۰].

با توجه به جمیع موارد یادشده، پیش‌بینی شده است که حجم بازار تجهیزات FACTS از عدد ۹۱۲/۸۵ میلیون دلار در سال ۲۰۱۲ به عدد یک میلیارد و ۳۸۶ میلیون دلار در سال ۲۰۱۸ برسد که نشانگر رشد سالانه ۷/۲۳ درصدی است. از سوئی دیگر مطابق پیش‌بینی بریتانیا بازار ادوات FACTS در سال ۲۰۱۱ برابر ۴۶۲/۱۱ میلیون دلار با رشد ۱۰٪ بوده است [۱۰۵]. علت تفاوت در اعداد ارائه شده در آن است که هزینه تمام‌شده ادوات FACTS تنها جنبه الکترونیک قدرت (و یا فنی) ندارد، بلکه بسته به سیستم کنترلی انتخابی، مقررات کشورها و ... ممکن است متفاوت باشند. به‌طور مثال قیمت زمین نقش مهمی در هزینه تمام‌شده SVC خواهد داشت [۱۰۷].

## ۴-۱۱ - بررسی تولیدکنندگان جهانی Statcom

بنا بر آمار Marketsand Markets کمپانی‌های ABB (شاخه سوئیس)، ALSTOM (فرانسه)، Siemens (آلمان)، Mitsubishi Electric (ژاپن)، General Electric (آمریکا)، American Superconductor Corporation و توشیبا (ژاپن) بیشترین سهم بازار را در اختیاردارند [100].

جدول ۴-۲: کمپانی‌های برتر در زمینه تولید Statcom و ظرفیت محصولات آن‌ها

نوع سیستم	توان مدل	محل اصلی پروژه‌های اصلی اجرا شده	شرکت
MaxSine Statcom- IGBT-VSC-MODULAR	150 MVAR	آمریکا (Northeast Utilities Service Co)، ۲۰۰۳	ALSTOM
PCS-9583- Multi-level H-Bridge-PWM	-	اولین تولید در سال ۲۰۱۳، در حال بازاریابی	NR Electric
INGEGRID™ SH S مدل ولتاژ پایین ماژولار سه فاز، دوسطحی تا ظرفیت 4MVA INGEGRID SH M ولتاژ متوسط سه فاز، سه سطحی، استفاده از کلیدهای HV-IGBT، IGCT و IEGT حداکثر ظرفیت ۴۰ MVAR	40 MVA	در حال بازاریابی	Ingeteam
Gate Commutated Thyristor (GCT) inverters	±110 MVAR	آمریکا، ۲۰۰۲	POWER Engineers

مبدل سه سطحی IGBT-VSC، سوئیچ زنی با مدولاسیون دامنه	(-65/+140 Mvar), 220 kv	GEAB سوئد، 36 Kv، 1999، 0-44 MVAR Emprian آلمان، 20 Kv، ۲۰۰۰، 0-38 MVAR Oy فنلاند، 33 Kv، ۲۰۰۲، 0-164 MVAR SNCF/RTE فرانسه، 90 Kv، ۲۰۰۳، ±17 MVAR Austin آمریکا، 138 Kv، ۲۰۰۴، +110/-80 MVAR Gerdau آمریکا، 13/2 Kv، ۲۰۰۶، 0-64 MVAR ZPSS چین، 35 Kv، ۲۰۰۶، ±82 MVAR SNCF/RTE فرانسه، 63 Kv، ۲۰۰۸، ±15 MVAR ASS ژاپن، 22 Kv، ۲۰۰۸، 0-64 MVAR GHC امارات، 33Kv، ۲۰۰۹، 0-164 MVAR Unisteer کویت، 33Kv، ۲۰۰۹، 0-164 MVAR UK شبکه برق انگلستان، 11Kv، ۲۰۰۹، 0.6 ±MVAR Sys تایلند، 22Kv، ۲۰۰۹، ±120 MVAR South steel عربستان، 33Kv، ۲۰۱۱، 0-175 MVAR Abul khair بنگلادش، 33 Kv، ۲۰۱۱، 0-110 MVAR Transelec شیلی، 220 Kv، ۲۰۱۱، -65/+140 MVAR Arcelor Mittal آلمان، 30 Kv، ۲۰۱۳، -32/+48 MVAR STATOLL نروژ، 33 Kv، ۲۰۱۳، 0-164 MVAR شیلی (2011، -65 MVAR، +140 MVAR) بریتانیا (2011، -0.6 MVAR، +0.7 MVAR) فرانسه (2008، -16 MVAR، +16 MVAR) چین (2011، +164 MVAR) آمریکا (2005، -80 MVAR، 110 MVAR)	ABB
مبدل چند سطحی مازولار	± 100 MVAR	دانمارک (1997)، 3 KV، 16 MVAR بریتانیا (2009 و 2011) موزامبیک (2010)، 33 KV، ±35 MVAR نیوزلند (2009)، 11 KV، +2×40 MVAR	Siemens
مبدل منبع ولتاژ چند سطحی مازولار SVC-Diamond		پیش‌بینی فروش تجاری از ۲۰۱۶	Mitsubishi Electric

D-VAR® (Dynamic Volt-Amp Reactive), IGBT-VSC-MODULAR	± 100 MVAR	آمریکا (۲۰۱۴) کانادا (۲۰۱۴) بریتانیا (۲۰۱۴) آفریقای جنوبی (۲۰۱۴) استرالیا (۲۰۱۴) چین (۲۰۱۳)	American Superconductor Corporation
VSC-IEGT VSC-GTO-Pulsed	50 MVAR	ژاپن (۱۹۹۲)	Toshiba
11-level cascade multilevel converter	154-kV, 50-MVAR	تولید آزمایشگاهی [۱۳۱]	Middle East Technical University, Ankara, Turkey
		ژاپن، 20 KV، 34 MVAR، ۱۹۹۳ آلمان (Aichi Steel works LTD)، 20 KV، 13 MVAR، ۱۹۹۵ و ۱۹۹۸	FUJI

جدول ۳-۳ فهرست شرکت‌های تولیدکننده Statcom، آخرین تولیدات آن‌ها و میزان فروش آن‌ها را بیان کرده است. اطلاعات فوق از وبسایت شرکت‌ها استخراج شده است. بر مبنای نتایج مطالعه، شرکت (یا سازمان)‌های جهانی قادر هستند Statcom تا مرز ظرفیت 154 MVAR تولید کنند. در بین این شرکت‌ها، ۴ شرکت هنوز موفق به تجاری‌سازی محصولات خود نشده‌اند. در ادامه به بررسی بیشتر نتایج حاصل شده می‌پردازیم.

با در نظر داشتن میزان فروش (مطابق بررسی پروژه‌های نصب‌شده در سراسر جهان)، شرکت‌های AMSC و ABB پرفروش‌ترین شرکت‌های جهانی بوده‌اند. البته با بررسی دو سال اخیر (۲۰۱۳ و ۲۰۱۴) به راحتی می‌توان دریافت که شرکت AMSC با ارائه محصول ماژولار خود به وضوح سهم بازار خود را به میزانی چشمگیر افزایش داده است. این افزایش به گونه‌ای بوده است که تنها در سال ۲۰۱۴، ۵ پروژه صنعتی توسط این شرکت دریافت شده است. از سویی دیگر ۴ شرکت NR Electric، Ingeteam، Mitsubishi Electric و دانشگاه Middle East ترکیه نمونه‌های عملی Statcom را ساخته‌اند و در حال بازاریابی محصول خود هستند. ورود شرکت‌های جدید به بازار Statcom نشان‌دهنده رشد و جذابیت بازار محصول است. دست‌آخر آنکه، با بررسی پروژه‌های نصب‌شده در سراسر جهان مشخص است که ۴ شرکت ALSTOM، Power Engineers، Siemens و Toshiba به وضوح سهم بازار کمتری داشته‌اند.

## ۴-۱۲ - بررسی مقایسه‌ای هزینه مبدل‌های Statcom

برای بررسی مقایسه‌ای هزینه Statcom عمدتاً از اطلاعات دو مرجع [۱۰۷] و [۱۰۸] استفاده شده است. این دو مرجع نیز هزینه‌های تخمینی را بر طبق گزارش‌های EPRI و استعلام از سازندگان به دست آورده‌اند. اگرچه هزینه‌های تخمینی ارائه شده توسط دو مرجع متفاوت هستند، برخی نکات کلی بین آن‌ها مشترک هستند. بر طبق اطلاعات ارائه شده، هزینه UPFC (\$/KW) تقریباً معادل دو برابر هزینه Statcom (\$/KW) است. بر طبق اطلاعات مرجع [۱۰۷] که چاپ سال ۲۰۱۳ است، قیمت Statcom سه فاز برابر ۱۵۰ \$/KVAR است. هزینه سایر ساختارهای FACTS مانند خازن‌های سری و موازی و مبدل‌های SVC نیز برای مقایسه در جدول ۳-۴ ذکر شده‌اند.

جدول ۳-۴: مقایسه هزینه‌های ادوات مختلف FACTS

نوع تجهیز	تخمین مرجع [۱۰۷]	تخمین مرجع [۱۰۸]
خازن موازی	8 \$/KVAR	***
MSC (خازن سوئیچ شونده مکانیکی)	***	<50 \$/KVAR
راکتور موازی سوئیچ شونده مکانیکی	***	<50 \$/KVAR
خازن سری	20 \$/KVAR	***
TSC	***	<50 \$/KVAR
SVC	40 \$/Kvar (Controlled Part)	80 \$/KVAR
TCSC	40 \$/Kvar (Controlled Part)	***
Statcom	50 \$/KVAR	150 \$/KVAR (3-Phase) 200 \$/KVAR (1-Phase)
UPFC-Series Portion	50 \$/KW series power flow	***
UPFC-Shunt Portion	50 \$/KVAR controlled part	***

## ۴-۱۳ - استانداردهای مرتبط با Statcom

در طراحی و بهره‌برداری از مبدل الکترونیک قدرت Statcom و اتصال آن به شبکه استانداردهای گوناگونی ارائه شده

است. در جدول ۴-۴ به برخی از آن‌ها اشاره می‌کنیم.

جدول ۴-۴: استانداردهای مربوط به Statcom

توضیحات	استاندارد
استاندارد IEEE 1676-2010 برای ساختار کنترلی مبدل‌های الکترونیک قدرت با ظرفیت ۱ مگاوات و بالاتر مورد استفاده در خطوط انتقال و توزیع	IEEE 1676-2010
دستورالعمل برای تعیین مشخصات عملکردی Statcom - در حال نگارش -	IEEE P1052
راهنمای IEEE برای مبدل‌های با کموتاسیون خودی ***	IEEE 936-1987
راهنمای IEEE برای تعیین مشخصات عملکردی تجهیزات موازی MV برای جبران‌ساز دینامیک ولتاژ	IEEE 1623-2004
راهنمای استفاده از ابزارهای طراحی برای بلوک‌های مبتنی بر الکترونیک قدرت و سیستم‌های ساخته شده از آن بلوک‌ها - در حال نگارش -	IEEE P1821
ترانسفورماتورهای ویژه مبدل‌های HVDC	IEEE PC57.129
استاندارد برای ترانسفورماتورها و راکتورهای موجود در تجهیزات تبدیل انرژی	IEEE P388
<b>استانداردهای مربوط به مانیتورینگ Statcom</b>	
چهارچوب پیشنهادی برای تبادل داده در پست‌های سیستم قدرت - در حال نگارش -	IEEE P1615
سیستم‌ها و تجهیزات کنترل از راه دور	IEC 60870
<b>استانداردهای مربوط به اتصال Statcom به شبکه</b>	
استاندارد IEEE برای ملزومات کنترل هارمونیک در سیستم قدرت	IEEE 519
راهنمای IEEE برای مانیتورینگ آنالین و ضبط داده‌های مربوط به اضافه ولتاژ گذرا در سیستم قدرت	IEEE P1894
راهنمای IEEE برای تشخیص و بهبود کیفیت ولتاژ در سیستم قدرت	IEEE P1250
محدودیت‌های هارمونیک اتصال به شبکه	EN61000-3-2

استاندارد IEEE 1676-2010 ساختار کنترلی برای تجهیزات الکترونیک قدرت دارای ظرفیت بالاتر از ۱ مگاوات را معین کرده است. این ساختار کنترلی تمامی سطوح از سطح نیمه‌هادی تا سطح سیستم قدرت را شامل می‌شود. این استاندارد شامل تجهیزاتی نظیر بهسازهای کیفیت توان، تجهیزات FACTS، تجهیزات HVDC، منابع تولید پراکنده، تجهیزات واسط منابع ذخیره‌ساز انرژی و ... می‌شود.

راهنمای IEEE P1052 اطلاعات فنی موردنیاز برای تعیین مشخصات عملکردی تجهیز Statcom را فراهم خواهد کرد. عملکردهای موردبررسی در این راهنما شامل جبران‌سازی توان راکتیو، کنترل ولتاژ و پایداری دینامیکی و گذرا است. پیش‌بینی

شده است که این راهنما دارای پیوست‌هایی باشد که کاربران بتوانند با ویرایش آن‌ها - بسته به کاربرد - به نیازهای اختصاصی خود پاسخ دهند. تمرکز این راهنما بر تجهیزات Statcom با ولتاژ نامی بالاتر از 69KV است. این گزارش شامل بخش‌های تعیین مشخصات عملکردی، کاربردها، مطالعات مهندسی، تعیین مشخصات اجزای اصلی، عملکردهای سیستم، آزمون کارخانه‌ای، بستن قرارداد تجاری و بهره‌برداری خواهد بود. باید در نظر داشت که مطالعاتی نظیر جبران عدم تعادل ولتاژ و کاربرد D-Statcom مورد بررسی قرار نخواهد گرفت.

استاندارد IEEE 1623-2004 رهنماهای کلی راجع به تعیین مشخصات عملکردی تجهیزات موزی را ارائه می‌دهد. این تجهیزات عمدتاً در جبران‌سازی نوسان ولتاژ مورد استفاده قرار خواهند گرفت. تمرکز این استاندارد بر تجهیزات با ظرفیت ولتاژ نامی 35 KV است. در این گزارش به تجهیزات اینورتر، یکسوساز، تجهیز ذخیره‌ساز انرژی و ترانسفورماتور کوپلینگ پرداخته شده است.

استاندارد IEEE P1821 جنبه‌های گوناگون مدل‌سازی و شبیه‌سازی بلوک‌های الکترونیک قدرت را به‌منظور طراحی، بهره‌گیری و یکپارچه‌سازی آن‌ها بررسی خواهد کرد. یک جنبه مورد بررسی، استفاده از ابزارهای فیزیک نیمه‌هادی برای تعیین تجهیزات پارازیتی، آنالیز EMI و رفتار حرارتی است. جنبه دیگر مورد بررسی، عملکرد بلوک الکترونیک قدرت را در قالب سیستم بررسی می‌کند. شمول این استاندارد تجهیزاتی نظیر بهسازهای کیفیت توان، تجهیزات FACTS، تجهیزات HVDC، منابع تولید پراکنده، تجهیزات واسط منابع ذخیره‌ساز انرژی و ... می‌شود. تمرکز این گزارش بر تجهیزات الکترونیک قدرت دارای ظرفیت بالاتر از ۱ مگاوات خواهد بود.

استاندارد IEEE PC57.129 ملزومات ترانسفورماتورهای سه فاز و تک فاز روغنی مورد استفاده در سیستم‌های HVDC را بررسی خواهد کرد. با توجه به شباهت ساختار Statcom و VSC-HVDC این استاندارد می‌تواند در کاربرد Statcom نیز مورد استفاده قرار گیرد.

استاندارد IEEE P388 ترانسفورماتورها و اندوکتانس‌های قابل اشباع و بی اشباع مورد استفاده در تجهیزات تبدیل انرژی را بررسی خواهد کرد. این تجهیزات شامل اینورتر، تجهیزات واسط انرژی تجدیدپذیر، منابع تغذیه سوئیچینگ و ... است. مشخصه مشترک این تجهیزات، سوئیچینگ مکرر برای رسیدن به مشخصه مطلوب است.



## فصل پنجم

### تجهيزات الکترونیک قدرت نیروگاهی

## ۵- فصل پنجم تجهیزات الکترونیک قدرت نیروگاهی

### ۵-۱- مقدمه

با پیشرفت روزافزون صنعت برق و گسترش مصرف انرژی الکتریکی، نیاز به تولید این انرژی به‌طور پیوسته در حال افزایش است. تولید برق در نیروگاه‌ها علاوه بر سوخت، ژنراتور و توربین، نیاز به توجه به مسائل فنی بسیاری از جمله مسائل مربوط به اتصال نیروگاه به شبکه، کنترل ژنراتور و ... دارد. در برخی از نیروگاه‌ها، مانند نیروگاه‌های گازی و تلمبه‌ذخیره‌ای، اتصال نیروگاه به شبکه اهمیت زیادی دارد. در نیروگاه گازی، ژنراتور بایستی سریع به‌سرعت نامی خود برسد و در نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای در پاره‌ای اوقات، اتصال به شبکه در حالت موتوری مورد نیاز است. به‌منظور رفع این مشکلات از راه‌اندازهای نیروگاهی استفاده می‌شود. در ابتدا از راه‌اندازهای مکانیکی که ابعاد بسیار بزرگی داشتند، در کاربرد تلمبه‌ذخیره‌ای استفاده می‌شد؛ اما با پیشرفت فناوری الکترونیک قدرت و پدیدار شدن مبدل‌های فرکانس استاتیکی (SFC)، راه‌اندازی سریع، نرم و کم‌هزینه نیروگاه‌های گازی و تلمبه‌ذخیره‌ای ممکن شده است. علاوه بر آن، ظهور SFCها منجر به مطرح‌شدن نسل جدید سیستم‌های تلمبه‌ذخیره‌ای، از نوع سرعت‌متغیر شده است که امکان کنترل فرکانس در شبکه را فراهم کرده است.

یکی دیگر از مسائل فنی نیروگاه‌ها، مربوط به کنترل ژنراتور است. ژنراتور به‌کار رفته در نیروگاه‌ها، عمدتاً از نوع سنکرون است که نیاز به سیستم تحریک دارد. در گذشته از سیستم‌های دینامیکی که به دلیل ماهیت مکانیکی، سرعت عملکرد پایین و ابعاد بزرگی داشتند برای تحریک ژنراتور سنکرون استفاده می‌شد که با ظهور الکترونیک قدرت و مطرح‌شدن سیستم‌های تحریک مبتنی بر یکسوسازها، کنترل تحریک سریع و نرم ژنراتور سنکرون ممکن شده است.

در ادامه ابتدا به مقدمه‌ای درباره نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای و گازی و مسائل فنی اتصال آن‌ها و همچنین سیستم تحریک ژنراتور ارائه می‌شود. سپس به طبقه‌بندی و بررسی انواع ساختارهای SFCهای نیروگاهی و سیستم‌های تحریک پرداخته می‌شود. در ادامه شرکت‌های فعال در این زمینه معرفی شده و محصولات آن‌ها از نظر ظرفیت و چگالی توان و ژنراتور منطبق با آن‌ها طبقه‌بندی می‌شود. در پایان، میزان توجه به سیستم‌های راه‌انداز استاتیک و تحریک ژنراتور در پژوهش‌های علمی و صنعتی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

## ۵-۲- مقدمه‌ای بر نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای، گازی، سیستم‌های تحریک و

### کاربرد الکترونیک قدرت در آن‌ها

برای تضمین امنیت و پایداری سیستم قدرت، مدیریت تعادل بین سطوح مصرف و تولید انرژی، امری ضروری است. نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای، تنها راه اقتصادی و انعطاف‌پذیر برای ذخیره‌سازی انرژی در ابعاد بزرگ هستند و مدیریت توان شبکه برق را امکان‌پذیر می‌سازند. در این نیروگاه‌ها، ژنراتور توربین آبی به‌منظور ذخیره‌ی آب در حوضچه‌های بالادست، می‌تواند به‌صورت موتوری عمل کند تا در مواقع تقاضای بالای انرژی در شبکه، از آب ذخیره‌شده برای تولید برق استفاده شود. پروژه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای از سال ۱۹۲۰ تاکنون در ایالات‌متحده و اروپا، ظرفیت بالای ذخیره‌سازی انرژی و مزایای فراوانی را برای شبکه‌های برق فراهم کرده است. در حال حاضر در آمریکا، ۴۰ پروژه تلمبه‌ذخیره‌ای، ظرفیتی بیش از ۲۰ گیگاوات که حدود ۲ درصد ظرفیت نیروگاهی نصب‌شده کل کشور آمریکا است را فراهم کرده است [۱۳۲]. در جدول ۱-۵، ظرفیت‌های نصب‌شده تلمبه‌ذخیره‌ای در کشورهای مختلف نشان داده شده است. در سال ۲۰۰۹، ظرفیت نصب‌شده سیستم تلمبه‌ذخیره‌ای در جهان، بیش از ۱۰۰ گیگاوات بوده است.

در آمریکا، نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای، فقط قادر به ذخیره‌ی ۲ درصد از ظرفیت نیروگاهی نصب‌شده کشور است که در مقایسه با اتحادیه اروپا و ژاپن که این میزان به ترتیب مقادیری حدود ۵ درصد و ۱۰ درصد است، کمتر است؛ اما طرح‌هایی برای ساخت حوضچه‌هایی در نزدیکی نیروگاه‌ها، برنامه‌ریزی شده که این ظرفیت را دو برابر می‌کند.

جدول ۱-۵: ظرفیت نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای جهان در سال ۲۰۰۹

آمریکای شمالی ۲۲/۴ گیگاوات			
۲۲/۲	ایالات متحده آمریکا	۰/۲	کانادا
آمریکای مرکزی و جنوبی ۱ گیگاوات			
		۱	آرژانتین
اروپا ۴۳/۷ گیگاوات			
۱/۱	لوکزامبورگ	۴/۴	اتریش
۱/۴	نروژ	۱/۳	بلژیک
۱/۴	لهستان	۰/۹	بلغارستان
۱/۰	پرتغال	۰/۳	کرواسی
۰/۶	صربستان	۱/۱	جمهوری چک
۰/۹	اسلواکی	۴/۳	فرانسه
۵/۳	اسپانیا	۶/۷	آلمان
۰/۱	سوئد	۰/۶	یونان
۱/۸	سوئیس	۰/۳	ایرلند
۲/۷	انگلستان	۷/۵	ایتالیا
اروپای شرقی و آسیا ۲ گیگاوات			
۱/۲	روسیه	۰/۸	لیتوانی
آفریقا ۱/۵ گیگاوات			
۱	آفریقای جنوبی	۰/۵	مغرب
آسیا و اقیانوسیه ۳۳ گیگاوات			
۴	کره جنوبی	۱	استرالیا
۳	تایوان	۲۵	ژاپن
جهان ۱۰۳/۶ گیگاوات			

## ۵-۲-۱ راه اندازی نیروگاه های تلمبه ذخیره ای و گازی

به دلیل بالا بودن ظرفیت توربین های آبی، راه اندازی مستقیم ماشین های سنکرون در حالت موتوری، امکان پذیر نیست. برای اتصال این نیروگاه ها به شبکه، از مبدل های فرکانسی استاتیکی (SFC)<sup>۱</sup> استفاده می شود. این مبدل ها و یا راه اندازها، در

حالت موتور ولتاژ و فرکانس ورودی ماشین را به صورت پیوسته از مقادیر پایین افزایش می دهند تا به سرعت سنکرون با شبکه برسد.

توربین های گازی نیز اغلب باید در مدت زمان کوتاهی راه اندازی شوند. راه انداز SFC، ابتدا توربین گاز را به صورت موتور تغذیه می کند تا در مدت زمان کوتاهی، به سرعت نامی خود برسد و با شبکه سنکرون شود. کاربرد SFC برای نیروگاه های تلمبه ذخیره ای، اتصال نرم موتور سنکرون به شبکه است ولی کاربرد آن برای نیروگاه گازی، راه اندازی سریع و رسیدن به سرعت سنکرون است.

### ۵-۲-۲ کنترل دور در نیروگاه های تلمبه ذخیره ای سرعت متغیر

در نیروگاه های تلمبه ذخیره ای سرعت متغیر که برای کنترل فرکانس و مدیریت توان در شبکه مورد بهره برداری قرار می گیرند، زمانی که توربین در حالت موتور عمل می کند، برای کنترل سرعت و گشتاور موتور، از درایوهای سرعت متغیر یا SFC های کنترل سرعت استفاده می شود.

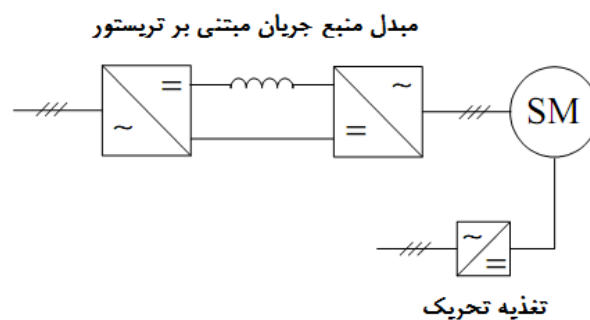
### ۵-۲-۳ سیستم تحریک ژنراتور سنکرون نیروگاه

سیستم تحریک ژنراتور سنکرون، در واقع ستون فقرات سیستم کنترل ژنراتور سنکرون است. این سیستم شامل منبع توانی است که جریان مغناطیس کنندگی dc را به سیم پیچ های میدان ژنراتور سنکرون تزریق کرده و بدین وسیله در سیم پیچ های ماشین، ولتاژ و جریان ac القا می شود. در سیستم های تحریک امروزی، به منظور استفاده از توان ac خروجی ژنراتور برای تغذیه تحریک dc، از یکسوسازهای الکترونیک قدرت استفاده می شود.

### ۵-۳- تجهیزات الکترونیک قدرت در نیروگاه های تلمبه ذخیره ای

امکان عملکرد نیروگاه های تلمبه ذخیره ای با سرعت متغیر، از زمانی مطرح شده است که درایوهای الکترونیکی و سیستم های الکترونیک قدرت مانند خطوط HVDC کنترل شده با تریستور، به صورت تجاری در سیستم قدرت، مطرح شده اند. در تحقیقات اولیه در سال ۱۹۸۰ در زمینه عملکرد سرعت متغیر پمپ-توربین، ساختار مبدل های تریستوری ظرفیت کامل که در شکل ۵-۱

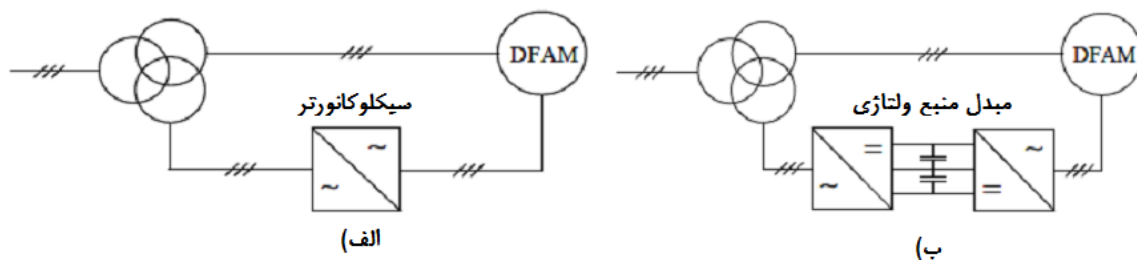
نشان داده شده است، پیشنهاد شده است [۱۳۳]. این ساختار برای اتصال مستقیم واحدهای تلمبه‌ذخیره‌ای به خطوط HVDC نیز در نظر گرفته شده است [۱۳۴, ۱۳۵]. اگرچه این ساختار، ساده و مبتنی بر یک ماشین سنکرون متعارف است، اما به کارگیری یک مبدل تمام ظرفیت به علت هزینه و تلفات بالا در نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای بزرگ، مهم‌ترین مشکل این ساختار است؛ بنابراین تاکنون در تعداد کمی سیستم تلمبه‌ذخیره‌ای ظرفیت بالا، برای عملکرد با سرعت متغیر پیوسته، از این پیکربندی استفاده شده است. علیرغم آن، مبدل‌های تریستوری با ظرفیت پایین، روشی معمول برای راه‌اندازی سیستم‌های تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت ثابت شده‌اند [۱۳۲, ۱۳۶]. همچنین مبدل‌های ظرفیت پایین برای بهبود حالت گذرا بین وضعیت‌های عملکردی مختلف سیستم‌های تلمبه‌ذخیره‌ای، پیشنهاد شده‌اند [۱۳۷].



شکل ۵-۱: تغذیه‌ی ماشین سنکرون با مبدل منبع جریان تریستوری با ظرفیت کامل

برای اکثر کاربردهای سیستم تلمبه‌ذخیره‌ای در حالت عادی، فقط به دامنه‌ی محدودی از تغییرات سرعت، نیاز است. بدین ترتیب برای حصول عملکرد سرعت‌متغیر، می‌توان از ماشین‌های القایی دوسوتغذیه و مبدل‌های الکترونیک قدرت با ظرفیت پایین‌تر نسبت به ظرفیت کل ماشین، استفاده کرد. این ساختار در تحقیقات اولیه برای نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت‌متغیر در نظر گرفته شده است و بعدها در اکثر نیروگاه‌های ظرفیت بالا باهدف کاهش ظرفیت مبدل مورد نیاز، به کار گرفته شده است. بدین ترتیب، با کاهش ظرفیت مورد نیاز برای SFC کنترل سرعت در ظرفیت‌های بالا، صنایع قادر به ساخت واحدهایی با ظرفیت صدها مگاوات شدند [۱۳۸]. علاوه بر کاهش یافتن ظرفیت مبدل نسبت به ساختار مبتنی بر مبدل جریان تمام ظرفیت، این ساختار دارای قابلیت کنترل توان راکتیو مبادله شده بین شبکه و نیروگاه نیز می‌باشد؛ بنابراین نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت‌متغیر، به دلیل قابلیت کنترل جریان خروجی، می‌تواند برای کنترل ولتاژ در شبکه و برای بهبود پایداری و شرایط عملکردی سایر نقاط شبکه، مورد استفاده قرار گیرد [۱۳۹].

زمانی که اولین سیستم تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت‌متغیر ظرفیت بالا پیاده‌سازی شد، به‌منظور فراهم شدن ظرفیت کافی، مبدل‌های الکترونیک قدرت بایستی از نوع تریستوری می‌بودند. از آنجایی که فرکانس مورد نیاز برای روتور در ماشین القایی دوسوتغذیه، از تغییرات سرعت سنکرون داده می‌شود، معمولاً این فرکانس به چند هرتز محدود است. بدین ترتیب ساختار متشکل از سیکلکانورتر طبق شکل ۲-۵ الف، به‌عنوان راه‌حلی مناسب با طراحی مقاوم و تلفات پایین در ظرفیت‌های بالا، در نظر گرفته شده است [۱۴۰].



شکل ۲-۵: شماتیک ساختارهای ماشین القایی دوسوتغذیه. الف) تغذیه سیم‌پیچ روتور با استفاده از یک سیکلکانورتر ب) تغذیه سیم‌پیچ روتور با استفاده از یک مبدل منبع ولتاژ پشت‌به‌پشت و خازن واسط dc

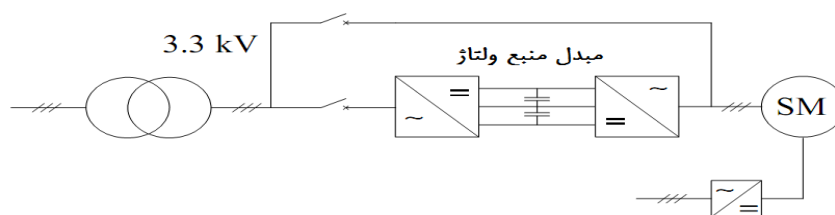
با پیشرفت صنعت الکترونیک قدرت و افزایش ظرفیت ولتاژ و جریان کلیدهای گیت کنترل‌شده مانند GTO، GCT، IGCT و IGBTها، توپولوژی‌های مبتنی بر مبدل‌های منبع ولتاژ پشت‌به‌پشت، برای تغذیه سیم‌پیچی روتور ماشین القایی دوسوتغذیه، بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. این ساختار در شکل ۲-۵ ب، نشان داده شده است. بدین منظور معمولاً دو ساختار مبدل منبع ولتاژ دوسطحی یا سه‌سطحی دارای نقطه نول پیشنهاد شده‌اند. با توسعه مبدل‌های منبع ولتاژ توانایی در کاربردهای صنعتی، ساختار مبدل منبع ولتاژ به کار رفته در نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای جدید نیز به‌طور پیوسته بهبود داده‌شده و در سیستم‌های تلمبه‌ذخیره‌ای جدید مانند پروژه اخیر شرکت‌های Mitsubishi [۱۴۱] و Toshiba [۱۴۲] از آن‌ها استفاده شده است.

همان‌طور که بیان شد، مهم‌ترین پیشرفت در صنعت نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای در دو دهه اخیر، مطرح‌شدن سیستم‌های سرعت‌متغیر بوده است. اولین سیستم‌های تجاری با به‌کارگیری ماشین‌های القایی دوسوتغذیه بزرگ، در سال ۱۹۹۰ در ژاپن تحقق یافت و اولین پیاده‌سازی نیروگاه ظرفیت بالا با یک مبدل تریستوری ظرفیت کامل برای عملکرد با محدوده تغییرات وسیع سرعت و ارتفاع آب حوضچه‌ها، در همان زمان در چین ساخته شده است [۱۴۰]. پیاده‌سازی سیستم‌های تلمبه‌ذخیره‌ای در

ژاپن، به هر دو منظور ذخیره‌سازی انرژی و بهبود کنترل‌پذیری سیستم قدرت ژاپن که برق عمده‌ی آن از نیروگاه‌های هسته‌ای و به‌صورت توان ثابت تأمین می‌شده است، صورت گرفته است. به‌منظور بهره‌برداری از مزایای این سیستم برای عملکرد سیستم قدرت، به واحدهای آبی بزرگی نیاز بود و پروژه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای تا ظرفیت ۴۰۰ مگا ولت‌آمپر، پیشنهاد و برنامه‌ریزی شد. پروژه‌های زیادی نیز از سال‌های ۲۰۰۹ به بعد، با ماشین‌های ظرفیت بالا تا ۴۷۵ مگا ولت‌آمپر، برنامه‌ریزی و پیاده‌سازی شده است [۱۴۲].

در اروپا، هم‌زمان با ساخت اولین واحد تجاری در ژاپن، پروژه‌های ظرفیت پایینی اجرایی شده است. در سال ۲۰۰۹، یک سیستم تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت‌متغیر با ظرفیت بالا با ماشین‌های ۳۰۰ مگا ولت‌آمپری و با استفاده از سیکلوکانورتر سمت تغذیه روتور با ظرفیت ۱۰۰ مگا‌ولت‌آمپر در اروپا توسط شرکت Alstom، ساخته و به کار گرفته شد و دو پروژه دیگر نیز در همان زمان در اسلوانی و سوئیس در حال ساخت بوده است [۱۴۳].

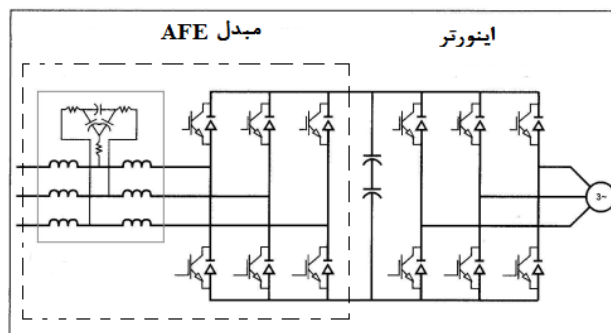
مطالب فوق‌الذکر نشان می‌دهد که واحدهای تلمبه‌ذخیره‌ای با مبدل منبع ولتاژ با ظرفیت کامل برای تغذیه سیم‌پیچ‌های استاتور ماشین، یک ساختار قابل اجرا است. با افزایش ظرفیت کلیدهای نیمه‌هادی با کموتاسیون خودی و در دسترس بودن درایوهای مبدل منبع ولتاژ موتوری با ظرفیت بالا، این ساختار می‌تواند راه‌حل مطلوبی به‌خصوص برای سیستم‌های تلمبه‌ذخیره‌ای در شبکه‌های ایزوله و ضعیف باشد [۱۳۷]. شماتیک این ساختار در شکل ۳-۵ نشان داده شده است. در این سیستم، ماشین از نوع سنکرون با سیستم تحریک استاتیک در نظر گرفته شده است و سطح ولتاژ خروجی مبدل منبع ولتاژ، ۳/۳ کیلوولت و یا هر سطح ولتاژ مناسب برای درایوهای ولتاژ متوسط، پیشنهاد شده است. مبدل‌های منبع ولتاژ، از نوع درایوهای استاندارد صنعتی مبتنی بر ساختار سه‌سطحی دارای نقطه نول و یا هر ساختار مبدل منبع ولتاژی دیگر متناسب با کاربرد، قابل استفاده است.



شکل ۳-۵: ساختار سیستم تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت‌متغیر مبتنی بر مبدل منبع ولتاژ با ظرفیت کامل



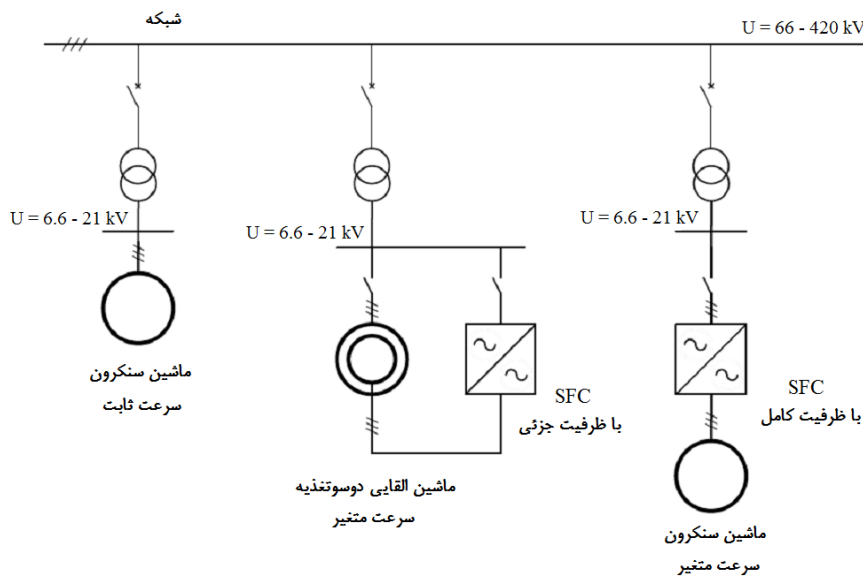
در این ساختار، می‌توان از یکسوساز دیودی برای مبدل سمت شبکه استفاده نمود و عملکرد سرعت‌متغیر را فقط در حالت موتور فراموش کرد. بدین ترتیب می‌توان تلفات را در حالت موتوری، کاهش داد ولی در حالت ژنراتوری، عملکرد سرعت‌متغیر امکان‌پذیر نخواهد بود. عملکرد سرعت‌متغیر در حالت ژنراتوری، امکان عملکرد در سرعت بهینه برای محدوده وسیع تغییرات ارتفاع آب و یا افزایش کنترل‌پذیری و سرعت پاسخ سیستم را فراهم می‌کند. با استفاده یک ساختار دارای مبدل AFE<sup>1</sup> در حالت برگشت‌پذیری گذر توان، کنترل ولتاژ در شبکه با استفاده از جریان راکتیو، در زمانی که پمپ-توربین غیرفعال است، امکان‌پذیر است. در واقع در این حالت، ماشین به‌عنوان یک جبران‌ساز استاتیکی سنکرون (Statcom) عمل می‌کند. اگر مبدل سمت شبکه، کنترل‌پذیر باشد، امکان عملکرد جدا از شبکه‌ی نیروگاه و کنترل فرکانس شبکه، حتی در مواقعی که هیچ یک از ژنراتورهای سنکرون در مدار نباشند نیز امکان‌پذیر است.



شکل ۵-۴: ساختار SFC دارای مبدل AFE

### ۵-۳-۱ طبقه‌بندی نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای از نظر مبدل‌های الکترونیک قدرت

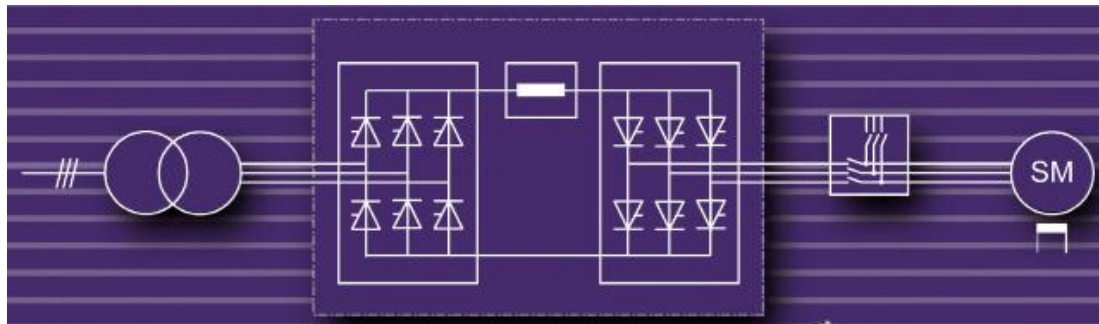
همان‌طور که در بخش‌های قبلی اشاره شد، نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای را می‌توان به دودسته کلی سرعت ثابت و سرعت‌متغیر تقسیم نمود که سیستم تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت‌متغیر نیز به دودسته ظرفیت جزئی و ظرفیت کامل تقسیم می‌شوند؛ بنابراین سیستم‌های الکترونیک نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای از نظر مبدل‌های الکترونیک قدرت، در سه دسته قرار می‌گیرند که این دسته‌بندی در شکل ۵-۵ نشان داده شده است.



شکل ۵-۵: دسته‌بندی نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای از نظر مبدل‌های الکترونیک قدرت

### ۵-۳-۱-۱- سیستم سرعت ثابت

در سیستم تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت ثابت، یک ماشین سنکرون به صورت مستقیم به شبکه متصل می‌شود. این ساده‌ترین روش برای به کارگیری نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای است که امروزه کاربرد بسیار کمتری نسبت به گذشته دارد. این سیستم‌ها در سرعت ثابت بهره‌برداری شده و برای ذخیره‌سازی عظیم انرژی، مورد استفاده قرار می‌گیرند. اگر در این نیروگاه‌ها، گذر توان دوچهارمته مطلوب باشد، یک راه‌انداز برای راه‌اندازی توربین در حالت موتوری نیاز است. زمانی که ماشین به سرعت سنکرون می‌رسد، ماشین با استفاده از یک مدارشکن به طور مستقیم به شبکه متصل می‌شود. برای راه‌اندازی نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای از مبدل‌های فرکانسی استاتیکی (SFC) استفاده می‌شود که با کنترل‌پذیری بالای خود، تنش وارده بر ماشین و شبکه را کاهش می‌دهند [۱۴۴]. در شکل ۵-۶ ساختار یک SFC که برای راه‌اندازی توربین تلمبه‌ذخیره‌ای استفاده می‌شود، نشان داده شده است. در این ساختار از یک پل یکسوساز در سمت شبکه و یک پل تریستوری برای کنترل فرکانس و ولتاژ در سمت موتور سنکرون استفاده شده است. در ساختار این SFC، از مبدل‌های ۶ یا ۱۲ پالسی استفاده می‌شود تا تأثیر مبدل بر ریپل گشتاور ماشین، کاهش یابد. در لینک dc این راه‌انداز نیز، از یک راکتور dc برای صاف کردن و همچنین محدود کردن نرخ تغییرات جریان dc استفاده شده است.



شکل ۵-۶: راه‌انداز نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت ثابت

### ۵-۳-۱-۲- سیستم‌های سرعت‌متغیر با ظرفیت کامل

همان‌طور که در شکل ۵-۵ نشان داده شده است، در این نوع سیستم‌ها برای کنترل سرعت، از یک مبدل فرکانسی ظرفیت کامل که به استاتور ماشین سنکرون متصل می‌شود، استفاده می‌شود. با افزایش ظرفیت کلیدهای نیمه‌هادی و ساخته شدن مبدل‌های منبع ولتاژی توانایی، این ساختار، بیشتر از قبل مورد توجه قرار گرفته است.

به دلیل محدودیت در طراحی و ساخت، مبدل‌های فرکانسی فقط تا محدوده‌ی توان ۱۰۰ مگاوات موجود هستند. برای سیستم‌های تلمبه‌ذخیره‌ای بزرگ‌تر، طراحی بر مبنای ماشین‌های القایی دوسوتغذیه می‌تواند از نظر اقتصادی، مقرون به‌صرفه‌تر باشد [۱۴۴].

### ۵-۳-۱-۳- سیستم‌های سرعت‌متغیر با ظرفیت جزئی

همان‌طور که در شکل ۵-۵ نشان داده شده است، در این نوع سیستم‌ها برای کنترل سرعت، از یک مبدل فرکانسی ظرفیت جزئی که به روتور ماشین آسنکرون متصل می‌شود، استفاده می‌شود. با این ساختار می‌توان با استفاده از یک مبدل فرکانسی با ظرفیتی کمتر از ظرفیت ماشین، سرعت ماشین را کنترل کرد. از آنجایی که در این سیستم‌ها، ظرفیت مبدل، ظرفیت کل سیستم را محدود نمی‌سازد، این ساختار در کاربردهای توان بالا، ترجیح داده می‌شود. سیکلکانورترها در پروژه‌های توانایی به علت تلفات پایین و طراحی مقاوم، روش مناسبی برای کنترل سیستم‌های تلمبه‌ذخیره‌ای هستند، اما امروزه ساختار مبدل منبع ولتاژی پشت‌به‌پشت بسیار بیشتر از ساختار سیکلکانورتری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ساختار مبدل منبع ولتاژی پشت‌به‌پشت، قادر است هم قابلیت بهره‌برداری در سرعت بالاتر از سرعت سنکرون و هم سرعت پایین‌تر از آن را ایجاد کند. این ساختار معمولاً ساختار ژنراتور القایی دوسوتغذیه نامیده می‌شود که به قابلیت انتقال توان هم به سمت روتور و هم از روتور به شبکه و هم از استاتور به شبکه در آن فراهم شده است. مبدل پشت‌به‌پشت بین روتور و شبکه (با استفاده از یک ترانسفورماتور سه سیم‌پیچ) قرار می‌گیرد، در حالی که استاتور ماشین، به‌طور مستقیم با استفاده از ترانسفورماتور به شبکه وصل می‌شود. در این ساختار، ظرفیت مورد نیاز برای مبدل فرکانسی، حدود ۳۰٪ توان کل تولیدی است و هرچه ظرفیت مبدل بیشتر باشد، قابلیت عملکرد در رنج وسیع‌تری از تغییرات سرعت فراهم می‌شود [۱۴۴].

## ۵-۳-۲ مقایسه کلی ساختار نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای از نظر مبدل‌های الکترونیک

### قدرت

مقایسه ساختارهای مختلف سیستم تلمبه‌ذخیره‌ای از نظر به‌کارگیری مبدل‌های الکترونیک قدرت، با توجه به مطالب ارائه‌شده تاکنون، در جدول ۵-۲ نشان داده شده است.

## ۵-۳-۳ مطالعه انواع ساختار مبدل‌های مورد استفاده در نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای

### سرعت متغیر

ساختار مبدل‌های مورد استفاده در سیستم‌های تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت‌متغیر، معمولاً از دو نوع سیکلوکانورتی یا مبدل پشت‌به‌پشت است. مبدل پشت‌به‌پشت نیز به مبدل‌های دوسطحی یا سه‌سطحی دیود قفل‌شده، تقسیم می‌گردد. ساختار جدید مورد استفاده در این سیستم، مبدل چند سطحی H-پل آبشاری است که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

جدول ۵-۲: مقایسه ساختار توربین/ژنراتور نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت‌متغیر از نظر مبدل الکترونیک قدرت

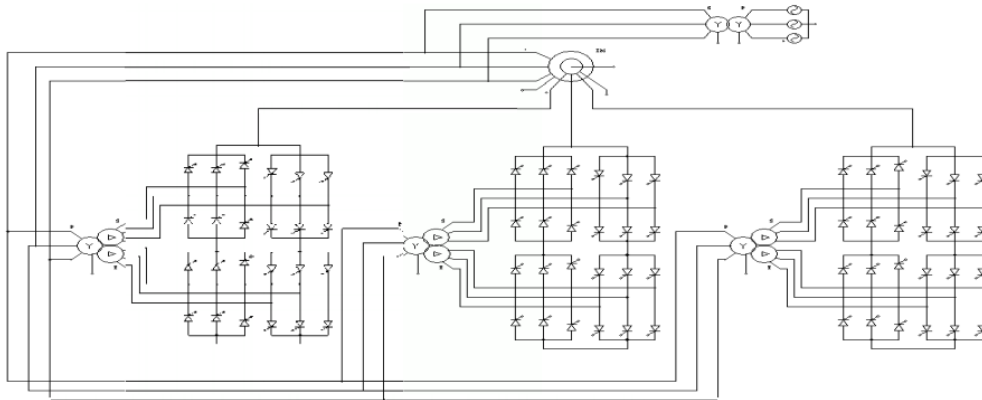
نوع مبدل	ساختار مجهز به مبدل راه‌انداز	ساختار دارای مبدل ظرفیت جزئی	ساختار دارای مبدل ظرفیت کامل
نوع ماشین	ماشین سنکرون (سرعت ثابت)	ماشین القایی دوسوتغذیه	ماشین سنکرون

ناحیه عملکردی وسیع در هر دو حالت عملکردی توربین و موتوری عدم نیاز به مبدل راه انداز بازگشت انرژی در حالت ترمزی ماشین سنکرون در این ساختار هزینه پایینی دارد ملزومات نگهداری پایین برای ماشین سنکرون قابلیت تغییر جهت عملکرد با تغییر جهت شارش آب	ناحیه عملکردی وسیع در هر دو حالت عملکردی توربین و موتوری قابل به کارگیری در ظرفیت‌های بالای ۱۰۰ مگاوات بازگشت انرژی در حالت ترمزی کنترل توان راکتیو در شبکه	تکنولوژی معمول و قابل اطمینان هزینه‌ی پایین بازگشت انرژی در حالت ترمزی	مزایا
مبدل فرکانسی گران قیمت محدودیت توان برای مبدل فرکانسی تا حدود ۱۰۰ مگاوات	نگهداری پیچیده‌ی ماشین آسنکرون نیاز به ترانسفورماتور جدا برای روتور و همچنین گران بودن ماشین‌های القایی دوسو تغذیه	ناحیه عملکردی محدود بار ثابت در حالت پمپاژ (عدم کنترل توان)	معایب

### ۵-۳-۳-۱- سیکلکانورتر

سیکلکانورترها (AC/AC) در صنایع توانایی برای تغذیه ماشین‌های سنکرون و آسنکرون، به منظور تغییر فرکانس از ۵۰ یا ۶۰ هرتز به فرکانس‌های پایین مورد استفاده قرار می‌گیرند. سیکلکانورترهای تغییر سرعت، در ۸ سال اخیر در ژاپن، در نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت متغیر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این مبدل، معمولاً از کلیدهای GTO در کاربرد مربوط به نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای استفاده می‌شود.

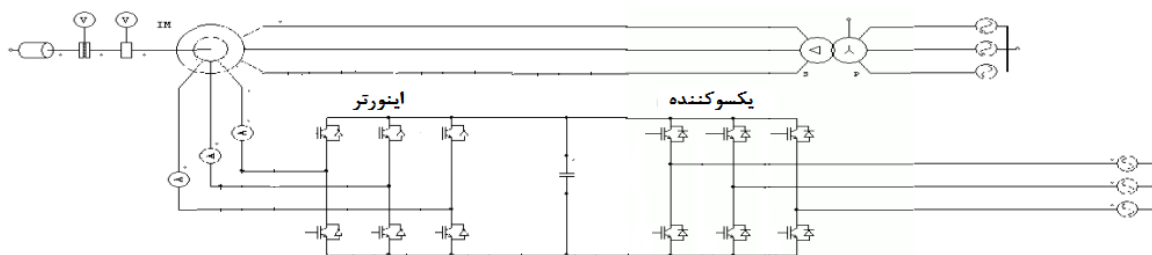
معمولاً در نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت متغیر، از پل سیکلکانورتر سه فاز- سه فاز استفاده می‌شود. همچنین این مبدل، همان‌طور که در شکل ۵-۷ نشان داده شده است، سیکلکانورتر ۶ پالس یا سیکلکانورتر ۳۶ تریستوری نیز نامیده می‌شود. مهم‌ترین مشکلات این تکنولوژی، پایین تر بودن فرکانس خروجی نسبت به فرکانس ورودی، ساختار و روش‌های پیچیده و ضریب اعوجاج هارمونیک کل<sup>۱</sup> (THD) بالا نسبت به توپولوژی‌های دیگر است [۱۴۵].



شکل ۵-۷: پل سیکلوکانورتوری سه فاز - سه فاز

### ۵-۳-۲- مبدل منبع ولتاژ پشت به پشت دوسطحی

ساختار مبدل منبع ولتاژ دوسطحی (AC/DC/AC) مورد استفاده برای نیروگاه تلمبه ذخیره ای دوسطحی، در شکل ۵-۸ نشان داده شده است. اینورتر و یکسوساز این مبدل، از ۶ گروه کلید IGBT یا GCT با دیود هرزگرد موازی با هر کلید، تشکیل شده است. مبدل منبع ولتاژ دوسطحی، دارای مزایای ساختار ساده‌ی مبدل و طرح مدولاسیون پهنای پالس<sup>۱</sup> (PWM) است. این ساختار مشکلاتی از قبیل  $dv/dt$  بالا، THD بالا و تلفات هارمونیک ماشین را دارد [۱۴۵].

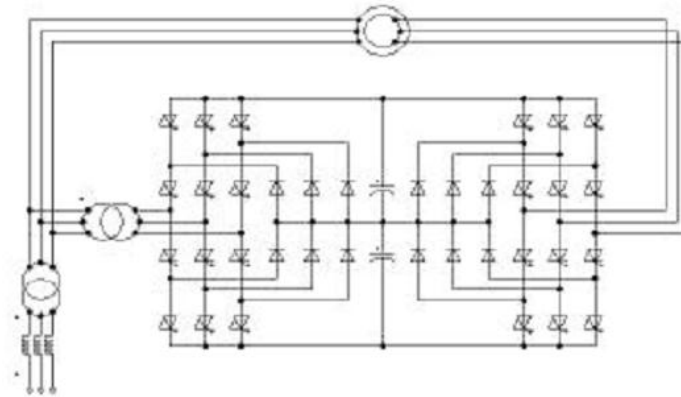


شکل ۵-۸: ساختار مبدل پشت به پشت دوسطحی

### ۵-۳-۳- مبدل منبع ولتاژ دیود قفل شده سه سطحی<sup>۱</sup>

دیاگرام مداری مبدل منبع ولتاژ سه سطحی (AC/DC/AC) برای سیستم تلمبه ذخیره‌ای سرعت متغیر، در شکل ۵-۹ نشان داده شده است. در عمل، کلیدهای IGBT، GCT و کلیدهای ترستوری GTO و GCT در این مبدل مورد استفاده قرار می‌گیرند. خروجی سمت اینورتر این مبدل به روتور ماشین القایی دوستغذیه متصل می‌شود تا لغزش و سرعت متغیر را ایجاد کند.

مبدل منبع ولتاژ سه سطحی، در مقایسه با مبدل سیکلوکانورتر و مبدل منبع ولتاژ دوسطحی، THD کمتری تولید می‌کند. برخی از مشکلات این مبدل، نیاز به دیودهای قفل شده سرعت بالا که قادر به تحمل جریان بار کامل و تنش‌های بازگشتی باشد و همچنین طراحی پیچیده برای سطوح بالاتر (۵ و ۷) است [۱۴۵].



شکل ۵-۹: ساختار مبدل سه سطحی دیود قفل شده

### ۵-۳-۴- مبدل چند سطحی H-Bridge آبشاری<sup>۲</sup>

پیکربندی سیستم تلمبه ذخیره‌ای مبتنی بر مبدل چند سطحی H-Bridge آبشاری، در شکل ۵-۱۰ نشان داده شده است. این ساختار از مبدل‌های H-Bridge ۱۱ سطحی، ترانسفورماتور شیف‌فاز و ماشین روتورسیم‌پیچی شده ساخته شده است. هدف اصلی به کارگیری ترانسفورماتور شیف‌فاز، منبع تغذیه ایزوله برای سلول‌های توان، بهبود THD جریان خط و جدایی بین

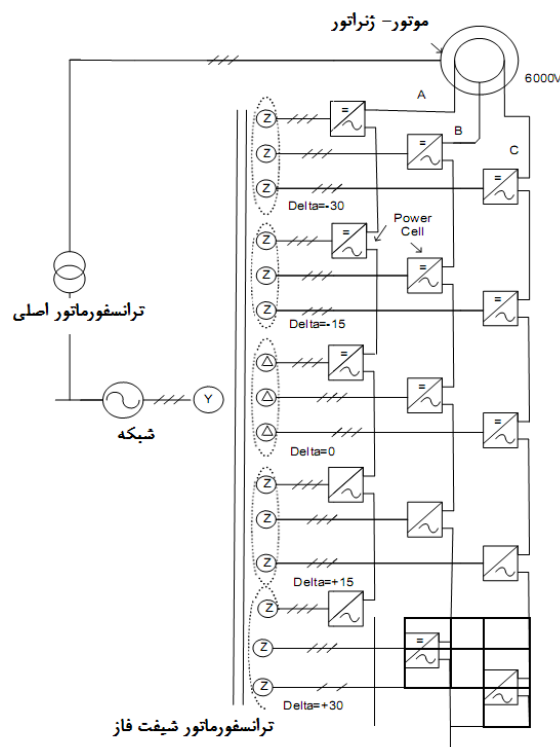
1- Three Level Diode Clamped Voltage Source Inverter

2- H-Bridge Cascaded Multilevel Converter

شبکه و مبدل به منظور کاهش ولتاژ نقطه مشترک<sup>۱</sup> است. زاویه‌ی بین هر یک از فازهای ۱۱ سطح مبدل H-Bridge، ۱۵ درجه است. سیم‌پیچی ثانویه ترانسفورماتور شیفت فاز، به یکسوساز متصل است. پالس‌های این مدل از یکسوسازهای ۳۰ دیودی تأمین می‌شوند.

ویژگی‌های این ساختار عبارت‌اند از: اجزای کمتری نسبت به ساختار دیود قفل‌شده با همان تعداد سطح نیاز دارد. در این ساختار به دلیل اینکه هر سطح دارای ساختار مازولار یکسانی دارد، طرح مداری بهینه‌شده و ساختار مازولار امکان‌پذیر است. ولتاژ خروجی آن تقریباً سینوسی بوده و  $dv/dt$  و همچنین THD جریان آن پایین است. ولتاژ نقطه مشترک نیز در این ساختار وجود ندارد. همچنین این ساختار، معایبی نیز دارد که شامل ترانسفورماتور شیفت فاز گران‌قیمت و تعداد زیاد کابل‌ها است

[۱۴۵].



شکل ۵-۱۰: ساختار مبدل ۱۱ سطحی H-Bridge آبشاری



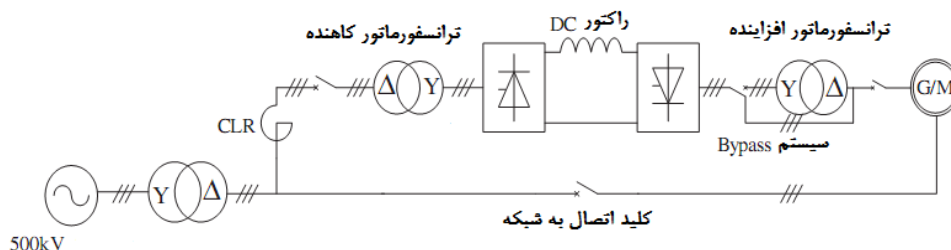
## ۵-۴- مطالعه انواع ساختار مبدل‌های مورد استفاده در راه‌اندازی نیروگاه‌های

### تلمبه‌ذخیره‌ای و گازی

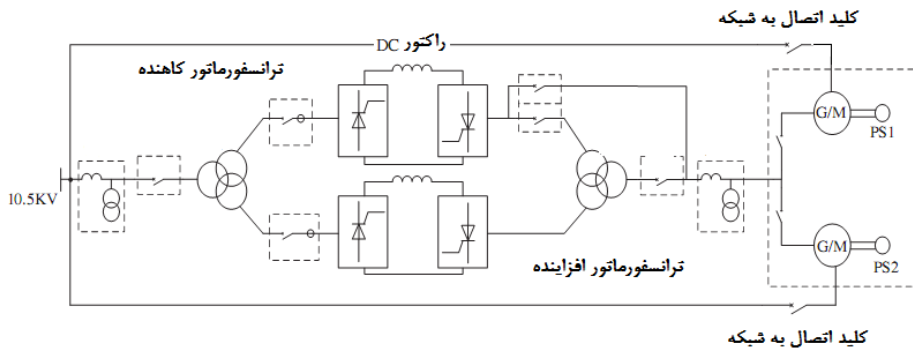
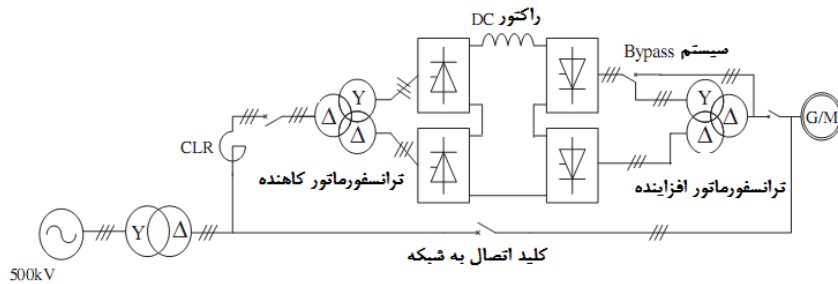
یک SFC متعارف متشکل از اینورتر کموتاسیون بار<sup>۱</sup> (LCI)، از ترانسفورماتورها، بخش یکسوساز، لینک DC و بخش اینورتر است. بخش یکسوساز و لینک DC، سیستم قدرت AC را به DC و بخش اینورتری، ولتاژ DC را به یک ولتاژ AC با دامنه و فرکانس قابل کنترل، تبدیل می‌کند.

به علت متفاوت بودن ولتاژ نامی LCIها، پیکربندی الکتریکی برخی از SFCها، از نوع ولتاژ بالا-ولتاژ پایین-ولتاژ بالا با یک ترانسفورماتور افزایشی در ورودی مبدل (از سمت شبکه) و یک ترانسفورماتور کاهشنده در خروجی می‌باشد. ترانسفورماتور کاهشنده، ولتاژ شبکه را به ولتاژ پایین یکسوساز و ترانسفورماتور افزایشی، ولتاژ اینورتر را به ولتاژ ماشین افزایش می‌دهد. به منظور راه‌اندازی نرم، ترانسفورماتور افزایشی زمانی که SFC در فرکانس پایین عمل می‌کند، اصطلاحاً بایپس می‌شود و پس از زمانی که فرکانس SFC به مقدار مشخصی افزایش می‌یابد، دوباره به سیستم متصل می‌شود [۱۴۶].

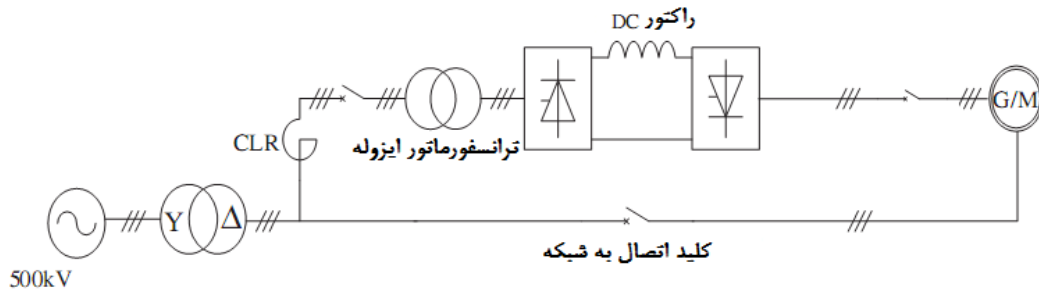
نوع دیگر SFCها، از نوع ولتاژ بالا-ولتاژ بالا بدون ترانسفورماتور کاهشنده و افزایشی است که در آن ولتاژ بالا به ولتاژ مورد نیاز برای راه‌اندازی تبدیل می‌شود؛ اما در این نوع از SFCها معمولاً از یک ترانسفورماتور ایزوله برای حذف هارمونیک‌ها استفاده می‌شود. از نظر هارمونیک‌های تولیدی توسط SFC، بخش یکسوساز در نوع ۶ پالسه یا ۱۲ پالسه طراحی شده است. پیکربندی متعارف SFCهای راه‌انداز مبتنی بر LCI در شکل ۵-۱۱ تا شکل ۵-۱۴ نشان داده شده است.



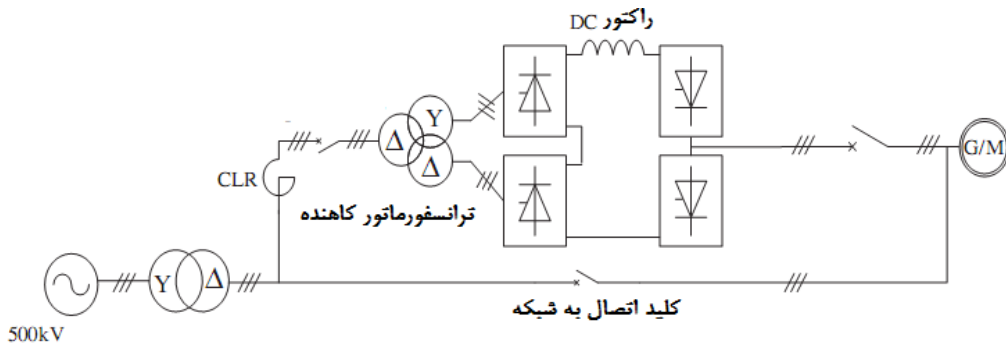
شکل ۵-۱۱: پیکربندی ولتاژ بالا-ولتاژ پایین-ولتاژ بالا ۶/۶ پالسه



شکل ۵-۱۲: دو نوع ساختار ولتاژ بالا- ولتاژ پایین- ولتاژ بالا ۱۲/۱۲ پالس



شکل ۵-۱۳: پیکربندی ولتاژ بالا- ولتاژ بالا ۶ پالس



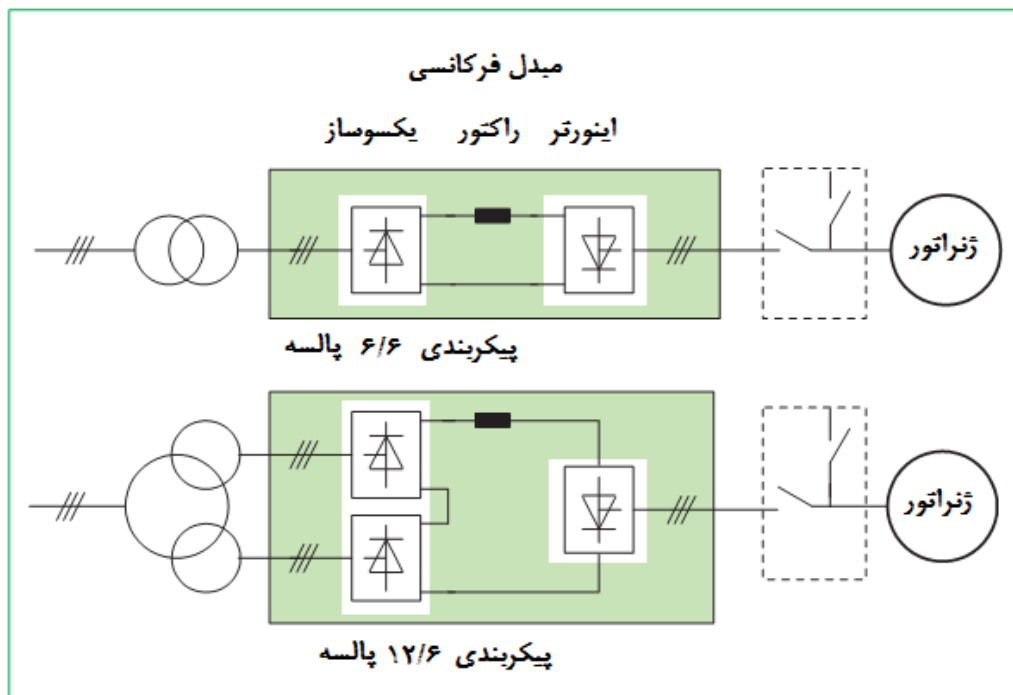
شکل ۵-۱۴: دو نوع ساختار ولتاژ بالا- ولتاژ بالا ۱۲/۱۲ پالس

SFCهای مبتنی بر LCI، دارای مشکلاتی از قبیل زیر هستند [۱۴۶]:

- نیاز به ترانسفورماتور کاهنده یا ایزوله و یک ترانسفورماتور افزایشدهنده که ساختار SFC را پیچیده می‌کند،
- روند راه‌اندازی به دو مُد عملکردی تقسیم می‌شود که عملکرد SFC را پیچیده می‌کند (در کمتر از ۱۰ درصد سرعت نامی، به علت پایین بودن ولتاژ استاتور برای کموتاسیون بار، کموتاسیون اجباری صورت می‌گیرد و در سرعت‌های بالاتر به صورت کموتاسیون بار عمل می‌کند).
- مبدل‌های مبتنی بر LCI، هارمونیک‌های جریانی و توان راکتیو زیادی تولید می‌کنند و حتی با به‌کارگیری مبدل ۱۲ پالس، اثرات منفی بر روی شبکه و ماشین می‌گذارند.
- ظرفیت کلیدهای تریستوری بسیار کمتر از کلیدهای جدید الکترونیک قدرتی IGBT است، بنابراین سرعت پاسخ و دقت کنترل فرکانس خروجی SFC ضعیف خواهد بود.

جدیدترین ساختار SFC که برای راه‌اندازی موتور سنکرون در نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای Xiang Hong در چین استفاده شده

است، SFC مبتنی بر مبدل چند سطحی H-Bridge است که در بخش قبلی، جزئیات آن تشریح شده است [۱۴۶].



شکل ۵-۱۵: ساختارهای مورد استفاده در راه‌اندازی توربین گاز

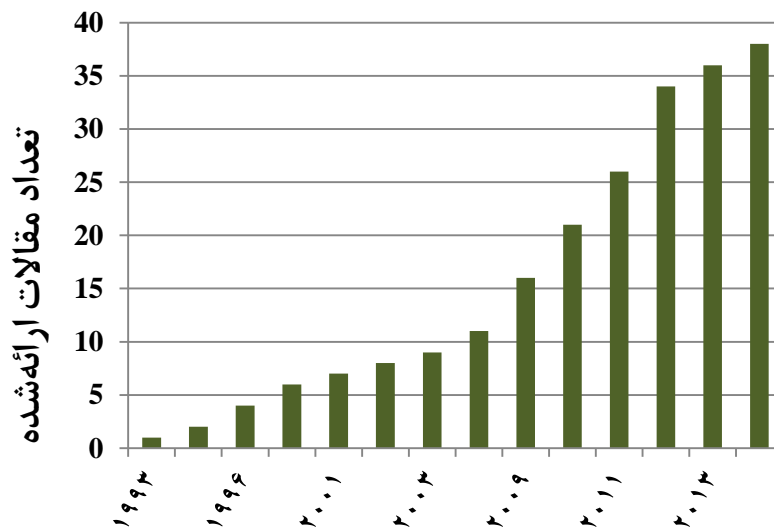
در شکل ۵-۱۵، توپولوژی SFCهای مورد استفاده برای راهاندازی توربین‌های گازی نشان داده شده‌اند. در این مبدل‌ها از دو نوع ۶/۶ پالسه و ۱۲/۶ پالسه استفاده می‌شود. مبدل ۱۲ پالسه قادر به کاهش THD جریان سمت شبکه است. در ساختار SFCهای مورد استفاده در راهاندازی توربین‌های گازی، از یک ترانسفورماتور افزایشنده در ورودی یکسوساز استفاده می‌شود.

### ۵-۴-۱ اهمیت واحدهای تحقیقاتی الکترونیک قدرت در زمینه SFCهای نیروگاهی

علل نیاز به کارگیری مبدل‌های الکترونیک قدرت در راهاندازی نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای و گازی و همچنین تنظیم سرعت در سیستم تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت‌متغیر، مسائلی همچون، راهاندازی نرم و سریع و بدون تنش‌های مکانیکی در این نیروگاه‌ها، قابلیت کنترل فرکانس، ولتاژ و توان راکتیو در شبکه با مطرح‌شدن SFCهای کنترل سرعت می‌باشد؛ بنابراین اهمیت الکترونیک قدرت در نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای و گازی، امری غیرقابل انکار است، به‌خصوص آن‌که نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت‌متغیر کاملاً بر مبنای مبدل‌های الکترونیک قدرت مطرح شده‌اند. بدین ترتیب به‌منظور بهره‌وری بیشتر، کم‌هزینه‌تر و باکیفیت‌تر از این سیستم، بایستی تحقیقات در زمینه ادوات الکترونیک قدرت مورد نیاز در آن، مورد توجه قرار گیرد.

### ۵-۴-۲ بررسی مقالات منتشرشده در زمینه SFCهای نیروگاهی

بر اساس آمار استخراج شده از پایگاه‌های اطلاعاتی IEEE و ELSEVIER، در زمینه مبدل‌های SFC مورد استفاده در نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای و گازی، از سال ۱۹۹۳ تاکنون ۳۸ مقاله در مجلات و کنفرانس‌ها به چاپ رسیده است. نمودار فراوانی تجمعی تعداد مقالات چاپ شده برحسب سال، در شکل ۵-۱۶ نشان داده شده است. با توجه به این نمودار، این مبحث در سال‌های اخیر نسبت به سال‌های قبل از سال ۲۰۰۹، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است.



شکل ۵-۱۶: نمودار فراوانی تجمعی تعداد مقالات منتشرشده در کنفرانس‌ها و مجلات IEEE و ELSEVIER

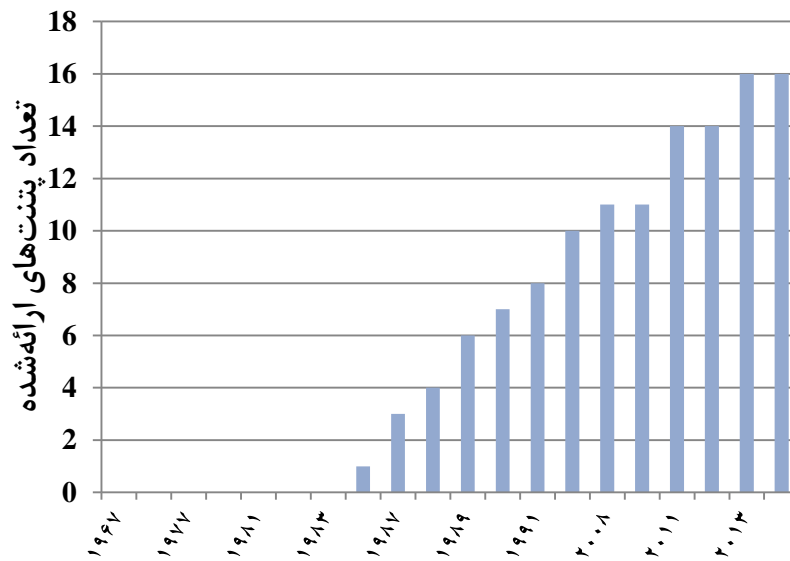
در زمینه مبدل‌های SFC مورد استفاده در نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای و گازی

### ۵-۴-۳ بررسی پتنت‌های منتشرشده در زمینه مبدل‌های SFC نیروگاهی

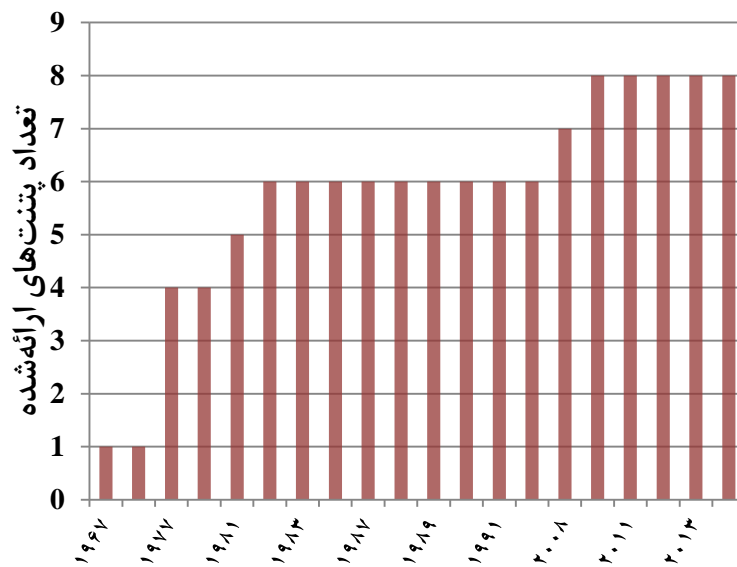
جستجوگر اداره ثبت اختراعات اروپا [۱۴۷] یکی از کامل‌ترین بانک‌های اطلاعاتی پتنت‌های بین‌المللی است که اطلاعات مربوط به پتنت‌های اروپا، انگلیس، سازمان جهانی مالکیت فکری و ژاپن و حدود ۹۰ کشور دیگر را دارد. در این سایت امکان جستجوی پتنت‌ها با داشتن کد CPC و یا IPC مربوط به هر گروه از پتنت‌های مربوطه فراهم است. در زمینه مبدل SFC نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای و گازی، چندین زیرگروه مشارکت دارند. کد این زیرگروه‌ها به همراه توضیح مشخصات آن‌ها در جدول ۳-۱ آورده شده است.

جدول ۳-۵: کد بین‌المللی زیرشاخه‌های مرتبط به مبدل SFC نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای و گازی

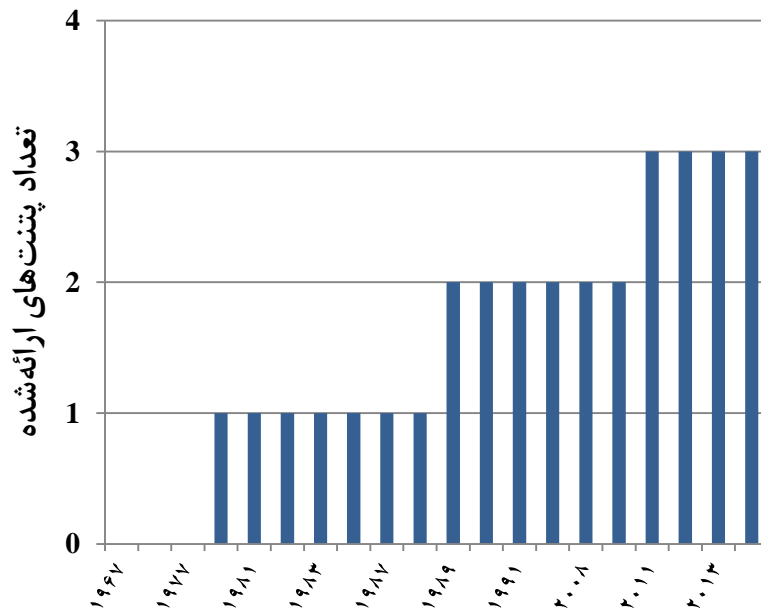
مشخصات	کد زیرگروه
راه‌اندازی موتورهای الکتریکی یا مبدل‌های الکترونیامیکی	H02P1
ساختارهای به کار گرفته‌شده در تنظیم یا کنترل سرعت یا گشتاور دو یا چند موتور الکتریکی	H02P5
کنترل ژنراتورهای الکتریکی به‌منظور به دست آوردن خروجی مطلوب	H02P9
تبدیل توان ac به ac، به‌منظور تغییر اندازه ولتاژ، فرکانس و تعداد فازها	H02M5
کنترل نیروگاه	F03B15



شکل ۵-۱۷: نمودار فراوانی تجمعی پنت‌های مربوط به الکترونیک قدرت سیستم SFC نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای و گازی ارائه‌شده در زیرشاخه H02P9

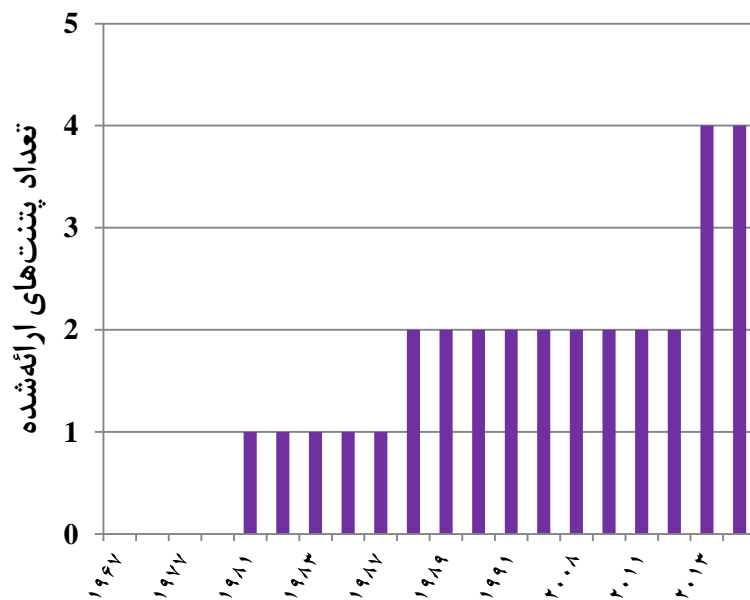


شکل ۵-۱۸: نمودار فراوانی تجمعی پنت‌های مربوط به الکترونیک قدرت سیستم SFC نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای و گازی ارائه‌شده در زیرشاخه H02M5



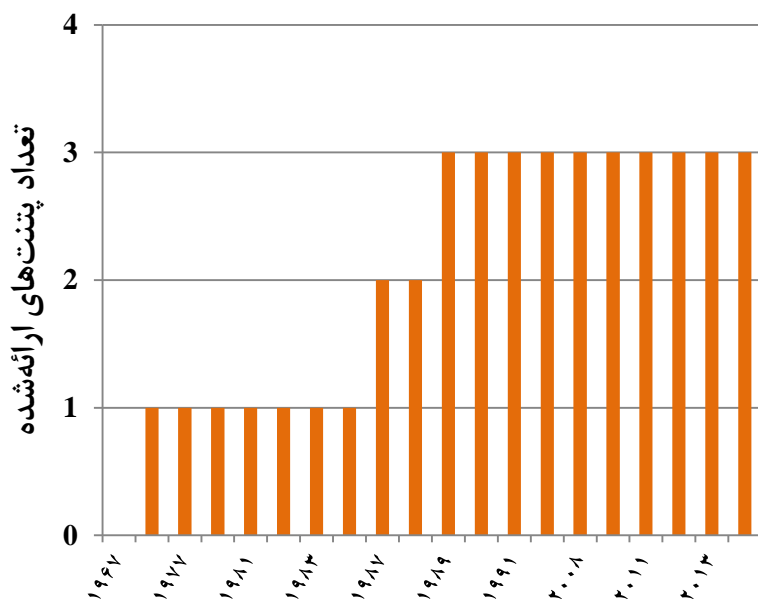
شکل ۵-۱۹: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های مربوط به الکترونیک قدرت سیستم SFC نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای

و گازی ارائه شده در زیرشاخه H02P1



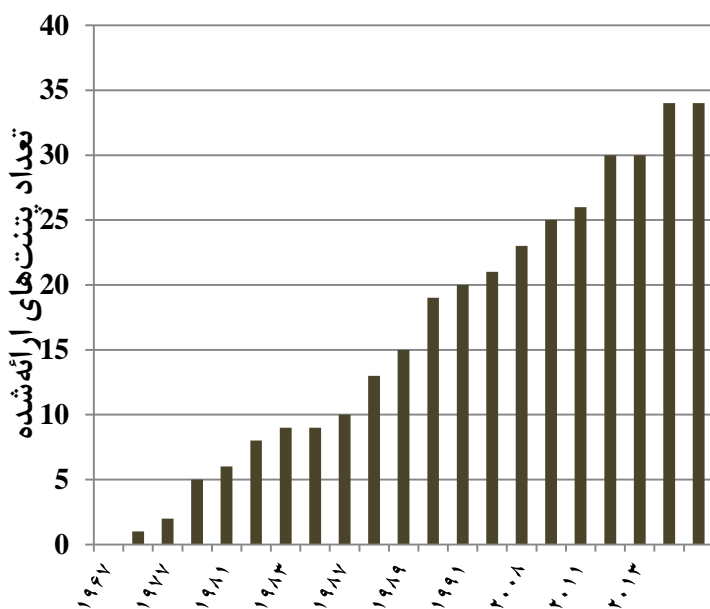
شکل ۵-۲۰: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های مربوط به الکترونیک قدرت سیستم SFC نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای

و گازی ارائه شده در زیرشاخه H02P5



شکل ۵-۲۱: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های مربوط به الکترونیک قدرت سیستم SFC نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای

و گازی ارائه شده در زیرشاخه F03B15



شکل ۵-۲۲: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های ارائه شده در کلیه زیرشاخه‌های مربوط به الکترونیک قدرت

سیستم SFC نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای و گازی



نتیجه بررسی پتنت‌های ثبت‌شده در زیرگروه‌های مختلف، در شکل ۵-۱۷ تا شکل ۵-۲۱ نشان داده شده است. از منحنی‌های تجمعی نشان داده‌شده، ملاحظه می‌گردد که بیشترین آمار پتنت‌ها مربوط به زیرگروه H02P9 (کنترل ژنراتورها به منظور استخراج توان مطلوب) می‌باشد. همچنین در چند سال اخیر پتنت‌های منتشرشده در این گروه، روند روبه رشدی داشته است. پس از آن، زیرگروه H02M5 (تبدیل توان ac/ac به منظور کنترل، ولتاژ، فرکانس و تعداد فاز) بیشترین پتنت‌های ثبت‌شده را به خود اختصاص داده است. پتنت‌های منتشرشده در زیرگروه‌های H02P5، H02P1 و F03B15 به ترتیب در رده‌های بعدی قرار گرفته‌اند که مشاهده می‌شود در سال‌های اخیر رشد خاصی نداشته‌اند. در نهایت در شکل ۵-۲۲ نمودار فراوانی تجمعی کل زیرگروه‌ها نمایش داده شده است. در این نمودارها، محور افقی بیان‌گر سال و محور عمودی، بیان‌گر تعداد پتنت‌های ارائه‌شده در هر زیرگروه است.

## ۵-۴-۴ حوزه‌های تحقیق و توسعه پیرامون مبدل‌های SFC نیروگاهی

از جمله مباحثی که امروزه در حوزه SFC‌های نیروگاهی مورد توجه است، تحقیق در راستای ساده‌تر، کم‌هزینه‌تر و مقاوم‌تر نمودن ساختار این ادوات به خصوص در شرایط غیرعادی سیستم قدرت است. همچنین مشکل ایجاد نویز و پارازیت توسط این ادوات در محل، می‌تواند مورد مطالعه قرار بگیرد. از آنجایی که SFC‌های به کاررفته در راه‌اندازی و SFC‌های کنترل سرعت، ماهیت متفاوتی دارند، هر یک نیاز به مطالعه و بررسی جداگانه در راستای بهبود ساختار دارند. یکی از مواردی که در ساختار و انتخاب مبدل اثر می‌گذارد، سطح ولتاژ و توان توربین ژنراتور است؛ که در این راستا، ترکیب‌های خاصی از اتصال مبدل‌های ac/ac پیشنهاد می‌گردد. علاوه بر ساختار مبدل، نوع کلیدهای بکار رفته در این مبدل‌ها به دلایلی همچون افزایش مقاومت در برابر تنش‌های الکتریکی، افزایش ظرفیت و تسهیل کنترل آن‌ها، همواره مورد مطالعه بوده است. از دیگر مباحثی که در این راستا می‌توان پیشنهاد نمود، به کارگیری و کنترل این عنصرها که دروازه اتصال نیروگاه‌ها به شبکه هستند، در کاربردهای سیستمی مانند پاسخ‌گویی سریع به بار شبکه و مسائل پایداری سیستم است. مسئله کنترل مبدل‌های الکترونیک قدرت در این کاربرد نیز اهمیت قابل توجهی دارد. به خصوص به دلیل ظرفیت بالای این مبدل‌ها و تأثیرگذاری مستقیم آن‌ها در کنترل شرایط عملکردی شبکه، اهمیت الگوریتم‌های کنترلی این سیستم به مراتب بیشتر است.

### ۵-۴-۵ شرکت‌های سازنده SFC‌های نیروگاهی در دنیا

شرکت‌های بزرگ سازندگان SFC‌های نیروگاهی که در واقع سازندگان کل پمپ/توربین، موتور/ژنراتور، مبدل SFC و سیستم کنترل نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای هستند، TOSHIBA، HITACHI، MITSUBISHI، ANDRITZ، ALSTOM، ABB، CONVERTEAM/GE و VOITH هستند. سازندگان SFC‌های مربوط به راه‌اندازی توربین‌های گازی نیز شرکت‌های SIEMENS، ABB، NR RESEARCH و برخی از همان سازندگان SFC نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای هستند که در جدول ۴-۵، محصولات این شرکت‌ها نشان داده شده‌اند.

جدول ۴-۵: SFC‌های نیروگاهی موجود در بازار الکترونیک قدرت

نام محصول	توضیحات	توان	ولتاژ	کاربرد	شرکت
HRVS-DN	دیجیتال	تا ۱۵ مگاوات	۲/۳ تا ۱۵ کیلوولت	راه‌اندازی توربین‌های گازی و تلمبه‌ذخیره‌ای	SOLCON
HRVS-DN MEGA	دیجیتال، توانایی	۱۵ تا ۴۸ مگاوات	۲/۳ تا ۱۵ کیلوولت		
DriveStart	دیجیتال، مبتنی بر IGBT	تا ۱۰ مگاوات	۳/۳ تا ۱۱ کیلوولت		
MEGADRIVE - LCI	-	تا ۷۲ مگاوات	تا ۱۰ کیلوولت	راه‌اندازی توربین‌های گازی و تلمبه‌ذخیره‌ای	ABB
MEGATROL	سیستم یکپارچه SFC و سیستم تحریک استاتیک ژنراتور	۲، ۵ و ۱۵ مگاوات	۱/۸۲، ۱/۸۲ و ۵/۶ کیلوولت	راه‌اندازی و سیستم تحریک توربین‌های گازی و تلمبه‌ذخیره‌ای	
PCS-9575	مبدل‌های ۱۲/۱۲، ۱۲/۶ و ۶/۶ پالسه	-	-	راه‌اندازی توربین‌های گازی و تلمبه‌ذخیره‌ای	NR Research
SPPA-E3000	سیستم یکپارچه SFC و سیستم تحریک استاتیک ژنراتور	۱/۴ تا ۹ مگاوات	-	راه‌اندازی و سیستم تحریک توربین‌های گازی	SIEMENS
-	-	۱، ۱/۴، ۱/۹، ۲/۹ و ۵ مگاوات	۱/۵ - ۱/۳ کیلوولت	راه‌اندازی و کنترل سرعت توربین‌های گازی	AEG
MV7000	-	۳ تا ۸۱ مگاوات	تا ۱۰ کیلوولت	راه‌اندازی توربین‌های گازی	GE

نام محصول	توضیحات	توان	ولتاژ	کاربرد	شرکت
				و تلمبه ذخیره‌ای	
TMP-TS250	۶/۶ پالس	۳/۵، ۴ و ۵ مگاوات	۲/۲ (۵۰ Hz) و ۲/۳ (۶۰ Hz) کیلوولت	راه اندازی توربین‌های گازی و تلمبه ذخیره‌ای	TOSHIBA MITSUBISHI
TMP-TS250T	۱۲/۶ پالس				
TMP-TS150/170	-				
SILCOVERT S	LCI	-	تا ۴۵۰۰ ولت (هوا) تا ۱۰۰۰۰ ولت (آب)	راه اندازی توربین‌های گازی و تلمبه ذخیره‌ای	NIDEC

جدول ۵-۵: چند نمونه از پروژه‌های تلمبه ذخیره‌ای سرعت متغیر اجرا شده

سال	شرکت	محدوده تغییر سرعت	ظرفیت SFC (MVAR)	نوع مبدل SFC	ظرفیت ماشین (MW / VAR)	محل نیروگاه
۱۹۹۳	MITSUBISHI	٪۱۰	۲۴/۳	مبدل GTO	۱۴۰ / ۱۰۵	ژاپن
۱۹۹۵/۱۹۹۳	HITACHI	٪۸/۳	۷۲	سیکلوکانورتر	۳۸۸ / ۳۹۵	ژاپن
۱۹۹۵	TOSHIBA	٪۸	۵۱/۱	سیکلوکانورتر	۳۳۰ / ۳۶۰	ژاپن
۱۹۹۶	TOSHIBA	٪۵	۳۱/۵	مبدل GTO	۳۴۰ / ۳۴۵	ژاپن
۱۹۹۹	TOSHIBA	٪۵	۳/۹۶	مبدل GTO	۳۰ / ۳۱/۵	ژاپن
۲۰۰۸	MITSUBISHI	٪۴	۲۷/۴	مبدل GCT	۳۳۰ / ۳۵۰	ژاپن
۲۰۰۸	HITACHI	٪۴	۴۳/۳	سیکلوکانورتر	۳۳۰ / ۳۷۰	ژاپن
۲۰۱۰	MITSUBISHI	٪۴	۲۷/۴	مبدل GCT	۳۳۰ / ۳۵۰	ژاپن
۲۰۱۰	HITACHI	٪۴	۴۳/۳	سیکلوکانورتر	۳۳۰ / ۳۷۰	ژاپن
۲۰۰۲	VA-TECH	٪۱۰	-	سیکلوکانورتر	۳۳۰ / ۳۳۱	آلمان
۲۰۰۹	MITSUBISHI	٪۴	۲۴/۲	مبدل GCT	۱۸۵/۳ / ۱۹۵	اسلوونی
۲۰۱۳	KWO	٪۸	۲ * ۵۰	دو مبدل IGCT (ظرفیت کامل)	۱۰۰ / -	سوئیس
۱۹۹۷/۲۰۰۴	ALSTOM	-	۲ * ۱۰۰	سیکلوکانورتر	۳۰۰ / -	آلمان

جدول ۵-۵، چند نمونه از پروژه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت‌متغیر اجراشده، به همراه نوع SFC و ظرفیت آن در مقابل ظرفیت کل نیروگاه، نشان داده شده است.

جدول ۵-۶، چند نمونه از پروژه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای شرکت TOSHIBA را به همراه ظرفیت SFC راه‌انداز آن‌ها در مقابل ظرفیت نیروگاه، نشان می‌دهد.

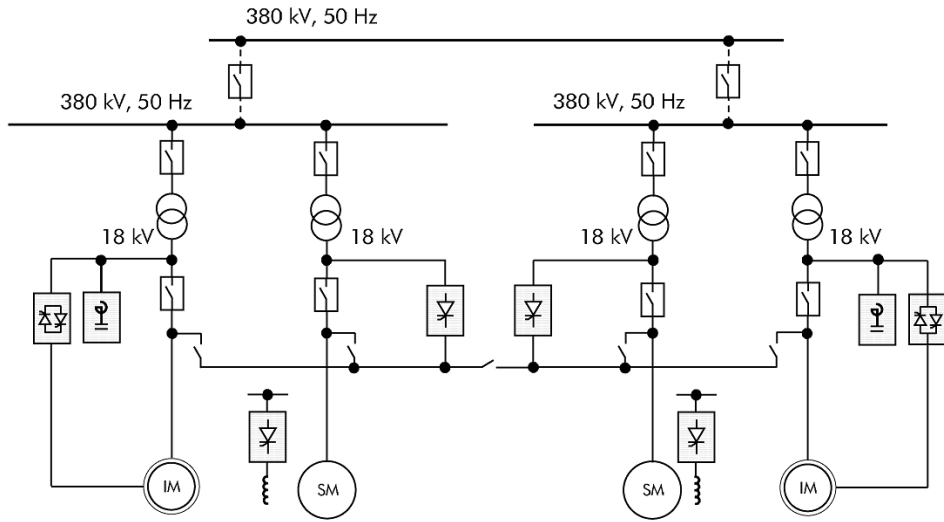
جدول ۵-۶: چند نمونه از SFC‌های راه‌اندازی نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای نصب‌شده توسط TOSHIBA

سال	ظرفیت SFC	ولتاژ SFC	ظرفیت ماشین
۱۹۷۸	۱۶/۲ مگاوات	۱۱ کیلوولت	۲۲۰ مگا ولت‌آمپر / ۲۱۴ مگاوات
۱۹۷۹	۱۶/۲ مگاوات	۱۱ کیلوولت	۲۲۰ مگا ولت‌آمپر / ۲۱۴ مگاوات
۱۹۸۲	۲۲/۵ مگاوات	۱۳/۲ کیلوولت	۳۳۵ مگا ولت‌آمپر / ۳۱۰ مگاوات
۱۹۸۸	۲۳ مگاوات	۱۵/۴ کیلوولت	۳۹۰ مگا ولت‌آمپر / ۳۶۱ مگاوات
۱۹۹۴	۲۱/۵ مگاوات	۱۶/۵ کیلوولت	۳۳۵ مگا ولت‌آمپر / ۳۷۵ مگاوات

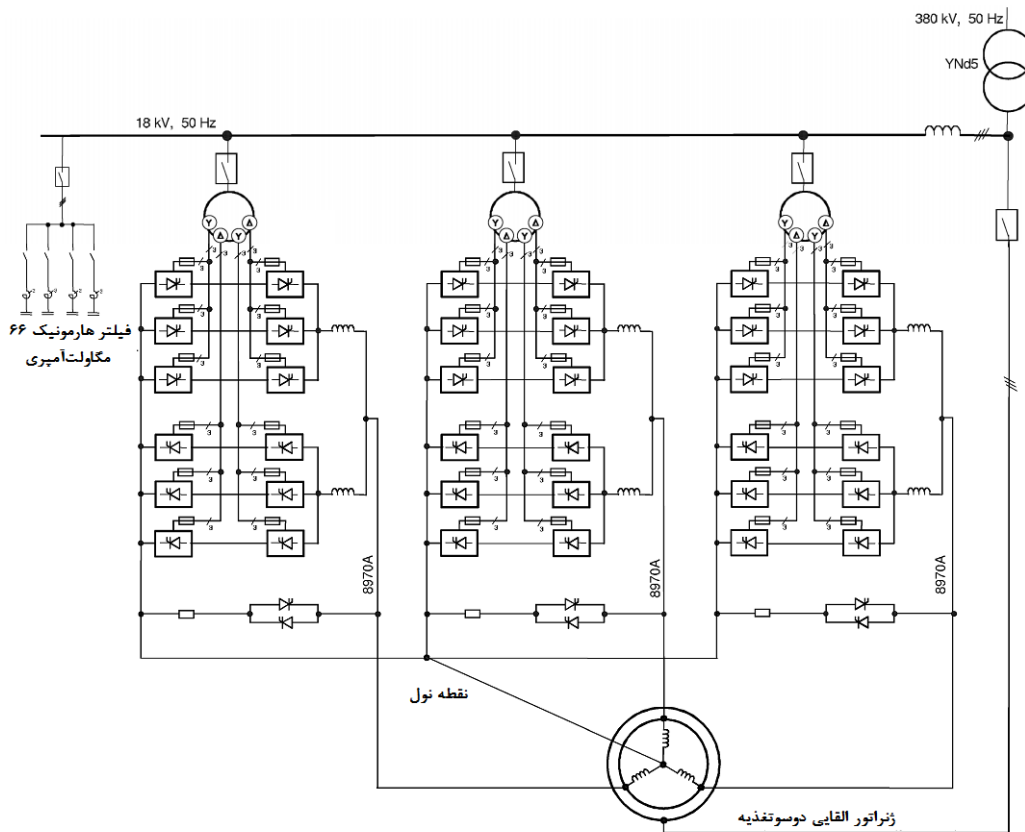
در ادامه به مشخصات فنی چند نمونه از SFC‌های نیروگاهی به کار گرفته‌شده در پروژه‌های مختلف، پرداخته می‌شود.

## ۵-۴-۶ نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای Goldisthal آلمان

پروژه نیروگاه ۳۰۰ مگاواتی Goldisthal آلمان که توسط شرکت ALSTOM با قرارداد ۱۳ میلیون یورویی اجراشده است، یک نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت‌متغیر می‌باشد. دیاگرام الکتریکی این نیروگاه در شکل ۵-۲۳ نشان داده شده است. مشاهده می‌گردد که ژنراتورهای این نیروگاه شامل دو ژنراتور سنکرون و دو ژنراتور القایی است؛ بنابراین در این نیروگاه دو SFC کنترل سرعت برای ژنراتورهای القایی و دو SFC راه‌انداز برای ژنراتورهای سنکرون به کار گرفته شده است. ژنراتورهای سنکرون این نیروگاه که به صورت بار کامل کار می‌کنند، دارای ظرفیت ۳۳۱ مگا ولت‌آمپری هستند که هر کدام با SFC راه‌انداز ۴۰ مگا ولت‌آمپری به شبکه وصل شده‌اند. ژنراتورهای القایی این نیروگاه که هر کدام ظرفیتی ۳۴۰ مگا ولت‌آمپری دارند، هر یک دارای SFC‌های ۱۰۰ مگا ولت‌آمپری کنترل سرعت در مدار تغذیه روتور خود هستند. مداربندی این SFC‌های کنترل سرعت که از نوع مبدل‌های سیکلکانورتوری هستند، در شکل ۵-۲۴ نشان داده شده است.



شکل ۵-۲۳: دیاگرام الکتریکی نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای Goldisthal

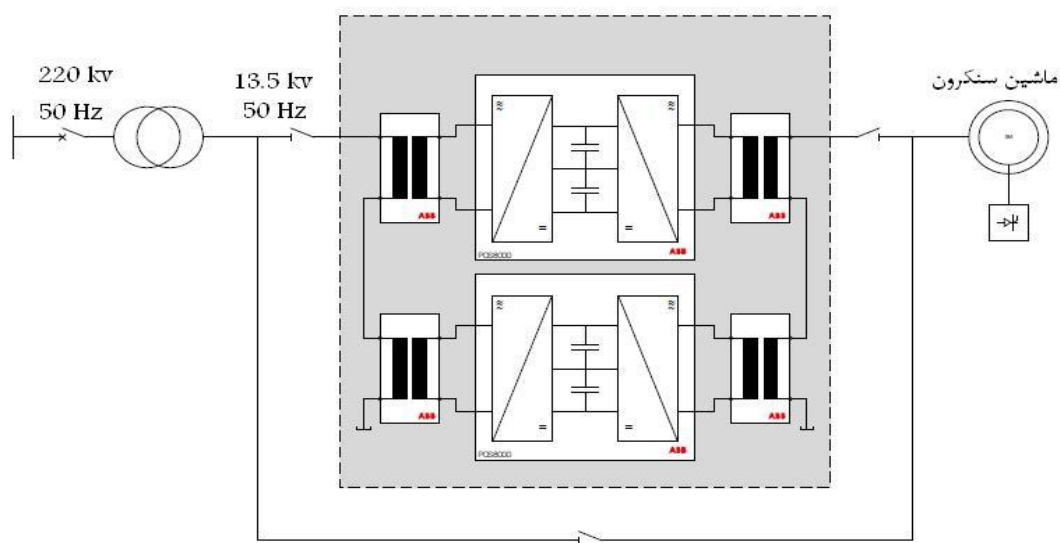


شکل ۵-۲۴: مدار روتور ژنراتور القایی نیروگاه Goldisthal

رنج تغییر سرعت ژنراتورهای القایی که با حداکثر ولتاژ مجاز سیکلوکانورتر معین می‌گردد، از ۱۰ درصد تا ۴ درصد سرعت نامی ژنراتور می‌باشد. هر فاز روتور این ماشین، با ۱۲ پل تریستوری موازی شده با دیود تحت جریان نامی ۸۹۷۰ آمپر و ولتاژ ۳۷۱۶ ولت، تغذیه می‌شود. در مجموع در SFC های این نیروگاه، ۱۰۰۰ تریستور مورد استفاده قرار گرفته است.

## ۵-۴-۷ نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای Grimsel 2 در سوئیس

پروژه نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت‌متغیر Grimsel 2، توسط شرکت KWO در سال ۱۹۸۰ در سوئیس اجرا شده است. این نیروگاه از چهار ژنراتور سنکرون ۱۰۰ مگا ولت آمپری تشکیل شده است. این چهار ژنراتور به صورت بار کامل و در سرعت ثابت بهره‌برداری می‌شد که در سال ۲۰۱۰ یکی از واحدهای این نیروگاه، به منظور ارتقای نیروگاه به سیستم سرعت‌متغیر، با SFC ظرفیت کامل ۱۰۰ مگا ولت آمپری شرکت ABB که در حال حاضر بزرگ‌ترین SFC نصب‌شده در جهان می‌باشد، مجهز شد. این مبدل فرکانس استاتیکی که از نوع PCS8000 می‌باشد که با دو ترانسفورماتور افزایشنده و کاهشنده به ماشین و شبکه متصل شده است. در حال حاضر این واحد، در محدوده سرعت ۶۰۰ تا ۷۶۵ دور در دقیقه کار می‌کند و قادر به عبور توان حداکثر ۹۴ مگاوات است. SFC نصب‌شده بدون ماشین سنکرون، قادر به جبران‌سازی توان راکتیو تا ۱۰۰ مگا ولت آمپر می‌باشد.



شکل ۵-۲۵: ساختار SFC سرعت‌متغیر ظرفیت کامل نیروگاه Grimsel 2

## ۵-۴-۸ وضعیت بازار نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای و مبدل SFC آن‌ها

مرجع [۱۴۸] با مروری در روند گسترش نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای در اروپا، ژاپن و آمریکا از سال ۲۰۱۰، سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای را مقداری بین  $470 \text{ \$/kW}$  تا  $2170 \text{ \$/kW}$  با متوسط وزنی  $961 \text{ \$/kW}$  ارائه داده است. در مطالعه‌ای مشابه در سال ۲۰۱۲، مرجع [۱۴۹]، سرمایه مورد نیاز برای نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای در آلمان را کمی گران‌تر، با متوسط وزنی  $1048 \text{ \$/kW}$  نتیجه‌گیری کرده است. در گزارش مرجع [۱۴۹]، گران‌ترین مورد پیاده‌سازی شده، هزینه‌ای برابر  $1362 \text{ \$/kW}$  دارد، در حالی که ارزان‌ترین سرمایه‌گذاری،  $734 \text{ \$/kW}$  بوده است.

به‌منظور تحویل توان در رنج وسیع به شبکه، اکثر پروژه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای اخیر از نوع سرعت‌متغیر بوده‌اند. این در حالی است که پیاده‌سازی سیستم این نیروگاه‌ها از نظر فنی، پیشرفته‌تر از نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای معمول است. در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۰۳ در آمریکا صورت گرفت [۱۵۰]، نشان داده شده است که تکنولوژی سرعت‌متغیر، هزینه سرمایه‌گذاری قسمت موتور/ژنراتور/توربین را به مقدار تقریبی ۱۰٪ نسبت به توربین تلمبه‌ذخیره‌ای متعارف، افزایش می‌دهد که این هزینه مربوط به مبدل SFC مورد استفاده جهت کنترل سرعت و همچنین هزینه مربوط به حفاری بیشتر به علت بیشتر بودن طول شفت ماشین و حلقه‌های لغزان سه فاز جهت تحریک روتور می‌باشد.

## ۵-۵- تجهیزات الکترونیک قدرت در سیستم تحریک ژنراتورهای سنکرون

پیشرفت تکنولوژی نیمه‌هادی‌های توانایی و در دسترس بودن SCRها<sup>۱</sup>، حوزه سیستم‌های تحریک را دگرگون کرده است. در سیستم‌های تحریک قدیمی که کنترل تحریک مبتنی بر رئوستا و یا نوع تقویت‌کننده‌ی مغناطیسی مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند، به علت بهره‌ی حلقه‌ی پایین، عملکرد کند و ناکارآمدی داشته‌اند. با استفاده از SCRها برای انتقال توان به سیستم تحریک به‌منظور کنترل ولتاژ، سرعت پاسخ سیستم، بسیار سریع‌تر از سیستم‌های تحریک متعارف شده است. سیستم‌های تحریک مدرن متشکل از SCRها، باند مرده‌ی بسیار پایینی دارند و هیچ تأخیری در سیستم ایجاد نمی‌کنند.

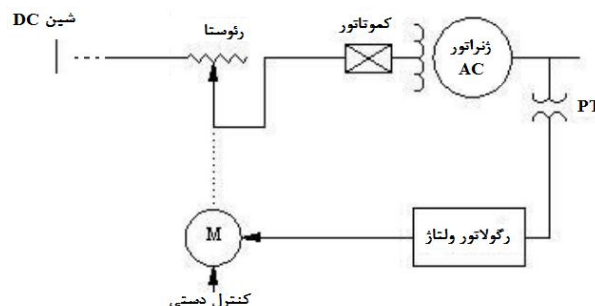
انتخاب و به کارگیری SCRها برای این کاربرد، اهمیت قابل توجهی دارد، زیرا انتخاب نامناسب می تواند منجر به خطاهای متعدد در سیستم شود؛ بنابراین طراحی SCRها و مدارهای مرتبط با آن، باید با دقت بالایی صورت گیرد.

توان تحریک معمولاً از طریق ترمینال های ژنراتور یا منبع کمکی با یک ترانسفورماتور کاهنده به پل SCR منتقل می شود. رگولاتور ولتاژ که شامل کنترل حلقه بسته است، ولتاژ ترمینال ماشین را با مقدار مرجع مقایسه می کند و یک سیگنال خطا ایجاد می کند که زاویه آتش تریستورها را کنترل می کند. سپس ولتاژ dc پل با استفاده از حلقه های لغزان به سیم پیچ میدان ماشین منتقل می شود؛ بنابراین پل SCR، نقش بسیار مهمی در سیستم های تحریک استاتیکی ژنراتور سنکرون، به منظور تأمین یک ولتاژ کنترلی دقیق و سریع، ایفا می کند.

سیستم های تحریک عموماً به چهار دسته تقسیم می شوند این طبقه بندی در ادامه مورد اشاره قرار خواهد گرفت.

### ۵-۵-۱ سیستم تحریک DC متعارف

توربین - ژنراتورهای اولیه، تغذیه ی سیستم تحریک خود را از شین dc می گرفتند. هر ماشین، متشکل از یک رنوستا به صورت موازی با سیم پیچ میدان خود بود که قابلیت تنظیم ولتاژ ترمینال و بار راکتیو را امکان پذیر می نمود. این روش برای ماشین هایی که توان تحریک مورد نیاز و همچنین راکتانس داخلی پایینی دارند، مناسب اند. با افزایش ظرفیت ژنراتور، ملزومات توان تحریک نیز بالا رفته است و گرایش به سیستم تحریک مستقل (از ماشین های دیگر) افزایش یافته است و سیستم تحریک DC کوپل با روتور معرفی شده است.



شکل ۵-۲۶: سیستم تحریک DC متعارف

این سیستم تحریک، در واحدهای با توان تا ۱۱۰/۱۰۰ مگاوات مورد استفاده قرار می گرفت [۱۵۱].



## ۵-۵-۲ سیستم تحریک AC (فرکانس بالا)

این سیستم به منظور عدم استفاده از مجموعه‌ی کموتاتور و جاروبک، ارائه شده است. در این سیستم، یک تحریک‌کننده پایلوت AC کوپل با روتور که یک میدان مغناطیسی ثابت چرخان و یک آرمیچر ساکن دارد، جریان DC میدان تحریک اکسایتر AC فرکانس بالا را از طریق یکسوسازهای کنترل‌شده و حلقه‌های لغزان، تغذیه می‌کند [۱۵۱].

## ۵-۵-۳ سیستم تحریک بدون جاروبک

تأمین جریان‌های بالا به وسیله حلقه‌های لغزان، مشکلات عملی زیادی ایجاد می‌کند و نیاز به طراحی مناسب حلقه‌های لغزان و دنده‌ی جاروبک‌ها دارد.

در سیستم تحریک بدون جاروبک، یکسوسازهای دیودی، بر شفت ژنراتور سوار شده‌اند و خروجی آن‌ها به طور مستقیم به سیم‌پیچ میدان تزریق می‌شود؛ بنابراین در این سیستم نیازی به حلقه‌های لغزان و جاروبک‌ها نیست. این ساختار برای اکسایتر AC، نیاز به آرمیچر چرخان و سیستم تحریک ساکن دارد. رگولاتور ولتاژ، با کنترل یک پل تریستوری، میدان تحریک ساکن اکسایتر را تغذیه می‌کند. این سیستم تحریک در واحدهای ظرفیت بالا تا ۵۰۰ مگاوات، مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۵۱].

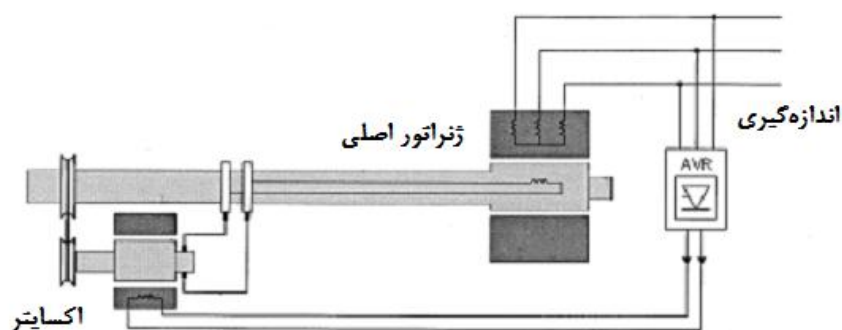
## ۵-۵-۴ سیستم تحریک استاتیکی

به منظور حفظ پایداری سیستم، در ژنراتورهای سنکرون بزرگ، باید سیستم‌های تحریک سریع، به کار گرفته شود. این بدان معنا است که جریان تحریک باید بسیار سریع تنظیم شود تا شرایط عملکردی ماشین را در کنار محدودیت‌های جریان تحریک و پایداری حالت ماندگار، تغییر دهد. لذا سیستم تحریک استاتیکی به سیستم‌های تحریک متعارف، ترجیح داده می‌شود. در این سیستم، توان AC از ترمینال ژنراتور گرفته شده و کاهش داده می‌شود و سپس با استفاده از پل تریستوری کاملاً کنترل شده، یکسو شده و با حلقه لغزان و جاروبک به سیم‌پیچ میدان ماشین تزریق می‌شود. بدین ترتیب با به کارگیری یک کنترل بدون اینرسی و مبتنی بر الکترونیک قدرت، یک سیستم کنترل سریع میسر می‌شود.

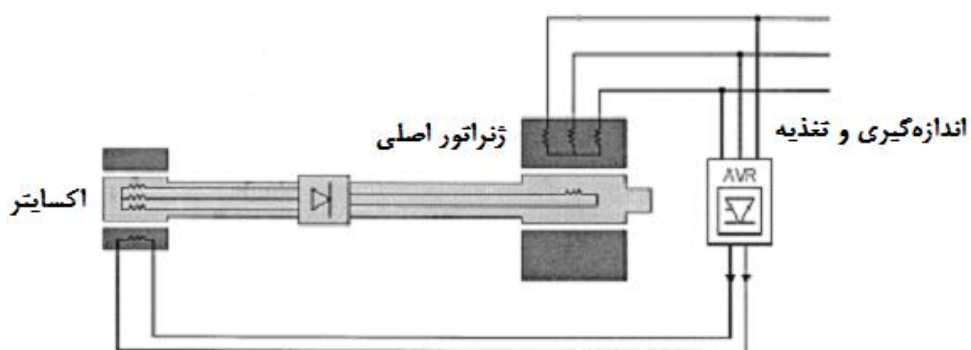
سیستم تحریک استاتیکی می‌تواند بدون هیچ مشکلی برای سرعت بالا که مورد نیاز سیستم قدرت است، طراحی شود.

سیستم‌های تحریک استاتیکی در واحدهای تا ۲۰۰ مگاوات مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۵۱].

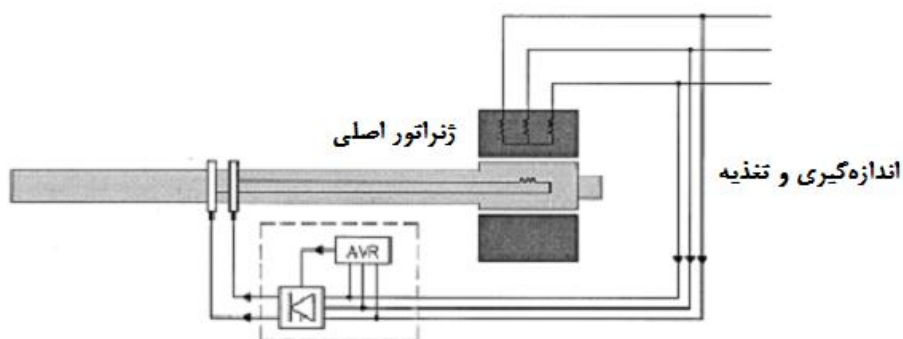
انواع ساختارهای سیستم‌های تحریک در شکل ۵-۲۷ تا شکل ۵-۳۱ نشان داده شده است.



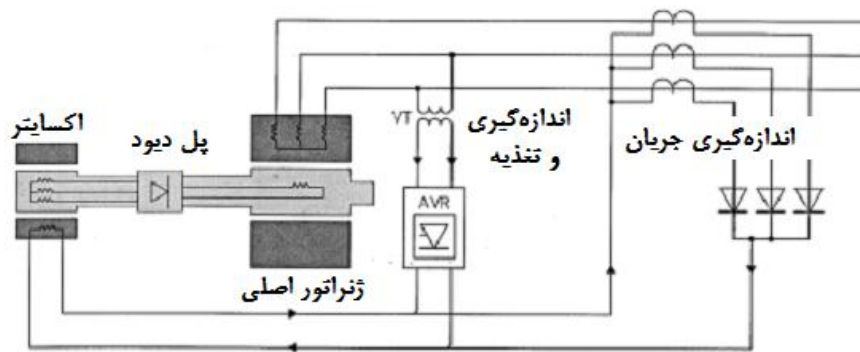
شکل ۵-۲۷: سیستم تحریک چرخان دارای جاروبک (سیستم تحریک متعارف)



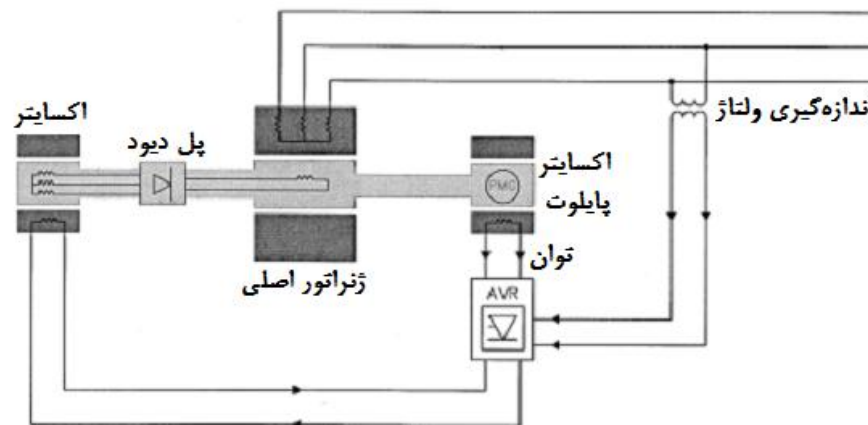
شکل ۵-۲۸: سیستم تحریک چرخان بدون جاروبک



شکل ۵-۲۹: سیستم تحریک استاتیکی



شکل ۵-۳۰: سیستم تحریک بدون جاروبک و بدون اکسایتر پایلوت



شکل ۵-۳۱: سیستم تحریک بدون جاروبک و بدون اکسایتر پایلوت

### ۵-۵-۵ واحدهای تحقیقاتی الکترونیک قدرت در زمینه سیستم‌های تحریک

با افزایش ظرفیت و توسعه سیستم‌های قدرت و همچنین افزایش و توزیع بارها، توجه به پایداری فرکانس و ولتاژ در سیستم بیشتر شده و تبدیل به یک مسئله مهم شده است. مشکلات پایداری سیستم نظیر نوسانات  $0/3$  تا  $0/5$  هرتز با دوره طولانی بین سیستم‌های قدرت، نوسانات ۱ هرتز یا اغتشاشات توان که بین ژنراتورهای متعارف رخ می‌دهند و همچنین فروپاشی ولتاژ، مشکلاتی هستند که باید همواره مورد توجه قرار بگیرند؛ بنابراین به علت اهمیت حیاتی سیستم قدرت، تحقیقات وسیعی در زمینه سیستم تحریک ژنراتورهای سنکرون که از جمله تجهیزات مهم در پایداری سیستم قدرت است، انجام شده

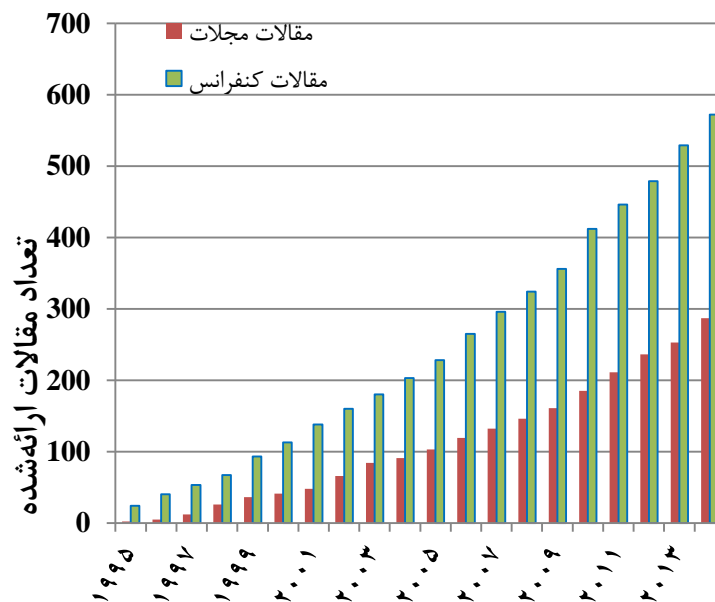
است و همچنان نیز مورد توجه خواهد بود. مخصوصاً با پدیدار شدن تجهیزات الکترونیک قدرت و تحول قابل توجه در زمینه سرعت پاسخ، تلفات و ابعاد سیستم‌های تحریک، توجه بیشتری به این زمینه و کنترل کارآمدتر ژنراتورهای سنکرون شده است.

## ۵-۵-۶ حوزه‌های تحقیق و مطالعه در راستای الکترونیک قدرت در سیستم‌های تحریک

در قسمت‌های قبل، روند گسترش و پیشرفت سیستم‌های تحریک ژنراتورهای سنکرون و پیدایش سیستم‌های تحریک مبتنی بر الکترونیک قدرت مورد بررسی قرار گرفته است. سرعت عملکرد بالای مبدل‌های الکترونیک قدرت در سیستم تحریک، نسبت به سیستم‌های تحریک متعارف مبتنی بر اجزای متحرک و همچنین کنترل پذیری بالای این تجهیزات، توجه بسیاری از مطالعات در راستای سیستم‌های تحریک را به خود جلب کرده است. از طرفی به منظور رفع برخی مشکلات که برای سیستم‌های تحریک مبتنی بر الکترونیک قدرت (استاتیک) وجود دارد، مانند توپولوژی‌های ساده‌تر و مناسب‌تر در شرایط عملکردی ماشین (نویز پذیری، حفاظت، تنش‌های مکانیکی و ...)، مطالعاتی صورت گرفته و همچنان مورد توجه است.

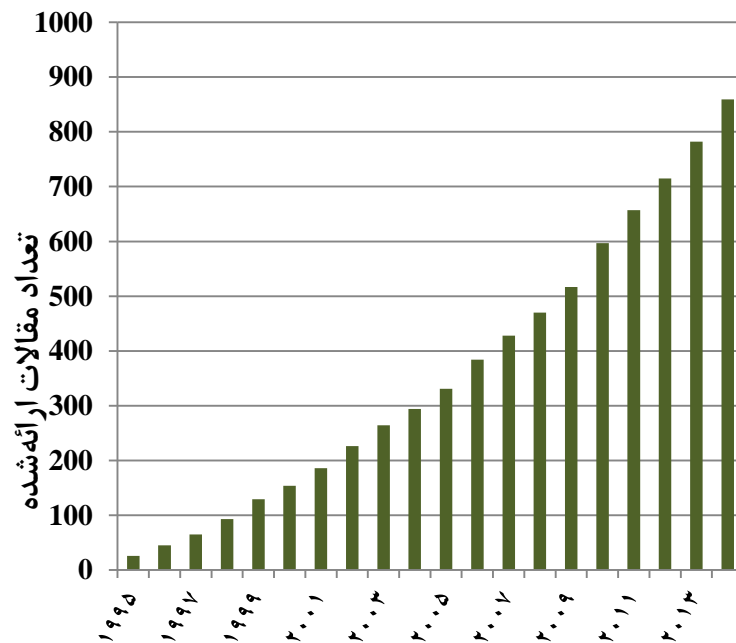
## ۵-۵-۷ بررسی مقالات ارائه شده در راستای سیستم‌های تحریک

شکل ۵-۳۲، نمودار فراوانی تجمعی تعداد مقالات ارائه شده در مجلات و کنفرانس‌های زیرشاخه انجمن مهندسیین برق آمریکا (IEEE) از سال ۱۹۹۵ تا سال ۲۰۱۴ را نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار، تحقیقات در زمینه سیستم‌های تحریک ماشین سنکرون، روند تقریباً صعودی داشته است. به طوری که در سال ۲۰۱۴ بیشترین تعداد مقاله در مجلات IEEE چاپ شده است. در مجموع در این بازه زمانی، ۲۸۷ مقاله در مجلات و ۵۷۲ مقاله در کنفرانس‌ها به چاپ رسیده است.



شکل ۵-۳۲: نمودار فراوانی تجمعی تعداد مقالات منتشر شده در کنفرانس‌ها و مجلات IEEE در زمینه

سیستم‌های تحریک



شکل ۵-۳۳: نمودار فراوانی تجمعی تعداد کل مقالات منتشر شده در زمینه سیستم‌های تحریک

## ۵-۵-۸ بررسی پتنت‌های منتشر شده در زمینه سیستم‌های تحریک

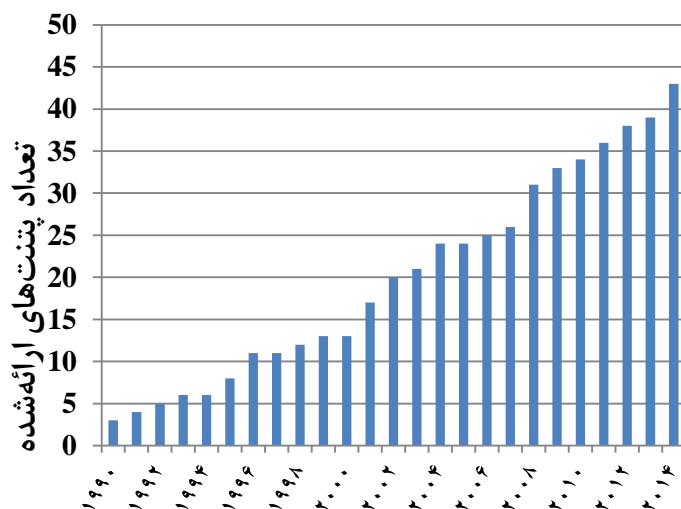
در جدول ۵-۷، کدهای مربوط به زیرگروه‌هایی که در زمینه سیستم‌های تحریک مبتنی بر الکترونیک قدرت، مشارکت دارند، به همراه توضیح هر زیرگروه آورده شده است.

جدول ۵-۷: کد بین‌المللی زیرشاخه‌های مرتبط به سیستم‌های تحریک ژنراتور

مشخصات	کد زیرگروه
ساختارهای خاص کنترل ژنراتور	H02P2101
کنترل ژنراتورهای الکتریکی به منظور به دست آوردن خروجی مطلوب	H02P9
مدارهای مغناطیسی	H02K1
ژنراتورها و موتورهای سنکرون	H02K19

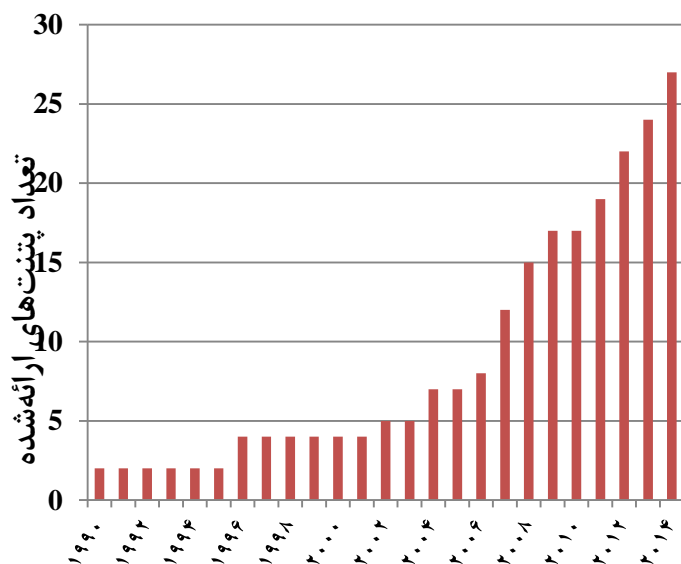
نتایج مربوط به جست‌وجوی پتنت‌های منتشر شده در هر زیرگروه در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴، در شکل ۵-۳۴ تا شکل ۵-۳۷ و در شکل ۵-۳۸، مجموع کل پتنت‌های ارائه شده، به صورت منحنی فراوانی تجمعی نشان داده شده است. از این منحنی‌ها مشاهده می‌شود که بیشترین پتنت‌های منتشر شده، مربوط به زیرشاخه H02P9 (کنترل ژنراتورها به منظور استخراج

توان مطلوب)، می‌باشد و سه زیرگروه دیگر، H02K1، H02K19، H02P2101 تقریباً آمار یکسانی در زمینه سیستم‌های تحریک دارند.



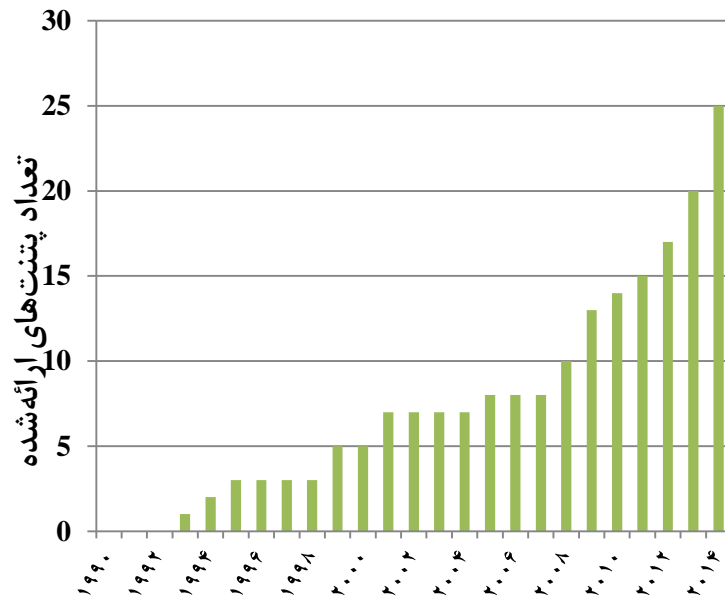
شکل ۵-۳۴: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های مربوط به الکترونیک قدرت سیستم‌های تحریک ارائه شده در

#### زیرشاخه H02P9



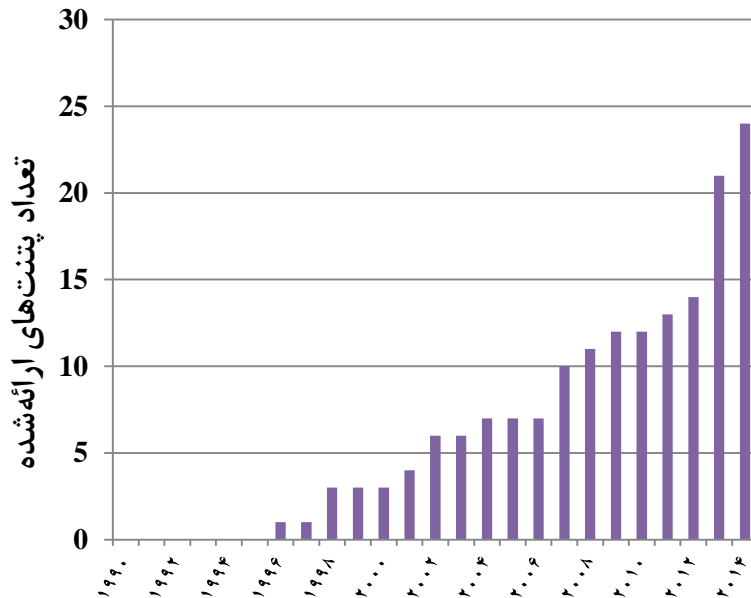
شکل ۵-۳۵: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های مربوط به الکترونیک قدرت سیستم‌های تحریک ارائه شده در

#### زیرشاخه H02P2101



شکل ۵-۳۶: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های مربوط به الکترونیک قدرت سیستم‌های تحریک ارائه شده در

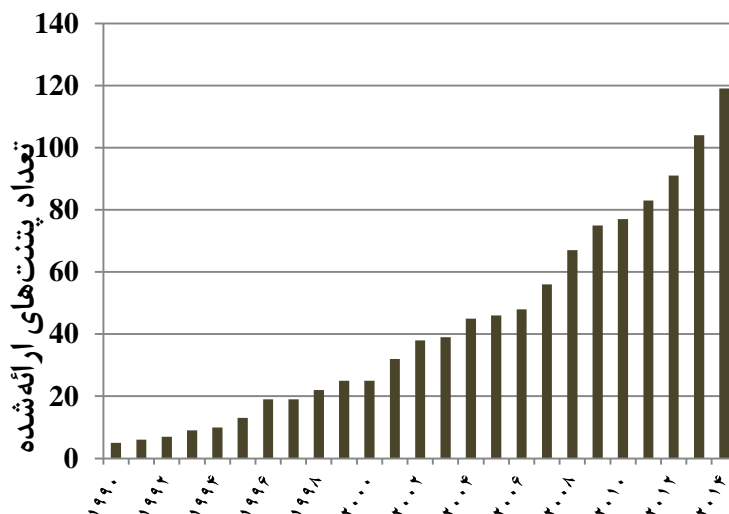
#### زیرشاخه H02K19



شکل ۵-۳۷: نمودار فراوانی تجمعی پتنت‌های مربوط به الکترونیک قدرت سیستم‌های تحریک ارائه شده در

#### زیرشاخه H02K1





شکل ۵-۳۸: نمودار فراوانی تجمعی کلیه پتنت‌های ارائه شده در زیرشاخه‌های مربوط به الکترونیک قدرت

#### سیستم‌های تحریک

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، شیب مربوط به منحنی‌ها در سال‌های اخیر، اندکی افزایش داشته است که بیانگر گرایش

تحقیقات به سمت سیستم‌های تحریک مبتنی بر الکترونیک قدرت است.

#### ۵-۵-۹ شرکت‌های سازنده سیستم‌های تحریک در دنیا

سازندگان بزرگ انواع مختلف سیستم‌های تحریک (استاتیک، بدون جاروبک و ...)، SIEMENS، ABB، NR

ELECTRIC، GE، VOITH، TOSHIBA و MITSUBISHI می‌باشند. محصولات شرکت‌های ارائه‌کننده سیستم‌های

تحریک ژنراتورهای سنکرون مربوط به نیروگاه‌های مختلف، در جدول ۵-۸ جمع‌آوری شده است.

جدول ۵-۸: سیستم‌های تحریک تولیدی شرکت‌های برتر در زمینه الکترونیک قدرت

نام محصول	توضیحات	مشخصات	کاربرد	شرکت
SPPA-E3000	سیستم تحریک و راه‌انداز SFC در یک محصول	از ۲ تا ۱۰۰۰۰ آمپر	سیستم تحریک ژنراتور توربین‌های	SIEMENS
SIPOL	سیستم تحریک با اکسایتر چرخان	تا ۱۰ مگاولت آمپر	گازی، سیکل ترکیبی، هیدروالکتریک، هسته‌ای، بخار و	
RG3	سیستم تحریک با اکسایتر	۱ تا ۴۰۰		

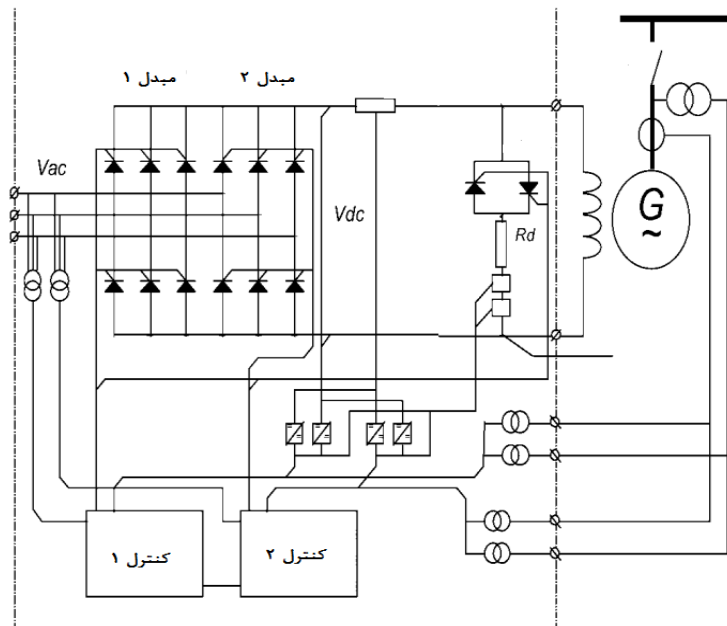
نام محصول	توضیحات	مشخصات	کاربرد	شرکت
THYRISIEM	چرخان	مگاولت آمپر	نیروگاه‌های صنعتی	
	سیستم تحریک با اکسایتر	۱۰۰ تا ۴۰۰۰		
	چرخان	مگاولت آمپر		
	سیستم تحریک استاتیکی با منبع مرکب	۱ تا ۵۰		
	سیستم تحریک استاتیکی با منبع مرکب	۱ تا ۸۰		
THYRIPART	سیستم تحریک استاتیکی با منبع مرکب	مگاولت آمپر		
THYRIPOL-L	سیستم تحریک استاتیکی با منبع مرکب	مگاولت آمپر		
THYRIPOL/SEMIPOL	سیستم تحریک استاتیکی	مگاولت آمپر		
-	- سیستم تحریک استاتیکی	۱۱۰۰ تا ۹۴۶۲ آمپر	-	MITSUBISHI
UNITROL 6800	- سیستم تحریک استاتیکی - دارای محصول مشترک سیستم تحریک و SFC راه‌انداز (MEGATROL)	تا ۱۰ کیلو آمپر	تحریک و راه‌اندازی در نیروگاه‌های گازی، تلمبه‌ذخیره‌ای و سیکل ترکیبی	ABB
نام محصول	توضیحات	مشخصات	کاربرد	شرکت
PCS-9400	- سیستم تحریک استاتیکی - سیستم تحریک بدون جاروبک - سیستم تحریک با اکسایتر DC	۱۰۰ تا ۷۰۰۰ آمپر	-	NR ELECTRIC
SILCOSTAT	سیستم تحریک استاتیکی	تا ۶ کیلو آمپر	-	NIDEC
ALSPA CONTROGEN		ژنراتورهای تا ۲۱۰۰ مگاوات	سیستم تحریک نیروگاه گازی	ALSTOM
-	- سیستم تحریک استاتیکی - سیستم تحریک بدون جاروبک	-	سیستم تحریک ژنراتور توربین‌های آبی	TOSHIBA
DGS	-			EMERSON
GENERREX-PPS	- سیستم تحریک استاتیکی با یکسوساز کنترل شده با منبع مرکب		تحریک نیروگاه‌های بخار بزرگ	GE
SCT-PPT	- سیستم تحریک استاتیکی			

نام محصول	توضیحات	مشخصات	کاربرد	شرکت
	با یکسوساز منبع مرکب			
THYRICON 300	سیستم تحریک استاتیکی	تا ۹۰ آمپر	سیستم تحریک نیروگاه‌های آبی،	VOITH
THYRICON 400	سیستم تحریک استاتیکی	تا ۴۵۰ آمپر	حرارتی، گازی، دیزلی	
THYRICON 500	سیستم تحریک استاتیکی	تا ۴۰۰۰ آمپر	و بادی و همچنین	
THYRICON 600	سیستم تحریک استاتیکی	تا ۴۰۰۰ آمپر	کندانسورهای سنکرون	

مشخصات فنی چند نمونه سیستم تحریک استاتیکی در ادامه ذکر شده است.

### ۵-۵-۱۰ سیستم تحریک نیروگاه سیکل ترکیبی شیروان

سیستم تحریک نیروگاه شیروان که محصول شرکت GE می‌باشد، از خود ژنراتور، از طریق شین ۶/۶ کیلوولتی و ترانس تحریک تغذیه می‌شود. در این سیستم تحریک، از دو پل تریستوری به‌عنوان یکسوساز استفاده شده است تا در شرایط مختلف، کنترل جریان تحریک به‌خوبی صورت گیرد. مدار این سیستم تحریک در شکل ۵-۳۹ نشان داده شده است. ولتاژ و جریان نامی پل تریستوری، ۳۵۱ ولت و ۱۶۸۰ آمپر است که قادر به تحمل ولتاژ ۵۹۲ ولتی به مدت ۱۰ ثانیه می‌باشد. این مبدل تریستوری با استفاده از فن‌های خنک‌کننده، خنک می‌شود. همچنین جریان مؤثر نامی هر یک از تریستورهای سیستم تحریک، ۴۶۶۵ آمپر می‌باشد که نیاز به ولتاژ پالس ۳/۵ ولتی برای روشن شدن دارند و افت ولتاژ حالت روشن ۱/۶۵ ولتی دارند. وزن کل این سیستم تحریک، ۳۰۰۰ کیلوگرم می‌باشد.



شکل ۵-۳۹: سیستم تحریک استاتیک ژنراتور سنکرون نیروگاه سیکل ترکیبی شیروان

## ۵-۶- قیمت سیستم‌های تحریک مبتنی بر الکترونیک قدرت

معمولاً در پروژه‌های نیروگاهی برای انتخاب سیستم تحریک، قابلیت اطمینان سیستم تحریک بسیار مورد توجه قرار می‌گیرد زیرا هزینه‌ی سیستم تحریک در مقابل هزینه‌ی ژنراتور، بسیار پایین‌تر است [۱۵۲]. با این حال در جدول ۵-۹، قیمت برخی از سیستم‌های تحریک ژنراتورهای سنکرون مبتنی بر الکترونیک قدرت، یعنی سیستم تحریک استاتیکی و سیستم تحریک بدون جبران‌ساز (یکسوساز بر روی شفت روتور قرار دارد) نشان داده شده است.

جدول ۵-۹: قیمت برخی از سیستم‌های تحریک موجود در بازار

محصول	توان ژنراتور مورد کنترل	قیمت	برند	بازار
سیستم تحریک بدون جاروبک [۱۵۳]	۱۰ تا ۱۸۷۵ کیلوولت‌آمپر	۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰۰ دلار امریکا	HORIS	آمریکای مرکزی، اروپای جنوبی، اروپای شرقی، اروپای شمالی، جنوب شرقی آسیا، جنوب آسیا، آسیای شرقی و ...
سیستم تحریک [۱۵۴]	۱۵۰ کیلوولت‌آمپر	۸۵۰۰ تا ۱۱۸۰۰ دلار امریکا	Cummins	آمریکای جنوبی، اقیانوسیه، اروپای شرقی، آسیای جنوبی

محصول	توان ژنراتور مورد کنترل	قیمت	برند	بازار
سیستم تحریک بدون جاروبک [۱۵۵]	۲۲۵ کیلوولت آمپر	۱۵۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰ دلار آمریکا	Deutz	-
سیستم تحریک برای الترناتور خانگی با پل و اینورتر [۱۵۶]	۱۰ کیلووات	۱ تا ۹۹۹۹ دلار آمریکا	ANE/Anhua	آسیای شرقی، آسیای جنوبی، اروپای شرقی، اقیانوسیه، امریکای جنوبی و ...
سیستم تحریک [۱۵۷]	۴۷۵ کیلوولت آمپر	۳۳۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰ دلار آمریکا	SANQ	امریکای جنوبی، امریکای شمالی، آسیای جنوبی و جنوب شرقی آسیا
سیستم تحریک استاتیک [۱۵۸]	۱۰ تا ۱۰۰ مگاوات	۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰۰ دلار آمریکا	HYDROTU	جنوب شرقی آسیا، آفریقا، اقیانوسیه، جنوب آسیا
سیستم تحریک استاتیک [۱۵۹]		۱۰۰ تا ۱۰۰۰۰ دلار	LAND	امریکای شمالی، آفریقا و جنوب شرقی آسیا
سیستم تحریک استاتیک SCR	۳۱۲۵ کیلوولت آمپر	۵۰۰ تا ... دلار آمریکا	Wa Wu Shan	-

## ۵-۷- نتیجه گیری

در این پروژه، به جایگاه الکترونیک قدرت در سیستم‌های تحریک ژنراتور، راه‌اندازی نیروگاه‌های گازی و تلمبه‌ذخیره‌ای و همچنین درایوهای کنترل سرعت در سیستم‌های تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت‌متغیر پرداخته شد. بدین منظور ابتدا مقدمه‌ای درباره جایگاه نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای و روند رو به رشد این صنعت پرداخته شد. سپس انواع ساختار نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای از نظر الکترونیک قدرت که به سه دسته‌ی سرعت‌متغیر با مبدل تمام ظرفیت، سرعت‌متغیر با ظرفیت جزئی و سرعت ثابت، تقسیم می‌شود، استخراج گردید. در ادامه انواع ساختارهای مورد استفاده برای راه‌اندازی نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت ثابت و نیروگاه‌های گازی مورد بررسی و تقسیم‌بندی قرار گرفت و جایگاه این صنعت در تحقیقات و پژوهش‌های جهانی تحلیل شد. در رابطه با سیستم‌های تحریک ژنراتور نیز، روند گسترش و پیشرفت این سیستم‌ها مورد مطالعه قرار گرفت و سیستم‌های تحریک امروزی که مبتنی بر یکسوسازهای الکترونیک قدرت هستند (سیستم‌های تحریک استاتیک و بدون جاروبک)، دسته‌بندی شدند. سپس توجه پژوهش‌های علمی و صنعتی در راستای سیستم‌های تحریک از نگاه آماری مورد توجه قرار گرفت و نشان داده شد که توجه به این مقوله در سال‌های اخیر افزایش یافته است.

در این گزارش همچنین به چالش‌های پیش رو و لزوم توجه به سیستم‌های راه‌اندازی استاتیکی و سیستم‌های تحریک، پرداخته شد. با نگاهی مثبت به آمار پژوهش‌های علمی و صنعتی، می‌توان پیشرفت‌های بعدی در این راستا را پیش‌بینی کرد.

## فصل ششم

### سیستم‌های انتقال DC

## ۶- فصل ششم سیستم‌های انتقال DC

### ۶-۱- مقدمه

سیستم جریان مستقیم با ولتاژ بالا<sup>۱</sup> یک تکنولوژی ایمن و کارا است که برای انتقال توان با حجم زیاد در فاصله‌های طولانی مطرح شده است. اولین بار HVDC در دهه‌ی ۱۹۳۰ توسط شرکت ASEA توسعه پیدا کرد. این شرکت سوئدی یکی از سرمایه‌گذاران شرکت ABB بوده است.

مهندسان در سال‌های زیادی در جستجوی تکنولوژی تبدیلی بودند که بتواند توان الکتریکی AC تولیدشده را در محل تولید به برق DC تبدیل کرده و سپس در سمت دیگر خط DC به ولتاژ AC تبدیل نمایند. در اوایل دهه‌ی ۱۹۵۰ تحقیقاتی در زمینه تکنولوژی قوس جیوه‌ای توسط مهندسین شرکت ASEA انجام گردید. در نتیجه این تحقیقات اولین لینک HVDC به صورت تجاری ساخته شد. این خط HVDC بین جزیره‌ی گاتلند و سوئد احداث شده است. از آن زمان تاکنون خطوط HVDC در نقاط مختلفی احداث شده است [۱۶۰].

### مزایای HVDC:

سیستم‌های HVDC می‌توانند توان الکتریکی بیشتری را در فاصله‌های بیشتر نسبت به خطوط AC مشابه انتقال دهند. این بدان معنی است که به خطوط انتقال کم‌تری نیاز است و منجر به صرفه‌جویی در هزینه و فضای مورد نیاز می‌شود. این تکنولوژی همچنین تلفات توان الکتریکی را در فواصل زیاد کاهش می‌دهد و سیستم HVDC بسیار پایدار و قابل کنترل است و می‌تواند در جهت پایداری و اتصال شبکه‌های AC به کار رود [۱۶۰].

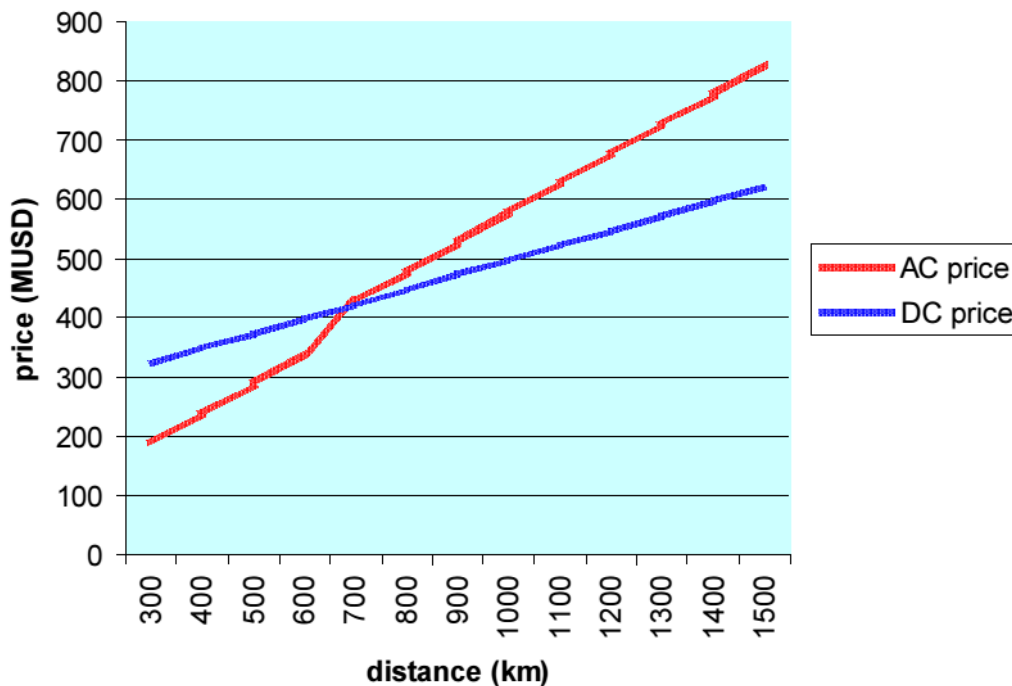
### توسعه‌ی تکنولوژی HVDC:

امروزه دو نوع تکنولوژی اصلی مرتبط با HVDC وجود دارد. HVDC کلاسیک اولین تکنولوژی مربوط به این گروه است که برای انتقال حجم زیادی از توان به کار می‌رود. در این نوع سیستم‌ها از مبدل‌های منبع جریان تریستوری استفاده



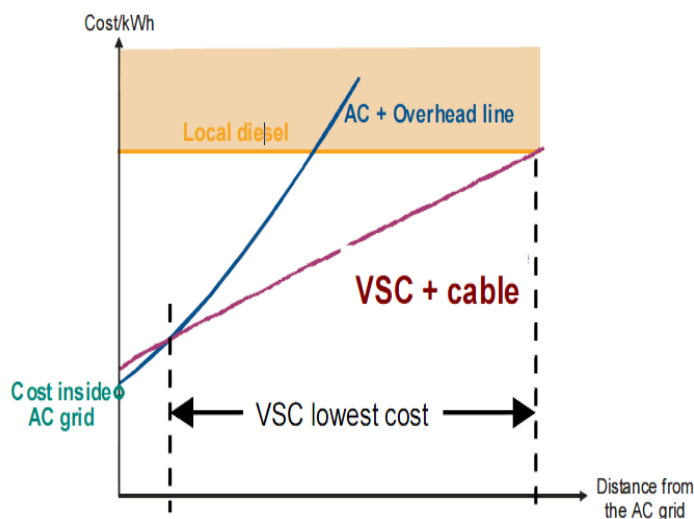
می‌شود. از این نوع سیستم‌ها بیش از ۱۰۰ مورد در جهان احداث شده است. رنج توان این نوع از سیستم‌های HVDC از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰۰ مگاوات است و در آن‌ها از خطوط هوایی، کابل‌های زیرزمینی و زیردریایی و یا ترکیب کابل‌ها و خطوط استفاده می‌شود.

سیستم‌های HVDC مبتنی بر ترستور در انتقال توان با ولتاژ بالا به کار می‌روند و در آن‌ها هزینه‌ی پست‌های مبدل بسیار بیشتر از پست‌های AC است. با افزایش فاصله و طول خط هزینه‌ی تمام‌شده‌ی خطوط HVDC مبتنی بر ترستور نسبت به هزینه‌ی خطوط AC کمتر می‌شود. شکل ۶-۱ مقایسه‌ی بین هزینه‌ی این دو خط را نشان می‌دهد. [۱۶۱]



شکل ۶-۱: مقایسه‌ی هزینه‌ی خطوط ac و HVDC هوایی

سیستم‌های HVDC مبتنی بر مبدل‌های منبع ولتاژ در مقایسه با خطوط AC در مسافت‌های کوتاه نیز دارای هزینه‌ی مجموع کمتری نسبت به خطوط AC هستند. شکل ۶-۲ هزینه‌ی سیستم VSC-HVDC سیستم AC و تولید توان توسط دیزل ژنراتور را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۲: مقایسه هزینه برای تأمین برق یک جزیره با توان ۲۰۰ مگاوات

بسیاری از پروژه‌های توربین‌های بادی فراساحلی و یا انتقال توان در فاصله‌ی کم و یا در جای که استفاده از کابل‌های زیرزمینی و زیردریایی غیرقابل اجتناب است از این نوع از سیستم‌ها استفاده می‌شود جدول ۶-۱ مقایسه‌ی فناوری‌های مختلف HVDC و کاربردهای آن را نشان می‌دهد.

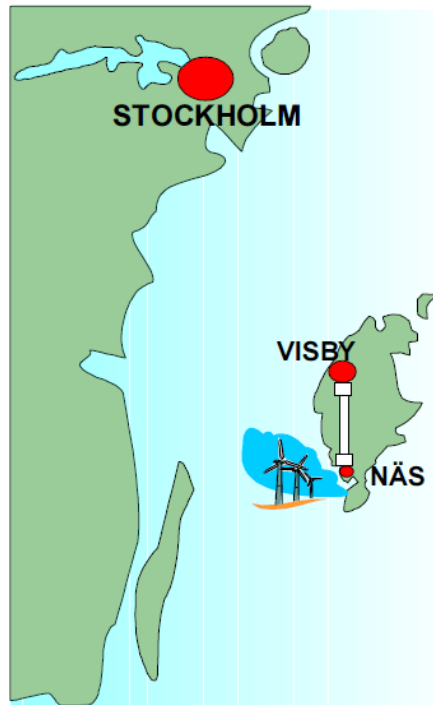
جدول ۶-۱: مقایسه‌ی بین فناوری‌های مختلف سیستم HVDC

تغذیه‌ی بارهای جزیره‌ای	اتصال توربین‌های بادی به شبکه	اتصال دو ناحیه‌ی غیر سنکرون	خطوط بلند انتقال زیردریا	خطوط بلند زیرزمین	
		✓		✓	HVDC مبتنی بر تریستور با خطوط هوایی
		✓			HVDC مبتنی بر تریستور با کابل دریایی
	✓	✓			مبدل VSC با مبدل‌های پشت‌به‌پشت
✓	✓	✓	✓	✓	مبدل‌های VSC با کابل‌های زمینی و دریایی

در ادامه به بیان جزئیات دو پروژه HVDC ولتاژ متوسط پرداخته خواهد شد.

پروژه‌ی اول: پروژه‌ی Gotland است که رنج توان آن ۵۰ مگاوات و سطح ولتاژ DC آن ۷۰ کیلوولت است. شکل ۶-۳ موقعیت جغرافیایی این پروژه را نشان می‌دهد. این پروژه اولین خط HVDC مبتنی بر کلیدهای IGBT بوده است. جزیره‌ی گاتلند در دریای بالتیک قرار دارد و قسمت جنوب آن دارای پتانسیل‌های خوبی برای نصب توربین‌های بادی است اما مرکز بار

این جزیره در شمال آن قرار دارد. این پروژه توسط شرکت ABB ایجاد شده است. یکی از دلایل انتخاب VSC-HVDC، طبیعت وحش حساس این منطقه و توریست پذیر بودن آن است که استفاده از خطوط هوایی به عنوان تهدیدی برای آن‌ها مطرح است. در این پروژه از خطوط زیرزمینی استفاده شده است.



شکل ۳-۶: محل اجرای پروژه HVDC گاتلند

پروژه‌ی دوم VSC-HVDC اتصال دهنده‌ی کوئزلند و ولز جنوبی است که طول آن ۶۵ کیلومتر است؛ و خط به کاررفته در این پروژه ۸۰ کیلوولت دو قطبی است و توان نامی آن نیز ۵۰ مگاوات است.

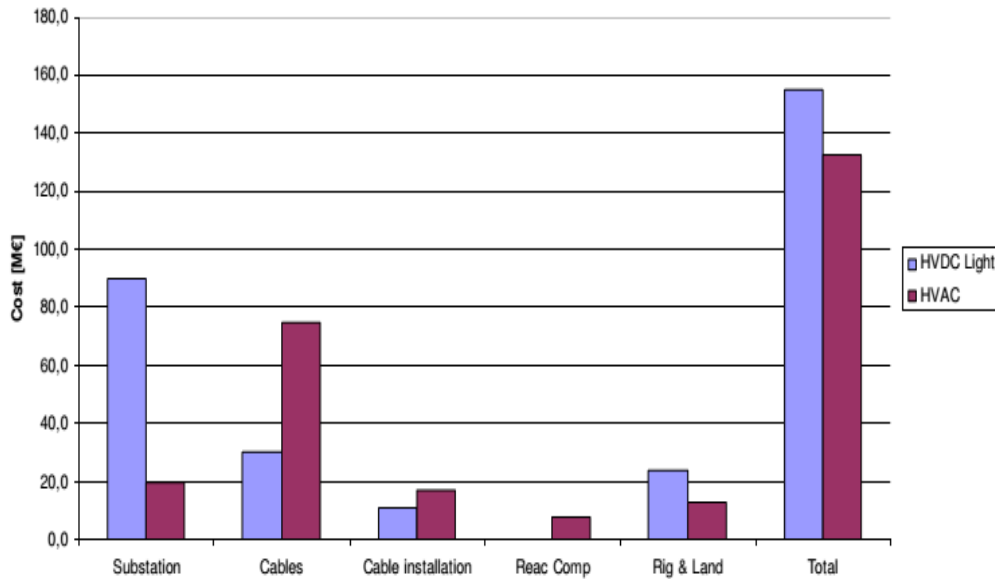
برخی از خصوصیات این سیستم‌ها عبارت‌اند از [۱۶۲]:

- امکان اتصال منابع تجدیدپذیر دورافتاده مانند آب، باد و فتوولتائیک به شبکه
- پایدارسازی خطوط انتقال از طریق کنترل مناسب آن
- فراهم کردن توزیع و تجارت انرژی از طریق اتصال بازارهای انرژی
- غلبه بر محدودیت‌های حریم از طریق کابل‌های زیرزمینی و زیردریایی
- امکان اتصال بارهای دورافتاده مانند سکوه‌های فراساحلی و معادن

• تغذیه‌ی شبکه در مراکز شهری با تراکم جمعیتی بسیار بالا

همچنین مقایسه‌ی بین هزینه‌ی HVDC light و HVDC با ذکر موارد موردبررسی در شکل ۴-۶ آورده شده است این

مقایسه در توان متوسط ۳۰۰ مگاوات انجام شده است.



شکل ۴-۶: مقایسه هزینه‌ی HVDC Light و HVAC

شایان ذکر است که قسمت اعظم هزینه‌ی پست مربوط به میدل‌های به کاررفته در آن برای خطوط VSC-HVDC است.

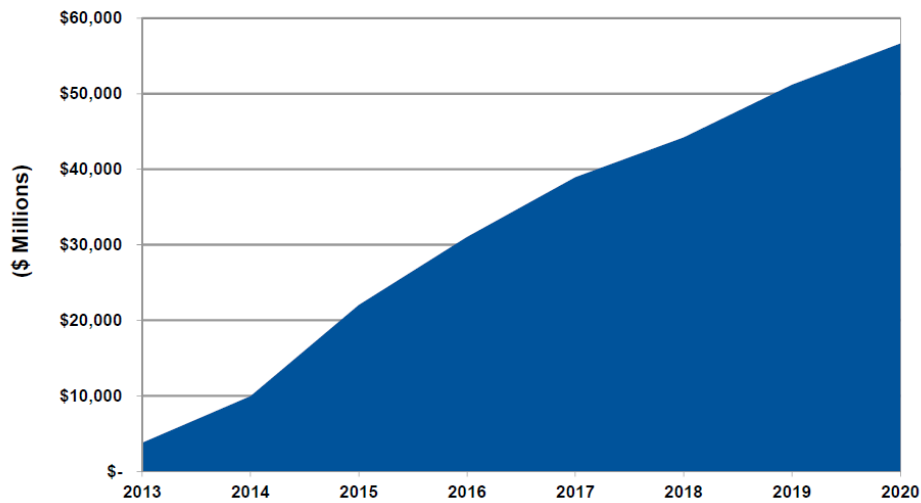
## ۲-۶- بررسی بازار HVDC

بر اساس آمار مرکز مطالعات اقتصادی و بازار Navigant تا سال ۲۰۲۰، میزان سرمایه‌گذاری در سیستم HVDC به رقم

۵۶/۶ میلیارد دلار خواهد رسید [۱۶۳]. بر اساس آمار شرکت Alstom این پتانسیل تا سال ۲۰۲۰ برابر با ۵۰ میلیارد یورو خواهد

بود [۱۶۴]. شکل ۵-۶ مقدار هزینه‌ی صورت گرفته برحسب میلیارد دلار ایالات متحده‌ی آمریکا را بر اساس آمار Navigant

نشان می‌دهد [۱۶۵].

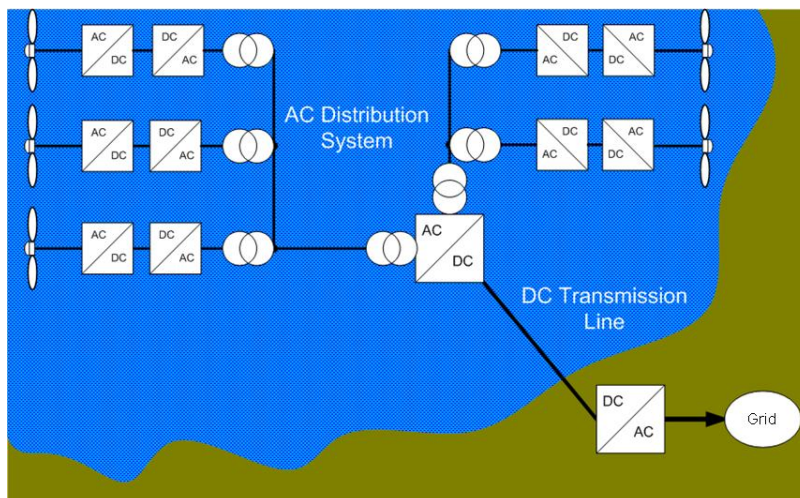


شکل ۶-۵: منحنی تجمعی رشد سرمایه‌گذاری در HVDC

استفاده از سیستم‌های HVDC نیز رشد قابل توجهی را در این سال‌ها خواهد داشت. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۰ میزان ظرفیت اضافه‌شده‌ی HVDC ۳۳۰ گیگاوات خواهد شد. از این مقدار میزان ۲۰۰ گیگاوات فقط مربوط به چین است و بیشترین بازار HVDC آمریکا، چین، هند و اروپا هستند. [۱۶۵]

طول خط جهت اینکه هزینه‌ی سیستم HVDC نسبت به HVAC کم‌تر شود برابر با ۷۰۰ کیلومتر است. این طول برای کابل‌های زیرزمینی و دریایی ۴۰ کیلومتر است. پتانسیل اروپا و شمال آفریقا برای HVDC از نوع تریستوری با ولتاژ ۵۰۰ کیلوولت ۳ میلیارد یورو و برای HVDC از نوع منبع ولتاژ ۶ تا ۱۰ میلیارد دلار برآورد شده است.

استفاده از خطوط MVDC بیشتر مربوط به سیستم‌های بادی فراساحلی است. با توجه به رشد استفاده از انرژی بادی فراساحلی، افزایش استفاده از سیستم‌های MVDC محتمل است. شکل ۶-۶ شمای یک شبکه‌ی MVDC را نشان می‌دهد. که جهت استحصال توان بادی فراساحل مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۶-۶: یک نمونه شبکه‌ی MVDC

بر اساس تحقیق Navigant علاقه به مبدل‌های منبع ولتاژ (VSC) در بازه‌ی زمانی سال ۲۰۲۰-۲۰۱۳ افزایش خواهد یافت. همچنین استفاده از HVDC از طریق کابل‌های زیردریایی که در آن‌ها از تکنولوژی VSC استفاده می‌شود، نیز رشد می‌یابد. این بخش ۱۹ درصد از ظرفیت کل خط HVDC جدید را پوشش می‌دهد.

### ۶-۳- شرکت‌های مطرح در زمینه HVDC

#### شرکت ABB:

این شرکت بیش از ۵۰ درصد از پروژه‌های HVDC را در جهان پوشش می‌دهد و به‌نوعی پیشرو تولید محصولات مرتبط با HVDC است به‌نوعی که انواع مدل‌های HVDC ابتدا توسط این شرکت تجاری شده است.

#### شرکت Siemens:

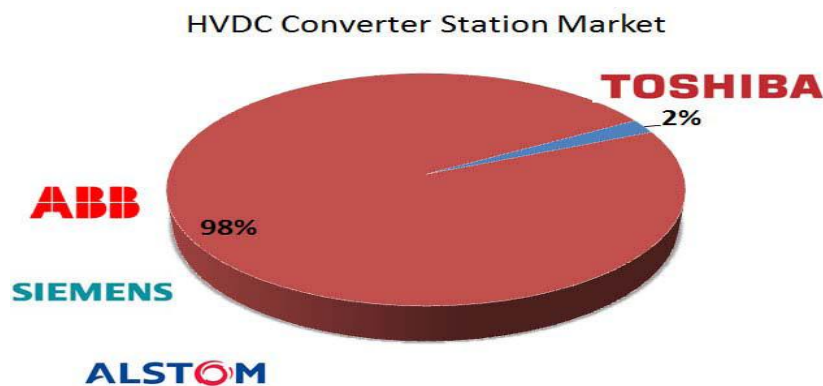
این شرکت یکی از اصلی‌ترین رقبای شرکت ABB است به‌طوری‌که بیش از ۹۰ درصد از بازار HVDC در اختیار این دو شرکت است. شرکت Siemens سرمایه‌گذاری زیادی بر HVDC انجام داده است و فناوری‌های مختلفی از HVDC را روانه‌ی بازار کرده است.

#### شرکت Alstom:

این شرکت در سال ۲۰۰۶ وارد عرصه‌ی مبدل‌های HVDC شده است؛ و توانسته کمی از بازار را به خود اختصاص دهد.

### شرکت Toshiba:

این شرکت از سال ۲۰۱۲ وارد عرصه‌ی HVDC شده است. شکل ۶-۷ سهم هر یک از شرکت‌ها را در بازار مبدل‌های HVDC نشان می‌دهد. دیده می‌شود که کمترین سهم مربوط به شرکت ژاپنی Toshiba است که به دلیل دیر وارد شدن در عرصه‌ی HVDC است. [۱۶۶].



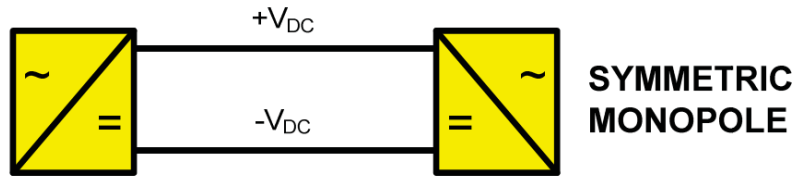
شکل ۶-۷: سهم بازار HVDC

## ۶-۴- ساختارهای مختلف VSC-HVDC

مبدل‌های به کاررفته در VSC-HVDC و یا HVDC کلاسیک می‌توانند در پیکربندی‌های مختلفی قرار بگیرند که در ادامه پیکربندی‌های رایج‌تر به‌طور خلاصه شرح داده می‌شود.

### ۶-۴-۱ تک قطبی متقارن

شکل ۶-۸ شمای مداری این ترکیب‌بندی را نشان می‌دهد که دارای مزایای زیر است:



شکل ۶-۸: مدار تک قطبی متقارن

- به ترانسفورماتور، تنش جریان و ولتاژ DC وارد نمی‌شود.
- جریان زمین DC ایجاد نمی‌شود.
- جریانی به دلیل خطای زمین در شبکه‌ی DC به قسمت AC انتقال داده نمی‌شود.

معایب:

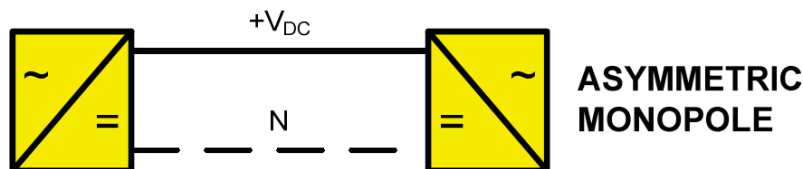
- کاهش افزونگی (redundancy) در مقایسه با پیکربندی دو قطبی
- نیاز به دو هادی DC ایزوله شده از یکدیگر

### ۶-۴-۲ تک قطبی غیرمتقارن با سیم برگشت فلزی

در این ساختار (شکل ۶-۹) سیم برگشت زمین شده‌ی فلزی به کار می‌رود.

مزایا:

- هادی DC بازگشت فلزی نیاز به ایزولاسیون کامل ندارد



شکل ۶-۹: مدار تک قطبی نامتقارن

- جریان زمین DC وجود ندارد.

معایب:



- افزودنی محدود در مقایسه با پیکربندی دو قطبی
- ترانسفورماتور باید برای تنش‌های جریان مستقیم طراحی شود.

### ۳-۴-۶ ساختار تک قطبی نامتقارن با برگشت زمین

مزایا:

- هزینه و تلفات به دلیل حذف هادی DC کاهش می‌یابد
- قابلیت توسعه به صورت سیستم دو قطبی در آینده

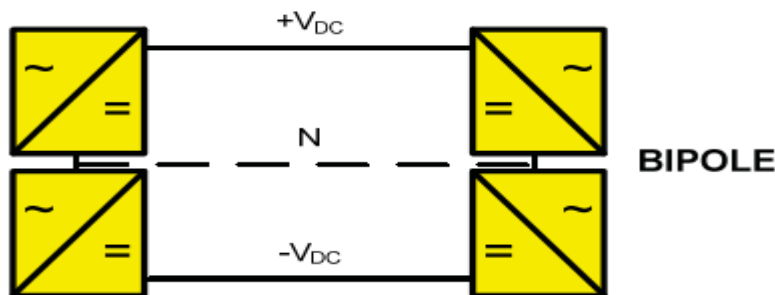
معایب:

- نیاز به اجازه برای عملکرد پیوسته با جریان زمین DC
- نیاز به اجازه برای الکترودها (شامل اثرات زیست‌محیطی)
- گرفتن جریان از شبکه‌ی AC در حالت خطاهای DC
- محدودیت افزودنی در مقایسه با پیکربندی دو قطبی ترانسفورماتور باید برای تحمل تنش‌های DC طراحی شود.

### ۴-۴-۶ دو قطبی با الکترودهای زمین

در این ساختار (شکل ۶-۱۰) از الکترودهای زمین استفاده می‌شود و یک سر از میدل‌های یک طرف به یکدیگر متصل

می‌شود.



شکل ۶-۱۰: مدار دو قطبی با الکترودهای زمین

مزایا:

- افزودنی به میزان ۵۰ درصد از توان نامی

معایب:

- هزینه‌ی بیشتر برای توان یکسان در مقایسه با ساختار تک قطبی نیاز به اجازه برای الکترودها (شامل اثرات زیست محیطی)
- کشیدن جریان از شبکه‌ی AC در صورت خطا در شبکه‌ی DC
- ترانسفورماتورها باید برای تنش‌های DC طراحی گردند.

### ۶-۴-۵ ساختار دو قطبی با سیستم خنثی فلزی

در این ساختار، خط خنثی فلزی جهت ایجاد مسیر بازگشت به کار می‌رود.

معایب:

- هزینه‌ی بیشتر نسبت به ساختار دو قطبی
- نیاز به هادی خنثی DC ایزوله شده با ولتاژ کم ترانسفورماتور باید برای تنش‌های DC کم به کار رود.

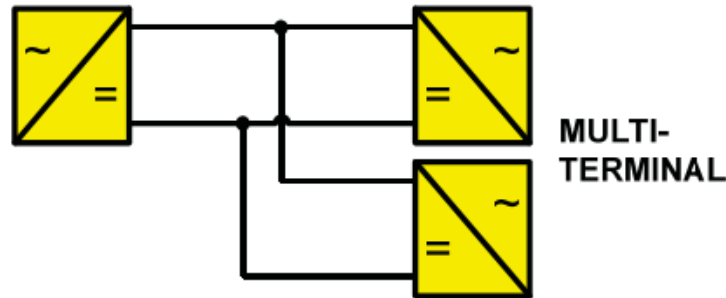
مزایا:

- افزودنی برای ۵۰ درصد از توان نامی

### ۶-۴-۶ سیستم چند ترمیناله:

سیستم‌های چند ترمیناله می‌توانند بر اساس پیکربندی‌های توضیح داده شده ساخته شوند. ساختار سه ترمیناله بر اساس

سیستم تک قطبی در شکل ۶-۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۶-۱۱: ساختار چند ترمیناله

### ۶-۴-۷ ساختار پشت‌به‌پشت

یک پست پشت‌به‌پشت<sup>۱</sup> از دو مبدل VSC-HVDC که نزدیک به یکدیگر قرار دارند تشکیل شده است. این ساختار معمولاً جهت اتصال در شبکه‌ی AC غیر سنکرون به کار می‌روند. چندین پست پشت‌به‌پشت در جهان در حال بهره‌برداری است. در این نوع از سیستم‌ها ولتاژ DC می‌تواند بدون در نظر گرفتن مقادیر بهینه برای خط هوایی و کابل انتخاب شود و معمولاً مقدار کمی حدود ۱۵۰ کیلوولت و یا پایین‌تر در نظر گرفته می‌شود.

### ۶-۵- مقدمه‌ای بر HVDC منبع ولتاژ

از سال ۱۹۹۷ استفاده از مبدل‌های منبع ولتاژ تحت عناوین HVDC light و HVDC Plus برای انتقال توان در رنج‌های ۵۰ تا ۲۵۰۰ مگاوات با استفاده از خطوط هوایی و یا کابل‌های زیرزمینی و زیردریایی آغاز شده است. در این‌گونه از سیستم‌ها معمولاً از کلیدهای IGBT استفاده می‌شود و برای اتصال شبکه‌ها و همچنین ایجاد لینک برای مزارع بادی و سکوهای نفتی و گازی فراساحلی به کار می‌روند.

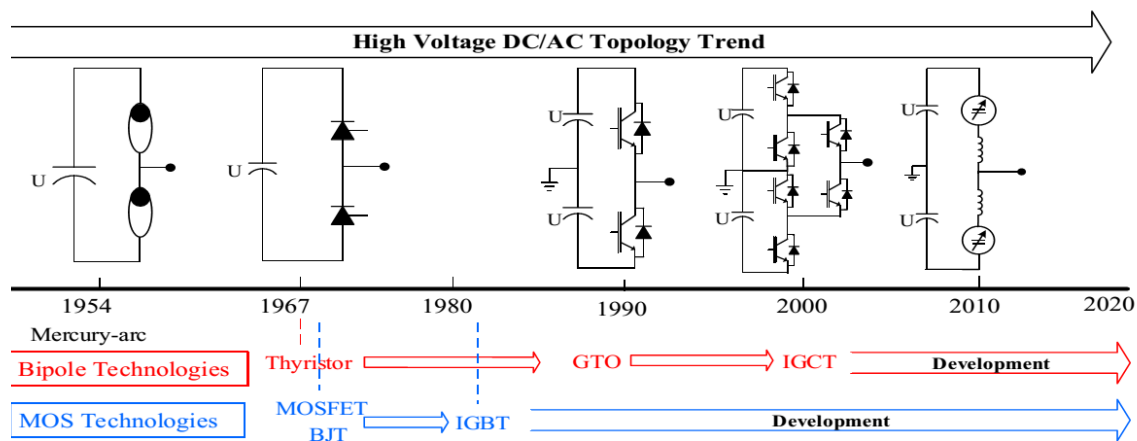
### توسعه‌ی تکنولوژی HVDC light:

همان طور که پیش تر بیان شد، تکنولوژی HVDC light از سال ۱۹۹۷ توسط شرکت ABB ساخته شده است. اولین نسل از این تکنولوژی دارای مشخصات نسل های کنونی است با این تفاوت که تلفات این سیستم ها در ابتدا بیشتر بوده است. هدف از تحقیقات در سال های اخیر بر روی افزایش بازدهی آن و اقتصادی تر کردن آن بوده است. [۱۶۷، ۱۶۸]

ولو مبدل دوسطحی به همراه اتصال سری بسته فشرده ی IGBT به عنوان جزء اصلی مبدل مورد استفاده قرار گرفته است. امروز این تکنولوژی در نسل چهارم خود قرار گرفته و پیشرفت تکنولوژی امکان بهره برداری از طریق مبدل دوسطحی سری شده را فراهم کرده است.

## ۶-۶- روند توسعه ی تکنولوژی HVDC

رشد پیوسته ی ادوات کلیدزنی با توان و ولتاژ بالا اثر زیادی بر تکنولوژی الکترونیک قدرت و کاربرد آن در شبکه ی برق داشته است. ارتقای ساختارهای مبدل HVDC نسبت به رشد تکنولوژی ادوات کلیدزنی در شکل ۶-۱۲ آورده شده است.



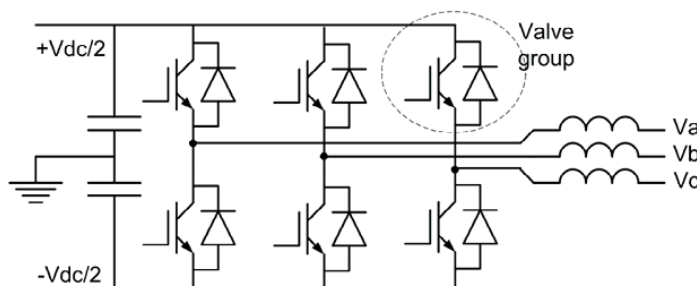
شکل ۶-۱۲: روند توسعه ی تکنولوژی HVDC

اولین نوع از مبدل های به کار رفته در سال ۱۹۵۴ روانه ی بازار شده است که در آن از ولوهای قوس جیوه ای استفاده می شده است. مبدل های تریستوری هنوز برای سیستم های انتقال توان DC زیاد با ولتاژهای ۸۰۰ تا ۱۱۰۰ کیلوولت به کار می روند. ظرفیت به اصطلاح خاموش شوندگی که در تریستورهای معمولی وجود نداشت در تریستورهای با قابلیت خاموش شوندگی و تریستوری گیت کموتاسیون شده ی مجتمع (IGTC) روانه ی بازار شد. تکنولوژی نیمه هادی اکسید روی در دهه ی

۱۹۷۰ مطرح شد و یکی از مهم‌ترین تکنولوژی‌ها، تکنولوژی ترانزیستورهای دو قطبی گیت ایزوله شده که در دهه‌ی ۱۹۸۰ اختراع شده و در دهه‌ی ۱۹۹۰ به‌طور گسترده مورد اقبال قرار گرفته است، بوده است. با توسعه‌ی تکنولوژی IGBT، مبدل‌های منبع ولتاژ توسط شرکت ABB برای سیستم‌های HVDC مطرح شد که در آن با سری کردن IGBT به سطح ولتاژ بالای DC رسیده است. امروزه سطح ولتاژ تکنولوژی HVDC بر مبنای مبدل‌های منبع ولتاژ به ۵۰۰ کیلوولت رسیده است.

### ۶-۶-۱ استفاده از مبدل دوسطحی

یک سیستم VSC-HVDC از دو پست تبدیل با ساختار مبدل منبع ولتاژ تشکیل شده است. شکل ۶-۱۳ شمای مداری این ساختار معمولاً، تعداد زیادی از IGBTها برای افزایش ظرفیت ولتاژ معکوس برای مبدل به‌صورت سری قرار می‌گیرند. شایان ذکر است که دیود موازی معکوس جهت اطمینان از عملکرد مبدل در هر چهار ناحیه موردنیاز است. خازن لینک DC به‌عنوان یک سیستم ذخیره عمل می‌کند و نقش برطرف کننده‌ی هارمونیک و اعوجاجات DC را ایفا می‌کند [۱۶۹].



شکل ۶-۱۳: مبدل دو سطحی به کار رفته در VSC-HVDC

مبدل منبع ولتاژ دوسطحی و یا سه سطحی PWM نخستین بار توسط شرکت ABB در دهه‌ی ۱۹۹۰ میلادی مطرح شد. این تکنولوژی تحت برند (HVDC Light) شناخته می‌شود. مبدل‌های چند سطحی ماژولار که نخستین بار توسط شرکت Siemens در سال ۲۰۰۶ مطرح شد، Plus technology نامیده می‌شود. مبدل‌های دوسطحی سری شده نخستین بار توسط شرکت ABB در سال ۲۰۱۰ مطرح شده است. این روش توسعه یافته‌ی تکنولوژی PWM-VSC سه و دوسطحی است که تحت برند (light – Technology) است. یک روش مبتنی بر مبدل‌های چند سطحی با قابلیت بازوی متغیر توسط شرکت Alstom در سال ۲۰۱۰ مطرح شد و نخستین پروژه از آن اجرا شد. این تکنولوژی ترکیبی از فناوری‌های فوق است و با برند HVDC Maxsin شناخته می‌شود. سرانجام تکنولوژی VSC توسط EPRI توسعه پیدا کرده است و در آن مبدل چند سطحی

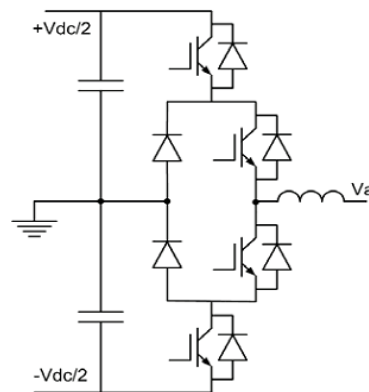
ماژولار توسعه پیدا کرده است. این ساختار تحت برند HVDC-Flexible شناخته می‌شود. به علاوه با وارد شدن شرکت ژاپنی توشیبا، انتظار می‌رود محصول جدید این شرکت نیز در یکی دو سال آینده عرضه شود.

## ۶-۶-۲ مبدل‌های به کار رفته در HVDC منبع ولتاژ

مبدل‌های منبع ولتاژ در نسل‌های مختلف ارائه شده‌اند. در نسل اول تکنولوژی به کار رفته بسیار شبیه به درایوهای صنعتی است با این تفاوت که رنج توان و ولتاژ مبدل‌های به کار رفته بیشتر است. مبدل به کار رفته مبدل دوسطحی با شش کلید است که در آن از مدولاسیون پهنای پالس (PWM) استفاده می‌شود. شمای مداری این مبدل پیش‌تر در شکل ۶-۱۳ نشان داده شده است. ولتاژ خروجی سه فاز از طریق تغییر ولتاژ مبدل بین مقدار  $-\frac{1}{2}v_{dc}$  و  $+\frac{1}{2}v_{dc}$  به دست می‌آید. استفاده از این روش، نیاز به عملکرد در فرکانس کلیدزنی بالایی است که در نتیجه تلفات کلیدزنی قابل توجهی ایجاد می‌شود. برخلاف با درایوهای صنعتی، هریک از ولوهای گروهی نشان داده شده در شکل ۶-۱۳، کلیدهای تکی نیستند بلکه تعدادی از کلیدها و دیودها در آن باهم سری شده‌اند [۱۷۰].

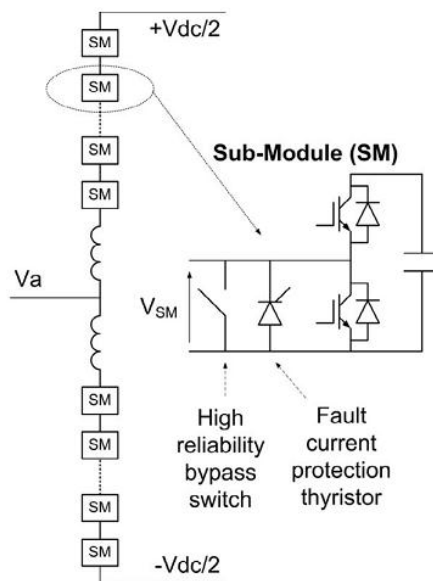
در نسل دوم مبدل دیود قفل شده پیشنهاد شده است (شکل ۶-۱۴). در NPC<sup>۱</sup> های پیشرفته‌تر یک IGBT اضافی به صورت موازی - معکوس با دو دیود خازن مرکزی قرار می‌گیرند. در این مبدل ولتاژ فاز خروجی بین مقادیر  $+\frac{1}{2}v_{dc}$  و  $-\frac{1}{2}v_{dc}$  تغییر می‌کند. با استفاده از این مبدل، می‌توان فرکانس کلیدزنی و بالطبع تلفات کلیدزنی را کاهش داد. بیشتر موارد نصب شده توسط ABB مبدل‌های دوسطحی با PWM بهینه است که در آن از حذف هارمونیک‌های انتخابی و تزریق هارمونیک سوم جهت کاهش تلفات استفاده می‌شود.

1 - Neutral point clamp



شکل ۶-۱۴: مبدل نقطه خنثی قفل شده

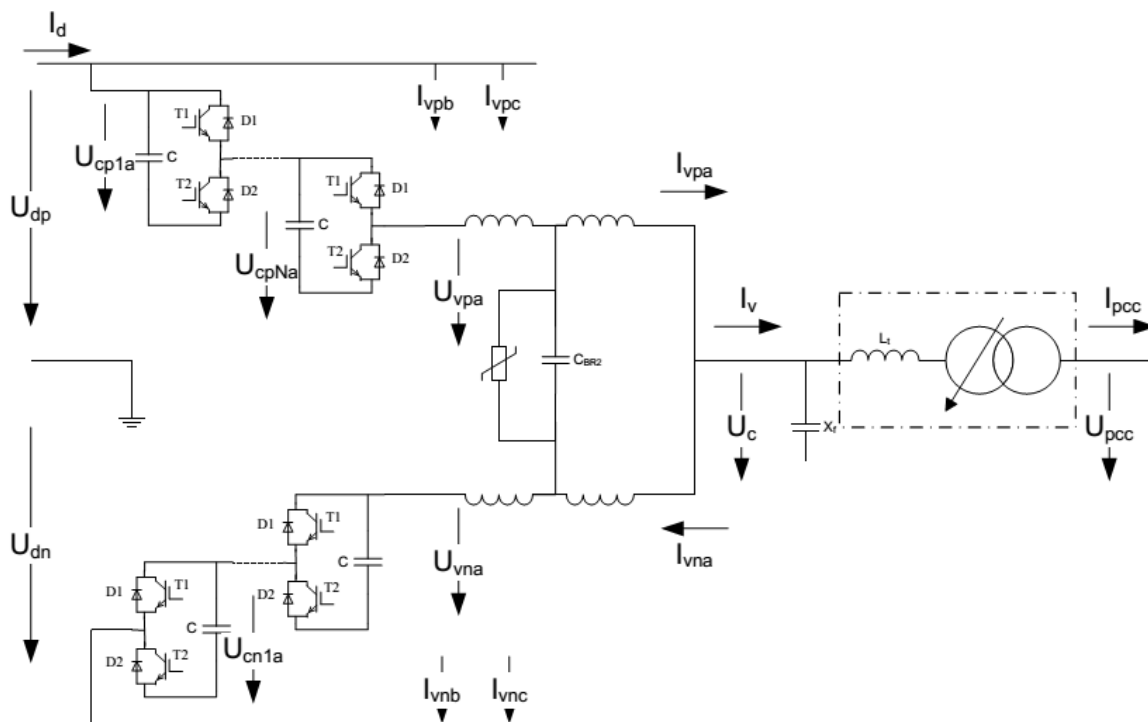
شرکت Siemens طراحی مبدل‌ها را با تحولی روبرو کرده است این شرکت از مبدل‌های چند سطحی به اصطلاح ماژولار استفاده کرده است. شکل ۶-۱۵ این نوع مبدل را نشان می‌دهد. از آنجائی که هر یک از زیر ماژول‌ها ممکن است تنها یک بار در سیکل روشن و خاموش شوند لذا فرکانس مؤثر کلیدها می‌تواند به فرکانس مبنا برسد.



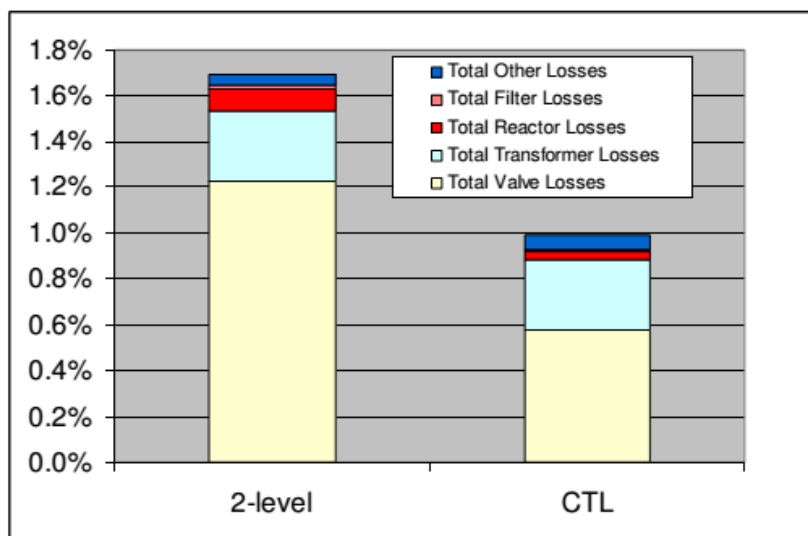
شکل ۶-۱۵: ساختار ماژولار مبدل چند سطحی

از آنجائی که از سطوح زیادی استفاده می‌شود (معمولاً بیش از ۲۰۰ سطح) شکل موج خروجی به سینوسی بسیار نزدیک است و لذا نیاز به فیلترهای DC و AC کاهش می‌یابد. تلفات کلیدزنی نسبت به روش MMC در مقایسه با سیستم‌های PWM بسیار پایین‌تر است. هر دو شرکت Alstom و ABB محصولاتی مشابه با ساختار MMC ساخته‌اند.

استفاده از مبدل سری شده‌ی دوسطحی که در آن از اتصال سری ادوات الکترونیک قدرت در هر زیر ماژول استفاده می‌شود می‌تواند تعداد زیاد ماژول‌ها را کاهش دهد اما سبب افزایش ولتاژ روی هر یک از خازن‌های DC می‌شود. شکل ۶-۱۶ شمای مداری و شکل ۶-۱۷ مقایسه‌ای بین تلفات آن و مبدل‌های دو سطحی را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۱۶: مبدل دوسطحی سری شده (CTL)



شکل ۶-۱۷: مقایسه تلفات مبدل‌های دوسطحی و دوسطحی سری شده



در جدول ۲-۶ خلاصه‌ی رشد و توسعه‌ی تکنولوژی برحسب شرکت سازنده‌ی آن آورده شده است. چند پروژه مرتبط با VSC-HVDC در رنج ولتاژ متوسط در

جدول ۳-۶ آمده است. [۱۷۰]

جدول ۲-۶: رشد تکنولوژی مبدل‌های الکترونیک قدرت در VSC-HVDC

تکنولوژی	سال	نوع مبدل	تلفات مبدل %	فرکانس کلیدزنی	مکان پروژه‌ی اجراشده
HVDC light نسل اول	۱۹۹۷	دوسطحی	۳	۱۹۵۰	Gotland
HVDC light نسل دوم	۲۰۰۲	سه سطحی NPC دیود قفل شده	۲/۲	۱۵۰۰	Eagle pass
	۲۰۰۶	سه سطحی NPC اکتیو	۱/۸	۱۳۵۰	Murray link
Hvdc light نسل سوم	۲۰۰۶	دوسطحی با opwm	۱/۴	۱۱۵۰	Estlink
HVDC Plus	۲۰۱۰	MMC	۱	< ۱۵۰	Trans Bay cable
HVDC Maxsin	۲۰۱۴	MMC	۱	< ۱۵۰	Superstation
HVDC light نسل چهارم	۲۰۱۵	CTL	۱	> ۱۵۰	Dolwin

جدول ۳-۶: برخی پروژه‌های VSC-HVDC اجراشده در جهان

نام پروژه	محل	سازنده	سال اجراء	نوع	توان MW	سطح ولتاژ kV	طول کیلومتر
Hallstion	سوئد	ABB	۱۹۹۷	هوایی	۳	±۱۰	۱۰
Gotland	سوئد	ABB	۱۹۹۹	کابلی	۵۰	±۸۰	۷۰
Shin-shinamo	ژاپن	Toshiba	۱۹۹۹	BTB	۳×۵۳	۱۰/۶	BTB
Teranova	استرالیا	ABB	۲۰۰۰	کابل	۱۸۰	±۸۰	۳×۵۹
Tjarebory	دانمارک	ABB	۲۰۰۰	کابل	۷/۲	±۹	۴× ۴/۳
Eaglepass	آمریکا	ABB	۲۰۰۰	BTB	۳۶	±۱۵/۹	BTB
Cross sound	آمریکا	ABB	۲۰۰۲	کابلی	۳۳۰	±۱۵۰	۴۰
muralink	استرالیا	ABB	۲۰۰۲	کابلی	۲۲۰	±۱۵۰	۱۸
Troll 1022	نروژ	ABB	۲۰۰۵	کابلی	۲×۴۴	±۶۰	۲×۷۰
Estlink	فنلاند	ABB	۲۰۰۶	کابل	۳۵۰	±۱۵۰	۱۰۵
capiriri	نامیبیا	ABB	۲۰۰۹	هوایی	۳۰۰	-۳۵۰	۹۷۹
کابل بندی	آمریکا	Siemens	۲۰۱۰	کابلی	۴۰۰	±۲۰۰	۸۵

نام پروژه	محل	سازنده	سال اجراء	نوع	توان MW	سطح ولتاژ kV	طول کیلومتر
NordEON1	آلمان	ABB	۲۰۱۲	کابلی	۴۰۰	±۱۵۰	۲۰۰
Valhall	نروژ	ABB	۲۰۱۱	کابلی	۷۸	۱۵۰	۲۹۲
East-West link	ایرلند-بریتانیا	ABB	۲۰۱۲	کابلی	۵۰۰	±۲۰۰	۲۶۱
Dolwin	آلمان	ABB	۲۰۱۳	کابلی	۸۰۰	±۳۲۰	۱۶۵
TROLL3024	نروژ	ABB	۲۰۱۵	کابلی	۲×۵۰	±۶۰	۲×۷۰

## فصل هفتم

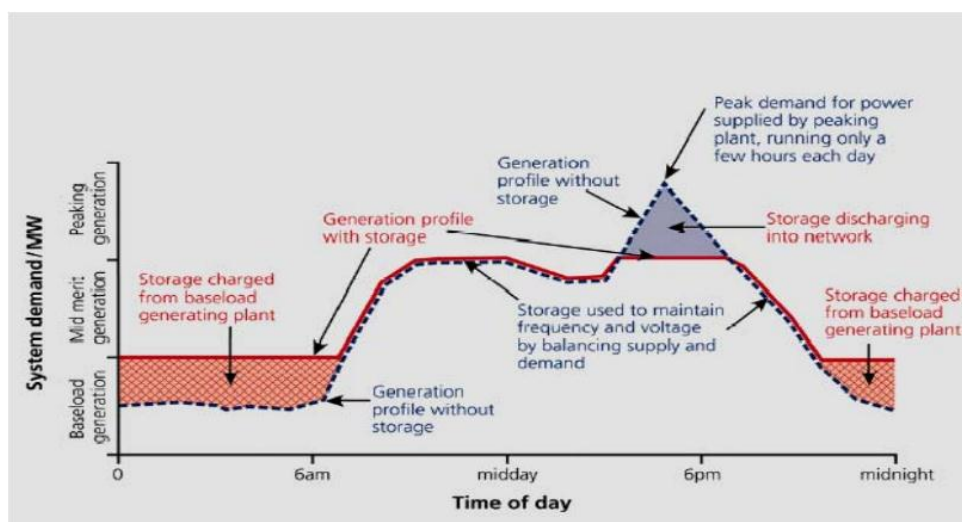
# ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی باطری

## ۷- فصل هفتم ذخیره سازی انرژی الکتریکی باطری

### ۷-۱- مقدمه

ذخیره سازی انرژی یکی از چالش برانگیزترین و پیچیده ترین موضوعات صنعت می باشد. برنامه های کاربردی جدید و در حال تحولی در زمینه های برق و وسایل نقلیه الکتریکی هیبرید، دستگاه های الکترونیک قابل حمل و ذخیره سازی انرژی الکتریکی تولید شده توسط انرژی های تجدیدپذیر مانند ژنراتور خورشیدی یا باد دیده می شود. نیاز به ذخیره سازی انرژی کارآمد منجر به ظهور فن آوری جدیدی شده است که قابلیت اطمینان و بهره وری بالا و استفاده از انرژی های تجدیدپذیر را با کیفیت بالاتری وعده می دهد.

ذخیره سازی انرژی می تواند نوسانات بین عرضه و تقاضای برق را متعادل کند. برای نیازمندی های کوتاه مدت ذخیره سازی باطری می تواند کنترل فرکانس و تعادل را برقرار کند و برای نیازهایی با مدت زمان طولانی تر آن ها می تواند عملکرد مدیریت انرژی و یا ذخیره سازی داشته باشند. همچنین مطابق با شکل ۷-۱، ذخیره ساز می تواند در ساعات خارج از پیک مصرف انرژی را ذخیره کرده و در ساعات پیک، آن را به سیستم پس بدهد.



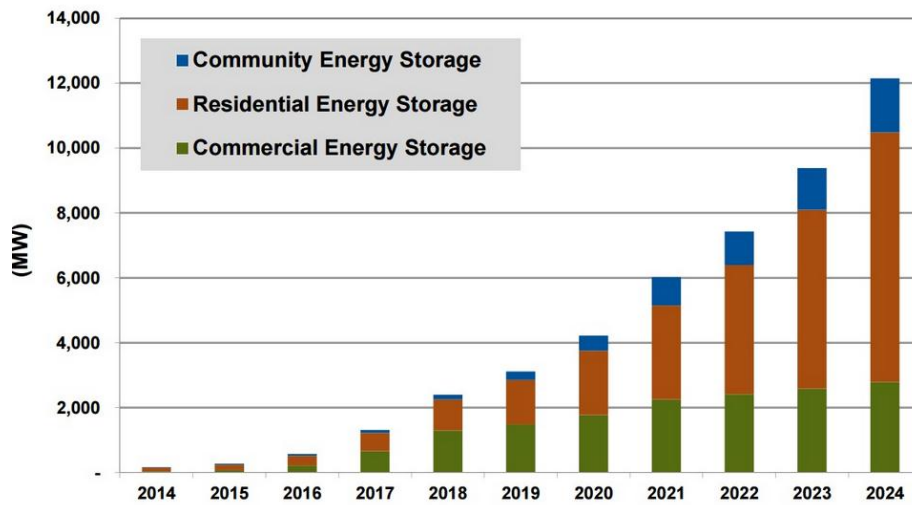
شکل ۷-۱: تأثیر ذخیره سازها بر مصرفی در ساعات پیک و خارج از پیک

به طور کلی استفاده از ذخیره سازها دارای فواید زیر است:

- ذخیره‌سازی انرژی زمانی که به‌عنوان یک منبع تولید انرژی در شبکه بکار می‌روند می‌تواند سبب کاهش هزینه و یا هزینه‌های سرمایه‌گذاری شود.
- هنگامی که از منابع تجدیدپذیر استفاده می‌شود، ذخیره‌سازی انرژی، زمانی که در سیستم‌های فتوولتائیک و تولید برق باد بکار می‌رود، می‌تواند با تولید همزمان با پیک تقاضای بار سبب افزایش قابلیت استفاده آن‌ها شود.
- سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی می‌توانند ظرفیت سیستم‌های انتقال و توزیع را کاهش داده و از صرف هزینه‌های سنگین برای توسعه آن‌ها جلوگیری کنند.
- سیستم‌های منابع تغذیه بلادرنگ (UPS) اساساً برای توان پشتیبان استفاده می‌شوند در حالی که سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی امروزه می‌توانند چندین بار مصرفی را به‌صورت آنلاین تغذیه کنند.

## ۷-۲- مقدمه‌ای بر وضعیت باتری و ذخیره‌سازهای انرژی

بر اساس جدیدترین گزارش‌های موسسه تحقیقاتی Navigant Research که به تحلیل بازار جهانی ذخیره‌سازهای باتری تا سال ۲۰۲۴ می‌پردازد، ظرفیت سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی در جهان تقریباً تا ۳ سال آینده ۱۰ برابر می‌شود. شکل ۷-۲ پیشینی ظرفیت نصب‌شده ذخیره‌ساز انرژی در جهان را از سال ۲۰۱۴ تا پایان سال ۲۰۲۴ نشان می‌دهد. مطابق این شکل، ظرفیت ذخیره‌سازهای انرژی در سال ۲۰۱۴ در حدود ۲۷۶ مگاوات است که تا سال ۲۰۱۸ این مقدار به ۲۴۰۰ مگاوات خواهد رسید. رشد سریع ذخیره‌سازهای پراکنده که در اثر نیاز به جبران‌سازی در شبکه و تأمین بار به‌صورت محلی ایجاد شده است می‌تواند خود زمینه‌ساز رقابت بازار نسبت به سایر ذخیره‌سازهای انرژی باشد.



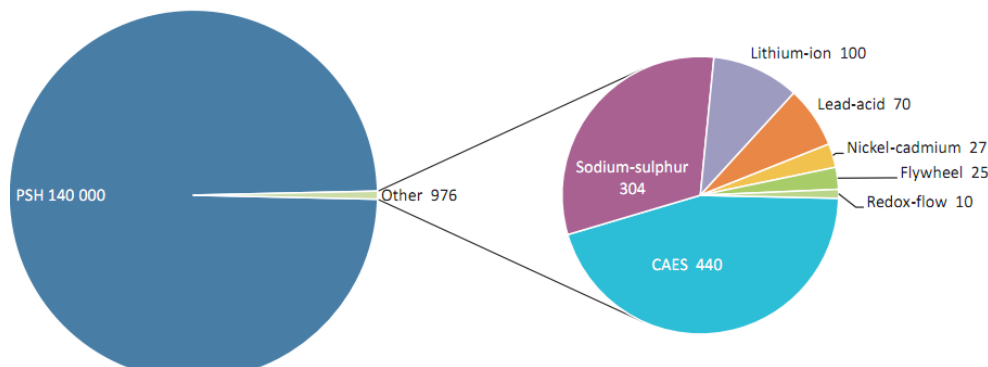
شکل ۷-۲ ظرفیت سالیانه ذخیره‌ساز نصب‌شده در جهان

دو نوع خاص از سیستم‌های ذخیره‌ساز پراکنده انرژی که در گزارش بالا مورد مطالعه قرار گرفته‌اند عبارت‌اند از: ذخیره‌سازهای انرژی عمومی<sup>۱</sup> که در سیستم‌های توزیع و انتقال مورد استفاده قرار گرفته‌اند و دوم ذخیره‌سازهای مصارف خانگی و تجاری. انواع باتری‌های مورد بررسی نیز از نوع لیتیوم-یون، باتری جاری، سرب اسید و نسل‌های دیگر از قبیل سدیم هالید فلزی، ابرسانا و هیبرید یونی بودند.

هر یک از این دو نوع ذخیره‌ساز بازار خاص خودشان را دارند. ذخیره‌سازهای عمومی برای بهبود کیفیت توان شبکه و مسائلی از قبیل کاهش تلفات، افزایش قابلیت اطمینان، پیک سایه و ... کاربرد دارند. از طرفی چون این سیستم‌ها قابل دیسپاچینگ هستند به خوبی در کنترل نوسانات بار در شبکه نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

بر اساس سند نقشه راه تدوین‌شده در سال ۲۰۱۴ در زمینه ذخیره‌سازهای انرژی، میزان کل ظرفیت نصب‌شده ذخیره‌سازهای انرژی متصل به شبکه در جهان (سال ۲۰۱۰) و تفکیک آن مطابق شکل ۷-۳ است. در سال ۲۰۱۰ حدود ۱۴۰ گیگاوات ذخیره‌ساز متصل به شبکه در جهان نصب شده است که در این میان باتری‌ها در حدود کمتر از ۱ درصد از انرژی کل را به خود اختصاص داده‌اند. در این سند کشورهای آمریکا، ژاپن، هند، چین و قاره اروپا در نظر گرفته شده است. پیش‌بینی‌های این سند حاکی از آن است که میزان ظرفیت نصب‌شده‌ی باتری تا سال ۲۰۲۰ باید به عدد ۲۵ گیگاوات و تا سال ۲۰۳۰ به ۱۵۰

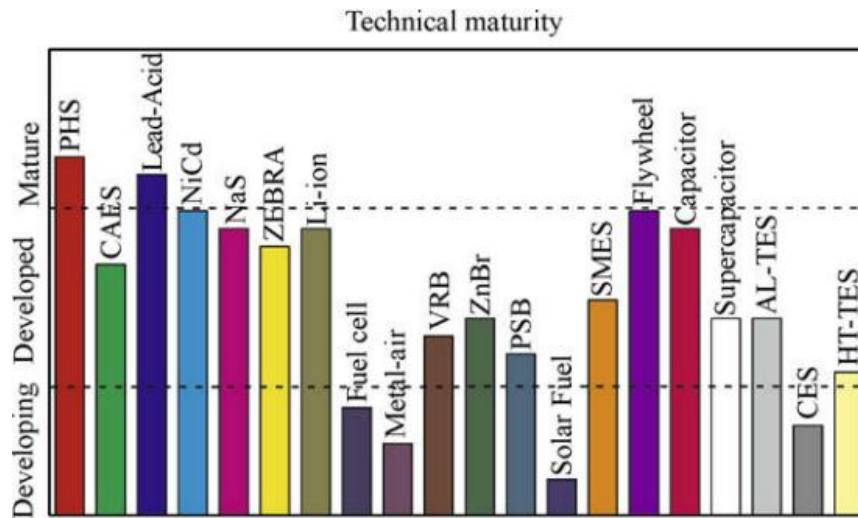
گیگاوات برسد. این رقم شامل خودروهای هیبریدی نمی‌شود. این رقم چیزی در حدود ۵ درصد کل ظرفیت نصب‌شده‌ی منابع تجدیدپذیر است. در ادامه انواع تکنولوژی مرتبط با باتری به‌اختصار بیان می‌شود.



شکل ۷-۳: میزان کل ظرفیت ذخیره‌ساز نصب‌شده در جهان در سال ۲۰۱۰

## ۷-۳- وضعیت تکنولوژی مربوط به باتری‌ها

از نظر پیشرفت تکنولوژی می‌توان ذخیره‌سازهای انرژی را به سه دسته تکنولوژی به بلوغ رسیده، تکنولوژی توسعه‌یافته و تکنولوژی در حال توسعه طبقه‌بندی کرد. باتری‌های سرب اسید در صد سال اخیر مورد استفاده قرار گرفته و به بلوغ رسیده است. باتری‌های نیکل کادمیوم، سدیم سولفور، برماید در میان فناوری‌های توسعه‌یافته قرار دارند و تمامی آن‌ها از نظر فنی توسعه‌یافته و به کاربردهای تجاری رسیده‌اند اگرچه هنوز به علت مسئله قابلیت اطمینان، برای کاربردهای توان بالا گسترش چندان نیافته‌اند. باتری‌های Meta-Air نیز در زمره فناوری‌های در حال توسعه است و همچنان به تجاری‌سازی نرسیده است اما از نظر فنی تحقیقات فراوانی در چندین مرکز تحقیقاتی بر روی آن انجام شده است. انتظار می‌رود در آینده نزدیک این تکنولوژی پتانسیل خوبی برای استفاده در صنعت داشته باشد. نگرانی‌های زیست‌محیطی و قیمت انرژی می‌تواند زمینه‌ساز گسترش هرچه بیشتر این تکنولوژی باشد.



شکل ۴-۷: وضعیت تکنولوژی هر یک از ذخیره‌سازهای انرژی

## ۴-۷- انواع مبدل‌های الکترونیک قدرت سیستم ذخیره‌ساز انرژی باتری

سیستم مبدل و کنترل یک ذخیره‌ساز باتری، قسمت اصلی و حیاتی آن است. اتصال به شبکه و یا بار AC همچنین شارژ و دشارژ باتری، از طریق آن صورت می‌گیرد. قیمت این جزء از مبدل قابل توجه بوده و می‌تواند بیش از ۲۵ درصد سیستم ذخیره‌ساز باتری را پوشش دهد. این تکنولوژی به دلیل پیشرفت‌های اخیر در زمینه الکترونیک قدرت و مبدل‌های واسطه منابع انرژی تجدیدپذیر در حال رسیدن به بلوغ است [۱۷۳].

به دلیل رشد روزافزون منابع انرژی تجدیدپذیر، استفاده از واحدهای ذخیره‌ساز انرژی متصل به شبکه اجتناب‌ناپذیر است. واحدهای ذخیره‌ساز انرژی جهت کاهش اثر تصادفی بودن منابع تجدیدپذیر به کار می‌روند. علاوه بر آن، انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توانند به سرعت توان راکتیو را به شبکه تزریق نمایند و امکاناتی چون رزرو چرخان، پیک‌سایبی، تسطیح بار و کنترل فرکانس بار به کار روند. این واحدها سبب افزایش قابلیت اطمینان و پایداری سیستم می‌شوند.

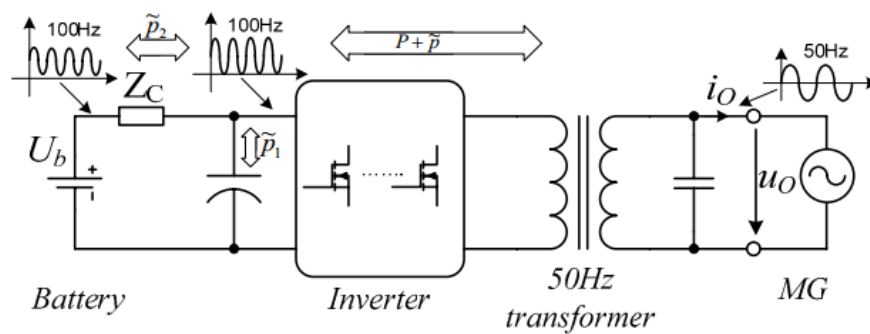
تکنولوژی ذخیره‌ساز انرژی شامل آبی، باتری، چرخ‌گردان، واحد ذخیره‌ساز انرژی ابررسانا و ابرخازن‌ها است. در بین این تکنولوژی‌ها، باتری‌ها راه‌حل بسیار خوبی برای واحدهای با توان بالا هستند و برای واحدهایی با توان سرویس‌دهی زیر ۵ ساعت و توان خروجی مناسب هستند.



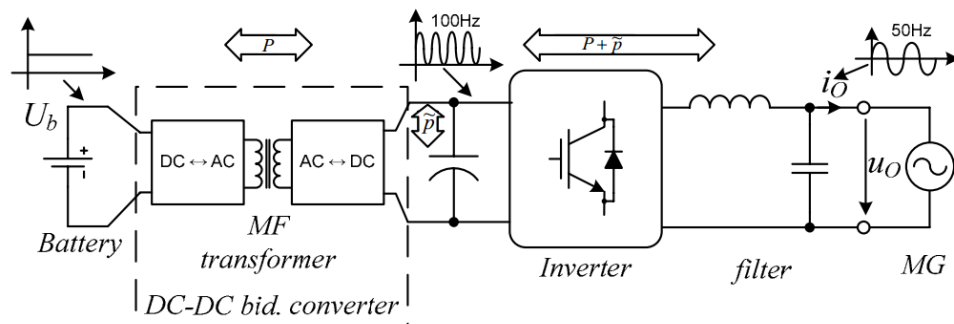
یک واحد ذخیره‌ساز باتری دارای دو جزء سخت‌افزاری است که یکی از آن‌ها سیستم مبدل و جزء دیگر شبکه‌ی باتری آن است هدف این بخش بررسی بخش مربوط به مبدل باتری است هنگام انتخاب مبدل باتری، مهم‌ترین مسئله قابلیت اطمینان و بازدهی باتری است. قابلیت اطمینان از پیکربندی مبدل باتری تأثیر می‌پذیرد در پیکربندی مرسوم، جهت افزایش ولتاژ، باتری‌ها به صورت سری باهم قرار می‌گیرند.

در سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی باتری، ساختارهای مختلفی برای مبدل‌های سیستم پیشنهاد شده است. این مبدل‌ها در حالت کلی با دو ساختار تک طبقه و دو طبقه به شبکه AC متصل می‌شوند. این ساختارها در شکل ۵-۷ نشان داده شده‌اند

[۱۷۳].



الف- ساختار تک طبقه



ب- ساختار دو طبقه

شکل ۵-۷: انواع ساختارهای مبدل سیستم ذخیره‌ساز انرژی باتری جهت اتصال به شبکه

در ساختار تک طبقه باتری مستقیماً به اینورتر متصل شده و خروجی اینورتر توسط این ترانس به شبکه وصل می‌شود که با آن تبادل توان را انجام می‌دهد، اما در ساختار دوطبقه ولتاژ باتری ابتدا توسط مبدل DC-DC دو طرفه افزایش یافته و سپس از طریق اینورتر به شبکه متصل می‌شود.

لازم به ذکر است که مبدل‌هایی که در این بخش مورد بحث قرار می‌گیرند از نوع دوطرفه هستند زیرا باتری نیاز به شارژ و دشارژ شدن دارد. البته ممکن است در برخی موارد از دو مبدل جداگانه برای شارژ و دشارژ باتری استفاده شود در اینجا مورد نظر نیست.

در مرجع [۱۷۴]، استفاده از ساختارهای یک طبقه و دوطبقه در سیستم‌های ذخیره‌ساز باتری مورد بررسی قرار گرفته که نتایج آن در جدول ۷-۱ به‌طور مختصر آورده شده است که با توجه به نوع کاربری و موارد مهم آن می‌توان ساختار مناسب را انتخاب کرد.

جدول ۷-۱: مقایسه ساختارهای یک و دوطبقه مبدل‌های سیستم ذخیره‌ساز انرژی باتری در [۱۵۳]

مزایا	ساختار یک طبقه	ساختار دوطبقه
	پیچیدگی کمتر	توان ضربانی به‌راحتی کاهش می‌یابد
	نیازی به خازن الکترولیت بزرگ ندارد	جریان باتری نرم و بدون ریپل AC است
	می‌توان از MOSFET‌های موازی کرد (به‌راحتی می‌توان ظرفیت اینورتر را افزایش داد)	بازدهی بالا
	ابعاد و وزن کم	
معایب	ضربان توان را نمی‌توان کاهش داد (جریان باتری ریپل دارد)	پیچیدگی زیاد (نسبت \$/kW بالاست)
	ابعاد و وزن زیاد	خازن الکترولیت بزرگ نیاز دارد
	بازدهی کمتر	طول عمر و قابلیت اطمینان کمتر
	مشکل EMI	افزایش ظرفیت بار آن گران است
	جریان نشتی زیاد	جریان DC خروجی اینورتر باید کاهش یابد.

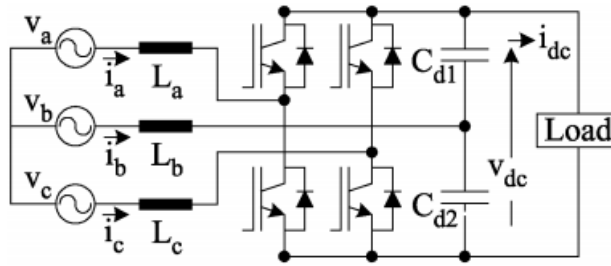
از این مقایسه به‌طور کلی چنین نتیجه‌گیری شده است که برای ولتاژهای DC متوسط (۵۰٪ از ۷۵۰ ولت نامی) و کمتر، ساختار دوطبقه نسبت به ساختار یک طبقه برتری کامل دارد؛ اما در ولتاژهای DC بالاتر استفاده از ساختار تک طبقه مناسب‌تر

است. با این وجود در این مقایسه به این موضوع نیز اشاره شده است که ساختار دوطبقه در آینده قابلیت بهبود و توسعه برای استفاده در ولتاژهای بالاتر را خواهد داشت.

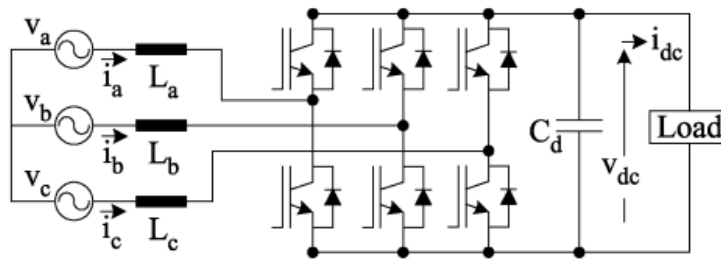
## ۷-۵- ساختار تک طبقه

### ۷-۵-۱ مبدل‌های بوست دوطرفه

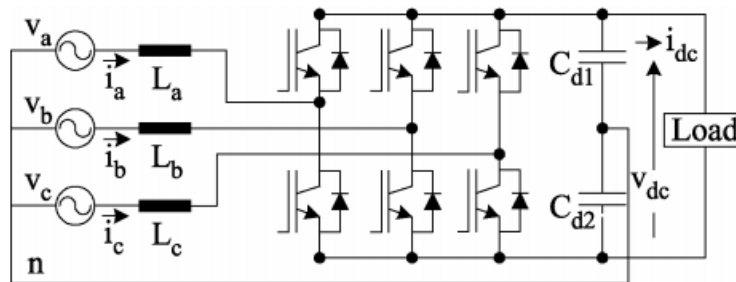
از این مبدل‌ها به‌طور گسترده در بالا برها، جرثقیل‌ها، UPS‌ها و سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی باتری استفاده می‌شود. شکل ۷-۶-۱ دیگرام مداری مختلف این مبدل‌ها را نشان می‌دهد. با کنترل حلقه بسته ولتاژ لینک DC که با ولتاژ سمت AC هم‌فاز است جریان تغذیه تعیین می‌شود. کنترل PWM جریان اینورتر منبع ولتاژ، جریان تغذیه AC را به‌صورت سینوسی و هم‌فاز با ولتاژ منبع AC تولید می‌کند. در شکل ۷-۶-۱ الف از چهار کلید استفاده شده که هزینه‌ها را کاهش می‌دهد. در شکل ۷-۶-۱ ب از شش کلید در مبدل VSI استفاده شده است که به‌صورت فراوان در بسیاری از کاربردها استفاده می‌شود. همچنین از مبدل‌های شکل ۷-۶-۱ ج و د، چهار سیمه برای کاهش ریپل ولتاژ لینک DC و ایجاد تعادل در جریان تغذیه حتی در موارد عدم تعادل در ولتاژ منبع استفاده می‌شود. پیشرفت‌های بسیاری در این مبدل‌ها از جمله استفاده از کنترل بدون سنسور<sup>۱</sup> به‌منظور کاهش هزینه‌ها و تعداد المان‌های سخت‌افزاری صورت گرفته است. [۱۷۴]



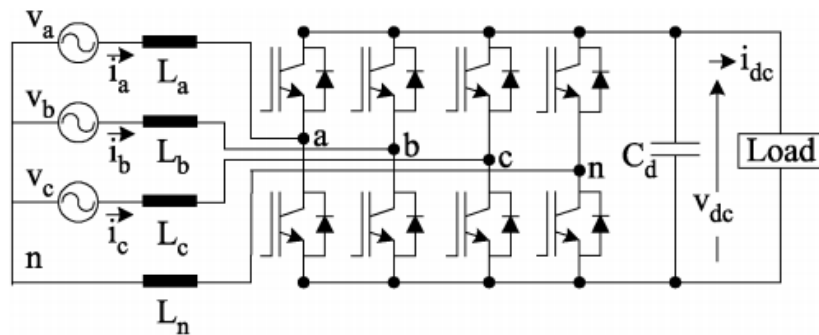
الف



ب



ج

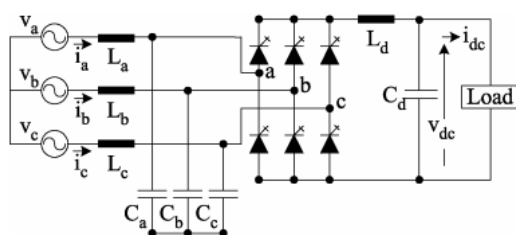


د

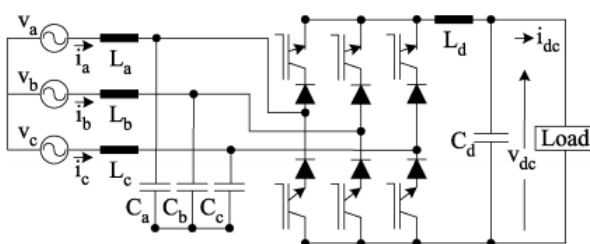
شکل ۶-۷: انواع مبدل‌های بوسست دوطرفه مورد استفاده در سیستم ذخیره‌ساز انرژی باتری

## ۷-۵-۲ مبدل‌های باک دو طرفه

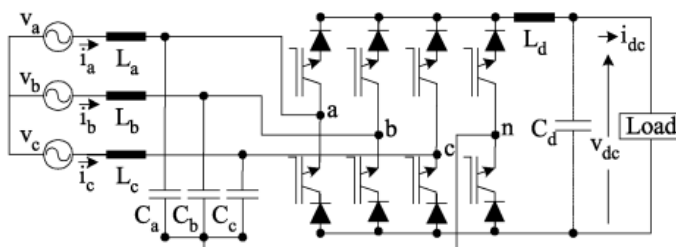
این مبدل‌ها مانند مبدل‌های پل تریستوری عمل می‌کنند اما دارای کیفیت توان و ضریب توان بهتر و هارمونیک جریان کمتری هستند، بعلاوه قادر به تنظیم سریع ولتاژ با قابلیت معکوس سازی جهت شارش توان هستند. این قابلیت‌ها با استفاده از GTO در توان‌های بالا همانند شکل ۷-۷-الف به دست آمده‌اند. استفاده از IGBT به صورت سری با دیودها همانند شکل ۷-۷-ب در توان‌های پایین با فرکانس کلیدزنی بالا منجر به کاهش ابعاد فیلتر شده است. ساختار چهار ساق شکل ۷-۷-ج به منظور کاهش ریپل dc خروجی و تعادل جریان در ولتاژهای نامتعادل ارائه شده است. IGBT-ها، BJT-ها و MOSFET-ها در این ساختار نیاز به دیود سری دارند تا قابلیت تحمل ولتاژ معکوس مورد نیاز مبدل را فراهم کنند.



الف



ب

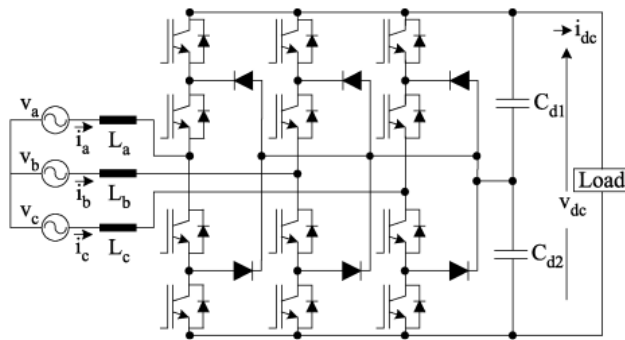


ج

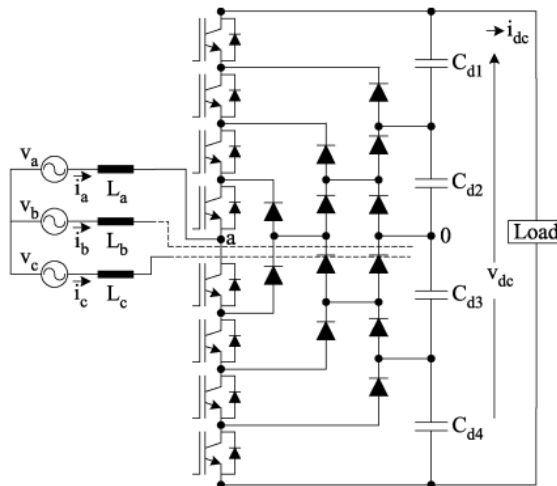
شکل ۷-۷: انواع مبدل‌های باک دو طرفه مورد استفاده در سیستم ذخیره‌ساز انرژی باتری

### ۷-۵-۳ مبدل‌های دوطرفه چند سطحی

در برخی از انواع این مبدل‌ها در شکل ۷-۸ نشان داده شده‌اند. از این مبدل‌ها در توان‌ها و ولتاژهای بالا با افزایش ولتاژ به منظور تبادل توان در دو جهت استفاده می‌شود. این مبدل‌ها به زیر بخش‌های دیود قفل شده سه فاز (شکل ۷-۸-الف)، دیود قفل شده پنج سطحی (شکل ۷-۸-ب)، خازن فلای‌بک (شکل ۷-۸-ج) تقسیم‌بندی می‌شوند. این مبدل‌ها برای سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی باتری توان بالا بسیار توصیه شده‌اند.

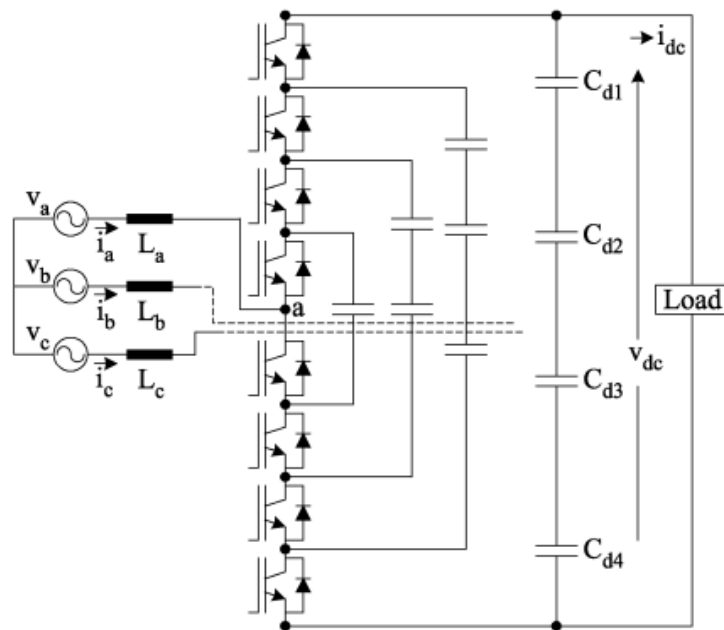


الف



ب

شکل ۷-۸: انواع مبدل‌های چند سطحی دوطرفه مورد استفاده در سیستم ذخیره‌ساز انرژی باتری

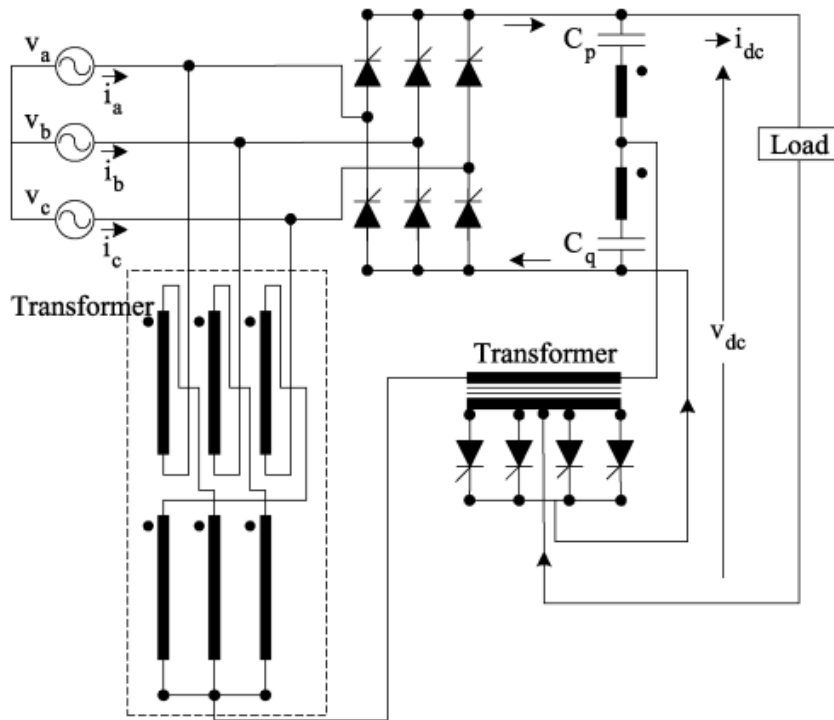


ج

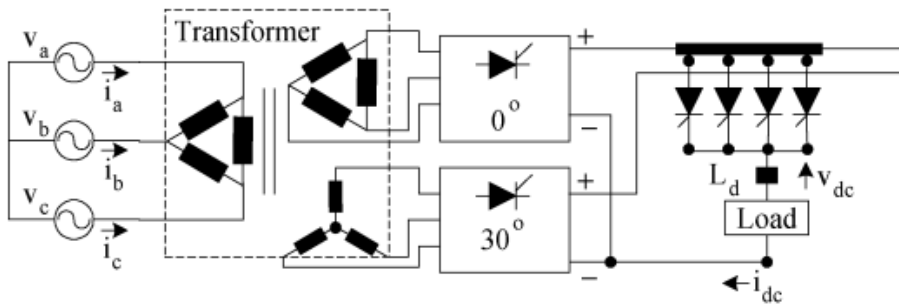
ادامه شکل ۷-۸

### ۷-۵-۴ مبدل‌های چند پالس دو طرفه

در این مبدل‌ها عموماً ترایستور استفاده می‌شود و برای کاهش هارمونیک‌ها از ضرب پالس‌ها با استفاده از المان‌های مغناطیسی بهره برده می‌شود. استفاده از پل‌های تمام کنترل‌شده ترایستوری شارش دو طرفه توان و تنظیم ولتاژ dc را محقق می‌کند. استفاده از تعداد فاز بیشتر در یک ورودی سیم‌پیچ ضرب کننده ترانسفورماتور و ضرب پالس‌ها توسط راکتورهای تپ دار و همچنین یک ترانسفورماتور تزریق، منجر به کاهش THD در جریان ac و ریپل ولتاژ dc می‌شود. شکل ۷-۹-الف مبدل چند پالس را نشان می‌دهد که می‌تواند تعداد ۶، ۱۲ و ۲۴ پالس داشته باشد. به‌طور مشابه مبدل شکل ۷-۹-ب می‌تواند ۱۲، ۲۴ و ۴۸ پالس داشته باشد. هزینه و وزن ترانسفورماتور ورودی را می‌توان با بکارگیری اتو ترانسفورماتور در کاربردهای ولتاژ متوسط و ولتاژ پایین کاهش داد.



الف



ب

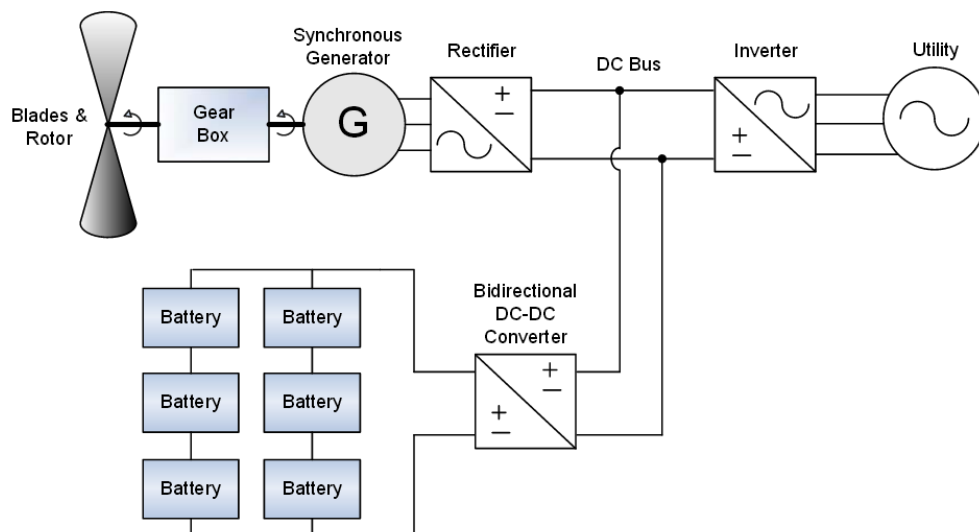
شکل ۷-۹: انواع مبدل‌های دوطرفه چند پالس مورد استفاده در سیستم ذخیره‌ساز انرژی باتری

### ۷-۵-۴-۱- استفاده از باتری در سیستم ترکیبی

استفاده از باتری در کنار سایر منابع انرژی بسیار رایج است. زمانی که از باتری در کنار منابع انرژی تجدیدپذیر مانند سیستم‌های فتوولتائیک و توربین‌های بادی استفاده می‌شود، می‌توانند جهت جبران‌سازی تغییرات فصلی و پاسخ به تغییرات بار، میراسازی حالت‌های گذرا و فراهم آوردن حالت جزیره‌ای به کار روند. در شکل ۷-۱۰ یکی از سیستم‌های ترکیبی ذخیره‌ساز



باتری و توربین بادی را نشان می‌دهد. باتری در این شکل به باس DC مشترک اتصال داده شده است و برای این کار از یک مبدل دو جهته DC/DC استفاده شده است. این اتصال می‌تواند در انواع مختلفی وابسته به منبع اولیه انرژی و باتری مورد نظر باشد [۷۵].



شکل ۷-۱: اتصال ترکیبی باتری و توربین بادی به شبکه

## ۷-۶- استانداردها

در طراحی و بهره‌برداری از سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی باتری و اتصال آن به بار و یا شبکه استانداردهای گوناگونی ارائه شده است که هنگام نصب، راه‌اندازی و استفاده از این سیستم‌ها باید رعایت شوند. در ادامه در جدول ۷-۲ استانداردهای مربوط به باتری و در جدول ۷-۳ استانداردهای مربوط به مبدل سیستم ذخیره‌ساز آورده شده‌اند.

جدول ۷-۲: استاندارد مربوط به باتری‌های مورد استفاده در سیستم ذخیره‌ساز انرژی [۱۷۶]

شماره استاندارد	عنوان
UL 1973	استاندارد ایمنی برای باتری‌های ساکن مورد استفاده در ذخیره‌سازی انرژی
UL 9540	استاندارد سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی متصل به شبکه
EN 50272-2	تا ۱۵۰۰ ولت dc، حفاظت در برابر الکتریسیته، نشت گاز و الکترولیت. محدود به باتری‌های سرب اسید و تکنولوژی نیکل
EN 5510-2-3	این استاندارد در مورد نوشتن اطلاعات خرید باتری‌های ساکن و شارژ برای استفاده در پست تولید توان راهنمایی‌هایی را ارائه می‌دهد.
IEC 62485-2	ایمنی مورد نیاز برای باتری‌ها و تأسیسات آن. تا ۱۵۰۰ ولت dc، حفاظت در برابر الکتریسیته، نشت گاز و الکترولیت.
IEC 60896	استاندارد برای باتری‌های سرب اسید ساکن و باتری‌هایی که به‌صورت دائم به بار dc متصل هستند.
IEC 60896-21	برای باتری‌های سرب اسید از نوع ولو تنظیم‌شده که به‌طور دائم به بار dc متصل هستند.
IEC 60896-22	برای باتری‌های سرب اسید از نوع ولو تنظیم‌شده که به‌طور دائم به بار dc متصل هستند.
IEC 61427-1	نیازمندی‌ها و روش‌های آزمون باتری‌های مورد استفاده در سلول خورشیدی
IEC 60622	استاندارد مشخصات، آزمون و نیازمندی‌های باتری نیکل کادمیوم
IEC CD 62619	استاندارد ایمنی برای سلول‌ها و باتری‌ها شامل آلکالاین و سایر باتری‌های غیر اسیدی.
IEEE 1184	استاندارد سیستم‌های مختلف باتری که در آن کاربر می‌تواند در انتخاب، نصب، طراحی، تعمیر و نگهداری آن دخیل باشد
IEEE 450	استاندارد آزمون، تعمیر و نگهداری و جایگزینی باتری سرب-اسید در کاربردهای ساکن
IEEE 1106	استاندارد آزمون، تعمیر و نگهداری و جایگزینی باتری نیکل کادمیوم در کاربردهای ساکن
IEEE P2030.2	استاندارد قابلیت همکاری سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی تجمیع شده با زیرساخت‌های سیستم قدرت
IEC/TR 61431 1995& IEC/TR 62060 2001	استاندارد مانیتورینگ باتری سرب اسید

جدول ۷-۳: استانداردهای مربوط به سیستم ذخیره‌ساز انرژی باتری [۱۷۷]

استاندارد فرایندهای آزمون تجهیزات و سیستم ذخیره‌ساز انرژی برای کاربردهای اتصال به شبکه قدرت	IEEE P2030.3
نصب و تعمیرات باتری‌ها در ساختمان	AS 2676-1983
استاندارد تأسیسات الکتریکی ذخیره‌سازها	AS/NZS 3000-2007
استاندارد سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی متصل به شبکه از طریق اینورتر	AS 4777.1-2005
استاندارد مطابقت الکترومغناطیسی ذخیره‌ساز (EMC)	EN 61000-6
استاندارد مربوط به برنامه‌ریزی و نصب سیستم‌های ذخیره‌ساز	IEC 62935
توصیه‌ها و نیازمندی‌های کنترل هارمونیک در سیستم‌های قدرت	IEEE 519-1992
توصیه‌های عملی برای طراحی لرزه‌ای پست	IEEE 693
راهنمای حفاظت حریق پست	IEEE 979
استاندارد اتصال منابع پراکنده به سیستم قدرت	IEEE 1547
استاندارد ایمنی الکتریکی ملی	IEEE C2-2012 - 2012

## ۷-۷- تحقیقات در زمینه مبدل‌های ذخیره‌ساز انرژی باتری

در موسسه فن‌آوری Karlsruhe در آلمان، چندین نیروگاه خورشیدی نمونه، نیروگاه‌های بادی کوچک، باتری‌های لیتیوم-یون و تجهیزات الکترونیکی در حال ساخت می‌باشند تا نشان دهند چگونه شبکه برق می‌تواند در حالت بیش باری به‌صورت متعادل کار کند. آقای دکتر Andreas Gutsch مدیر پروژه منابع انرژی اظهار داشت: امروزه باتری‌های پربازده لیتیوم-یون می‌تواند به‌صورت توجیه‌پذیر در شبکه بکار گرفته شود. این باتری‌ها در ایستگاه‌های ذخیره‌سازی، می‌توانند برق خورشیدی یا بادی را تا زمانی که شبکه برای جبران کمبود به آن‌ها نیاز پیدا کند، ذخیره کنند. هنگامی که باتری‌ها به‌طور صحیح به کار گرفته شوند، می‌توانند بیش باری شبکه را نیز متعادل کنند از این‌رو از نظر اقتصادی قابل توجه می‌باشند.

در پروژه مذکور چندین سیستم آزمایشی مرکب از نیروگاه‌های خورشیدی و بادی متصل به یک مجموعه باتری لیتیوم-یون ایجاد شده است. در طی فاز ۲ ساله توسعه، اطلاعات کاملی از باتری‌های موجود در جهان تهیه شد. بر اساس نتایج بهترین نوع باتری برای ایستگاه‌های ذخیره‌سازی از نوع لیتیوم-یون شناسایی گردید و در پروژه مورد نظر با ظرفیت 50 KW مورد استفاده قرار گرفت.

اخیراً نوعی از توربین بادی بدون گیربکس ساخته شده است که مناسب مناطق با باد ضعیف می‌باشد و برق تولیدی با سیستم فتوولتائیک در مناطق مذکور را به‌ویژه در فصل زمستان، تکمیل خواهد کرد. در مرحله نخست این پروژه قادر به تأمین برق مصرفی یک شرکت متوسط در طی یک سال خواهد بود. در ادامه با کسب دانش فنی در زمینه سیستم‌های ذخیره‌سازی، از ظرفیت‌های کوچک‌تر برای مصارف خانگی و از ظرفیت‌های ذخیره‌سازی بزرگ‌تر برای مصارف صنعتی استفاده خواهد شد.

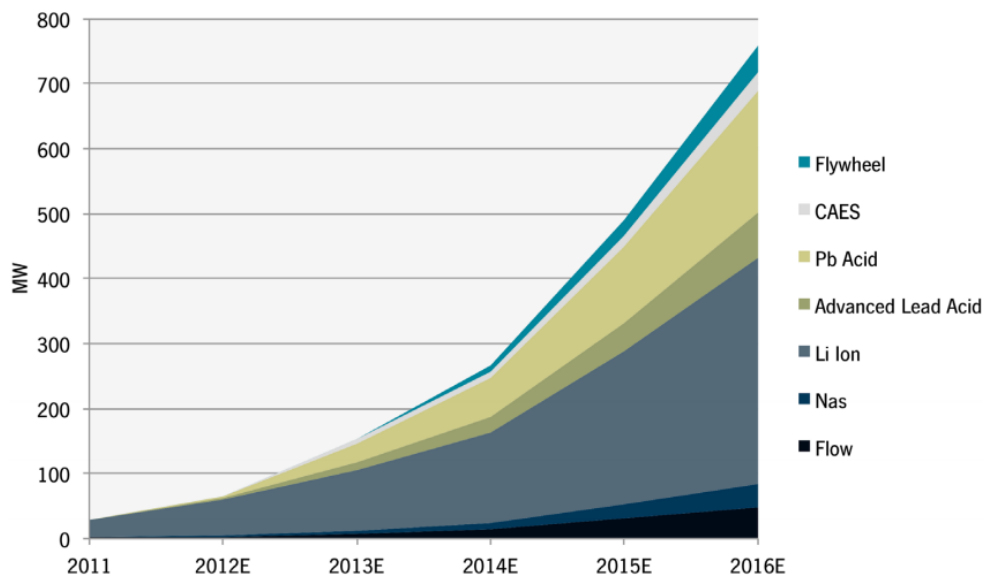
به غیر از باتری، یکی دیگر از اجزای کلیدی ایستگاه ذخیره‌سازی انرژی، سیستم الکترونیکی برای شارژ و تخلیه باتری در مدت ساعت می‌باشد. از این رو، می‌توان از این سیستم به‌عنوان یک سیستم ذخیره‌سازی موقت برای متعادل کردن شبکه در ساعات بیش باری استفاده کرد. در ساعات کم باری، برق خورشیدی و بادی درون باتری ذخیره شده و در هنگام بیش باری، انرژی از سیستم فتوولتائیک، توربین بادی و باتری به شبکه تغذیه می‌گردد. به‌علاوه به جهت افزایش مصرف برق در طول شب توسط وسایل برقی ذخیره‌سازی برق فتوولتائیک اهمیت اقتصادی فراوانی به دنبال دارد [۱۷۸].

با وجود قیمت بالای باتری‌های لیتیوم-یون، این تکنولوژی ممکن است در حال حاضر، به‌ویژه در مناطقی که منابع ناپایدار دارند، با ارزش باشد. به‌عنوان مثال سیستم فتوولتائیک ترکیب‌شده با مجموعه باتری لیتیوم-یون می‌تواند برای تأمین برق در جزایر کوچک و بزرگ به‌طور مفید بکار گرفته شود. [۱۷۸].

در سال ۲۰۱۲، شبکه برق چین به بزرگ‌ترین شبکه جهان از نظر ظرفیت نصب‌شده و برق تولیدشده تبدیل شد. چین یکی از بزرگ‌ترین نصب‌کنندگان سیستم‌های انرژی جایگزین است و سرمایه‌گذاری زیادی در توان بادی، انرژی خورشیدی و سدهای برقی انجام داده است.

این شرایط چین، بازتابی از وضعیت تمام دنیا و همه قاره‌ها، به‌ویژه ایالات‌متحده، اروپا، ژاپن، روسیه و شرق میانه است. هر چه شبکه‌های انرژی متنوع‌تر و بزرگ‌تر شوند، فرصت پیدایش سیستم‌های ذخیره انرژی در شبکه در مقیاس بزرگ بیش‌تر فراهم می‌شود. یکپارچه‌سازی سیستم انرژی‌های تجدیدپذیر با شبکه‌های موجود یک کار جدید است که به دلیل آرایش شبکه‌های جدید دارای مشکلاتی همانند جابه‌جایی بار و پیک‌سایی می‌شود.

با بیش‌ترین رشد در منابع انرژی از انواع مختلف، چین به سمت فناوری‌های پیشرفته ذخیره‌سازی از مقدار ناچیز تا ۷۰۰ مگاوات در سال ۲۰۱۶ در حرکت است. نمودار زیر ظرفیت ذخیره‌سازی انرژی کلی نصب‌شده در چین، به‌استثنای آبی را تا سال ۲۰۱۶ نشان می‌دهد [۱۷۹].

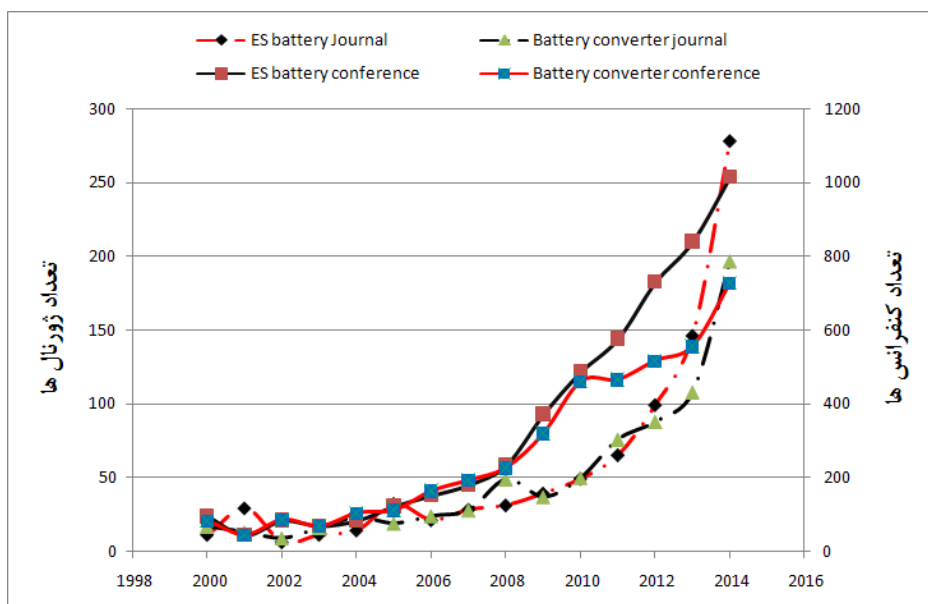


شکل ۷-۱۱: نمودار ظرفیت ذخیره‌سازهای نصب‌شده در چین به‌استثناء هیدرو تا سال ۲۰۱۶ [۱۷۹]

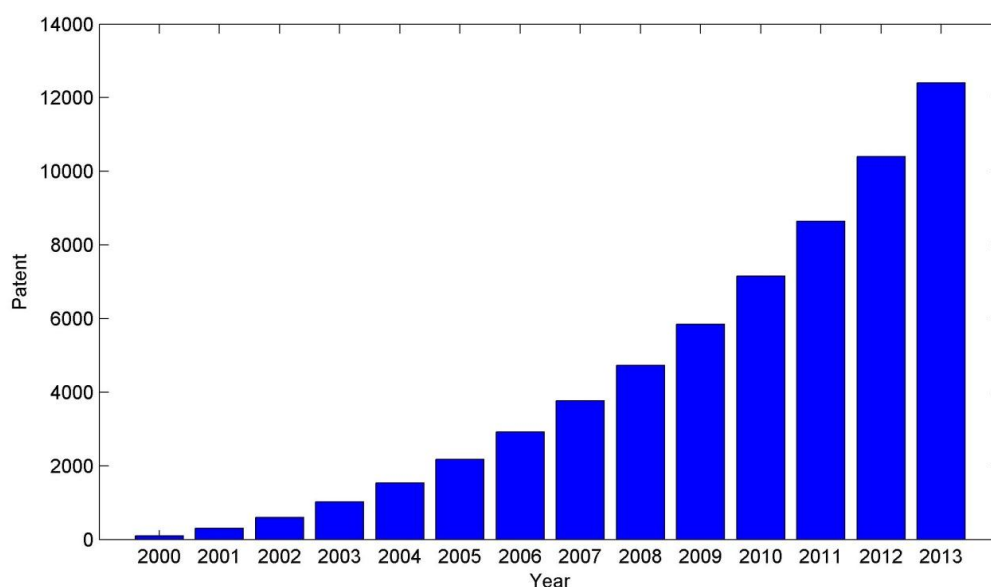
### ۷-۷-۱ بررسی مقالات منتشرشده در مبدل‌های ذخیره‌ساز انرژی باتری

طبق آمار انجمن مهندسی برق و الکترونیک امریکا (IEEE) از سال ۲۰۰۰ تاکنون، تحقیقات در زمینه ذخیره‌ساز باتری و مبدل الکترونیک قدرت به‌کاررفته در آن، نرخ صعودی داشته است. نمودار تجمعی مقالات کنفرانس و ژورنال ارائه‌شده در این زمینه شکل ۷-۱۲ نشان داده شده است.

همچنین نمودار تجمعی اختراعات ثبت‌شده در زمینه مبدل‌های ذخیره‌ساز انرژی باتری در شکل ۷-۱۳ نمایش داده شده است. از شکل ۷-۱۲ و شکل ۷-۱۳ به‌روشنی مشاهده می‌شود که تحقیقات در این زمینه همچنان مورد توجه است.



شکل ۷-۱۲: نمودار تجمعی مقالات منتشرشده در سایت IEEE در زمینه ذخیره ساز باتری و مبدل آن [۱۸۰]



شکل ۷-۱۳: نمودار تجمعی اختراعات ثبت شده در زمینه مبدل های ذخیره ساز انرژی باتری

## ۷-۷-۲ معرفی شرکت های مبدل ذخیره ساز انرژی باتری

بر اساس گزارش سایت GTM Research شرکت های فعال در زمینه سیستم های ذخیره ساز انرژی به صورت شکل زیر

دسته بندی می شوند [۱۸۱].



شکل ۷-۱۴: دسته‌بندی شرکت‌های فعال در زمینه سیستم ذخیره‌ساز انرژی باتری [۱۸۱]

از میان شرکت‌های پیشرو در این زمینه، شش شرکت زیر به‌عنوان شرکت‌های برتر در این زمینه معرفی شده‌اند:

- ABB
- AES Energy Storage
- Convergent Energy+Power
- EOS
- S&C Electric
- SEEO

### ۷-۷-۳ وضعیت بازار تولید ذخیره‌ساز انرژی باتری

کشورهای چین و ژاپن برنامه‌های مدونی را برای باتری‌ها تدوین کرده‌اند به‌عنوان مثال کشور هند ۴۰ میلیون دلار برای سیستم‌های ذخیره‌ساز باتری لیتیوم یون هزینه کرده است.

فناوری‌های مختلفی از باتری‌ها وجود دارد که با ظرفیت‌های مشخص امکان اتصال آن‌ها به شبکه وجود دارد. جدول ۷-۴

لیست پروژه‌های انجام شده را نشان می‌دهد.

## جدول ۷-۴: پروژه‌های اجرا شده از فناوری‌های مختلف سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی باتری در جهان

انواع باتری	تعداد پروژه‌های بزرگ‌تر از 1MW	بیشترین ظرفیت نصب شده
یون-لیتیوم	۱۵	۴۰
سدیم سولفور	۱۱	۴
اسید سربی	۹	۳۶

## ۷-۸- قیمت سیستم باتری و مبدل باتری

قیمت مبدل باتری در حدود ۳۳ تا ۵۰ درصد قیمت کل سیستم را در برمی‌گیرد. هزینه سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی در شکل ۷-۱۵ آورده شده است که در میان آن‌ها باتری‌های سرب اسید، نیکل کادمیوم، سدیم سولفور، لیتیوم یون و... قرار دارند. هزینه اولیه یکی از مهم‌ترین فاکتورها در انتخاب باتری در صنعت است که معمولاً به صورت قیمت بر کیلووات، قیمت بر کیلووات ساعت و یا قیمت بر سیکل بر کیلووات ساعت (که معیاری مناسب برای کاربردهای شارژ و دشارژ مکرر است) بیان می‌شود. به طور مثال قیمت اولیه دلار بر کیلووات برای باتری اسید سرب به نسبت کمتر از سایرین است اما لزوماً ارزان قیمت‌ترین گزینه نیست زیرا عمر کمتری دارند. در این جدول هزینه‌های نصب و نگهداری و تعویض باتری ذکر نشده است زیرا این اطلاعات برای تمامی ذخیره‌سازها موجود نبوده است.

همچنین باتری‌های فلز-هوا به نظر می‌رسد که از نظر چگالی انرژی بالا و قیمت پایین انتخاب مناسبی باشد اما آن‌ها

چرخه عمر کوتاهی دارند و همچنان در حال توسعه هستند.



Systems	Power rating and discharge time		Storage duration		Capital cost		
	Power rating	Discharge time	Self discharge per day	Suitable storage duration	\$/kW	\$/kWh	€/kWh-Per cycle
PHS	100-5000 MW	1-24 h+	Very small	Hours-months	600-2000	5-100	0.1-1.4
CAES	5-300 MW	1-24 h+	Small	Hours-months	400-800	2-50	2-4
Lead-acid	0-20 MW	Seconds-hours	0.1-0.3%	Minutes-days	300-600	200-400	20-100
NiCd	0-40 MW	Seconds-hours	0.2-0.6%	Minutes-days	500-1500	800-1500	20-100
NaS	50 kW-8 MW	Seconds-hours	~20%	Seconds-hours	1000-3000	300-500	8-20
ZEBRA	0-300 kW	Seconds-hours	~15%	Seconds-hours	150-300	100-200	5-10
Li-ion	0-100 kW	Minutes-hours	0.1-0.3%	Minutes-days	1200-4000	600-2500	15-100
Fuel cells	0-50 MW	Seconds-24 h+	Almost zero	Hours-months	10,000+		6000-20,000
Metal-Air	0-10 kW	Seconds-24 h+	Very small	Hours-months	100-250	10-60	
VRB	30 kW-3 MW	Seconds-10 h	Small	Hours-months	600-1500	150-1000	5-80
ZnBr	50 kW-2 MW	Seconds-10 h	Small	Hours-months	700-2500	150-1000	5-80
PSB	1-15 MW	Seconds-10 h	Small	Hours-months	700-2500	150-1000	5-80
Solar fuel	0-10 MW	1-24 h+	Almost zero	Hours-months	-	-	-
SMES	100 kW-10 MW	Milliseconds-8 s	10-15%	Minutes-hours	200-300	1000-10,000	
Flywheel	0-250 kW	Milliseconds-15 min	100%	Seconds-minutes	250-350	1000-5000	3-25
Capacitor	0-50 kW	Milliseconds - 60 min	40%	Seconds-hours	200-400	500-1000	
Super-capacitor	0-300 kW	Milliseconds - 60 min	20-40%	Seconds-hours	100-300	300-2000	2-20
AL-TES	0-5 MW	1-8 h	0.5%	Minutes-days		20-50	
CES	100 kW-300 MW	1-8 h	0.5-1.0%	Minutes-days	200-300	3-30	2-4
HT-TES	0-60 MW	1-24 h+	0.05-1.0%	Minutes-months		30-60	

شکل ۷-۱۵: هزینه اولیه سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی

## ۷-۹- نتیجه گیری

در این فصل ابتدا مزایا و ویژگی‌های سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی باتری مورد بررسی قرار گرفته همچنین و تکنولوژی مربوط به باتری‌هایی که در این زمینه مورد استفاده قرار می‌گیرند معرفی شدند. سپس مبدل‌های مورد استفاده در این سیستم‌ها معرفی شدند. این مبدل‌ها دارای دو ساختار کلی تک طبقه و دو طبقه هستند که نتایج حاصل از دو مقایسه مستقل در این زمینه ارائه شد و این نتیجه به دست آمد که استفاده از ساختار تک طبقه در توان‌های بالا (بالتر از ۱ مگاوات و ولتاژ بیش از ۷۵۰ ولت dc) مناسب‌تر هستند. از این رو مبدل‌های این ساختار معرفی شدند.

نکته مهم دیگر در رابطه با استفاده از مبدل‌های سیستم ذخیره‌ساز انرژی باتری این است که در این گزارش مبدل‌های دوطرفه مدنظر بوده‌اند تا بتوان با یک مبدل عمل شارژ و دشارژ باتری را انجام داد. به همین دلیل در قسمت بررسی مبدل‌ها تنها مبدل‌های دوطرفه بررسی شده‌اند.

در فصل سوم نیز در مورد وضعیت تحقیقات کشورهای پیشرو در این زمینه، وضعیت بازار و شرکت‌های فعال بحث شد. با توجه به مطالب ارائه شده در این فصل به روشنی می‌توان دریافت که با توجه به حرکت کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه به سمت استقلال از مصرف سوخت‌های فسیلی و استفاده از منابع تجدیدپذیر بخصوص انرژی باد و خورشید، استفاده از سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی با توان بالا اجتناب‌ناپذیر خواهد بود.

علاوه بر این تکنولوژی روز پیوسته به سمت کاهش هزینه‌های تمام شده این سیستم‌ها در حال حرکت است که این موضوع توجه اقتصادی استفاده از این سیستم‌ها را به دنبال خواهد دارد.

## فصل هشتم

### **D-Statcom** تجهيز

## ۸- فصل هشتم تجهیز D-Statcom

### ۸-۱- مقدمه

یکی از ادوات بهساز کیفیت توان<sup>۱</sup> تجهیز D-Statcom است که جهت مقابله با مشکلات کیفیت توان به صورت موازی در شبکه توزیع قرار می گیرند. در بسیاری از موارد استفاده از D-Statcom کم هزینه ترین راه حل برای رفع مشکلات کیفیت توان است. زمانی که در شبکه توزیع خطا رخ می دهد، افت ولتاژ ناگهانی در بارهای مجاور ظاهر می شود. در این شرایط D-Statcom متصل شده به بار حساس در زمانی حدود چند میلی ثانیه ولتاژ خط را به مقدار نامی خود برمی گرداند.

موضوع جبران سازی استاتیک برای اولین بار توسط Gyugyi و Strycula در سال ۱۹۷۶ مطرح شد [۱۸۲]. یک مبدل منبع ولتاژ با یک خازن در باس DC خود، قادر به تزریق توان راکتیو به شبکه خواهد بود که مقدار آن به ظرفیت نیمه هادی های قدرت مبدل محدود می شود. این تجهیز به صورت موازی در مدار توزیع قرار گرفته و وظیفه اصلی آن تنظیم ولتاژ به وسیله تولید یا مصرف توان راکتیو است. D-Statcom نمی تواند انرژی مدار را به صورت طولانی مدت ذخیره کند. همچنین قادر به تبادل انرژی اکتیو با مدار نیست. توان راکتیو این تجهیز با تغییر ولتاژ در خروجی مبدل، تغییر می کند.

### ۸-۲- کیفیت توان

یکی از متداول ترین اغتشاشات کیفیت توان وقفه های توان است. بروز وقفه های لحظه ای در برق خانگی باعث ایجاد نارضایتی مشترک می شود. وقتی که این وقفه ها در یک کارخانه رخ دهد ممکن است باعث توقف فرآیند یا خط تولید شده و در نتیجه هزینه بالایی را تحمیل خواهد کرد. در سال های پیش، خاموشی های مختصر مشکلی به وجود نمی آوردند، اما امروزه دستگاه های الکترونیکی حساس که از ادوات نیمه هادی ها تشکیل شده اند به تغییرات شبکه برق بسیار حساس هستند. این یکی از نقاط ضعف تکنولوژی مدرن است که توجه بسیاری را به بحث کیفیت توان جلب کرده است.

به طور مثال، در سیستم‌های قدرت، هر زمان که مداری شامل بار راکتیو با کلیدزنی قطع و وصل می‌شود، حالت‌های گذرای فرکانس بالایی در سیستم به وجود می‌آیند. دامنه ولتاژ این حالت‌های گذرا گاهی می‌تواند تا چند برابر ولتاژ نامی خط باشد. این حالت‌های گذرا شامل یک دنباله چرخشی<sup>۱</sup> و دامنه مؤلفه‌های فرکانس بالا خواهد بود. این مؤلفه‌های فرکانس بالا سبب ایجاد جریان گردابی در هسته مغناطیسی ترانسفورماتورها، موتورها و ژنراتورها می‌شود. همچنین به دلیل اینکه این مؤلفه‌های فرکانس بالا با شیفت فاز متغیر بین جریان و ولتاژ عمل می‌کنند، باعث ایجاد تلفات هیستریز می‌شوند.

کیفیت توان پایین می‌تواند سبب بروز خسارات مالی بسیار زیادی شود که برخی از آن‌ها در زیر اشاره شده است [۱۸۳]:

- خرابی‌های پیش‌بینی نشده منابع تغذیه (خطای مدارشکنها، سوختن فیوزها)
- خرابی یا عملکرد نادرست تجهیزات
- افزایش بیش‌ازحد دمای تجهیزات (موتورها، ترانسفورماتورها و ...) که منجر به کاهش طول عمر آن‌ها می‌شود.
- آسیب به تجهیزات حساس (کامپیوترهای شخصی، سیستم‌های کنترل خط تولید، ...)
- ایجاد تداخل در ارتباطات الکترونیک
- افزایش تلفات سیستم
- نیاز به نصب تجهیزات در ابعاد بزرگ‌تر جهت مقابله با تنش الکتریکی اضافه‌شده، که سبب افزایش هزینه‌های نصب و راه‌اندازی و تولید کربن می‌شود
- سوسوزدن<sup>۲</sup>
- ...

اگر به دلیل کیفیت توان ضعیف، تولید متوقف شود، هزینه‌های سنگین تحمیل خواهد شد. لیست هزینه‌های تحمیلی به صنایع مختلف در اروپا در سال ۲۰۰۲ به دلیل کیفیت توان ضعیف در جدول ۸-۱ آورده شده است.

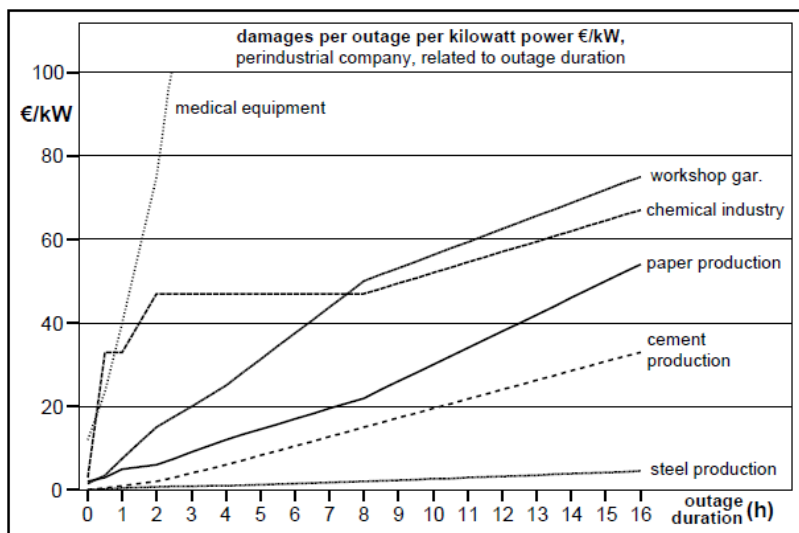
1 Ringing Tail

2 Flicker

جدول ۸-۱: لیست هزینه‌های تحمیلی به صنایع مختلف به دلیل کیفیت توان ضعیف

بخش	ضرر مالی در هر حادثه
تولیدات نیمه‌هادی (*)	۳۸۰۰،۰۰۰ یورو
تجارت مالی (*)	۶،۰۰۰،۰۰۰ یورو در سال
مرکز کامپیوتر (*)	۷۵۰،۰۰۰ یورو
ارتباطات (*)	۳۰،۰۰۰ یورو در دقیقه
صنعت فولاد (*)	۳۵۰،۰۰۰ یورو
صنعت شیشه (*)	۲۵۰،۰۰۰ یورو
سازه‌های دریایی	۲۵۰،۰۰۰ تا ۷۵۰،۰۰۰ یورو در روز
لایه رومی/بازیافت زمین	۲۵۰،۰۰۰ تا ۵۰،۰۰۰ یورو در روز

اطلاعاتی که با علامت (\*) مشخص شده‌اند از مرجع [۱۸۴] و سایر اطلاعات از اطلاعات تجربی شرکت ABB استخراج شده‌اند [۱۸۳]. نمودار هزینه‌های وقفه (بر اساس یورو بر کیلووات) برحسب زمان خاموشی در شکل ۸-۱ آورده شده است [۱۸۵].



شکل ۸-۱ نمودار هزینه‌های وقفه (بر اساس یورو بر کیلووات) برحسب زمان خاموشی

همچنین متوسط هزینه‌های تحمیلی به صنایع بر اساس نوع اختلال در کیفیت توان که طی بررسی انجام شده در سال

۲۰۰۷ در اروپا به دست آمده، در جدول ۸-۲ آورده شده است.

جدول ۸-۲: متوسط هزینه‌های تحمیل به صنایع بر اساس نوع اختلال در کیفیت توان حاصل از بررسی انجام شده در سال

۲۰۰۷ در اروپا

میانگین هزینه (یورو)	نوع اختلال در کیفیت توان
۱۲۰۰۰۰ تا ۱۸۰۰۰۰	حالات گذرا یا جریان هجومی
۹۰۰۰۰	وقفه طولانی
۳۶۰۰۰ تا ۱۸۰۰۰	وقفه کوتاه در بخش‌های خدماتی
۱۴۰۰۰ تا ۷۰۰۰	وقفه کوتاه در صنعت
۴۰۰۰ تا ۲۰۰۰	کاهش دامنه ولتاژ (Voltage Dip)

با توجه به اطلاعات فوق و نیاز روزافزون به کیفیت توان مناسب، امروزه از ادوات به‌ساز توان در شبکه توزیع استفاده

می‌شود. تجهیزات<sup>۱</sup> TSC،<sup>۲</sup> D-Statcom و<sup>۳</sup> DVR که در فصل‌های بعدی مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

## ۸-۳- انواع ساختارهای D-Statcom

ساختارهای D-Statcom را می‌توان بر اساس تعداد المان‌های کلیدزنی، استفاده از ترانسفورماتور برای ایزولاسیون، استفاده

از ترانسفورماتور برای جبران‌سازی جریان نول و ... دسته‌بندی کرد. این نوع از D-Statcom-ها به دلیل نیاز در کاربردهای

مختلف مانند شبکه توزیع سه فاز سه سیمه یا سه فاز چهار سیمه، توسعه یافته‌اند [۱۸۶].

### ۸-۳-۱ D-Statcom برای شبکه توزیع سه فاز سه سیمه

این نوع از D-Statcom برای بهبود کیفیت توان و جبران‌سازی بار مصرف‌کننده در شبکه‌های توزیع سه فاز سه سیمه بکار

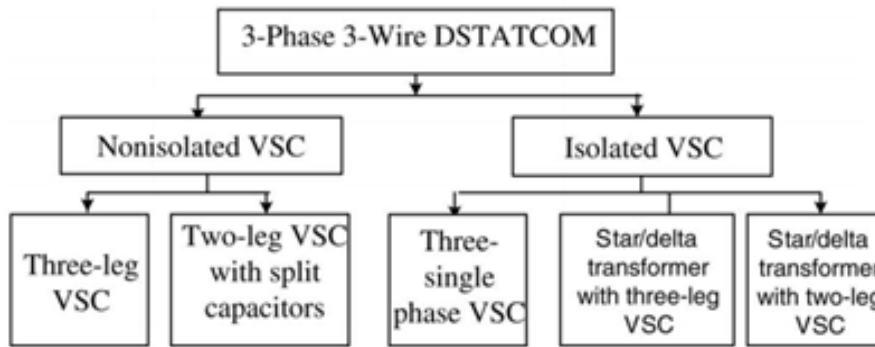
می‌روند. دسته‌بندی این نوع D-Statcom در شکل ۸-۲ نمایش داده شده‌اند که به دودسته کلی VSC ایزوله شده و ایزوله

نشده تقسیم می‌شوند.

1 Thyristor Switched Capacitor

2 Distribution Static Compensator

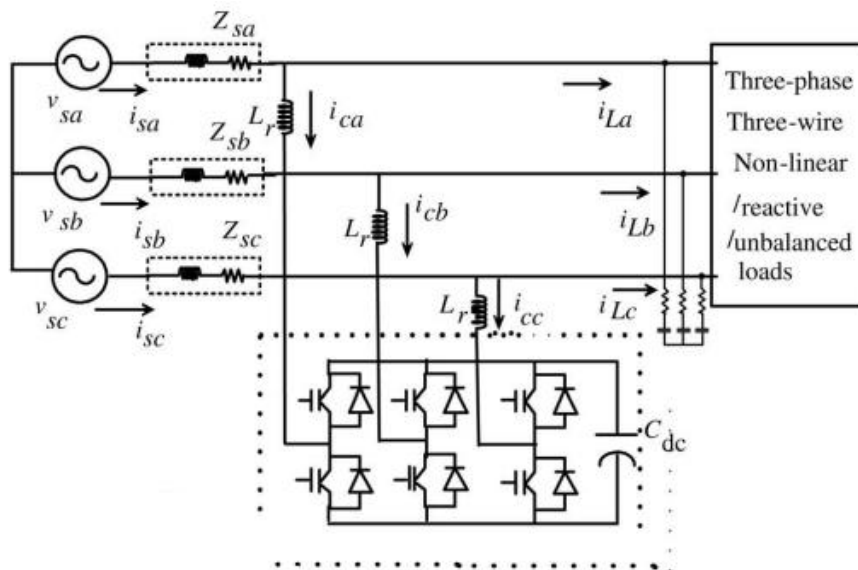
3 Dynamic Voltage Regulator



شکل ۸-۲ دسته‌بندی D-Statcom

### ۸-۳-۱-۱- D-Statcom بر پایه VSC ایزوله نشده

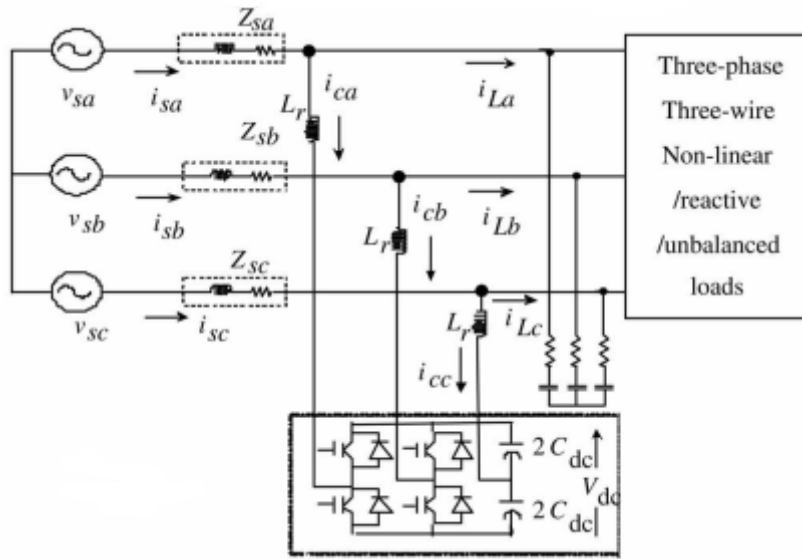
این ساختار بر پایه VSC سه ساق شکل ۸-۳ نشان داده شده است که این ساختار بسیار مورد توجه بوده است.



شکل ۸-۳ ساختار Statcom بر پایه VSC سه ساق ایزوله نشده

ساختار بعدی بر اساس VSC دو ساق، با خازن‌های تقسیم شده است که از مزایای آن استفاده از المان‌های کلیدزنی کمتر است. این ساختار در شکل ۸-۴ نشان داده شده است. در هر صورت، کنترل و تنظیم ولتاژ DC خازن‌ها و نیازمندی‌های باس DC ولتاژ بالا، از مشکلات عمده این ساختارها هستند.



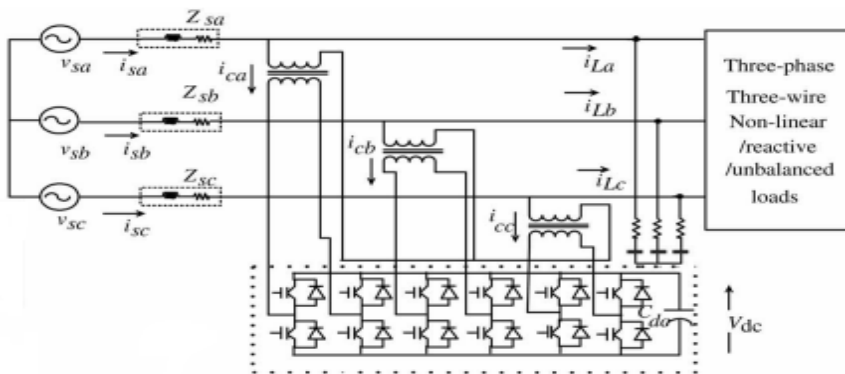


شکل ۴-۸ ساختار Statcom بر پایه VSC دو ساق ایزوله نشده

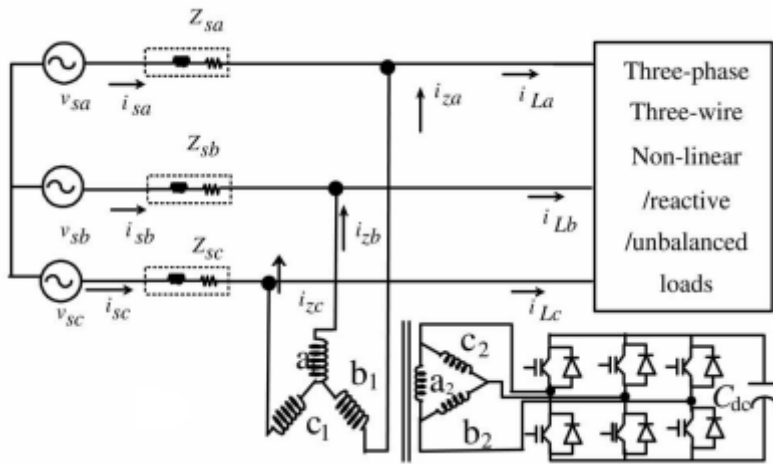
### ۳-۱-۲-۸- D-Statcom بر پایه VSC ایزوله

نمونه‌ای از D-Statcom سه فاز سه سیمه که از سه VSC تک فاز تشکیل شده در شکل ۵-۸ نشان داده شده است، استفاده از المان‌های کلیدزنی بیشتر در این ساختار سبب توجه کمتری به آن شده است.

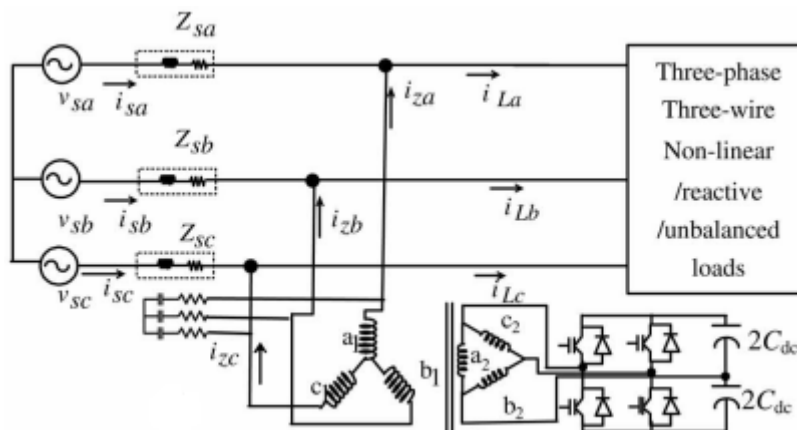
دو نوع دیگر از ساختارهای D-Statcom که از ترانسفورماتورهای ستاره-مثلث استفاده می‌کنند در شکل ۶-۸ و شکل ۷-۸ نشان داده شده‌اند. در این ساختارها به ترانسفورماتوری با ظرفیت ولت-آمپر برابر با مقدار توان راکتیو تزریقی نیاز است؛ اما ترانسفورماتور سبب ایجاد ایزولاسیون از سیستم می‌شود که سبب انعطاف‌پذیری آن برای استفاده در کاربردهای مختلف می‌شود. در این ساختار می‌توان از انواع مختلفی از ترانسفورماتورها استفاده کرد.



شکل ۵-۸ ساختار Statcom بر پایه VSC سه ساق ایزوله شده



شکل ۸-۶ ساختار Statcom بر پایه VSC سه ساق با ترانسفورماتور ستاره-مثلث

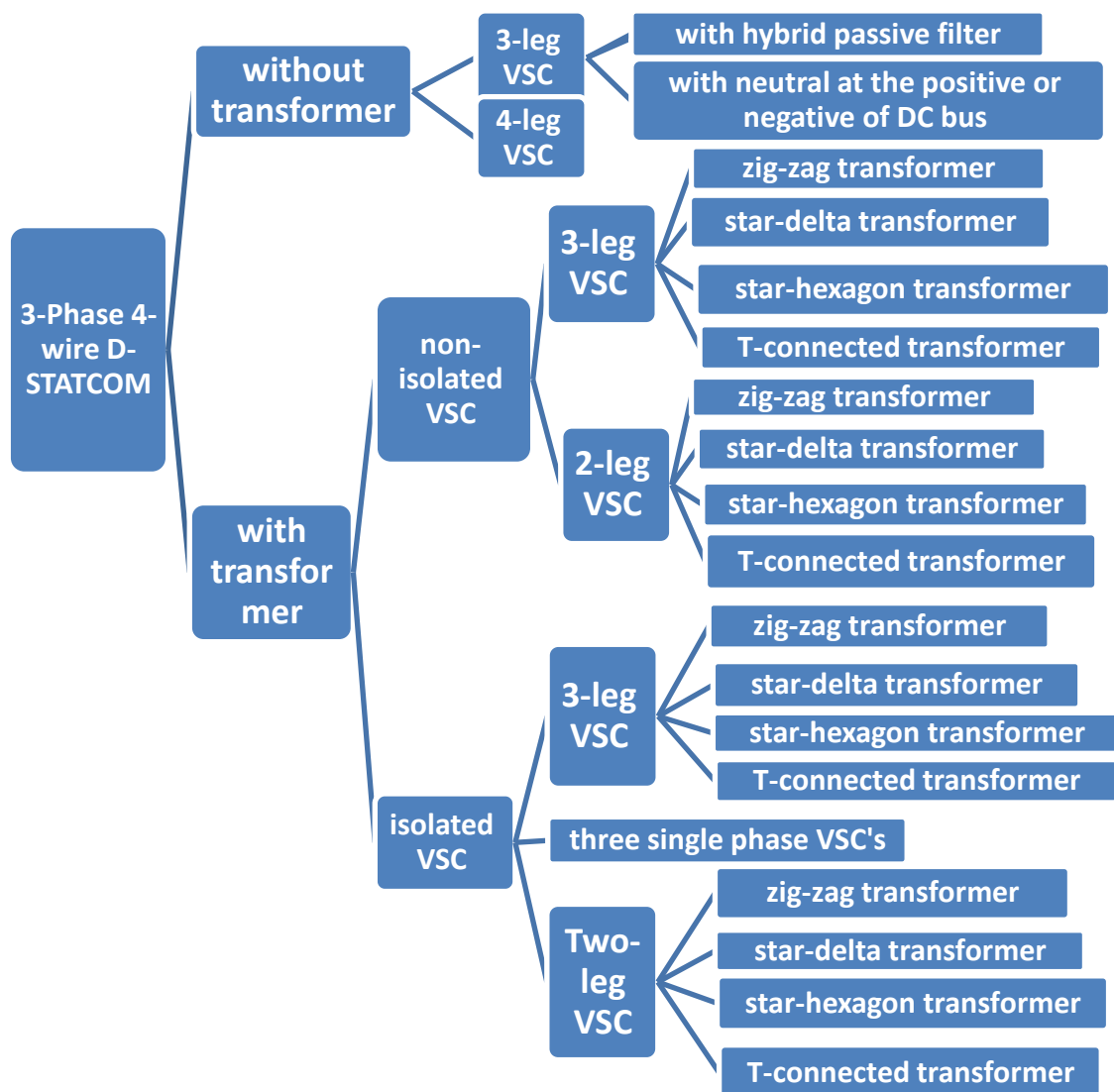


شکل ۸-۷ ساختار Statcom بر پایه VSC دو ساق با ترانسفورماتور ستاره-مثلث

### ۸-۳-۲ سه فاز چهار سیمه D-Statcom

این نوع از D-Statcom ها جهت بهبود کیفیت توان در شبکه توزیع سه فاز چهار سیمه بکار می‌رود. این ساختار در شکل

۸-۸ نشان داده شده که به دودسته کلی با و بدون ترانسفورماتور تقسیم‌بندی می‌شوند.

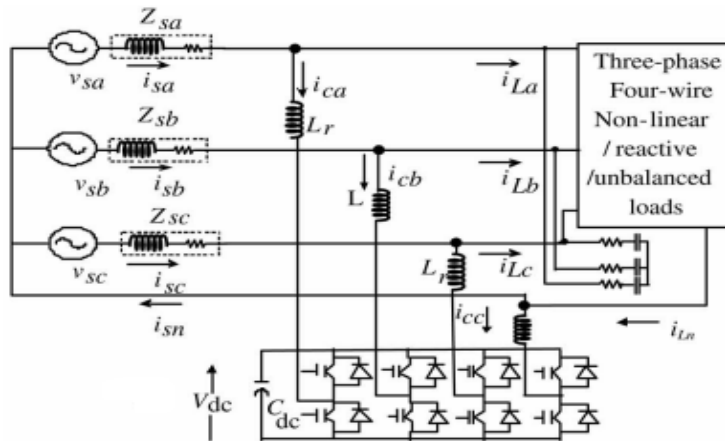


شکل ۸-۸ دسته‌بندی D-Statcom های سه فاز چهار سیمه

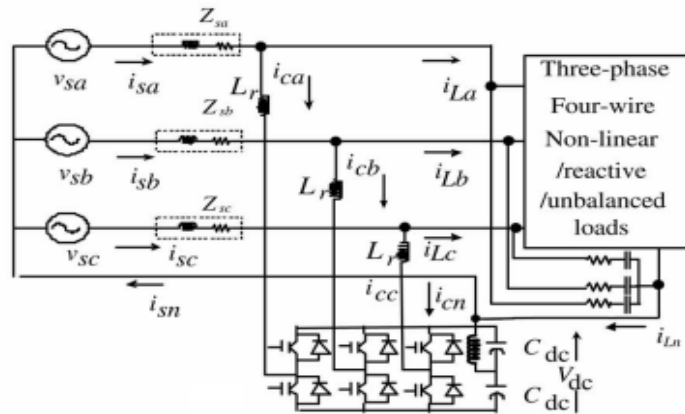
### ۸-۳-۲-۱ VSC ایزوله نشده بدون ترانسفورماتور

این نوع از D-Statcom ها با VSC چهار ساق و سه ساق در شکل ۸-۸ مشاهده می‌شوند که ساختار چهار ساق آن در شکل ۸-۹ نشان داده شده است که در مقالات بسیاری نیز مورد توجه بوده است. ساق چهارم در این ساختار به نول متصل شده، بنابراین VSC برای جبران‌سازی جریان نول کنترل شده است.

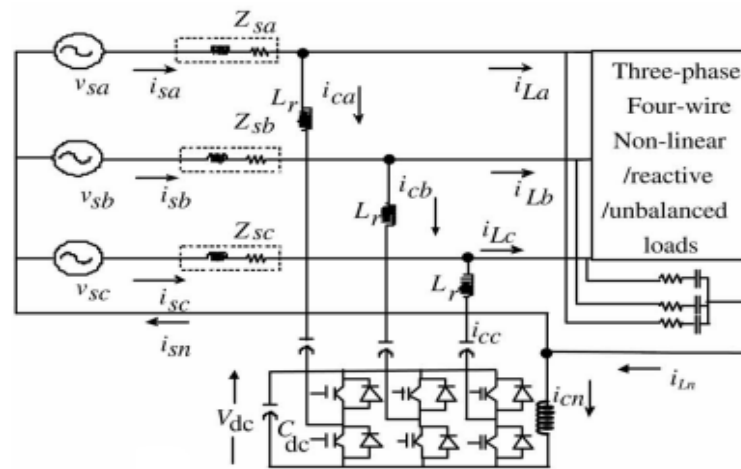
ساختارهای دیگر سیستم سه فاز چهار سیمه برای جبران سازی جریان نول و کیفیت توان، VSC سه ساق با خازن تقسیم شده (شکل ۸-۱۰)، VSC سه ساق با ترمینال نول در سمت مثبت یا منفی باس DC (شکل ۸-۱۱) و یک D-Statcom ترکیبی است، که در شکل ۸-۱۲ نشان داده شده است.



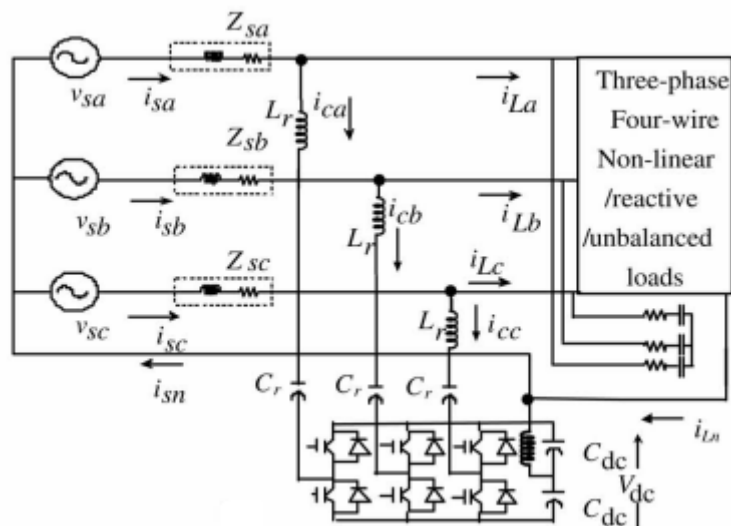
شکل ۸-۹ ساختار D-Statcom بر پایه VSC چهار ساق



شکل ۸-۱۰ ساختار D-Statcom بر پایه VSC سه ساق



شکل ۸-۱۱ ساختار D-Statcom بر پایه VSC سه ساق با ترمینال نول در سمت مثبت یا منفی باس DC

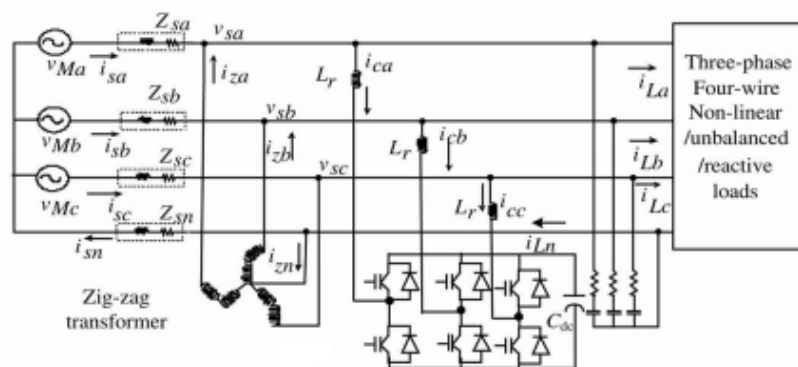


شکل ۸-۱۲ ساختار D-Statcom بر پایه VSC چهار ساق ترکیبی

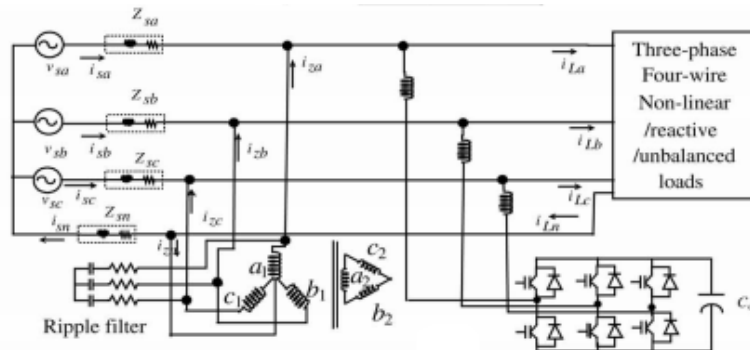
### ۸-۳-۲-۲-۳-۸ VSC سه فاز ایزوله نشده با ترانسفورماتور

ساختارهای D-Statcom با ترانسفورماتور به صورت Statcom-هایی بر پایه VSC ایزوله شده و ایزوله نشده تقسیم‌بندی می‌شوند. یکی از ساختارهای D-Statcom بر پایه VSC ایزوله نشده سه ساق با ترانسفورماتور زیگزاگ در شکل ۸-۱۳ نشان داده شده است. نقش ترانسفورماتور زیگزاگ در این ساختار، کاهش جریان نول به دلیل جبران‌سازی پسیو، استحکام و پیچیدگی کمتر در تکنیک‌های جبران‌سازی اکتیو است.

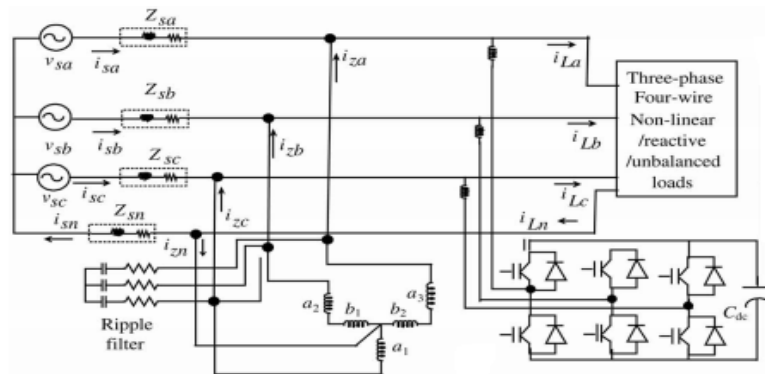
ساختار دیگری بر اساس ترانسفورماتور ستاره-مثلث و VSC سه ساق در شکل ۸-۱۴ نشان داده شده است. همچنین ترانسفورماتورهای دیگری از قبیل اتصال T و ستاره-شش ضلعی نیز با VSC سه ساق به عنوان D-Statcom سه فاز چهار سیمه استفاده شده‌اند که به ترتیب در شکل ۸-۱۵ و شکل ۸-۱۶ مشاهده می‌شوند. مزایای ترانسفورماتور زیگزاگ نسبت به سایر ساختارها بیشتر است.



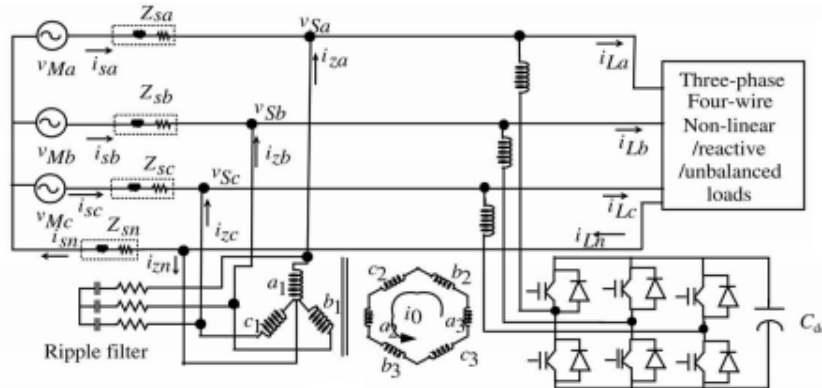
شکل ۸-۱۳ ساختار D-Statcom بر پایه VSC ایزوله نشده با ترانسفورماتور زیگ-زاگ



شکل ۸-۱۴ ساختار D-Statcom بر پایه VSC ایزوله نشده با ترانسفورماتور ستاره-مثلث



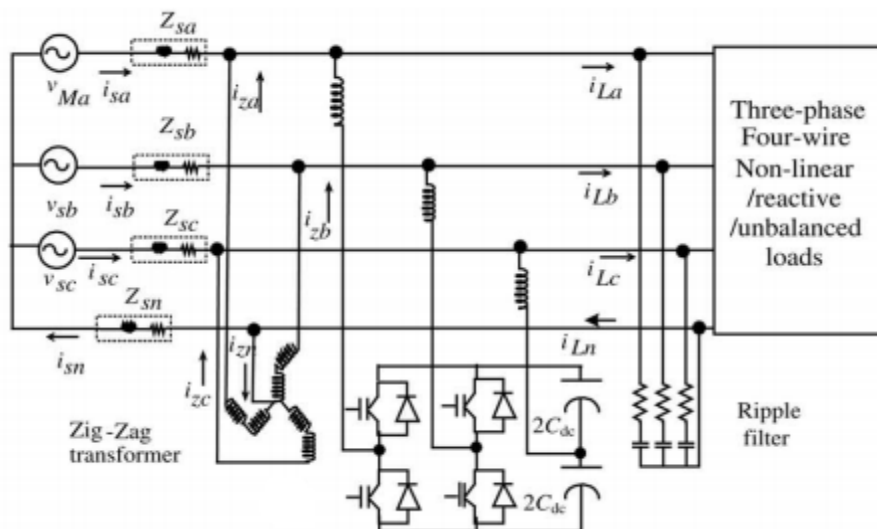
شکل ۸-۱۵ ساختار D-Statcom بر پایه VSC ایزوله نشده با ترانسفورماتور اتصال T



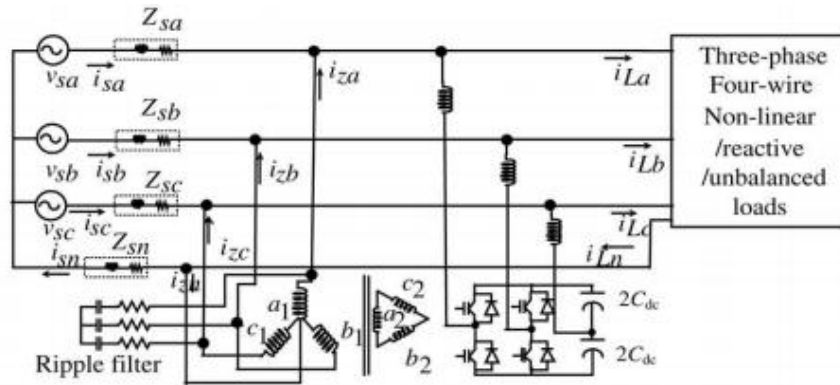
شکل ۸-۱۶ ساختار D-Statcom بر پایه VSC ایزوله نشده با ترانسفورماتور شش ضلعی

### ۸-۳-۲-۳-۸ دو ساق ایزوله نشده با ترانسفورماتور

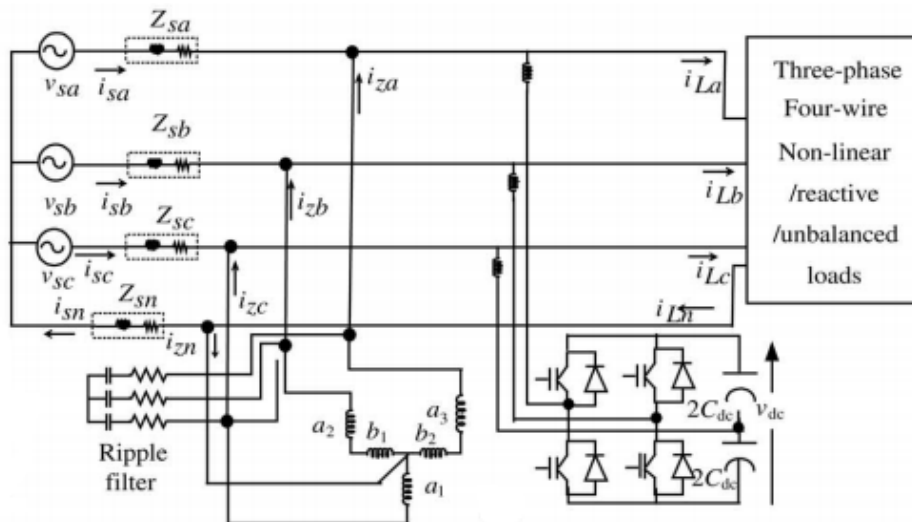
همانند شکل ۸-۱۷ از یک VSC دو ساق با خازن تقسیم شده و ترانسفورماتور زیگزاگ برای D-Statcom سه فاز چهار سیمه استفاده شده است. استفاده از ترانسفورماتور زیگزاگ، ستاره-مثلث، اتصال T و ستاره-شش ضلعی به همراه VSC دو ساق به عنوان D-Statcom سه فاز چهار سیمه به ترتیب در شکل ۸-۱۸، شکل ۸-۱۹ نشان داده شده‌اند. این ساختارها در مقایسه با ساختارهایی که از VSC سه ساق بهره می‌برند، تعداد المان‌های کلیدزنی کمتری دارند.



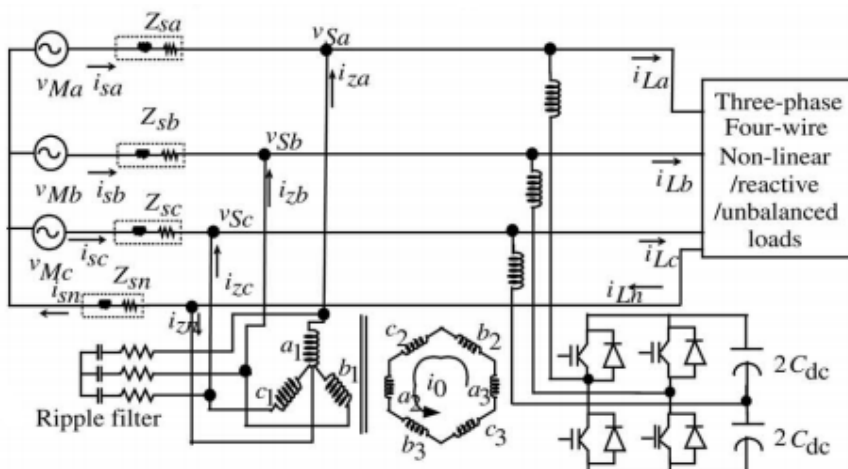
شکل ۸-۱۷ ساختار D-Statcom با خازن تقسیم شده بر پایه VSC ایزوله نشده با ترانسفورماتور زیگزاگ



شکل ۸-۱۸ ساختار D-Statcom با خازن تقسیم شده بر پایه VSC ایزوله نشده با ترانسفورماتور ستاره- مثلث



شکل ۸-۱۹ ساختار D-Statcom با خازن تقسیم شده بر پایه VSC ایزوله نشده با ترانسفورماتور اتصال T

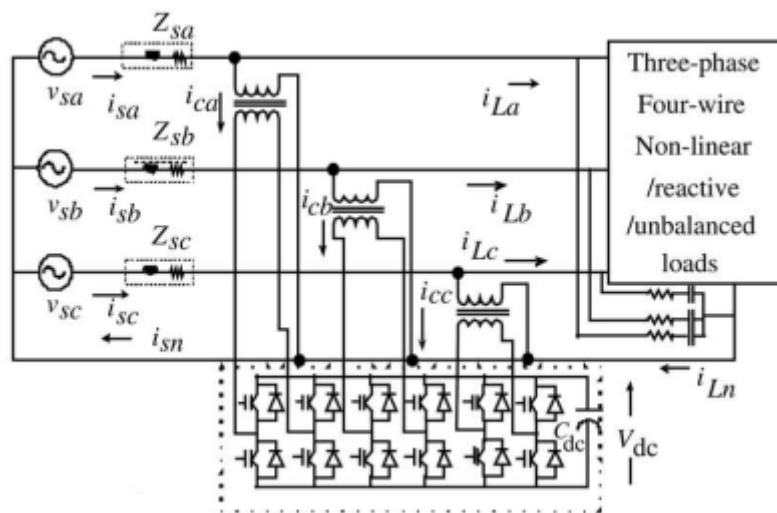


شکل ۸-۲۰ ساختار D-Statcom با خازن تقسیم شده بر پایه VSC ایزوله نشده با ترانسفورماتور شش ضلعی



### ۸-۳-۲-۴- سه VSC تک فاز ایزوله شده

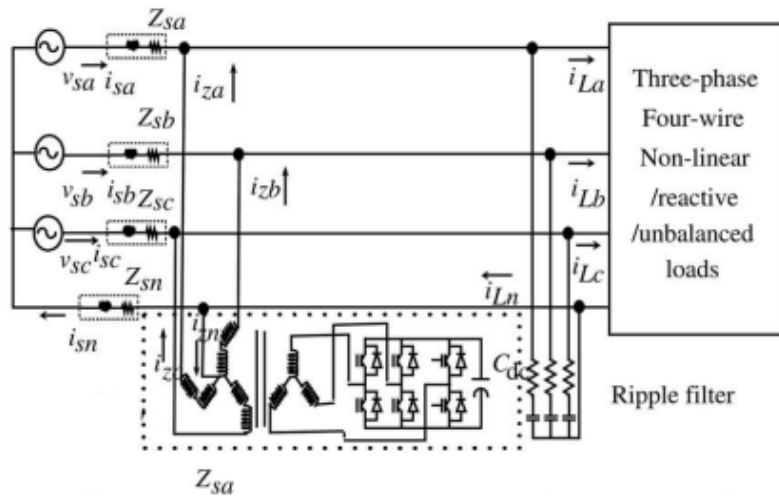
استفاده از سه عدد VSC تک فاز به عنوان D-Statcom سه فاز چهار سیمه در مراجع پیشنهاد شده که در شکل ۸-۲۱ نیز نشان داده شده‌اند. این D-Statcom شامل سه VSC نیم پل است که توسط یک خازن ذخیره ساز DC تغذیه می‌شوند. سه ترانسفورماتور تک فاز نیز جهت ایجاد ایزولاسیون و اندوکتانس بین نقطه اتصال مشترک (PCC) و VSC ها، به خروجی این مبدل‌ها متصل شده‌اند.



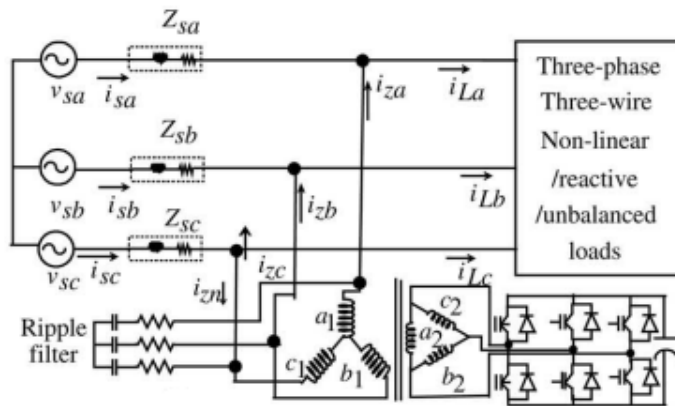
شکل ۸-۲۱ استفاده از سه عدد VSC تک فاز به عنوان D-Statcom سه فاز چهار سیمه

### ۸-۳-۲-۵- سه ساق ایزوله با ترانسفورماتور

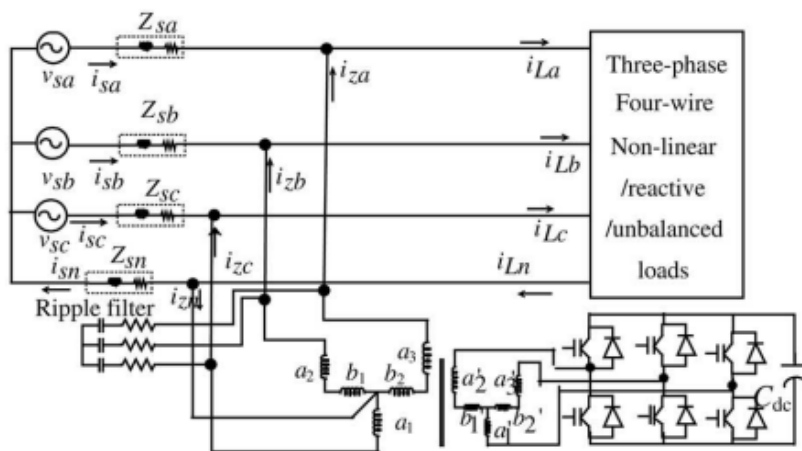
این ساختار بر پایه VSC سه ساق متصل به ثانویه ترانسفورماتور زیگزگ در شکل ۸-۲۲ نشان داده شده است. همانند ساختار قبلی در اینجا نیز می‌توان از ترانسفورماتورها ستاره-مثلث، اتصال T و ستاره-شش ضلعی استفاده کرد که به ترتیب در شکل ۸-۲۳ تا شکل ۸-۲۵ نشان داده شده‌اند. نقش ترانسفورماتور در این ساختارها ایجاد ایزولاسیون و انعطاف پذیری استفاده از VSC در کاربردها و شرایط مورد نظر است.



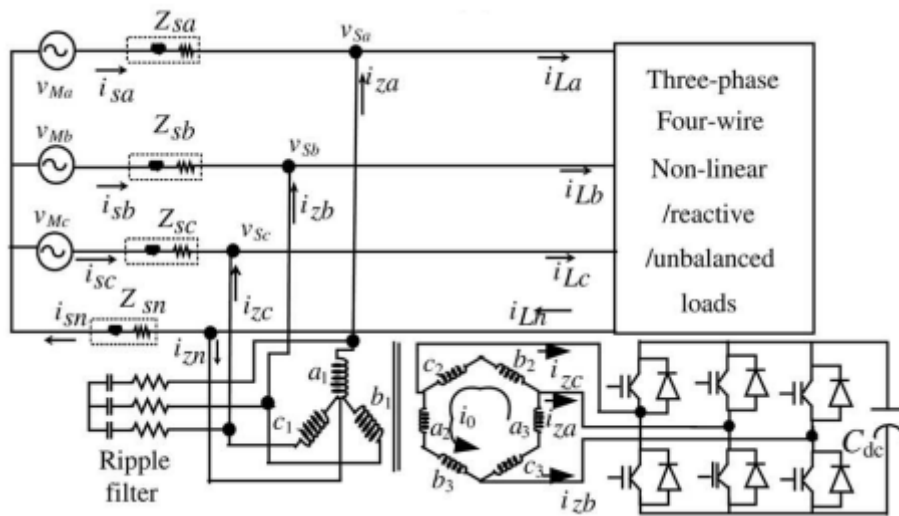
شکل ۸-۲۲ ساختار D-Statcom بر پایه VSC سه ساق متصل به ثانویه ترانسفورماتور زیگزاگ



شکل ۸-۲۳ ساختار D-Statcom بر پایه VSC سه ساق متصل به ثانویه ترانسفورماتور ستاره-مثلث



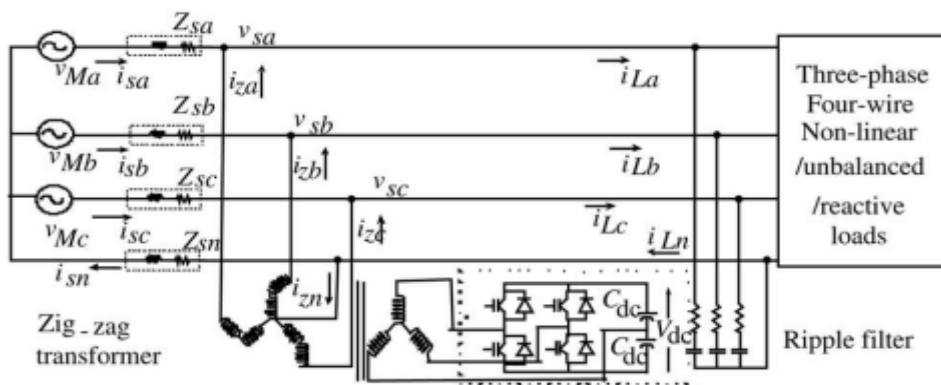
شکل ۸-۲۴ ساختار D-Statcom بر پایه VSC سه ساق متصل به ثانویه ترانسفورماتور اتصال T



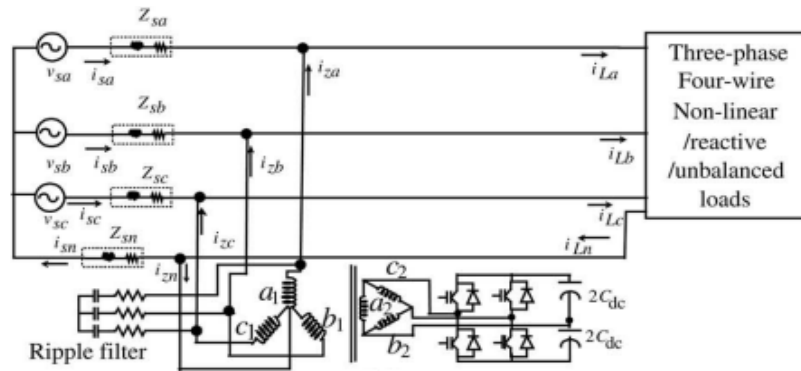
شکل ۸-۲۵ ساختار D-Statcom بر پایه VSC سه ساق متصل به ثانویه ترانسفورماتور شش ضلعی

### ۸-۳-۲-۶- دو ساق ایزوله با ترانسفورماتور

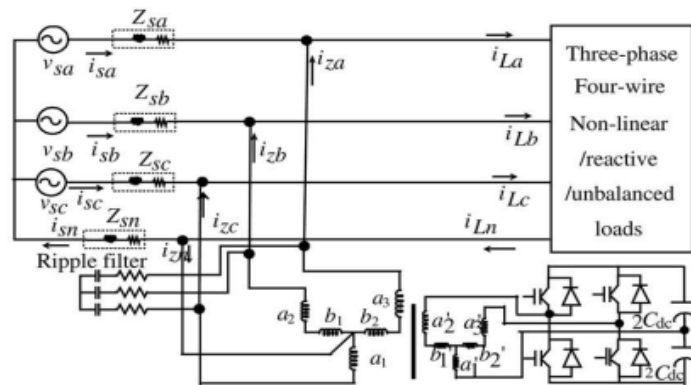
این ساختار با خازن تقسیم شده، VSC های نیم پل و ترانسفورماتور به عنوان D-Statcom سه فاز چهار سیمه استفاده می شود. تعداد المان های نیمه هادی در این ساختار کاهش یافته است. همانند ساختارهای قبلی اینجا نیز از ترانسفورماتورهای زیگزاگ، ستاره-مثلث، اتصال T و ستاره-شش ضلعی به عنوان D-Statcom سه فاز چهار سیمه استفاده می شود که به ترتیب در اشکال شکل ۸-۲۶ تا شکل ۸-۲۹ نشان داده شده اند.



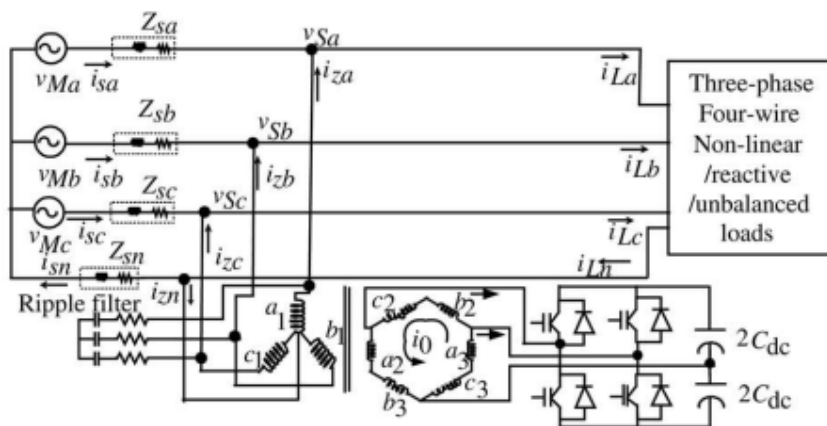
شکل ۸-۲۶ ساختار D-Statcom بر پایه VSC دو ساق با خازن تقسیم شده متصل به ثانویه ترانسفورماتور زیگزاگ



شکل ۸-۲۷ ساختار D-Statcom بر پایه VSC دو ساق با خازن تقسیم شده متصل به ثانویه ترانسفورماتور ستاره- مثلث



شکل ۸-۲۸ ساختار D-Statcom بر پایه VSC دو ساق با خازن تقسیم شده متصل به ثانویه ترانسفورماتور اتصال T



شکل ۸-۲۹ ساختار D-Statcom بر پایه VSC دو ساق با خازن تقسیم شده متصل به ثانویه ترانسفورماتور شش ضلعی

## ۸-۴- مقایسه ساختارها

المان‌ها و سطوح ولتاژ ساختارهای مختلف در جدول ۸-۳ خلاصه شده‌اند. تعداد المان‌های کلیدزنی موردنیاز، ترانسفورماتور، اندوکتانس رابط، ولتاژ باس DC، خازن باس DC و میزان کیلوولت-آمپر ترانسفورماتور جهت مقایسه سریع در این جدول آورده شده است. به‌عنوان مثال از روی جدول ۸-۳ می‌توان مشاهده کرد که در D-Statcom هایی که بر پایه VSC ایزوله هستند ولتاژ باس DC می‌تواند کمتر باشد. همچنین تعداد المان‌های نیمه‌هادی در VSC های دو ساق کمتر است.

جدول ۸-۳: المان‌ها و سطوح ولتاژ ساختارهای مختلف D-Statcom

تعداد المان‌های نیمه‌هادی	KVA ترانسفورماتور	ایزولاسیون	ولتاژ باس DC (V)	خازن (uF)	اندوکتانس رابط (mH)	ترانسفورماتور	ساختار
۶	۰	ندارد	۷۰۰	۳۰۰۰	۲,۵	نیاز ندارد	VSC سه ساق
۴	۰	ندارد	۱۴۰۰	۵۰۰۰	۷	نیاز ندارد	VSC دو ساق با خازن جداشده
۸	۰	ندارد	۷۰۰	۲۲۰۰	۳,۵	نیاز ندارد	VSC چهار ساق
۶	۵	ندارد	۷۰۰	۲۲۰۰	۳,۵	زیگ-زاگ	VSC سه ساق با ترانسفورماتور زیگ-زاگ غیر ایزوله
۴	۸	ندارد	۱۴۰۰	۵۰۰۰	۷	ستاره- مثلث	VSC دو ساق با ترانسفورماتور ستاره-مثلث غیر ایزوله
۱۲		دارد	۴۰۰	۲۲۰۰	۷	نیاز ندارد	VSC تک فاز
۶	۱۲	دارد	۴۰۰	۶۶۰۰	۲,۳	اتصال T	VSC سه ساق با ترانسفورماتور اتصال T ایزوله
۴	۱۲	دارد	۴۰۰	۶۶۰۰	۳,۵	ستاره- شش ضلعی	VSC دو ساق با ترانسفورماتور ستاره-شش ضلعی ایزوله

## ۸-۵- ملاحظات انتخاب ساختار و کنترل مناسب

انتخاب ساختار و روش کنترلی مناسب D-Statcom یکی از وظایف مهم کاربر و طراح است. به طور مشخص، بین D-Statcom های سه فاز سه سیمه و چهار سیمه تفاوت‌هایی وجود دارد. ملاحظاتی چون ایزوله بودن یا نبودن D-Statcom بسیار حیاتی است [۱۰۹].

ایجاد ایزولاسیون توسط انواع ترانسفورماتور انعطاف‌پذیری عملکرد در شرایط مختلف را برای D-Statcom ها به ارمغان می‌آورد. D-Statcom های سه فاز چهار سیمه بر پایه VSC های دو ساق نیم پل، دارای مزایایی چون هزینه، ابعاد و وزن کمتر هستند؛ اما کنترل ولتاژ باس DC و ولتاژ قابل تحمل المان‌های کلیدزنی از جمله مواردی است که باید در انتخاب ساختار مورد توجه قرار بگیرد.

یکی دیگر از موارد مهم، کیلوولت-آمپر ترانسفورماتور است. مقایسه‌ای بین کیلوولت-آمپر ترانسفورماتورها در جدول ۸-۴ آورده شده است. از این جدول مشاهده می‌شود که ترانسفورماتور زیگزگاک دارای کمترین مقدار کیلوولت-آمپر است، پس از آن ترانسفورماتور اتصال T قرار دارد. ترانسفورماتورهای ستاره-مثلث و ستاره-شش ضلعی دارای بیشترین مقدار کیلوولت-آمپر می‌باشند؛ اما ترانسفورماتور ستاره-مثلث در بازار به راحتی یافت می‌شود.

جدول ۸-۴: مقایسه بین کیلوولت-آمپر ترانسفورماتورهای D-Statcom

ترانسفورماتور	ولتاژ سیم پیچ (V)	جریان سیم پیچ (A)	KVA	تعداد ترانسفورماتورها	KVA کل
زیگ-زاگ	۱۴۰/۱۴۰	۱۰	۱,۴	۳	۴,۲
ستاره-مثلث	۲۴۰/۲۴۰	۱۰	۲,۴	۳	۷,۲
اتصال T	۱۲۰/۱۲۰/۲۴۰	۱۰	۲,۴	۱	۴,۴۸
	۲۰۸/۲۰۸		۲,۰۸	۱	
ستاره-شش ضلعی	۱۴۰/۱۴۰/۲۴۰	۱۰	۲,۴	۳	۷,۸

## ۸-۶- توسعه آینده و کاربردهای بالقوه

D-Statcom به منظور بهبود کیفیت توان، اصلاح ضریب توان، تعادل بار، حذف هارمونیک‌ها و جبران‌سازی جریان نول در سیستم‌های توزیع، بسیار مؤثر هستند. چشم‌انداز استفاده از تجهیزات به‌ساز توان در سیستم‌های توزیع بسیار وسیع است. اگرچه هم‌اکنون قیمت D-Statcom‌ها مقداری (نسبت به سایر تجهیزات به‌ساز توان) بیشتر است، اما در آینده راه‌حل مؤثری در حل مشکلاتی خواهد بود که امروزه سیستم‌های توزیع با آن‌ها مواجه است. [۱۸۶]

تولیدات پراکنده‌ای که از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند میکرو توربین‌های آبی، توربین‌های باد و غیره استفاده می‌کنند، توسعه یافته و در سیستم‌های توزیع نصب شده‌اند. تغییرات آب‌وهوا و سرعت باد سبب تغییر توان اکتیو و در نتیجه تغییرات ولتاژ در خطوط توزیع می‌شود. این عمل مستقل از تقاضای بار رخ می‌دهد. این موضوع تنظیم ولتاژ را با مشکل مواجه می‌کند که استفاده از D-Statcom یکی از روش‌های متمرکز و مؤثر حل این مشکل است.

## ۸-۷- معرفی شرکت‌های تولیدکننده D-Statcom

### ۸-۷-۱ Statcom های شرکت ABB سری PCS100

طبق ساختار مبدل‌های ولتاژ پایین، PCS100 [۱۸۶] دارای پهنای باند وسیع به همراه ساختار انعطاف‌پذیر و افزونگی ماژولار با قابلیت اطمینان بالا می‌باشد. از ویژگی‌های این محصول تصحیح ضریب توان و سایر اغتشاشات ناشی از تولیدات تجدیدپذیر در کاربردهایی نظیر بهره‌برداری از انرژی باد، خورشید و کاربردهای صنعتی متداول است. این محصول در ظرفیت‌های ۱۰۰ کیلووار تا ۱۰ مگاوار موجود است. استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند باد و خورشید در شبکه‌های برق به سرعت در حال افزایش هستند، اما Statcom موردنیاز جهت اتصال به شبکه باید متناسب با نیازمندی‌های آن‌ها باشد.

ویژگی‌های Statcom سری PCS100 در ادامه ذکر شده‌اند:

- سطح توان بار: ۱۰۰ کیلو تا ۱۰ مگا ولت آمپر
- ولتاژ ورودی الکترونیک قدرت: ۲۰۸ تا ۴۸۰ ولت AC

- موقعیت بازار: اولین سفارش از شرکت Suzlon Wind Energy در دسامبر ۲۰۰۹

## ۸-۷-۲ شرکت Statcom CG Power

شرکت CG نشأت گرفته از شرکت Colonel REB Crompton که در سال ۱۸۷۸ در اسکس انگلستان تحت نام REB Crompton & Co تأسیس شد تا در زمینه ساخت و قرارداد تجهیزات الکتریکی فعالیت کند. شرکت CG پس از استقلال هند در سال ۱۹۴۷ به صورت مستقل فعالیت می کند [۱۸۷].



شکل ۸-۳۰-۳ شرکت Statcom CG Power

مشخصات محصول:

- سیستم ۳ فاز، ۵۰ هرتز، ۴۱۵ ولت، نصب در فضای داخلی

- جبران سازی توان راکتیو از ۱۰۰ تا ۵۰۰ کیلووار

حالات عملکرد:

- جبران ساز توان راکتیو (RPC)

- فیلتر اکتیو هارمونیک (AHF)

- جبران ساز وار استاتیک اکتیو (RPC+AHF)



## ۸-۸- مزایای D-Statcom طبق گزارش American Electric Power

### (AEP)

کار تیمی شرکت‌های EPRI و Westinghouse در نصب D-Statcom به جای احداث پست توزیع جدید، در نزدیکی Swayzee، در ایالت ایندیانا، از لحاظ کاهش هزینه‌ها برای AEP بسیار به صرفه بوده است [۱۵۳]. احداث پست توزیع به همراه خط ۱۲ کیلوولت حدود ۱/۶۶ میلیون دلار برای AEP هزینه خواهد داشت در حالی که هزینه نصب D-Statcom به همراه خط ۱۲ کیلوولت حدود ۱/۰۶ میلیون دلار است. سایر صرفه‌جویی‌های نصب D-Statcom به صورت زیر برآورد شده است:

- ۶۰۰ هزار دلار صرفه‌جویی نصب D-Statcom در مقایسه با ساخت و ساز پست

- ۱۰۰ هزار دلار درآمد سالیانه حاصل از بارهای جدید

- سود کل حاصل از نصب D-Statcom در سال اول معادل ۷۰۰ هزار دلار

## ۸-۹- پروژه‌های عملی استفاده از D-Statcom

### ۸-۹-۱ PureWave D-Statcom محصول شرکت S&C

شرکت S&C یکی از بزرگ‌ترین شرکت‌های تولید تجهیزات کلیدزنی قدرت و حفاظت در دنیاست. برخی از پروژه‌های اخیر این شرکت به شرح زیر است:

۱- پروژه مزرعه باد اسکاتلند، [۱۸۸]

این مزرعه بادی در ابتدا با ۲۶ توربین ظرفیتی معادل با ۱۷ مگاوات داشته است، که در نوامبر ۲۰۰۹ با اضافه شدن ۳۵

توربین با ظرفیت معادل ۳۰ مگاوات، ظرفیت کل مزرعه بادی به ۴۷ مگاوات رسیده است. در ۱۳ نوامبر ۲۰۱۳ از D-

Statcom با ظرفیت  $\pm 5$  مگاوار به منظور کاهش مشکلاتی از قبیل: کاهش، تهاجم و سوسوزدن ولتاژ در سیستم توزیع استفاده

شد که توسط شرکت S&C Electric Europe Ltd انجام شده است.

## ۲- پروژه مزرعه باد جزیره Fallago Rig

این پروژه توسط شرکت S&C Electric Europe Ltd انجام شده است که جهت تضمین مطابقت با کد شبکه، این شرکت از D-Statcom با ظرفیت ۶۰ مگاوار استفاده کرده است. در این مزرعه بادی از ۴۸ توربین با ظرفیت ۳ مگاوات استفاده شده، ظرفیت کل مزرعه را به ۱۴۴ مگاوات رسانده است.

## ۳- پروژه مزرعه باد Aikengall

این پروژه به درخواست Powersystem UK در Bristol توسط شرکت S&C در سال ۲۰۰۸ انجام شده است که به موجب آن D-Statcom های خانواده PureWave این شرکت در فاز اولیه این مزرعه بادی با ۱۶ عدد توربین بادی با ظرفیت کل ۴۸ مگاوات، نصب شده اند.

## ۴- مزرعه باد Texas [۱۸۸]

در ۲۵ اکتبر سال ۲۰۱۱ شرکت S&C موفق به نصب سیستم جبران ساز VAR بین Edison Goat Mountain Wind Ranch و Electric Reliability Council of Texas (ERCOT) شد. پروژه های مقاوم سازی مانند این پروژه در حال افزایش هستند تا نیروگاه های تجدیدپذیر و تجهیزات این اطمینان را داشته باشند که تجهیزات و سیستم های موجود با نیازهای شبکه در حال تحول، مطابقت دارد. مطابقت با این نیازها، به پروژه های مربوط به انرژی تجدیدپذیر اجازه می دهد تا به شبکه متصل شوند.

این مزرعه بادی دارای ۸۰ توربین ۱ مگاواتی و ۲۴ عدد توربین ۲/۴ مگاواتی و ظرفیت کل آن ۱۵۰ مگاوات است. سیستم جبران ساز VAR شرکت S&C با ظرفیت ۱۵۰ مگاوات در Goat Mountain Ranch در نزدیکی San Angelo در ایالت Texas قرار دارد که متعلق به شرکت Edison Mission Energy می باشد. در این جبران ساز به منظور عملکرد صحیح و مقرون به صرفه، خازن و راکتور که به صورت مکانیکی کلیدزنی می شوند تعبیه شده است که توسط D-Statcom از خانواده PureWave کنترل می شود.

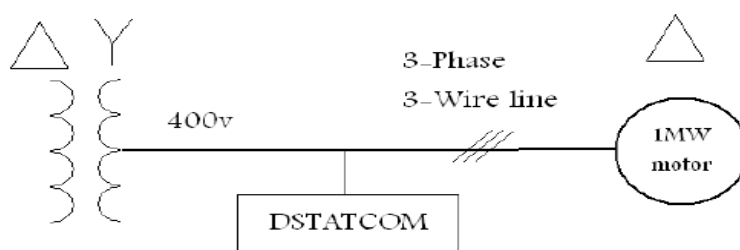
بر اساس گزارش این شرکت D-Statcom های تولیدی این شرکت موسوم به PureWave D-Statcom در مقایسه با سایر زیرمجموعه های توزیع، در سال اول بیش از ۶۰۰ هزار دلار صرفه جویی در هزینه ها را به همراه خواهد داشت.

## ۸-۱۰ - قیمت D-Statcom برخی از شرکتها

### ۸-۱۰-۱ شرکت Green Power

D-Statcom پیشنهادی به شرکت Green Power به همراه مشخصات سیستم در شکل ۸-۳۱ نشان داده شده است.

Single line diagram:



Requirements:

Voltage rate: 400v

THD: <8%

Desired Power Factor: >0.92% (It's presently 76%)

Compensation Capacity: ~500KVAR

Harmonic Content:

Harmonic order	5 <sup>th</sup>	7 <sup>th</sup>	11 <sup>th</sup>	13 <sup>th</sup>	17 <sup>th</sup>	19 <sup>th</sup>
Value	26%	8.2%	5.7%	3.1%	1.8%	1.1%

شکل ۸-۳۱ مشخصات D-Statcom پیشنهادی

D-Statcom پیشنهادی شرکت Green Power:

- از آنجایی که ظرفیت جبران سازی ۵۰۰ کیلووار است باید از ۵ دستگاه D-Statcom به ظرفیت ۱۰۰ کیلووار استفاده شود.

- جهت دستیابی به THD کمتر از ۸٪ پیشنهاد می شود تا از یک تابلو فیلتر اکتیو با ظرفیت ۳۰۰ آمپر (دو دستگاه ۱۵۰

آمپری) استفاده شود.

- قیمت این ۷ دستگاه (۵ عدد D-Statcom و ۲ عدد فیلتر اکتیو) ۶۲۰۰۰ دلار آمریکا خواهد بود.

## ۸-۱۰-۲ شرکت SHANGHAI XISHUN ELECTRIC CO. LTD

با پیشنهاد سیستم بخش قبل به شرکت SHANGHAI XISHUN ELECTRIC CO. LTD نتایج زیر حاصل شد:

- ظرفیت جبران سازی: ۵۰۰ کیلووار

- سطح ولتاژ: ۴۰۰ ولت سه فاز

- ابعاد (ارتفاع\*عرض\*طول): ۸۰۰\*۲۲۰۰\*۶۰۰

- تعداد پله‌های بانک توان: ۲۰

- قیمت به ازای هر دستگاه (دلار آمریکا): ۸۹۵۰

### جدول ۸-۵: اطلاعات به دست آمده از سایر شرکت‌ها [۱۹۰]

رقم	نام شرکت	نام محصول	مشخصات	قیمت (\$/kVAR)
۱	JNC Industrial Corp Ltd.	Capacitor Static Var Compensator /Reactive Power Compensator /SVG/Statcom	380v, 50/60 Hz, 60-370 Kvar	11.1-222.2
۲	Worldwide Electric Stock	High voltage reactive energy compensation	3-10kV, 50-2400 kVAR	20-400
۳	Beijing PONOVO POWER	Statcom for Railway, wind power plants and steel plants	3Kv/6Kv/10Kv/22Kv/35Kv, 50/60Hz, ±1Mvar ~ ±200Mvar	15-100

## ۸-۱۱- اختراعات ثبت شده و مقالات ارائه شده در زمینه D-Statcom

نمودار تجمعی تعداد اختراعات ثبت شده در سال‌های مختلف و کد اختراعات به ترتیب در شکل ۸-۳۲ و

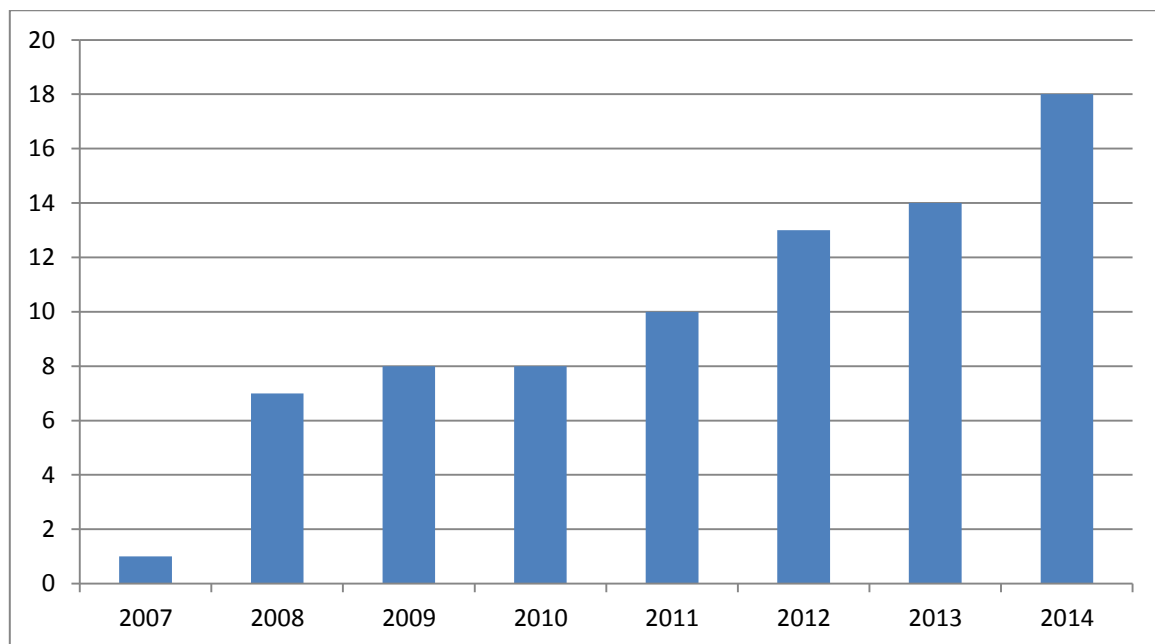
جدول ۸-۶ نشان داده شده‌اند. از شکل ۸-۳۲ مشاهده می‌شود که روند ثبت اختراعات در زمینه D-Statcom از سال ۲۰۰۷

آغاز شده و در سال ۲۰۰۸ جهشی در این مورد رخ داده است که بیان کننده افزایش توجه بازار به این تجهیز در آن سال می‌باشد.

از سال ۲۰۰۸ تاکنون نیز تنها چند اختراع در این زمینه ثبت شده و روند یکنواختی مشاهده شده است ([۱۸۰] و [۱۹۱]).

با توجه به نمودارهای تجمعی مقالات ژورنالی و کنفرانسی چاپ شده در زمینه D-Statcom نیز به ترتیب در شکل ۸-۳۳ و شکل ۸-۳۴ نشان داده شده‌اند. روند چاپ مقالات D-Statcom از سال ۲۰۰۲ آغاز شده و در سال میلادی گذشته (۲۰۱۴) بیشترین تعداد مقالات در این زمینه به چاپ رسیده است که اکثر این مقالات مربوط به نحوه کنترل و ملزومات ساخت D-Statcom می‌باشند.

جدول ۸-۷، بیشترین اختراعات در زمینه D-Statcom مربوط به جبران‌سازی توان راکتیو شبکه می‌باشد که در سال‌های اخیر به آن پرداخته شده است، در حالی که اختراعات سال ۲۰۰۸ که تعداد آن‌ها به ۶ عدد می‌رسد، مربوط به ساختار و جزئیات قطعات D-Statcom می‌باشد. این موضوع می‌تواند بیان‌کننده این مطلب باشد که D-Statcom‌ها از لحاظ تکامل ساختار به بلوغ رسیده و توجه شرکت‌های تولیدکننده به سمت استراتژی‌های کنترلی متنوع متمرکز شده است.



شکل ۸-۳۲ نمودار تجمعی اختراعات ثبت شده در زمینه D-Statcom

#### جدول ۸-۶: کد IPC اختراعات

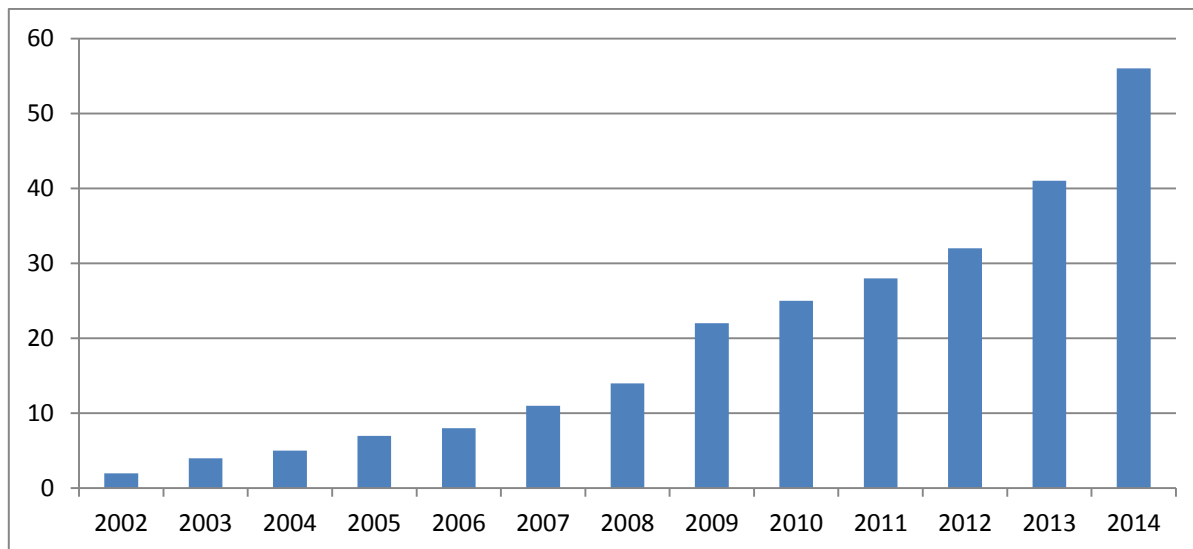
سال اختراع ثبت شده	تعداد ثبت شده	توضیحات	نام کد
۲۰۰۸	۱	تنظیم مدار برای شبکه AC اصلی و توزیع	H02J3/00

نام کد	توضیحات	تعداد ثبت شده	سال اختراع ثبت شده
H02J3/01	تنظیم مدار برای شبکه AC اصلی و توزیع به منظور کاهش هارمونیک ها و ریپل	۳	۲۰۱۲، ۲۰۱۳، ۲۰۱۴
H02J3/12	تنظیم مدار برای شبکه AC اصلی و توزیع جهت تنظیم ولتاژ در شبکه AC به وسیله تغییر مشخصه بار شبکه	۱	۲۰۰۹
H02J3/16	تنظیم مدار برای شبکه AC اصلی و توزیع جهت تنظیم ولتاژ در شبکه AC به وسیله تنظیم توان راکتیو	۲	۲۰۰۹، ۲۰۱۴
H02J3/18	تنظیم مدار برای شبکه AC اصلی و توزیع جهت تنظیم، حذف و یا جبران سازی توان راکتیو شبکه ها	۱۲	۲۰۱۱، ۲۰۱۰، ۲۰۰۸، ۲۰۰۷، ۲۰۱۳ (۲)، ۲۰۱۲ (۳)، ۲۰۱۱ (۳)
H02J3/24	تنظیم مدار برای شبکه AC اصلی و توزیع جهت جلوگیری یا کاهش نوسان توان در شبکه	۱	۲۰۱۴
H02J3/38	تنظیم مدار برای شبکه AC اصلی و توزیع به منظور تغذیه موازی یک تک شبکه به وسیله دو (یا تعداد بیشتری) ژنراتور، مبدل یا ترانسفورماتور	۱	۲۰۱۴
H02J13/00	هماهنگی به منظور فراهم کردن کنترل از راه دور برای کلیدزنی در شبکه توزیع	۱	۲۰۰۸
H02H7/00	هماهنگی حفاظت فوری مدار، مخصوصاً برای انواع بخصوص ماشین های الکتریکی و ...	۱	۲۰۱۳
H01F27/28	جزئیات ترانسفورماتورها و راکتورها (به صورت عمومی) در زمینه هسته ها، سیم پیچ رسانایی اتصالات.	۱	۲۰۰۷
H01G9/004	جزئیات مربوط به خازن های الکتrolیت، یکسوسازها، سنسورها، المان های کلیدزنی، المان های حساس به دما یا نور، فرآیند ساخت.	۱	۲۰۰۸
H01G9/008	پایانه های مربوط به خازن های الکتrolیت، یکسوسازها، سنسورها، المان های کلیدزنی، المان های حساس به دما یا نور، فرآیند ساخت.	۱	۲۰۰۸
H01G9/26	ترکیبات ساختاری مربوط به خازن های الکتrolیت، یکسوسازها، سنسورها، المان های کلیدزنی، المان های حساس به دما یا نور، فرآیند ساخت.	۱	۲۰۰۸
H02M5/44	تبدیل توان AC به AC (به منظور تغییر ولتاژ، فرکانس و یا تعداد فاز) با تبدیل میانی DC توسط مبدل های استاتیک با استفاده از تیوب های دشارژ با المان های نیمه هادی برای تبدیل ولتاژ DC متوسط به AC	۱	۲۰۱۴
G01R19/00	تنظیم برای اندازه گیری جریان یا ولتاژ یا برای نشان دادن وجود یا علامت آن ها	۱	۲۰۱۱
G01R19/06	اندازه گیری مؤلفه های اکتیو و راکتیو	۱	۲۰۱۱

نمودارهای تجمعی مقالات ژورنالی و کنفرانسی چاپ شده در زمینه D-Statcom نیز به ترتیب در شکل ۸-۳۳ و شکل ۸-۳۴ نشان داده شده‌اند. روند چاپ مقالات D-Statcom از سال ۲۰۰۲ آغاز شده و در سال میلادی گذشته (۲۰۱۴) بیشترین تعداد مقالات در این زمینه به چاپ رسیده است که اکثر این مقالات مربوط به نحوه کنترل و ملزومات ساخت D-Statcom می‌باشند.

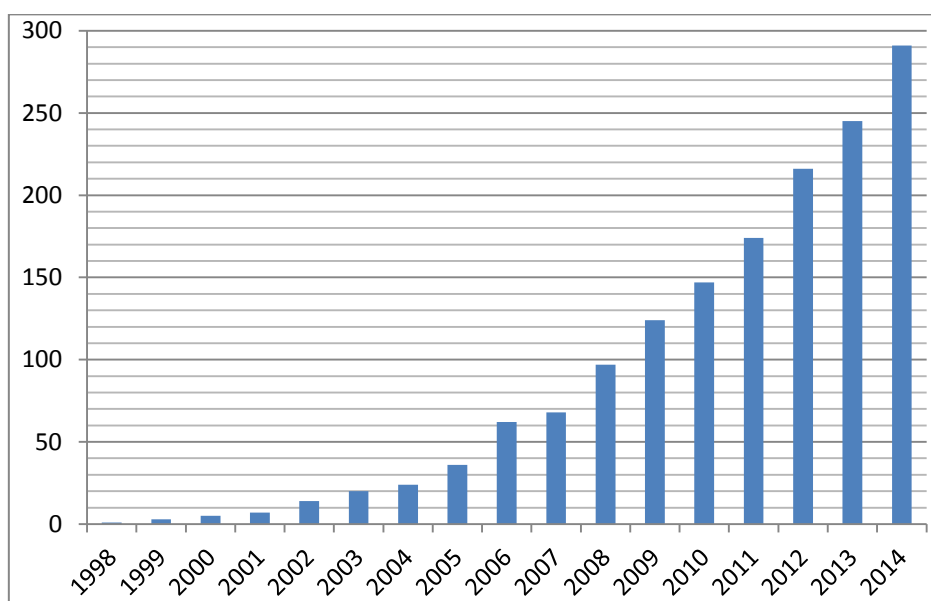
جدول ۸-۷: کد CPC اختراعات

سال اختراع ثبت شده	تعداد اختراع ثبت شده	توضیحات	نام کد
۲۰۰۸	۱	تجهیزات SVC شامل TCR و TSC در فناوری‌های مربوط به تولید، انتقال و توزیع توان الکتریکی مؤثر	Y02E40/12
۲۰۱۱، ۲۰۱۲، (۲)۲۰۱۳، ۲۰۱۰، (۲)۲۰۰۸	۷	جبران‌سازی توان راکتیو در فناوری‌های مربوط به تولید، انتقال و توزیع توان الکتریکی مؤثر.	Y02E40/30
۲۰۰۸	۱	سیستم‌های ماینیتورینگ، کنترل و عملکرد FACTS	Y02E40/74
۲۰۱۲، (۲)۲۰۱۳، ۲۰۱۴، ۲۰۰۷، (۲)۲۰۰۸، ۲۰۰۹	۸	Statcom در فناوری‌های مربوط به تولید، انتقال و توزیع توان الکتریکی مؤثر	Y02E40/16
۲۰۱۲	۱	استفاده از مبدل‌های چند سطحی یا چند سلولی در فناوری‌های مربوط به تولید، انتقال و توزیع توان الکتریکی مؤثر	Y02E40/26
۲۰۱۳	۱	تنظیم کاهش هارمونیک در فناوری‌های مربوط به تولید، انتقال و توزیع توان الکتریکی مؤثر	Y02E40/40
۲۰۱۳	۱	فیلترهای توان اکتیو نامشخص یا تغذیه شده با ولتاژ	Y02E40/22
۲۰۰۹	۱	تنظیم ولتاژ در فناوری‌های مربوط به تولید، انتقال و توزیع توان الکتریکی مؤثر	Y02E40/34



شکل ۸-۳۳ نمودار تجمعی مقالات ژورنال چاپ شده در زمینه D-Statcom

طبق شکل ۸-۳۴ و برخلاف مقالات ژورنال، روند چاپ مقالات کنفرانسی در زمینه D-Statcom از سال ۱۹۹۸ آغاز شده و از سال ۲۰۰۷ سرعت بیشتری پیدا کرده است. همان طور که در قبلاً هم گفته شد، از آنجایی که هدف از ارائه مقالات کنفرانس معرفی زمینه‌های تحقیقاتی دانشگاه‌ها و مؤسسات می‌باشد، بنا بر نمودار شکل ۸-۳۴ می‌توان نتیجه گرفت که موضوع D-Statcom هنوز هم از موضوعات مورد توجه محافل عملی می‌باشد.



شکل ۸-۳۴ نمودار تجمعی مقالات کنفرانسی چاپ شده در زمینه D-Statcom



فصل نهم

تجهيز TSC

## ۹- فصل نهم تجهیز TSC

### ۹-۱- مقدمه

اکثر بارهای صنعتی مانند موتورها، ترانسفورماتورهای قدرت و جرثقیل‌ها توان اکتیو و راکتیو جذب می‌کنند. توان راکتیو، توانی است که در بازه‌ای از سیکل جذب بار شده و در بازه‌ای دیگر به شبکه باز می‌گردد. بنابراین میانگین این توان صفر است اما این توان سبب افزایش جریان مصرفی می‌شود که به نوبه خود باعث افزایش تلفات و افزایش ابعاد برق در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع می‌شود. مصرف توان راکتیو را می‌توان با استفاده از خازن‌ها جبران کرد. در چنین جبران‌سازهایی، تنظیم‌کننده ضریب توان، توان راکتیو را اندازه‌گیری کرده و با قطع و وصل کردن پله‌ای بانک‌های خازنی، ضریب توان را نزدیک به یک نگه می‌دارند [۱۹۲]. جبران‌سازهای خازنی به‌طور کلی سه نوع هستند:

- خازن‌های ثابت
- خازن‌های متغیر
- خازن‌های سوئیچ شونده با کلید مکانیکی
- خازن‌های سوئیچ شونده با تریستور (کلید استاتیکی)

استفاده از بانک‌های خازنی ثابت در مواردی که مصرف توان راکتیو ثابت و یا دارای تغییرات کمی باشد، زیرا زمانی که مصرف توان راکتیو کاهش یابد، تزریق بیش‌ازحد توان راکتیو توسط خازن سبب بدتر شدن ضریب توان خواهد شد، همچنین در کم باری موجب بروز اضافه ولتاژ در شبکه می‌شود، بنابراین استفاده از بانک خازنی ثابت در همه شرایط مناسب نخواهد بود. برای غلبه بر این مشکل از بانک‌های خازنی متغیر استفاده می‌شود که مقدار آن‌ها با کلیدزنی تغییر می‌کند. در چنین جبران‌سازهایی، تنظیم‌کننده ضریب توان، توان راکتیو را اندازه‌گیری کرده و با قطع و وصل کردن پله‌ای بانک‌های خازنی، ضریب توان را نزدیک به یک نگه می‌دارند. این عمل را می‌توان توسط یک خازن سوئیچ شونده مکانیکی (MSC) یا تریستوری (TSC) انجام داد.

MSCها راهحلی ساده و کند برای کنترل ولتاژ و پایداری شبکه در شرایط پرباری هستند. استفاده از این تجهیزات تقریباً تأثیری در سطح اتصال کوتاه نداشته اما ولتاژ نقطه اتصال را افزایش می‌دهد؛ اما در صنایعی با تغییرات بار زیاد و سریع، ضریب توان را نمی‌توان با پله‌های خازن که توسط کنتاکتورهای الکترومکانیکی کنترل می‌شوند، تصحیح کرد. در این موارد، سیستم سنتی به اندازه کافی سریع نیست تا بتواند توان راکتیو درخواستی از جانب بار را دنبال کند. بنابراین استفاده از بانک‌های خازنی که توسط کلیدهای استاتیک کنترل می‌شوند به شدت مورد نیاز است. جبران‌سازی سریع‌تر سیستم‌ها منجر به افزایش متوسط ضریب توان می‌شود که در کل باعث صرفه‌جویی بهتر در مصرف انرژی می‌شود.

زمان پاسخ‌دهی TSC بسیار اندک در حدود یک یا نصف سیکل است. این زمان به دلیل تأخیر در سیستم اندازه‌گیری یا کنترل ممکن است افزایش یابد. TSCها برخلاف خازن‌های سوئیچ شونده مکانیکی تقریباً به صورت نامحدود عملکرد کلیدزنی را انجام می‌دهند.

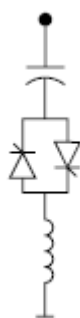
از مزایای استفاده از TSC می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- هر خازن زمانی وصل می‌شود که ولتاژ دوسر کلید صفر است، به همین دلیل حالت گذاری کلیدزنی در هنگام روشن شدن به وجود نمی‌آید. این موضوع سبب جلوگیری از بریدگی ولتاژ و سایر اغتشاشاتی می‌شود که موجب بروز اختلال در سایر تجهیزات متصل به همان باس می‌شوند.
- خازن در جریان صفر قطع می‌شود بنابراین حالت گذرای کلیدزنی در خاموش شدن نیز به وجود نمی‌آید.
- پاسخ سریع TSC موجب پاسخ سریع به تقاضای توان راکتیو شده و TSC را برای جبران‌سازی ضریب توان بارهایی مانند ماشین‌های لحیم‌کاری، جرثقیل‌ها، بالابرها، ابزارهای قوس الکتریکی و سایر ماشین‌هایی با تغییرات متناوب بار مناسب می‌سازد.
- به دلیل حذف حالت‌های گذرا و عدم حضور بخش‌های متحرک مکانیکی، طول عمر مورد انتظار TSC به مقدار قابل توجهی نسبت به خازن سوئیچ شونده مکانیکی افزایش یافته است.
- بهبود سطح ولتاژ در بارهای سنگین. این امر سبب افزایش حداکثر توان قابل انتقال، تنظیم پروفیل ولتاژ و جلوگیری از ناپایداری ولتاژ در شبکه می‌شود.
- بازه کنترل دینامیک در TSC زیاد و در MSC کم است.

- اغتشاشات هارمونیکی در TSC کم و در MSC زیاد است.
- دستیابی به نتایج مناسب در جبران سازی توان راکتیو با لوازم ارزان تر
- کنترل پله ای
- میانگین تأخیر نصف سیکل، بدون تولید هارمونیک

یک TSC شامل دو تریستور است که به صورت موازی معکوس به هم متصل و با خازن سری شده اند. بعلاوه از یک اندوکتانس و مقاومت کوچک نیز در این تجهیز استفاده شده است. این اندوکتانس برای جلوگیری از جریان های هجومی ناشی از کلیدزنی ناخواسته (خطا در کلیدزنی) تعبیه شده است. در کاربردهای سه فاز، المان های TSC به صورت مثلث به هم متصل می شوند.

یک TSC پایه تک فاز در شکل ۹-۱ نمایش داده شده است که شامل دو سوئیچ تریستوری است که به صورت موازی معکوس به هم متصل شده اند. این ولو به عنوان کلید دوطرفه به صورت سری با خازن و راکتور کوچک محدودکننده جریان عمل می کند. کلید تریستوری در طول عدد صحیحی از نیم سیکل ها هدایت می کند. برخلاف TCR ها، خازن TSC کنترل شده با فاز، نیست. زمانی که ولتاژ اندازه گیری شده در دو سر ولو تریستوری حداقل می شود، بلافاصله تریستورها روشن می شوند تا حالت گذرای کلیدزنی حداقل شود. به جز بهبود حالت گذرای کلیدزنی، جریان TSC سینوسی و بدون هارمونیک است که نیاز به فیلتر را برطرف می کند.

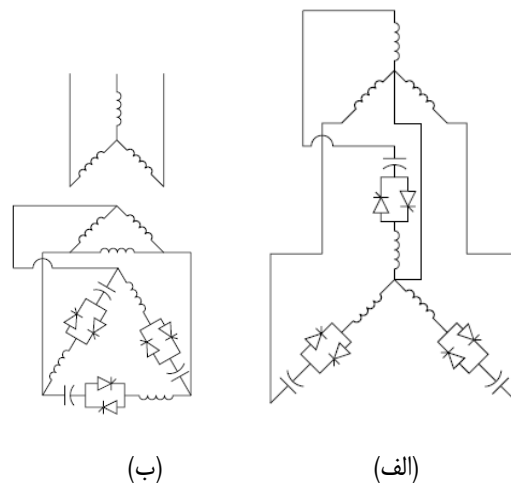


شکل ۹-۱ شماتیک یک TSC تک فاز [۱۹۲]

نصب راکتور کوچک به صورت سری به دلیل محدودسازی جریان گذرا در شرایط افزایش ولتاژ به مقدار بیش از حد مجاز و همچنین هنگام کلیدزنی در لحظه اشتباه و پلاریته نامناسب ولتاژ است. مقدار اندوکتانس این راکتور طوری انتخاب می شود تا

فرکانس طبیعی تشدید آن با خازن، چهار تا پنج برابر فرکانس نامی سیستم باشد تا این اطمینان حاصل شود که این اندوکتانس نه رزونانس ایجاد خواهد کرد و نه مانع از عملکرد مناسب سیستم کنترلی TSC خواهد شد. در برخی موارد، مدار دشارژ برای خازن تعبیه می‌شود تا شارژ باقیمانده آن را پس از قطع کلید به سرعت تخلیه کند.

یک واحد TSC سه فاز شامل سه TSC تک فاز که به صورت مثلث به هم متصل شده‌اند در شکل ۹-۲-الف نشان داده شده است. این واحد معمولاً توسط سیم‌پیچ مثلث ثانویه ترانسفورماتور کاهنده تغذیه می‌شود. ساختار TSC سه فاز چهار سیمه با اتصال ستاره نیز در شکل ۹-۲-ب نشان داده شده است.



شکل ۹-۲ TSC سه فاز (الف) اتصال سه TSC تک فاز به صورت مثلث (ب) اتصال سه TSC تک فاز به صورت مثلث

[۱۹۲]

یک جبران‌ساز TSC عملی شامل  $n$  بانک TSC سه فاز با سطح توان و ولتاژ برابر است که به صورت موازی به هم متصل می‌شوند. سوسپتانس کلی TSCها در هر لحظه برابر است با مجموع TSCهایی که در حال هدایت هستند. در برخی موارد، سطوح بخش‌های مختلف پله‌های TSC، بر پایه اعداد باینری انتخاب می‌شوند. در این حالت،  $n-1$  خازن با سوسپتانس  $B$  و یک خازن با سوسپتانس  $B/2$  انتخاب می‌شوند. بنابراین تعداد کل پله‌های ممکن TSC به  $2n$  افزایش می‌یابد.

## ۹-۲- مزایای TSC

مزایای تجهیز TSC را می‌توان بصورت زیر برشمرد [۷۵]:

- هر خازن زمانی وصل می‌شود که ولتاژ دوسر کلید صفر است، به همین دلیل حالت گذاری کلیدزنی در هنگام روشن شدن به وجود نمی‌آید. این موضوع سبب جلوگیری از شکاف ولتاژ و سایر اغتشاشاتی می‌شود که موجب بروز اختلال در سایر تجهیزات متصل به آن باس می‌شوند.
- خازن در جریان صفر قطع می‌شود بنابراین حالت گذرای کلیدزنی در خاموش شدن نیز به وجود نمی‌آید.
- پاسخ سریع TSC موجب پاسخ سریع به تقاضای توان راکتیو شده و TSC را برای جبران‌سازی ضریب توان بارهایی مانند ماشین‌های لحیم‌کاری، جرثقیل‌ها، بالابرها، ابزارهای قوس الکتریکی و سایر ماشین‌هایی با تغییرات متناوب بار مناسب می‌سازد.
- به دلیل حذف حالت‌های گذرا و عدم حضور بخش‌های متحرک مکانیکی، طول عمر مورد انتظار TSC به مقدار قابل توجهی نسبت به خازن سوئیچ شونده مکانیکی افزایش یافته است.

## ۹-۳- مقایسه TSC و MSC

زمان پاسخ‌دهی TSC بسیار اندک در حدود یک یا نصف سیکل است. این زمان به دلیل تأخیر در سیستم اندازه‌گیری یا کنترل ممکن است افزایش یابد. TSCها برخلاف خازن‌های سوئیچ شونده مکانیکی تقریباً به صورت نامحدود عملکرد کلیدزنی را انجام می‌دهند.

در صنایعی با تغییرات بار زیاد و سریع، ضریب توان را نمی‌توان با پله‌های خازن که توسط کنتاکتورهای الکترومکانیکی کنترل می‌شوند، تصحیح کرد. در این موارد، سیستم سنتی به اندازه کافی سریع نیست تا بتواند توان راکتیو درخواستی از جانب بار را دنبال کند. بنابراین استفاده از بانک‌های خازنی که توسط کلیدهای استاتیک کنترل می‌شوند به شدت مورد نیاز است. جبران‌سازی سریع‌تر سیستم‌ها منجر به افزایش متوسط ضریب توان می‌شود که در کل باعث صرفه‌جویی بهتر در مصرف انرژی می‌شود.

## ۹-۴- معرفی شرکتهای تولیدکننده و محصولات آنها

### ۹-۴-۱ شرکت ABB

بانک خازنی ولتاژ پایین Dynacomp

این محصول برای جبران سازی بسیار سریع و بدون حالت گذرای ناشی از تغییرات سریع بار و یا تعداد زیاد بارهای متصل به باس فشار ضعیف مورد استفاده قرار می گیرد. از مزایای این محصول می توان به جبران سازی بدون حالت گذرا و حداقل سازی شیب ولتاژ اشاره نمود. مقادیر بزرگی از خازن ها به صورت پله ای توسط Dynacomp، می توانند بسیار سریع به شبکه متصل شوند. با استفاده از ترانسفورماتور افزایشنده، این محصول می تواند به صورت جبران ساز خازنی در ولتاژ متوسط نیز مورد استفاده قرار گیرد [۱۹۳].

#### کاربردها:

این TSC در هر جایی که نیاز به زمان پاسخ کوتاه، تعداد عملکردهای بسیار زیاد، کلیدزنی بدون حالت گذرا یا مقدار زیادی توان راکتیو، باشد، می تواند مورد استفاده قرار گیرد؛ مانند:

- ماشین های جوشکاری نقطه ای
- کارخانه های نورد و پرس کننده های بزرگ با کلیدزنی سریع
- جرثقیل ها، بالابر ها
- مخلوط کننده های لاستیک
- ماشین های حفاری تونل

مشخصات این محصول در جدول ۹-۱ آورده شده است.

جدول ۹-۱: مشخصات TSC مدل Dynacomp از شرکت ABB

سه فاز ۵۰ هرتز: ۴۰۰/۳۸۰-۴۱۵-۵۲۵-۶۰۰-۶۹۰/۶۶۰ ولت سه فاز ۶۰ هرتز: ۳۸۰-۴۸۰-۶۰۰-۶۹۰/۶۶۰ ولت تک فاز ۵۰ هرتز: ۴۰۰/۳۸۰-۴۱۵-۶۰۰-۶۹۰/۶۶۰ ولت تک فاز ۶۰ هرتز: ۳۸۰-۴۸۰-۶۰۰-۶۹۰/۶۶۰ ولت	سطوح ولتاژ
از ۱۵۰ تا ۴۰۰ کیلووات در یک تابلو. تابلوهای اصلی (Master) و پیرو (Slave) را می توان تا توان ۱۲٫۸ مگاوات باهم ترکیب کرد.	سطوح توان و طراحی ماژولار
۵۰-۱۰۰-۲۰۰ و ۴۰۰ کیلووات	اندازه پله ها
۳۲ (کنترل CAN) - ۱۲ (ایزولاسیون نوری)	حداکثر تعداد پله ها
۱ تا ۴ در هر تابلو	خروجی فیزیکی
تکنولوژی CLMD <sup>۱</sup> . از نوع خشک و خود ترمیمی. مدل: IEC-80631-1&2	خازن
۷٪ برای سیستم سه فاز ۱۴٪ برای سیستم تک فاز	راکتور منحرف کننده
±۱۰٪ در ولتاژ ±۵٪ در فرکانس	محدوده قابل قبول
یک CT مورد نیاز است (از کلاس ۱ یا بهتر) با جریان ۱ یا ۵ آمپر در ثانویه	CT مورد نیاز
استفاده از Modbus RTU	ارتباطات
استفاده از کنترل کننده RVT-D	برنامه ریزی
در حالت حلقه بسته: کمتر از ۳ سیکل. در حالت حلقه باز: کمتر از یک سیکل. در حالت راه انداز خارجی: بلافاصله.	زمان پاسخ
RAL 7035	رنگ
IP21	سطح حفاظت
از بالا (ورودی کابل از کف، اختیاری)	ورودی کابل
۱۰- تا ۴۰ درجه سانتی گراد	دمای محیط
ایستاده در کف	نصب
نصب در فضای داخلی با محیط تمیز تا ارتفاع ۱۰۰۰ متر	محیط
حداکثر ۹۵ درصد بدون شبنم زدگی	رطوبت
- مدار شکن اصلی	ویژگی های ممکن



- پروب های دما	- برق گیر
- حفاظت IP43	- مبدل RS485
- راکتور پشتیبان <sup>۱</sup>	- ۵,۶۷٪ راکتور منحرف کننده <sup>۲</sup>
- نصب راکتور مخصوص	- باس بارهای قلع اندود شده
- میراسازها	
- ورودی کابل تابلو با باس بار (ورودی کابل از کف)	

## ۹-۴-۲ شرکت ALSTOM

### تجهیز TSC مدل DT [۱۹۴]

کاربرد: استفاده جهت اصلاح ضریب توان در مواردی که بارها به شدت تغییر می کنند، مانند جرثقیل های بارانداز و بالابرها.

مشخصات این محصول در جدول ۹-۲ آورده شده است.

#### جدول ۹-۲: مشخصات TSC شرکت ALSTOM مدل DT

مشخصات تکنیکی محصول	
سطح ولتاژ	۴۰۰ تا ۶۹۰ ولت
سطح فرکانس	۵۰ یا ۶۰ هرترتز
سطح توان	۵۰ تا ۴۵۰ کیلووار
تعداد پله ها	۲ تا ۱۲
تنظیم فرکانس	۷٪ یا ۱۲,۶٪
سطح عایقی	۲,۵ کیلوولت
اضافه ولتاژ پیوسته	۱,۱ پریونیت
ابعاد هارمونیک	بر اساس IEC 1000-2-2
نصب	فضای داخلی
محدوده کلاس IP	IP20C
کلاس دمایی:	۰ تا ۴۰ درجه سانتی گراد
متوسط ۲۴ ساعته:	۳۵ درجه سانتی گراد

۱) زمانیکه هارمونیک ولتاژ از ۸٪ بیشتر یا طیف هارمونیک با مشخصات تکنیکی همخوانی نداشته باشد از این راکتو برای کاهش هارمونیک استفاده می شود.

۲) این راکتور جهت جلوگیری از وقوع رزونانس ناشی از اضافه کردن "راکتور پشتیبان" به سیستم اضافه می شود.

مشخصات تکنیکی محصول	
متوسط یکساله:	۲۵ درجه سانتی‌گراد
ابعاد (عرض*طول*ارتفاع)	۱۰۰۰*۶۰۰*۲۰۰۰ میلی‌متر ۱۲۰۰*۶۰۰*۲۰۰۰ میلی‌متر
وزن	۲۵۰ تا ۷۰۰ کیلوگرم
رنگ	RAL7032 (خاکستری روشن)
استانداردها	IEC 60831-1&2, EN 60439-1

### ۹-۴-۳ شرکت Jiangu West Rectifier Co. Ltd.

تجهیز TSC ساخت این شرکت شامل سیستم کنترل، تریتور، خازن‌ها و راکتورها می‌باشد. جهت تحقق کنترل پله‌ای توان راکتیو، بانک‌های خازنی به چندین واحد تقسیم شده‌اند. دقت تنظیم توان راکتیو در این محصول به تعداد واحدهای چندگانه خازن‌ها بستگی دارد. نحوه اتصال TSC به صورت مثلث بوده اما برای جبران‌سازی بهینه توان راکتیو و فیلتر هارمونیک‌ها، ظرفیت و ساختار شاخه‌های TSC باید براساس تغییرات توان راکتیو و مؤلفه‌های هارمونیک بار غیرخطی تعیین شوند [۱۹۵] و [۱۹۶].

#### ویژگی‌های محصول:

بر پایه تکنولوژی کنترل DSP و تئوری کنترل توان لحظه‌ای، این محصول به دلیل کلیدزنی با سرعت بالا می‌تواند اغتشاشات منابع ولتاژ شبکه توزیع را جبران کرده و ضریب توان را اصلاح و هارمونیک‌های جریان بارهای متصل به شبکه را حذف کند.

کلیدهای تریتوری با قابلیت کلیدزنی در عبور از صفر، دارای عملکرد بدون نویز بوده و عملاً قادر به کلیدزنی بدون حالت گذرا هستند. بنابراین بسیار مطمئن‌تر از بانک‌های خازنی سوئیچ شونده مکانیکی عمل می‌کنند.



شکل ۹-۳: نمونه TSC شرکت Jiangsu West Rectifier

شکل ۹-۳ این محصول را نشان می‌دهد که برخی از مشخصات آن عبارت است از:

- مناسب برای نیازمندی‌های شبکه قدرت ۴۰۰ تا ۷۰۰ ولت.
- نحوه اتصال خازن‌ها: ستاره یا مثلث.
- تغییرات ولتاژ کمتر از ۱۰٪.
- قیمت از تاریخ ۳ ژوئن ۲۰۱۳ تا ۳ سپتامبر ۲۰۱۳: ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ دلار آمریکا به ازای هر دستگاه.

#### ۹-۴-۴ شرکت Zhuhai Wanlida Electrical Automation Co. Ltd.

این شرکت چینی در سال ۱۹۹۱ تأسیس شده و حجم معاملات این شرکت در سال بیش از ۱۰۰ میلیون دلار آمریکا می‌باشد. در بخش مطالعات و توسعه این شرکت حدوداً ۵۰ نفر مشغول به کار بوده و سالانه ۵۰ تا ۱۰۰ میلیون دلار از فروش محصولات عاید این شرکت می‌شود [۱۹۷].

از تولیدات اصلی این شرکت می‌توان به درایو فرکانس متغیر در سطح ولتاژ متوسط، راه‌انداز نرم در ولتاژ متوسط، درایو AC و جبران‌سازهای استاتیک اشاره نمود.



شکل ۹-۴: نمونه تولیدات شرکت Zhuhai Wanlida Electrical Automation

شکل ۹-۴ محصول این شرکت را نشان می‌دهد. این TSC برای جبران‌سازی توان راکتیو، به صورت گسترده در صنعت متالورژی، معدن، صنعت پتروشیمی، ساخت‌وساز، ماشین‌کاری و موتورهای بکار می‌رود. مشخصات محصول در جدول ۹-۳ آورده شده است.

جدول ۹-۳: مشخصات TSC شرکت Wanlida

اطلاعات تکنیکی	
سطح ولتاژ	۲۲۰ تا ۱۱۴۰ ولت AC
ولتاژ کاری	۰٫۸ تا ۱٫۱ پریونیت
فرکانس نامی	۵۰ یا ۶۰ هرتز (اختیاری)
نوع سیم‌پیچی	مثلث یا ستاره (اختیاری)
حالت کلیدزنی	سیکل/توالی / ترکیب کد شده (اختیاری)
زمان پاسخ	کمتر از ۲۰ میلی‌ثانیه
حداکثر جریان مجاز	۱٫۳ برابر جریان نامی
پله‌های کنترلی	۱ تا ۱۲، یا ۱ تا ۱۶ (اختیاری)
حالت عملکرد چند واحد	موازی
تلفات توان	کمتر از ۰٫۵٪
حالت‌های ارتباطی	232/CAN/GPRS /Modbus/RS485 و غیره (اختیاری)
IP	IP40 (سفارشی)
حالت خنک‌کنندگی	با هوا
ورودی	بالا، پایین یا باس بار (اختیاری)

اطلاعات تکنیکی	
ارتفاع محل نصب	کمتر از ۱۵۰۰ متر
دمای محیط	۲۰- تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد
رطوبت	کمتر از ۹۵٪
محیط کارکرد	بدون شبنم‌زدگی، بدون گازهای سمی، بدون گردوخاک فلزی و بدون مواد قابل انفجار یا اشتعال.
نیازمندی‌های نصب	بدون لرزش، شیب کمتر از ۵ درجه
مشخصات کلیدزنی	کلیدزنی عبور از صفر جریان
نمایش هارمونیک	اندازه‌گیری و نمایش هارمونیک‌های دوم تا ۲۵ام.
حفاظت توالی فاز	خطای فاز و تلفات فاز
حفاظت تریستور	حفاظت افزایش دما و خود بازیابی
نمایشگر LCD	نمایش بلادرنگ ولتاژ و جریان
حفاظت فوری	کلید قطع فوری
حالت جبران‌سازی	جبران‌سازی سه فاز، جبران‌سازی خروج فاز
حالت حفاظتی	اضافه جریان، اضافه ولتاژ، اتصال کوتاه، شکست سریع

## ۹-۴-۵ شرکت Frako: TSC مدل LSFC-P-E

شرکت آلمانی Frako، یکی از شرکت‌های پیشرو در زمینه تولید جبران‌سازهای توان راکتیو، بهبوددهنده کیفیت توان و مدیریت انرژی می‌باشد که در سال ۱۹۲۸ تأسیس شده است. یکی از محصولات این شرکت جبران‌ساز توان راکتیو مدل LSFC-P-E است [۱۹۰].

این محصول اصلاح‌کننده ضریب توان دینامیک با کلیدزنی بخش‌های خازنی در ولتاژ و جریان صفر عمل می‌کند. این قابلیت سبب حذف اغتشاشات در شبکه می‌شود. سیستم‌های سری LSFC-E در شبکه توزیع، دارای رله کنترل 2012 RM با عملکرد سریع و/یا واحد اصلاح‌کننده ضریب توان دینامیک مدل SBS بوده و در شرایط زیر کاربرد دارند:

- در شبکه‌ای که ظرفیت اتصال کوتاه در محل اختلالات در هنگام اتصال مصرف‌کننده‌های بزرگ به شبکه اندک باشد.
- جایی که سیستم اصلاح‌کننده ضریب توان با عملکرد سریع و سیکل‌های کلیدزنی زیاد موردنیاز باشد.

• جایی که اصلاح ضریب توان تنها برای چند سیکل از فرکانس منبع در یک زمان نیاز باشد.

مشخصات تکنیکی این محصول در جدول ۹-۴ آورده شده است.

**جدول ۹-۴: مشخصات تکنیکی محصول LSFC-P-E از شرکت Frako**

مشخصه	مقادیر
ولتاژ نامی	۴۰۰ ولت
فرکانس نامی	۵۰ هرتز
ولتاژ نامی خازن	۴۴۰ ولت - ۵۰ هرتز (*)(P8, -P7), ۴۸۰ ولت / ۵۰ هرتز (P1)
سطح توان	۱۰۰ تا ۳۰۰ کیلووات
ظرفیت جریان خازن‌ها	به صورت دائمی: حداقل دو برابر جریان نامی در ۴۰۰ ولت - ۵۰ هرتز به صورت پیک لحظه‌ای: ۳۰۰ برابر جریان نامی
تلفات نامی خازن‌ها	هسته خازن: ۰,۲ وات بر کیلووات ترمینال اتصال خازن: ۰,۵ وات بر کیلووات راکتورهای فیلتر هارمونیک: حداکثر ۶ وات بر کیلووات کلیدهای تریستوری: ۱,۶ وات بر کیلووات
دشارژ	با مقاومت‌های تخلیه مدل VDE 0560
حفاظت ورودی	IP 30 بر اساس DIN VDE 0660
دمای محیط	۵- تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد برای DIN VDE 0660
رطوبت نسبی	حداکثر ۹۰٪ بدون شبنم‌زدگی
رنگ	RL 7035

(\*): ضرایب Detuning موجود: P1 (۱۴٪)، P7 (۷٪)، P8 (۸٪)

**۹-۴-۶ شرکت Claritas Power System Solution (p) Ltd.**

این شرکت هندی زیر نظر شرکت Frako آلمان فعالیت می‌کند. این شرکت حدود یک دهه پیش تأسیس شده و هم‌اکنون

به بسیاری از کشورهای جنوب شرقی آسیا، خاورمیانه، آفریقا و حتی ایران صادرات انجام می‌دهد. [۷۰]

یکی از محصولات این شرکت بانک خازنی سوئیچ شونده با تریستور با مشخصات زیر است:

• ولتاژ نامی: ۴۴۰ تا ۵۲۵ ولت، یا ۸۵۰ ولت.

- تنظیم فیلتر بر اساس حذف هارمونیک‌های ۱۵م، ۱۷م، ۱۱م و ۱۳م.

- KVAR نامی: ۵۰ تا ۲۵۰۰ KVAR

- نوع عملکرد: خودکار

از مزایای این محصول می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- کلیدزنی خازن، دقیقاً در جریان صفر که منجر به عدم حضور حالت گذرا می‌شود.

- عدم تولید هارمونیک و ضربه‌های ولتاژ و جریان.

- تصحیح ضریب توان به صورت لحظه‌ای.

- زمان پاسخ کمتر از ۲۰ میلی‌ثانیه

- و ...

## ۹-۴-۷ شرکت S&C: مدل PureWave AVC

جبران‌ساز جریان راکتیو و تصحیح‌کننده کیفیت توان برای بارهای دینامیکی متغیر با ظرفیت ۳۸۰ تا ۳۵ کیلوولت، ۵۰۰ کیلو

تا ۲۵ مگاوار [۱۹۸].

PureWave AVC که با میکروپروسور کنترل می‌شود از کلیدهای الکترونیک قدرت بهره می‌برد تا تعداد مناسبی از

خازن‌های قدرت را به مدار تزریق کند. این محصول برای جبران‌سازی توان راکتیو بارهای سنگین تجاری و صنعتی بسیار

مناسب است.

با نصب این محصول با ظرفیت ۲۴۰۰ کیلووار در فیدر یک بارانداز که هفت جرثقیل بزرگ را تغذیه می‌کند، ضریب توان از

۴۰٪ به ۹۸٫۵٪ افزایش یافته و سالانه ۲۲۰٫۰۰۰ دلار در هزینه‌ها صرفه‌جویی می‌شود.



شکل ۹-۵: جبران ساز جریان راکتیو و تصحیح کننده کیفیت توان PureWave AVC

## ۸-۴-۹ شرکت Shandong Hoteam

ویژگی های محصول: [۱۹۹]

- توان راکتیو می تواند در کل بازه ظرفیت دستگاه به صورت پیوسته تنظیم شود.
- ضریب توان می تواند همواره ۱ باشد (در مواردی که ظرفیت جبران سازی کل کافی باشد).



شکل ۹-۶: نمونه محصول شرکت Shandong Hoteam



- تولیدکننده توان راکتیو<sup>۱</sup> (SVG) می تواند توان راکتیو را به صورت دوطرفه مبادله کند.
- ظرفیت مازاد شاخه تولیدکننده توان راکتیو می تواند فیلتر اکتیو را تقویت کند.
- TSC هیچ گونه حالت گذرای کلیدزنی ایجاد نکرده و هنگام وصل شدن جریان هجومی نخواهد داشت.
- تولیدکننده توان راکتیو با بهره گیری از تکنولوژی دوگانی اینورتر می تواند ریپل جریان را کاهش دهد.
- زمان پاسخ دینامیکی کمتر از ۲۰ میلی ثانیه است.
- ترستورها از تکنولوژی ایزولاسیون نوری استفاده می کنند. همچنین؛ ایمن، مطمئن و دارای قابلیت ضد تداخل می باشد.
- طراحی گرمایی مقاوم، عملکرد مطمئن و ایمن سیستم را تضمین می کند.
- استفاده از چند سخت افزار و نرم افزار ضد تداخل. قابلیت ضد اختلال بالا و عملکرد مطمئن.
- دارای دستورالعمل ایمنی خودی، حفاظت اضافه ولتاژ، حفاظت اضافه جریان و سایر دستورالعمل های سخت افزاری، تضمین عملکرد پایدار و مطمئن نیازمندی ها.
- سیستم اندازه گیری خودکار ولتاژ، جریان، توان اکتیو، ضریب توان سیستم قبل و بعد از جبران سازی.
- تنظیم کنترل و پارامترها به صورت دیجیتال، استفاده از نمایشگر ۷ اینچی لمسی، دارای دستورالعمل نمایش شکل موج، نمایش و حتی ثبت مقدار هارمونیک.
- دارای پورت RS485، استاندارد پروتکل ارتباطی MODBUS، کامپیوتر نمایشگر از راه دور.

## ۹-۵- پروژه های انجام شده

### ۹-۵-۱ شرکت S&C: کارخانه تست قطعات نیمه هادی قدرت

یک شرکت تولیدکننده دستگاه های ژنراتور، کلیدهای انتقال (Transfer Switch) را مطابق استاندارد UL 1008 با دقت تست می کند. ولتاژ و جریان نامی کلیدها به ترتیب ۶۰۰ ولت و ۱۰۰۰ آمپر است که برای تست جریان ۶۰۰۰ آمپر با ضریب

توان ۴۰٪ از آن‌ها عبور داده می‌شود. طبق استاندارد IUL، زمان وظیفه معادل است با بیست سیکل جریان متناوب و سپس یک دقیقه جریان صفر و این عمل پنجاه بار برای تست اضافه‌بار و ۶۰۰۰ بار برای تست استقامت انجام می‌شود. این آزمودن‌ها سبب ایجاد افت ۱۷٪ ولتاژ در ۲۶ میلی‌ثانیه در فیدر می‌شوند که متعاقباً فیدرهای مجاور را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱۸۷].

به دلیل اینکه این بار طبیعت دینامیکی دارد، برای حل مشکلات ذکر شده از TSC استفاده شده است. محصول PureWave AVC از شرکت S&C برای این کاربرد انتخاب شده است (شکل ۹-۷). این محصول در اتاق برق تجهیزات تولیدکننده و در محل ورود فیدر به ساختمان نصب شده‌اند.



شکل ۹-۷: محصول PureWave AVC از شرکت S&C

این محصول در اواخر سال ۲۰۰۲ با ظرفیت ۶۰۰۰ کیلووات نصب و افت ولتاژ را به ۰٫۵٪ کاهش داده است. همچنین ضریب توان از ۴۷٪ به ۹۸٪ ارتقاء یافته است. دیگر نیازی به هشدار دادن به شرکت برق قبل از شروع تست اضافه‌بار توسط تولیدکننده و تجدید ساختار شبکه توزیع توسط شرکت برق نخواهد بود. از زمان نصب این محصول؛ تولیدکننده انعطاف‌پذیری بیشتری در برنامه‌ریزی داشته، زمان تست‌ها و هزینه‌ها کمتر شده‌اند.

## ۹-۵-۲ شرکت S&C: جبران سازی توان راکتیو کارخانه بازیافت فلز

یک کارخانه بازیافت فلز در آریزونا که از شبکه توزیع تغذیه می شود، قصد دارد تا یک ماشین خردکننده با توان ۶۰۰۰ اسب بخار را به مجموعه خود اضافه کند. برای جبران سازی توان راکتیو، سوسوزدن ولتاژ، کاهش جریمه های ناشی از افت کیفیت توان، یک PureWave AVC با ظرفیت ۸۰۰۰ کیلووار و ۴،۱۶ کیلوولت در اکتبر سال ۲۰۰۳ در این کارخانه نصب شد (شکل ۹-۸) [۲۰۰].



شکل ۹-۸: جبران سازی توان راکتیو کارخانه بازیافت فلز

با نصب این محصول علاوه بر بهبود کیفیت توان برای سایر مصرف کنندگان فیدر، این کارخانه را قادر می سازد تا تعداد ماشین های خردکننده بیشتری را در هر ساعت بکار بگیرد.

### ۹-۵-۳ شرکت S&C: جبران ساز توان راکتیو در بارانداز اسکله



شکل ۹-۹: جبران ساز توان راکتیو در بارانداز اسکله

ترمینال‌های پاتریک در استرالیا، جزء بزرگ‌ترین ترمینال‌های جابجایی کانتینر است. برای غلبه بر مشکلات کیفیت توان و همچنین طرح توسعه آینده این ترمینال، یک PureWave AVC مطابق با استاندارد AS3000 (استاندارد تأسیسات الکتریکی عمومی در استرالیا) با ظرفیت ۲۵۰۰۰ کیلووار و ۱۱ کیلوولت در سال ۲۰۰۶ نصب شده است (شکل ۹-۹) [۲۰۱]. به دلیل اینکه سیستم در آب‌وهوای نمکی کنار دریا نصب شده است، دارای سیکل بسته تهویه هوا می‌باشد.

### ۹-۵-۴ شرکت S&C: جبران ساز توان راکتیو در نورد فولاد

یک کارخانه تولید لوله‌های فولادی مورد استفاده در صنایع پتروشیمی در تگزاس آمریکا، چندین سال پیش موتورهای و ژنراتورهای قدیمی را موتورهای سرعت متغیر جایگزین نمود. [۲۰۲]

بارهای لحظه‌ای این موتورها موجب افزایش قابل توجه تقاضا برای توان راکتیو به صورت فوری و کوتاه مدت می‌شد که دامنه آن نزدیک به ۱۱ مگاوار بود. تا اینکه در سال ۲۰۰۰ TSC مدل PureWave AVC با مشخصات زیر در این کارخانه نصب شد.

- نصب در ژانویه ۲۰۰۰
- ظرفیت: ۵۰۰۰ کیلووار، ۱۳/۸ کیلوولت

- تغییرات ولتاژ  $\pm 3/2\%$
- ضریب توان بالای ۹۲٪
- THD ولتاژ و جریان، به ترتیب کمتر از ۱۰٪ و ۵٪.

### ۹-۵-۵ شرکت S&C: جبران ساز توان راکتیو شهرسازی

موتورهای القایی خطی، جریان‌هایی با توان راکتیو بسیار بالا از شبکه می‌کشند که باعث افت ولتاژ شدید می‌شود. چنین افت ولتاژهایی در قطار هوایی<sup>۱</sup> شهرسازی، سبب می‌شود تا نتوانند مسیر را تکمیل کنند. آزمایش‌ها در Kings Island در اونتاریو کانادا نشان داد که موتورهای القایی خطی سبب افت ولتاژ ۳۶ درصدی می‌شوند که می‌تواند موجب افتادن قطار هوایی از اولین تپه شود. [۲۰۳]



شکل ۹-۱۰: جبران ساز توان راکتیو شهرسازی

این مشکل در اوایل سال ۲۰۰۶ با نصب PureWave AVC از شرکت S&C با ظرفیت ۲۵۰۰ کیلووار با ولتاژ ۲۷٫۶ کیلوولت در هر یک از پارک‌ها برطرف شد (شکل ۹-۱۰). خروجی این TSCها به یک ترانسفورماتور افزایشده قدرت با امپدانس کم متصل شده است. با نصب این محصول، ولتاژ در طول مدت کارکرد قطار هوایی ثابت مانده و قادر است تمام طول مسیر را به راحتی طی کند.

بر اساس نتایج به دست آمده از نصب PureWave AVC، تصمیم گرفته شد تا ظرفیت آن‌ها به ۱۱۰٪ ولتاژ نامی افزایش یابد تا در لحظات شتابگیری حساس موتورها گشتاور بیشتری داشته باشند.

## ۹-۵-۶ شرکت ABB: استفاده از Dynacomp در اتومبیل سازی Fiat هند

در کارخانه اتومبیل سازی Fiat در هند، جهت دستیابی به دینامیک سریع و نرم در جبران سازی توان راکتیو و همچنین پاسخ به مشکلات متنوع کیفیت توان شبکه صنعتی که بارهای متغیر با ضریب توان اندک، افت ولتاژ، فلیکر و سطح هارمونیک بالا را تغذیه می کند، شرکت ABB در سال ۲۰۱۰ از دو جبران ساز STATCON (توسط کلیدهای IGBT می کند) و Dynacomp استفاده نموده است [۷۰].

ماشین های جوش نقطه ای در این کارخانه موجب ایجاد ضربات ناگهانی و کوتاه مدت جریان می شوند که شبکه را دچار اختلال می کند. این اختلالات به نوبه خود موجب کاهش کیفیت جوشکاری شده و در درجات بالاتر منجر به اتلاف الکتروود می شوند.

راه حل ABB موجب شد تا ضریب توان حتی در محل جوشکاری تقریباً به ۱۰۰٪ ارتقا یابد. میانگین ماهیانه ضریب توان بالای ۰/۹۹۵ شده است. در کنار صرفه جویی در مصرف انرژی و پایداری شبکه، اصلاح ضریب توان سبب کاهش تعمیرات در کارگاه جوشکاری شده و اتلاف الکتروودهای گرانبه را کاهش داده است. بعلاوه زمانی که بار تشخیص داده می شود حالت "صرفه جویی در انرژی" به صورت خودکار راه اندازی مجدد شده و در نتیجه نیازی به توان کمکی و راه اندازی دستی نخواهد بود. در این پروژه از ۲۳ دستگاه Dynacomp استفاده شده است.

## ۹-۶- قیمت محصولات

طبق تحقیقات میدانی و مکاتباتی که با شرکت های سازنده TSC انجام شده، قیمت و امکانات برخی از محصولات TSC به دست آمده که نتایج آن ها در ادامه آورده شده است.

شرکت Baoding Mingrui Optoelectronics Technology Co. Ltd.

مشخصات درخواستی:

- ولتاژ سیستم: ۴۰۰ ولت، سه فاز سه سیمه
- ظرفیت جبران سازی: ۹۰۰ کیلوواری
- نوع کلید: تریستور
- ضریب توان پس از جبران سازی: ۰/۹۸
- راکتانس: ۷٪
- کد IP حفاظتی: IP20C
- ابعاد (ارتفاع\*عرض\*طول): ۱۲۰۰×۱۰۰۰×۲۰۰۰ میلیمتر

لیست قطعات به همراه قیمت و قیمت کل پیشنهادی توسط شرکت در جدول ۹-۵ آورده شده است.

جدول ۹-۵: لیست قطعات به همراه قیمت و قیمت کل TSC پیشنهادی توسط شرکت Baoding Mingrui

Optoelectronics Technology

ردیف	نام المان	واحد	قیمت واحد (\$)	تعداد	قیمت کل (\$)
۱	کلید کاردی	دستگاه	۳۶۶/۶۷	۳	۱۱۰۰/۰۱
۲	خازن	دستگاه	۱۵۳/۳۳	۱۸	۲۷۵۹/۹۴
۳	کلید تریستور	قطعه	۳۳۰	۱۸	۵۹۴۰
۴	کنترل کننده	دستگاه	۱۵۳/۳۳	۳	۴۵۹/۹۹
۵	فیوز (با پایه)	دستگاه	۲۸/۶۷	۱۸	۵۱۶/۰۶
۶	برق گیر	قطعه	۳/۸۳	۹	۳۴/۴۷
۷	ولت متر	قطعه	۶/۶۷	۳	۲۰/۰۱
۸	آمپر متر	قطعه	۶/۶۷	۹	۶۰/۰۳
۹	راکتور سری	قطعه	۱۸۹/۱۷	۱۸	۳۴۰۵/۰۶
۱۰	ترانسفورماتور جریان	قطعه	۱۲/۶۷	۹	۱۱۴/۰۳
۱۱	کابینت	دستگاه	۶۳۳/۳۳	۳	۱۸۹۹/۹۹
۱۲	کلید تغییر حالت دستی	دستگاه	۱۶/۶۷	۳	۵۰/۰۱
۱۳	کلید تغییر ولتاژ	دستگاه	۶/۳۳	۳	۱۸/۹۹
۱۴	نمایشگر	دستگاه	۰/۸۳	۱۸	۱۴/۹۴
۱۵	کنترل کننده دما	دستگاه	۳۲/۵	۳	۹۷/۵
۱۶	تهویه	دستگاه	۱۴	۶	۸۴

ردیف	نام المان	واحد	قیمت واحد (\$)	تعداد	قیمت کل (\$)
۱۷	لوازم	دستگاه	۶۳۳/۳۳	۳	۱۸۹۹/۹۹
۱۸	هزینه کارگر	دستگاه	۱۵۰	۳	۴۵۰
۱۹	بسته بندی	دستگاه	۲۴۱/۶۷	۳	۷۲۵/۰۱
۲۰	حمل و نقل	دستگاه	۱۱۶/۶۷	۳	۳۵۰/۰۱
					قیمت کل (دلار آمریکا)
					۲۰/۰۰۰

### قیمت سایر محصولات

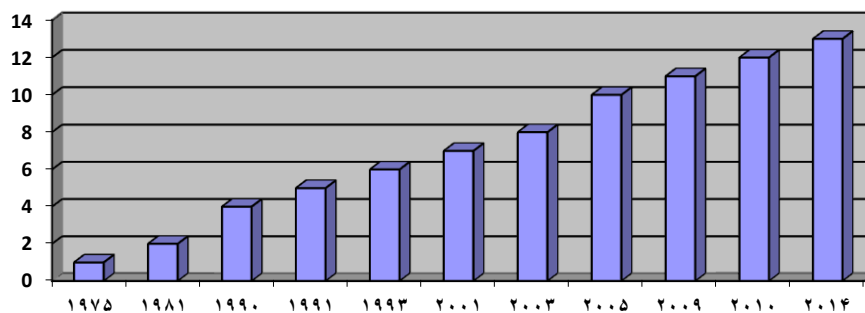
جدول ۹-۶: لیست قیمت TSC برخی از شرکتها [۱۱]

ردیف	نام شرکت	نام محصول	مشخصات	قیمت (\$)	قیمت (\$/kVAR)
۱	JNC Industrial Corp Ltd.	KR-WLC low-voltage dynamic reactive power compensation device TSC/ TSF	380v, 50/60 Hz, 60-370 Kvar	1,000-20,000	2.7-54
۲	ShanDong TongLi Petroleum Equipment Co.Ltd	RTSC Dynamic Reactive Power Compensation Device (DRPCD)	400v- 600v, 50Hz, 100-400 Kvar,	200,000-3,000,000	2000-7500
۳	Harbin Codo Electric Co. Ltd.	CODO 10KV/6KV Thyristor Switched Capacitor	6Kv- 10Kv, 50/60Hz, 50Kvar- 2.5 Mvar	50,000-500,000	20-200
4	Jiangsu West Rectifier Co. Ltd.	TSC low voltage dynamic reactive power compensation device	400v- 700kVAR	5,000 - 10,000	7.14-14.3

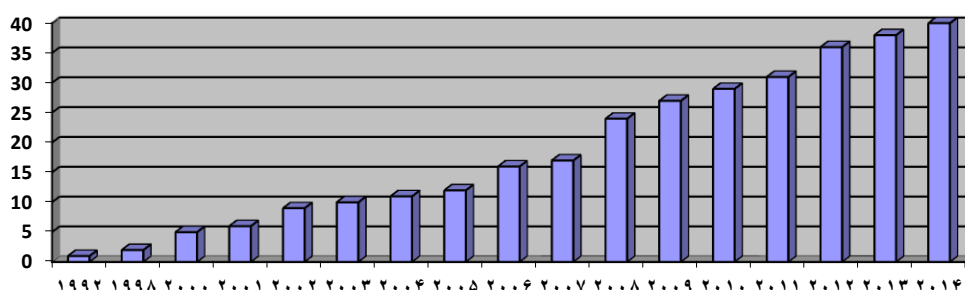


## ۹-۷- بررسی مقالات

نتایج بررسی ژورنال‌های ارائه شده در زمینه TSC توسط IEEE در نشان داده شده است. روند مقالات شکل ۹-۱۱ از سال ۱۹۷۵ آغاز شده، این روند بسیار کند بوده بطوریکه پس از هرچند سال یک یا دو مقاله در این زمینه به چاپ رسیده است. این روند حکایت از آن دارد که نوآوری چندانی در این زمینه وجود نداشته و این موضوع تقریباً به بلوغ رسیده است. نتایج بررسی مقالات کنفرانسی در این زمینه که توسط IEEE چاپ شده‌اند نیز در شکل ۹-۱۲ نشان داده شده است. برخلاف مقالات ژورنالی، اولین مقالات کنفرانسی در این زمینه از سال ۱۹۹۲ چاپ شده‌اند و از سال ۲۰۰۰ تاکنون هرساله چند مقاله در این زمینه به چاپ رسیده است. از آنجایی که هدف اصلی ارائه کنفرانس‌ها معرفی موضوع و زمینه کاری دانشگاه‌ها می‌باشد، می‌توان گفت استفاده از TSC هنوز هم مورد توجه دانشگاه‌ها و مراکز علمی است.



شکل ۹-۱۱: نمودار تجمعی مقالات ژورنالی ارائه شده در زمینه TSC



شکل ۹-۱۲: نمودار تجمعی مقالات کنفرانسی ارائه شده در زمینه TSC

در بررسی اختراعات ثبت شده در رابطه با TSC مشاهده شد که در زمینه استفاده از این تجهیز در شبکه های توزیع تقریباً اختراعی ثبت نشده و اکثر اختراعات مربوط به استفاده از این تجهیز در سیستم انتقال می باشد.

## فصل دهم

### بازیاب دینامیک ولتاژ (DVR)

## ۱۰- فصل دهم بازیاب دینامیک ولتاژ (DVR)

### ۱-۱- مقدمه

کمبود ولتاژ<sup>۱</sup> جزو مخرب‌ترین اغتشاشات در میان مشکلات متعدد موجود برای کیفیت توان می‌باشد. به دلیل وجود تجهیزات حساس الکترونیکی در کنترل صنعتی و اتوماسیون، افت ولتاژ می‌تواند سبب اختلال در فرآیندهای صنعتی و خسارات بزرگ اقتصادی برای تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان گردد. از میان تجهیزات موجود که می‌توان برای اصلاح اثرات منفی کمبود ولتاژ استفاده کرد، می‌توان DVR<sup>۲</sup> را نام برد. DVR اثرات افت ولتاژ را در طرف منبع توسط تزریق انرژی به بارهای حساس کاهش می‌دهد. بنابراین DVR باید دارای یک منبع انرژی باشد.

یکی از دلایل عمده کاهش کیفیت توان خطای اتصال کوتاه تک فاز است. به‌طور مثال هنگامی که یک خطای اتصال کوتاه تک فاز در شاخه مجاور بار حساس اتفاق بیفتد، برای ثابت نگاه‌داشتن ولتاژ تغذیه بار حساس، DVR وارد عمل شده و ولتاژ را به مدار تزریق می‌کند. دلیل عمده دیگری که موجب افت ولتاژ می‌شود و توجه طراحان سیستم‌های قدرت را به خود جلب کرده است، زمان راه‌اندازی موتورهای القایی می‌باشد. معمولاً هنگام راه‌اندازی موتورهای القایی ۵ تا ۷ برابر جریان نامی خود را از شبکه می‌کشد. این امر منجر به افت ولتاژ آنی در ترمینال‌های تغذیه موتور خواهد شد. شدت افت ولتاژ به «صلب بودن» سیستم تغذیه وابسته است. از آنجایی که بیشترین موتورهای مورد استفاده در صنعت از نوع القایی هستند، این موضوع اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.

کیفیت توان پایین می‌تواند سبب بروز خسارات مالی بسیار زیادی شود که برخی از آن‌ها در زیر اشاره شده است:

- خرابی‌های پیش‌بینی نشده منابع تغذیه (خطای مدارشکنها، سوختن فیوزها)
- خرابی یا عملکرد نادرست تجهیزات
- افزایش بیش‌ازحد دمای تجهیزات (موتورها، ترانسفورماتورها و ...) که منجر به کاهش طول عمر آن‌ها می‌شود

1 - Voltage sag

2 - Dynamic Voltage Restorer

- آسیب به تجهیزات حساس (کامپیوترهای شخصی، سیستم‌های کنترل خط تولید، ...)
- ایجاد تداخل در ارتباطات الکترونیک
- افزایش تلفات سیستم
- نیاز به نصب تجهیزات در ابعاد بزرگ‌تر جهت مقابله با تنش الکتریکی اضافه‌شده، که سبب افزایش هزینه‌های نصب و راه‌اندازی و تولید کربن می‌شود
- سوسوزدن
- و ...

مشکلات کیفیت توان سبب افزایش استفاده از DVR در همه زمینه‌ها شده است. بعلاوه، رشد استفاده از تجهیزات الکترونیک قدرت، تقاضا برای بهبود قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع و افزایش تحقیقات فعالیت‌های توسعه‌دهنده برخی از فاکتورهای رشد بازار DVR هستند. علاوه بر این، هزینه اندک تعمیر و نگهداری سبب علاقه‌مندی بیشتر به استفاده از آن برای مدیریت توان می‌شود.

آمریکای شمالی در سال ۲۰۱۲ برای استفاده از DVR به‌صورت گسترده برنامه‌ریزی کرده است، که از تعداد زیادی از تولیدکنندگان تجهیزات DVR در کلاس جهانی بهره‌گیری شده است. بازار DVR در آسیا و اقیانوسیه به‌سرعت در حال رشد می‌باشد و انتظار می‌رود در بازه پیش‌بینی‌شده، رشد آن دورقمی شود. کشورهای این منطقه مانند کره جنوبی، چین، ژاپن و تایوان هزینه‌های بسیار زیادی را صرف سرمایه‌گذاری در این بخش کرده‌اند.

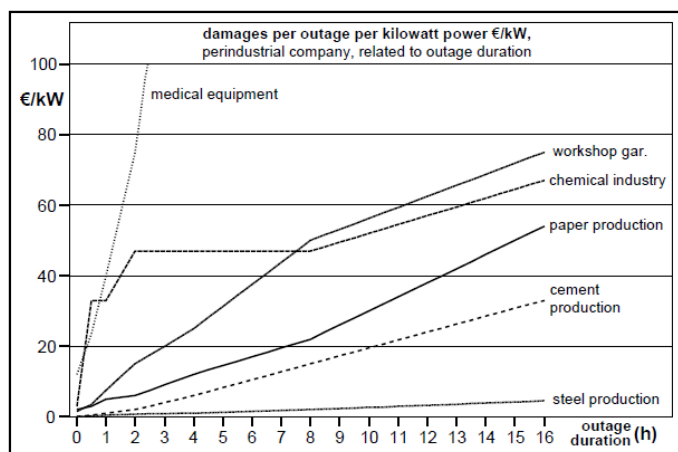
همچنین رشد سریع تکنولوژی نیمه‌هادی‌ها، که عمدتاً متکی بر کشورهای چین و تایوان به دلیل تولیدات عمده در این زمینه، است، محرک تقاضا برای DVR در این منطقه می‌باشد. هم‌اکنون این شرکت‌های تولید نیمه‌هادی در حال اختصاص دادن مقادیر قابل ملاحظه‌ای بودجه جهت تحقیق و توسعه فعالیت‌ها برای به خدمت گرفتن پیشرفت‌های تکنیکی هستند تا محصول را باقیمت کمتری به مصرف‌کنندگان نهایی تحویل دهند.

اگر به دلیل کیفیت توان ضعیف، تولید متوقف شود، هزینه‌های سنگین تحمیل خواهد شد. لیست هزینه‌های تحمیلی به صنایع مختلف در اروپا در سال ۲۰۰۲ به دلیل کیفیت توان ضعیف در جدول ۱۰-۱ آورده شده است.

جدول ۱۰-۱: خسارت صنایع مختلف در اروپا در سال ۲۰۰۲ به دلیل کیفیت توان نامطلوب

بخش	ضرر مالی در هر حادثه
تولیدات نیمه‌هادی	۳۸۰۰،۰۰۰ یورو
تجارت مالی	۶،۰۰۰،۰۰۰ یورو در سال
مرکز کامپیوتر	۷۵۰،۰۰۰ یورو
ارتباطات	۳۰،۰۰۰ یورو در دقیقه
صنعت فولاد	۳۵۰،۰۰۰ یورو
صنعت شیشه	۲۵۰،۰۰۰ یورو
سازه‌های دریایی	۲۵۰،۰۰۰ تا ۷۵۰،۰۰۰ یورو در روز
لایه رویی/باز یافت زمین	۲۵۰،۰۰۰ تا ۵۰،۰۰۰ یورو در روز

نمودار هزینه‌های وقفه (بر اساس یورو بر کیلووات) برحسب زمان خاموشی در شکل ۱۰-۱ آورده شده است.



شکل ۱۰-۱: هزینه‌های وقفه (بر اساس یورو بر کیلووات) برحسب زمان خاموشی

به‌عنوان مثال صرفه اقتصادی بکارگیری DVR توسط شرکت زیمنس در پروژه‌های Salt River و Scottish Power

Project در جدول ۱۰-۲ نمایش داده شده است:

## جدول ۱۰-۲: صرفه اقتصادی بکار گیری DVR در پروژه‌های Salt River Project و Scottish Power

توضیحات	DVR با		بدون DVR			
	هزینه مورد انتظار (هزار دلار بر سال)	تعداد Voltage Sag در سال	هزینه مورد انتظار (هزار دلار بر سال)	عمق متداول متداول sagها	تعداد Voltage Sag در سال	
۲ عدد DVR با ظرفیت کل 4MW و 800kJ ذخیره‌سازی انرژی	۳۵۷	۰/۴۶۳	۳۵۸۳/۶	>۵۰٪ به مدت ۰/۳ ثانیه	۴۰	Scottish Power
۳ عدد DVR با ظرفیت کل 6MW و 1800kJ ذخیره‌سازی انرژی	۹۸۲/۹	۱/۶۳۳	۸۴۲۶۷/۷	>۳۰٪ به مدت ۰/۵ ثانیه	۱۴۰	Salt River Project

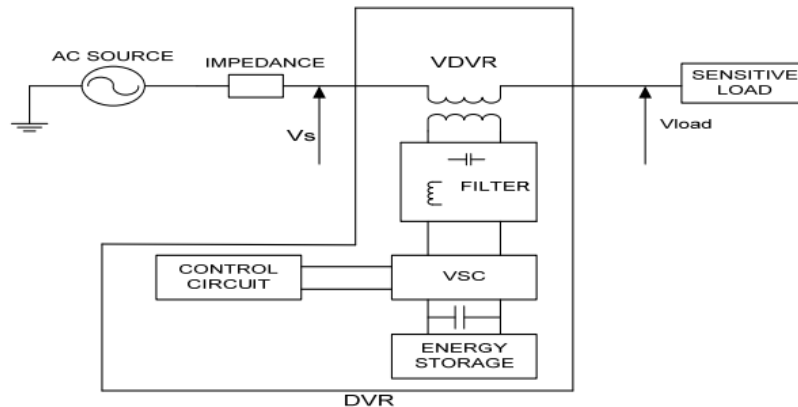
همان‌طور که از اطلاعات جدول فوق پیداست، هزینه‌ها پس از نصب DVR تقریباً یک‌دهم شده‌اند. طبق [۲۰۴] هزینه

خسارت برای هر دو پروژه حدود ۱۶/۲۶۷۹ دلار بر کیلووات بوده است.

## ۱۰-۲- ساختار متداول DVR

تجهیز DVR به صورت سری در مدار قرار می‌گیرد تا از اختلالات ولتاژ در شبکه توزیع جلوگیری کند. همچنین می‌تواند با جبران‌سازی کاهش یا افزایش ولتاژ، عدم تعادل و هارمونیک‌های ولتاژی که در نقطه اتصال مشترک ظاهر می‌شوند، دامنه و فاز ولتاژ بار را در مقدار نامی آن ثابت نگه دارد. DVR می‌تواند با افزایش مناسب ولتاژ به صورت سری در شبکه کاهش ولتاژ را جبران کرده و از اتلاف توان جلوگیری کند. در شکل ۱۰-۲ یک سیستم و روشی برای بازیابی پویای ولتاژ در شبکه توزیع ارائه شده است. این روش از توان حقیقی برای تزریق ولتاژ به منبع خطا استفاده می‌کند. DVR باید قابلیت واکنش در سریع‌ترین زمان ممکن را داشته باشد تا اختلالات ولتاژ را جبران کند، زیرا بارهای حساس نسبت به تغییرات ولتاژ بسیار آسیب‌پذیر هستند. DVR یک بهبوددهنده سری است که از اینورتر منبع ولتاژ با کنترل مدولاسیون پهنای پالس بهره می‌برد. این اینورتر به صورت مستقل، قادر به تولید و جذب توان اکتیو و راکتیو است. کاهش ولتاژ ناشی از خطاهای نامتقارن خط به خط، خط به زمین، دو

خط به زمین و یا خطای متقارن سه فاز، بر روی بارهای حساس تأثیر می گذارند، در این هنگام DVR برای بازیابی و نگه داشتن ولتاژ بارهای حساس در مقدار نامی، ولتاژ مستقلی را به آنها اعمال می کند [۲۰۵].



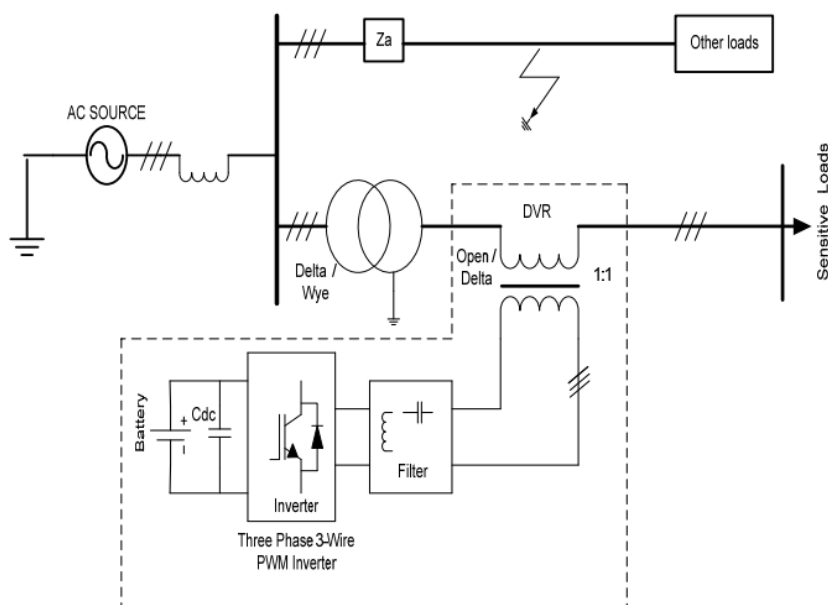
شکل ۱۰-۲: ساختار مداری مرسوم DVR

به دلیل اینکه بیشتر افت ولتاژها متقارن نیستند، DVR باید قادر به جبران سازی مقدار موردنیاز هر فاز باشد. میزان افزایش ولتاژ را می توان به صورت تابعی از بار تنظیم کرد. در صورتی که ظرفیت بار نسبت به DVR کوچک تر باشد، DVR می تواند افت ولتاژهای شدیدتری را جبران کند.

### ۱۰-۳- المان های اساسی DVR

از DVR می توان در کاربردهای ولتاژ متوسط و یا ولتاژ پایین استفاده کرد. المان های DVR در این بخش مورد بررسی قرار گرفته اند. سیستم DVR شامل دو بخش مهم، مدار قدرت و واحد کنترل می باشد. مدار قدرت DVR اساساً شامل؛ اینورتر منبع ولتاژ، ترانسفورماتور تزریق سری، فیلتر پسیو خروجی اینورتر، کلید کنارگذر (By Pass) و ابزار ذخیره سازی انرژی است که به لینک dc متصل است. مدار قدرت DVR در شکل ۱۰-۳ نشان داده شده است. واحد کنترل برای تنظیم پارامترهای سیگنال کنترل از قبیل: دامنه، فرکانس، جابجایی فاز و غیره که باید به DVR اعمال شوند بکار می رود. بر اساس سیگنال کنترل ولتاژ تزریقی موردنیاز توسط کلیدها در مدار قدرت تولید می شود [۲۰۵].





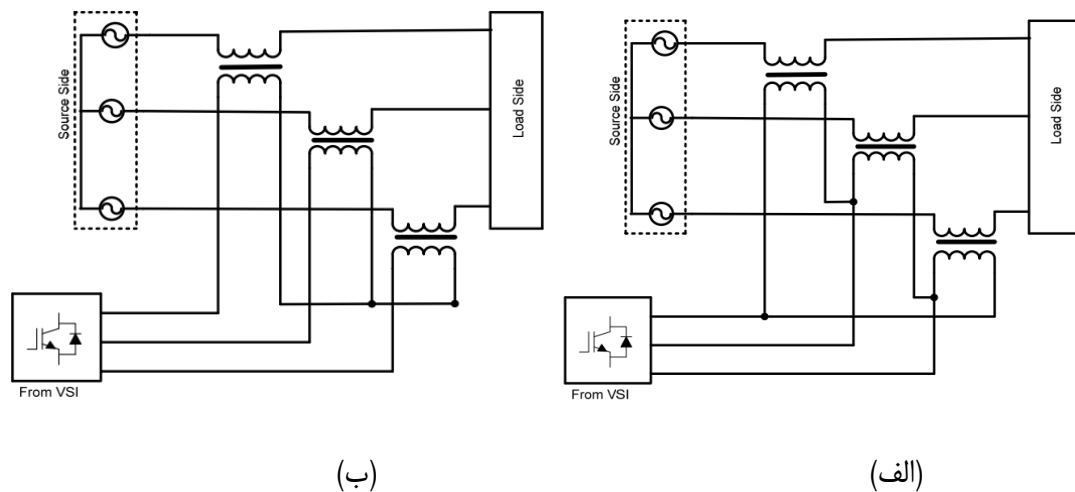
شکل ۱۰-۳: مدار قدرت DVR

### ۱۰-۳-۱ ترانسفورماتور تزریق ولتاژ سری

در یک سیستم سه فاز جهت تزریق ولتاژ سری می توان از سه ترانسفورماتور تک فاز و یا یک ترانسفورماتور سه فاز استفاده نمود. این ترانسفورماتور دارای دو سوی ولتاژ بالا و ولتاژ پایین است. معمولاً سمت ولتاژ بالای ترانسفورماتور به صورت سری در شبکه قدرت قرار می گیرد و سمت ولتاژ پایین آن به مدار قدرت DVR متصل می شود. کارکرد اصلی این ترانسفورماتور افزایش ولتاژ تولیدی اینورتر منبع ولتاژ به مقدار موردنیاز و همچنین ایجاد ایزولاسیون بین مدار قدرت DVR و شبکه توزیع می باشد. نسبت دور ترانسفورماتور بر اساس ولتاژ موردنیاز در سمت ثانویه از پیش تعیین شده است. معمولاً این مقدار طوری تعیین می شود تا در کاهش شدید ولتاژ DVR بتواند ولتاژ را جبران کند. نسبت دور بیش از اندازه سبب افزایش جریان در اولیه ترانسفورماتور می شود که این امر تأثیر منفی بر مشخصه المان های الکترونیک قدرت متصل به VSI می گذارد. همان طور که قبلاً هم گفته شد، می توان از سه ترانسفورماتور تک فاز یا یک ترانسفورماتور سه فاز برای DVR سه فاز استفاده کرد. در این حالت سمت ولتاژ بالای ترانسفورماتور به شبکه متصل می شود و برای DVR تک فاز تنها از یک ترانسفورماتور تک فاز استفاده می شود. وقتی که از اینورتر سه فاز استفاده می شود، می توان از ترانسفورماتورهای تک فاز استفاده کرد تا بتوان هر فاز را به صورت جداگانه جبران کرد. یکی از عوامل مهم در ارزیابی DVR، ظرفیت ترانسفورماتور آن است که باید مورد توجه قرار

گیرد. زیرا قابلیت جبران سازی DVR کاملاً به ظرفیت آن وابسته است. ظرفیت DVR نیز کاملاً به رتبه ترانسفورماتور تزریق ولتاژ آن وابسته است، زیرا حداکثر میزان جبران سازی DVR را محدود می کند. در برخی از مقالات استفاده از اینورترهای چند سطحی را در DVR مورد بررسی قرار گرفته همچنین در برخی موارد بدون استفاده از ترانسفورماتور تزریق ولتاژ، DVR را به صورت مستقیم به شبکه توزیع متصل کرده است.

می توان از سه ترانسفورماتور تک فاز در یک DVR سه فاز، به صورت اتصال مثلث-باز یا ستاره-بازمانند شکل ۴-۱۰ (الف) و (ب) استفاده نمود. در مواردی که خطای نامتعادل در سمت ولتاژ بالا رخ دهد، اگر ترانسفورماتور توزیع از نوع مثلث-ستاره با نول زمین شده باشد، جریان مؤلفه صفر، صفر خواهد بود. بنابراین در این نوع اتصالات DVR تنها دارای مؤلفه های توالی مثبت و منفی خواهد بود.



شکل ۴-۱۰ استفاده از سه ترانسفورماتور تک فاز (الف) ستاره، (ب) مثلث

### ۱۰-۳-۲ ذخیره سازی انرژی

تجهیز DVR برای جبران سازی اختلالات ولتاژ در شبکه توزیع نیاز به توان حقیقی دارد. در این موارد DVR باید توسط ذخیره سازهای انرژی تغذیه شود. ذخیره ساز انرژی مانند باتری مسئولیت تغذیه یک منبع انرژی به صورت DC را دارد. ذخیره سازی انرژی شامل دو نوع است. یک نوع، از انرژی ذخیره شده برای تغذیه توان تحویلی استفاده می کند، نوع دیگر، ذخیره سازی انرژی داخلی قابل توجهی ندارد، اما از انرژی دریافتی از شبکه ای که در آن خطا رخ داده، (در طول زمان وقوع

کاهش ولتاژ) استفاده می‌کند. منابع مستقیم ذخیره کننده انرژی، یک مبدل موازی، یا یکسو کننده است که DVR را تغذیه می‌کنند. چرخ‌های طیار، باتری‌ها، ابرخازن‌ها، ذخیره‌سازهای انرژی مغناطیسی در ابررساناها (SMES) می‌توانند در ذخیره‌سازی انرژی مورد استفاده قرار بگیرند. از این موارد برای تأمین توان حقیقی موردنیاز DVR جهت جبران‌سازی استفاده می‌شود. از بین این موارد باتری‌های سرب-اسید به دلیل پاسخ سریع شارژ و دشارژ، بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند؛ اما سرعت دشارژ شدن باتری به سرعت واکنش‌های شیمیایی داخل آن وابسته است. استفاده از ذخیره‌سازهای انرژی در DVR بسته به سطح طراحی و کل هزینه باید در نظر گرفته شود. چرخ طیار به‌عنوان سیستم ذخیره‌ساز انرژی ترجیح داده می‌شود، زیرا سیستم برای ارتباط با شبکه برخلاف روش مرسوم (استفاده از مبدل AC/DC/AC) از یک مبدل AC/AC بهره می‌برد که موجب افزایش چگالی انرژی و قابلیت اطمینان سیستم می‌شود. در هر صورت انتخاب نوع مناسب ذخیره‌ساز انرژی، به طراحی DVR، سطح توان و مجموع هزینه‌های آن بستگی دارد.

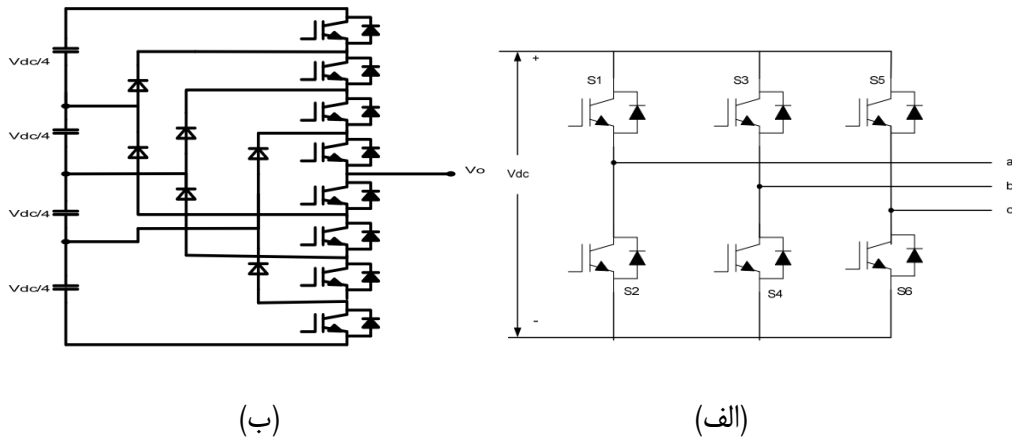
### ۱۰-۳-۳ فیلتر LC

اساساً فیلترها از اندوکتانس (L) و خازن (C)، تشکیل یافته‌اند. در DVR، فیلترها برای تبدیل شکل موج معکوس شده PWM به شکل موج سینوسی بکار می‌روند. این عمل می‌تواند با حذف هارمونیک‌های ناخواسته که توسط VSI تولید می‌شوند، صورت پذیرد. هارمونیک‌های مرتبه بالا سبب بروز اعوجاج در ولتاژ خروجی جبران شده می‌شوند. جهت دستیابی به سطح قابل قبول THD، هارمونیک‌های کلیدزنی تولیدی توسط VSI، باید از شکل موج ولتاژ تزریقی حذف شوند. در سطح توان متوسط، فرکانس کلیدزنی در حدود چند کیلوهرتز خواهد بود.

فیلتر پسیو می‌تواند در سمت ولتاژ بالا یا ولتاژ پایین ترانسفورماتور تزریق ولتاژ وصل شود. اگر فیلتر در سمت ولتاژ پایین وصل شود، این مزیت را خواهد داشت که به منبع هارمونیک‌ها نزدیک‌تر خواهد بود، بنابراین، از نفوذ هارمونیک‌های جریانی مرتبه بالا به ترانسفورماتور تزریق ولتاژ جلوگیری می‌شود. حال اگر فیلتر پسیو در سمت ولتاژ بالا نصب‌شده باشد، هارمونیک‌های جریانی در داخل ترانسفورماتور می‌چرخند.

### ۱۰-۳-۴ اینورتر منبع ولتاژ

وظیفه سیستم اینورتر در یک DVR، تبدیل ولتاژ DC ذخیره‌ساز انرژی به ولتاژ AC است. دو ساختار اینورتر سه فاز پایه وجود دارد. یکی اینورتر دوسطحی متداول (شکل ۱۰-۵-الف) و اینورتر چند سطحی (شکل ۱۰-۵-ب). اینورترهای چند سطحی اخیراً جایگزین اینورترهای PWM شده‌اند در نتیجه تلفات در فرکانس‌های کلیدزنی بالا کاهش یافته است. پیاده‌سازی اینورترهای PWM دوسطحی در مقایسه با اینورترهای چند سطحی ساده‌تر و ارزان‌تر است.



شکل ۱۰-۵ (الف) اینورتر دوسطحی متداول (ب) اینورتر چند سطحی

### ۱۰-۳-۵ کلیدهای باپس (By Pass)

خطا در پایین دست سبب عبور جریان خطا از مدار اینورتر DVR می‌شود. بنابراین برای جلوگیری از عبور جریان بالا از اینورتر، از یک ابزار حفاظتی به نام کلید کنارگذر (یا مدار کروبار) استفاده می‌شود، که هنگام وقوع خطا، جریان اضافه را از خود عبور می‌دهد. در شرایط عادی کلید در حالت فعال قرار داشته و جریان شبکه توزیع را اندازه‌گیری می‌کند. در صورتیکه جریان اندازه‌گیری شده، از مقدار جریان قابل تحمل اینورتر بیشتر شود، کلید کنارگذر عمل کرده و المان‌های مدار DVR را از اضافه جریان محافظت می‌کند.

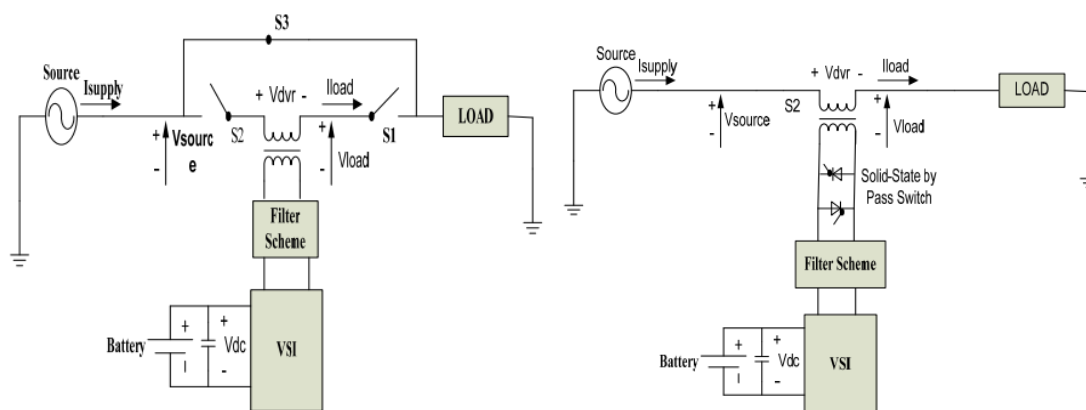
## ۱۰-۴- عملکرد DVR

عملکرد DVR را می‌توان در سه دسته به صورت زیر قرار داد [۲۰۶]:

- حالت حفاظتی
- حالت آماده باش (stand by)
- حالت تزریق ولتاژ

در حالت حفاظتی، می‌توان از کلید کنارگذر جهت حفاظت از المان‌های DVR در مقابل جریان اتصال کوتاه بار یا جریان‌های هجومی استفاده کرد. ایجاد مسیر جدید توسط کلید کنارگذر جهت عبور جریان اتصال کوتاه یا جریان هجومی و حفاظت از المان‌های DVR در شکل ۱۰-۶ (الف) نشان داده شده است.

در حالت آماده‌باش سیم‌پیچ ولتاژ پایین ترانسفورماتور توسط اینورتر اتصال کوتاه شده، در نتیجه ولتاژ تزریقی DVR به شبکه توزیع صفر خواهد بود (شکل ۱۰-۶-ب). در این شرایط هیچ‌گونه کلیدزنی اتفاق نمی‌افتد و کلیدها طوری روشن مانده‌اند تا مسیر اتصال کوتاه برای سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور فراهم شود. در این حالت نیمه‌هادی‌هایی که در حلقه جریان قرار گرفته‌اند تلفات نسبتاً کمی خواهند داشت. DVR در بیشتر مواقع در این حالت کار می‌کند. دو IGBT بالایی در هر فاز خاموش باقی می‌مانند در حالی که IGBT‌های پایینی روشن هستند. این اتصال کوتاه در سمت اینورتر DVR، موجب می‌شود تا دیگر نیازی به استفاده از کلید کنارگذر نباشد.



(ب)

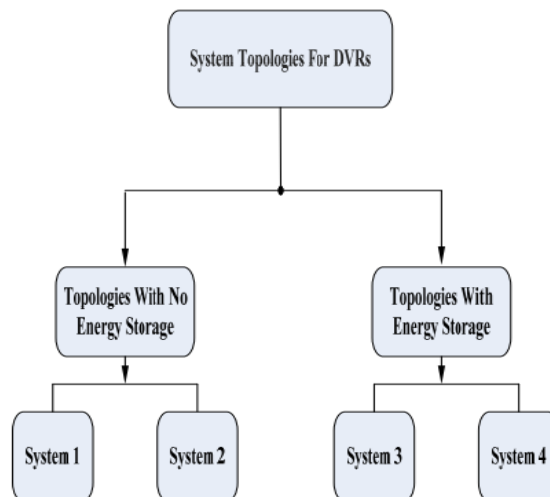
(الف)

### شکل ۱۰-۶ ساختار DVR با کلید کنارگذر جهت عبور جریان اتصال کوتاه یا جریان هجومی و حفاظت از المانها

به محض تشخیص کاهش ولتاژ، DVR وارد حالت تزریق ولتاژ می‌شود. سه ولتاژ AC تک فاز با دامنه، فاز و شکل موج مناسب به صورت سری جهت جبران سازی ولتاژ به شبکه توزیع تزریق می‌شوند. نوع افت ولتاژ، شرایط بار و سطح توان DVR، امکان جبران سازی توسط DVR را تعیین می‌کند. به دلیل قیمت بالای خازن‌ها، DVR باید بتواند ولتاژ ثابت بار را با کمترین تلفات تزریق ولتاژ، تضمین کند. انواع استراتژی‌های موجود در زمینه تزریق ولتاژ عبارت‌اند از: Phase Advance, pre-sag, تحمل ولتاژ و روش فاز.

### ۱۰-۵- انواع ساختارهای DVR در شبکه توزیع

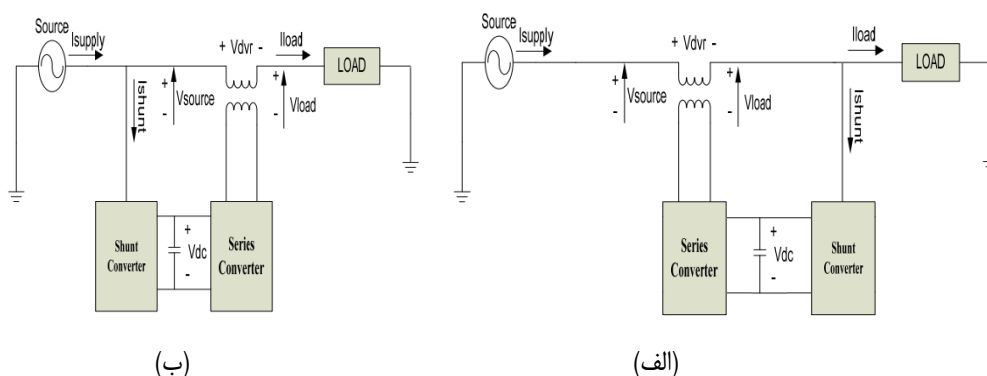
ساختارهای بسیاری توسط پژوهشگران معرفی شده است. در دو نوع از DVR با و بدون ذخیره‌ساز انرژی مورد بررسی قرار داده است. در حالت عادی در طول اختلال در شبکه توزیع، DVR ولتاژ مناسب را جهت بازیابی بار تأمین می‌کند. در این حالت نیازمند تبادل توان حقیقی و موهومی با سیستم اطراف خود است [۲۰۶]. دسته‌بندی DVRها در شکل ۱۰-۷ نشان داده شده است.



شکل ۱۰-۷ دسته‌بندی DVRها

## ۱-۵-۱۰ ساختار DVR بدون ذخیره‌ساز انرژی

ساختار بدون ذخیره‌ساز انرژی را می‌توان به دسته سیستم ۱ و سیستم ۲ تقسیم کرد. فرق سیستم ۱ و ۲ در این است که، در سیستم ۱ منبع انرژی از مبدل پسیو موازی متصل به سمت منبع شبکه توزیع تأمین می‌شود (شکل ۱۰-۸-الف)، اما در سیستم ۲، انرژی موردنیاز DVR از طریق مبدل موازی متصل به سمت بار شبکه توزیع تأمین می‌شود (شکل ۱۰-۸-ب). ساختارهای DVR بدون ذخیره‌ساز انرژی در واقع از این حقیقت بهره می‌برند که در زمان اختلال، بخش عمده ولتاژ به‌صورت پیوسته باقی می‌ماند و از این منبع می‌توان برای تقویت ولتاژ در مقدار نامی آن استفاده نمود.

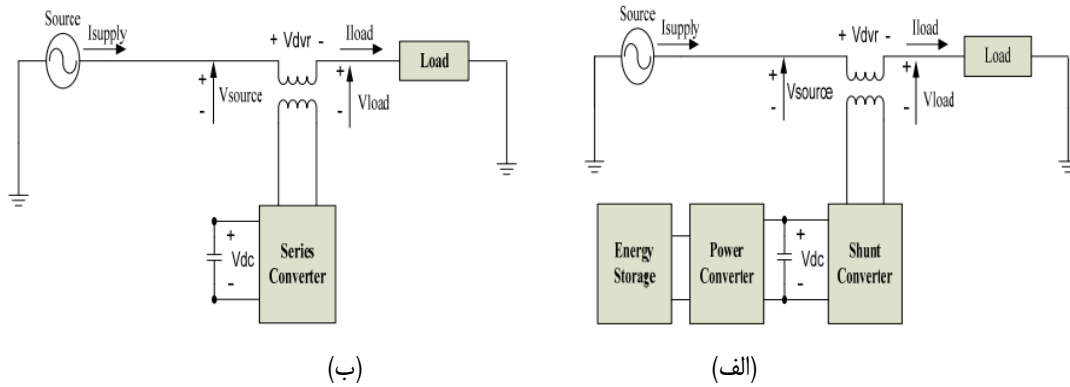


شکل ۱۰-۸-۱ تأمین انرژی DVR از طریق مبدل پسیو (الف) سمت شبکه (ب) سمت بار

## ۱-۵-۲ ساختارهای DVR با ذخیره‌ساز انرژی

همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، هنگام وقوع اختلال در شبکه توزیع، از انرژی ذخیره‌شده در ذخیره‌ساز جهت جبران‌سازی استفاده می‌کند. چرخ‌های طیار، باتری‌های سرب-اسید، ابرخازن‌ها و ابرساناهای مغناطیسی (SMES) بدین منظور می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند. اگرچه استفاده از ذخیره‌سازهای انرژی در DVR هزینه‌بر است، اما مشخصه DVR را در هنگام وقوع اختلال در شبکه توزیع بسیار بهبود می‌بخشد. ساختار سیستم ۳ در شکل ۱۰-۹-الف نشان داده شده است که از ولتاژ لینک DC متغیر بهره می‌برد. این ساختار، ساختار ساده‌ای است زیرا انرژی آن تنها در یک خازن ذخیره شده است. از آنجایی که با تغییر انرژی خازن ولتاژ آن نیز تغییر می‌کند، این ساختار به‌صورت ولتاژ متغیر استفاده می‌شود. انرژی موردنیاز جهت عملکرد DVR با توان دوم ولتاژ لینک DC رابطه دارد.

در سیستم ۴ ولتاژ ثابت به DVR اعمال می‌شود (شکل ۱۰-۹-ب) در این ساختار نیز می‌توان از باتری‌های سرب-اسید، ابرخازن‌ها و ابررساناهای مغناطیسی جهت ذخیره‌سازی انرژی استفاده نمود.



شکل ۱۰-۹ ساختار DVR با بهره‌گیری از (الف) ولتاژ لینک DC متغیر (ب) ولتاژ لینک DC ثابت

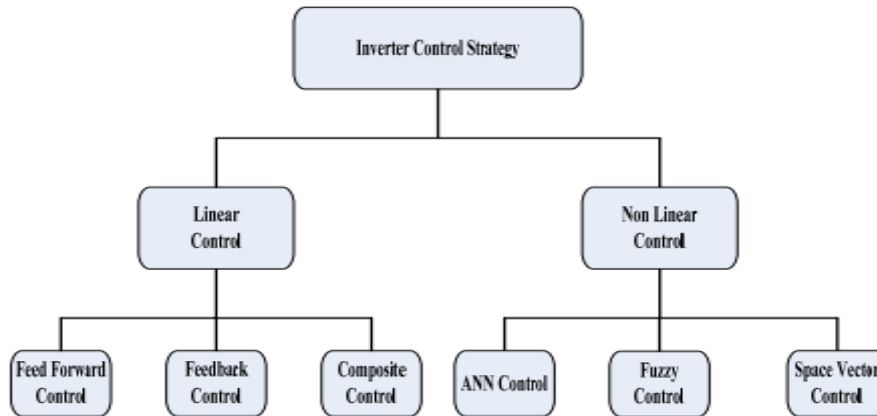
## ۱۰-۶- انواع استراتژی‌های کنترلی DVR

در مرجع [۲۰۶] تکنیک‌های پیاده‌سازی و فلسفه کنترل DVR به‌منظور بهبود کیفیت توان در شبکه توزیع بررسی شده است. اکثر DVR های پیشنهادشده مجهز به سیستم کنترلی برای کاهش افت و افزایش ولتاژ طراحی شده‌اند. کاربردهای دیگر DVR شامل کنترل سیلان توان، جبران‌سازی توان راکتیو و همچنین پاسخ محدود به کیفیت توان است. هدف اصلی سیستم کنترل، فراهم‌سازی ولتاژ ثابت در نقطه اتصال بار حساس در زمان وقوع اختلال در شبکه است. سیستم کنترل تنها مقدار مؤثر ولتاژ را در نقطه اتصال بار اندازه‌گیری می‌کند و نیازی به اندازه‌گیری توان راکتیو نیست. کنترل DVR بسیار مهم و شامل تشخیص افت ولتاژ (شروع، پایان و عمق افت ولتاژ) به‌وسیله یک الگوریتم مناسب بلادرنگ<sup>۱</sup> است [۲۰۶].

افت ولتاژ می‌تواند از چند میلی‌ثانیه تا چند دوره تناوب طول بکشد و میزان افت ولتاژ از ۰/۹ تا ۰/۵ بر واحد می‌تواند تغییر کند. از آنجایی که اینورتر یکی از اجزای اصلی DVR است، استراتژی کنترلی اینورتر می‌تواند روی مشخصه DVR تأثیر



مستقیم بگذارد. تحقیقات بسیاری در مورد روش کنترلی اینورتر DVR انجام شده است. این تحقیقات به صورت خلاصه در شکل ۱۰-۱۰ نشان داده شده‌اند.



شکل ۱۰-۱۰ انواع روش‌های کنترلی اینورتر DVR

استراتژی کنترل اینورترها به دودسته خطی و غیرخطی تقسیم‌بندی می‌شود. کنترل خطی به‌عنوان روش معمول در کنترل DVRها استفاده می‌شود. کنترل خطی نیز به سه دسته Feed Forward، Feed Back و کنترل ترکیبی تقسیم می‌شود. روش Feed Forward روشی ساده در کنترل DVR است. در این روش ولتاژ بار اندازه‌گیری نمی‌شود بلکه ولتاژ تزریقی را بر اساس اختلاف بین پیش از افت ولتاژ و هنگام افت ولتاژ، محاسبه می‌کند. در روش Feed Back ولتاژ بار و اختلاف آن با ولتاژ مرجع اندازه‌گیری شده و میزان ولتاژ تزریقی موردنیاز را محاسبه می‌کند. روش کنترلی Feed Back بر پایه فضای حالت که قطب‌های حلقه بسته را به‌منظور پاسخ سریع‌تر سیستم تنظیم می‌کند در مورد بررسی قرار گرفته است.

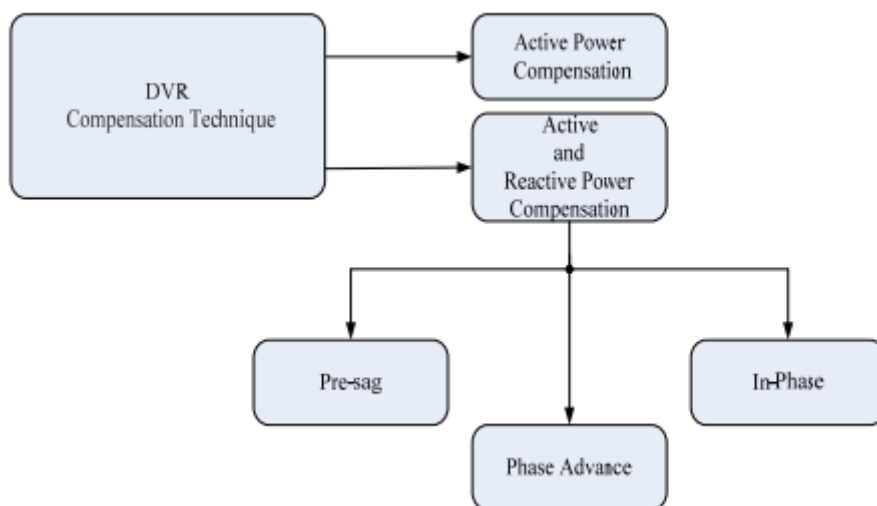
هر دو روش کنترلی فوق را می‌توان به صورت عددی یا برداری پیاده‌سازی نمود. روش ترکیبی، روشی است که در آن ولتاژ شبکه به صورت feedforward و ولتاژ سمت بار به صورت feedback به سیستم کنترلی اعمال می‌شود. این روش کنترلی از مزایای هر دو روش قبلی بهره می‌برد و قدرت جبران‌سازی بیشتری دارد. اگر قسمت feedback روش کنترلی ترکیبی به صورت دو حلقه‌ای طراحی شود، می‌تواند پایداری شبکه، مشخصه سیستم و تطبیق‌پذیری با بارهای دینامیک را افزایش دهد. ترکیب شدن با روش feedforward سطح پاسخ دینامیکی سیستم را افزایش داده و زمان جبران‌سازی را به مقدار قابل توجهی

کاهش می‌دهد. در [۲۰۷] روش کنترلی با feedback جریان اندوکتانس و feedforward جریان بار طراحی شده است که در اینجا دیگر نیازی به ترانسفورماتور سری نبوده و هزینه DVR کاهش خواهد یافت.

## ۱۰-۶-۱ تکنیک‌های جبران‌سازی در DVR

مطابق با شکل ۱۰-۱۱، تکنیک‌های جبران‌سازی در DVR به دودسته اصلی به شرح زیر تقسیم می‌شوند:

- جبران‌سازی توان راکتیو
- جبران‌سازی توان اکتیو و راکتیو



شکل ۱۰-۱۱ تکنیک‌های جبران‌سازی در DVR

روش‌های تزریق ولتاژ ازدست‌رفته را می‌توان به صورت جبران‌سازی pre-sag، جبران‌سازی in-phase و phase advance یا جبران‌سازی انرژی حداقلی تقسیم‌بندی نمود.

## ۱۰-۷- بازار جهانی DVR

مشکلات کیفیت توان سبب افزایش استفاده از DVR در همه زمینه‌ها شده است. بعلاوه، رشد استفاده از تجهیزات الکترونیک قدرت، تقاضا برای بهبود قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع و افزایش تعداد تحقیقات فعالیت‌های توسعه‌دهنده

برخی از فاکتورهای رشد بازار DVR هستند. علاوه بر این، هزینه پایین تعمیر و نگهداری سبب علاقه‌مندی بیشتر به استفاده از آن برای مدیریت توان می‌شود. [۲۰۸]

آمریکای شمالی در سال ۲۰۱۲ برای استفاده از DVR به صورت گسترده برنامه‌ریزی کرده است، که از تعداد زیادی از تولیدکنندگان تجهیزات DVR در کلاس جهانی بهره‌گیری شده است. بازار DVR در آسیا و اقیانوسیه به سرعت در حال رشد می‌باشد که انتظار می‌رود در بازه پیش‌بینی شده، رشد آن دورقمی شود. کشورهای این منطقه مانند کره جنوبی، چین، ژاپن و تایوان هزینه‌های بسیار زیادی را صرف سرمایه‌گذاری در این بخش کرده‌اند.

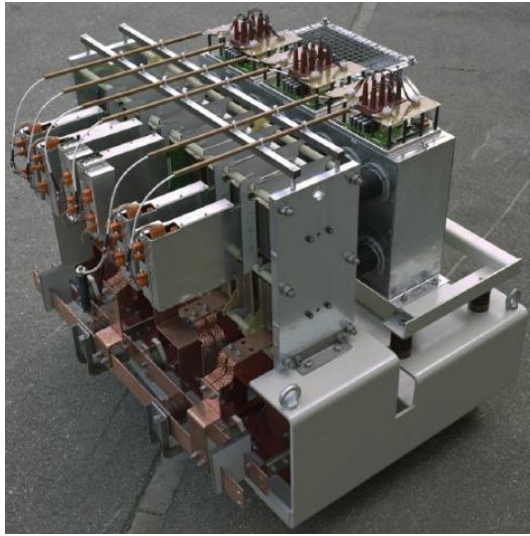
همچنین رشد سریع تکنولوژی نیمه‌هادی‌ها، که عمدتاً متکی بر کشورهای چین و تایوان به دلیل تولیدات عمده در این زمینه، است، محرک تقاضا برای DVR در این منطقه می‌باشد. هم‌اکنون این شرکت‌های تولید نیمه‌هادی در حال اختصاص دادن مقادیر قابل ملاحظه‌ای بودجه جهت تحقیق و توسعه فعالیت‌ها برای به خدمت گرفتن پیشرفت‌های تکنیکی هستند تا محصول را باقیمت کمتری به مصرف‌کنندگان نهایی تحویل دهند.

## ۱۰-۸- نمونه‌های عملی DVR

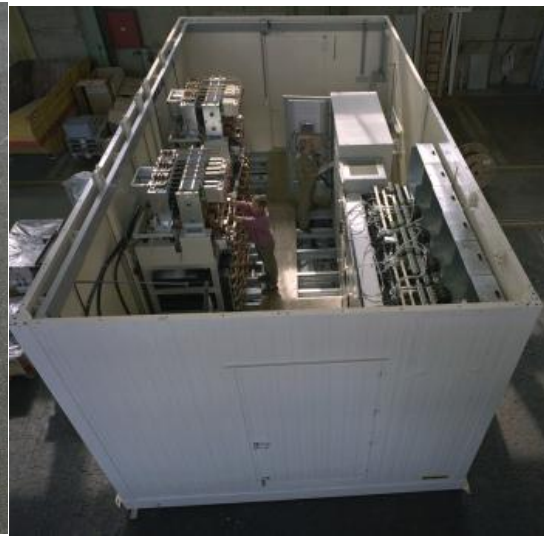
### ۱۰-۸-۱ DVR محصول شرکت ABB

یک نمونه از DVR و محفظه کل سیستم ساخته شده توسط شرکت ABB در شکل ۱۰-۱۲-الف) و ب) نشان داده شده

است [۲۰۹].



(ب)



(الف)

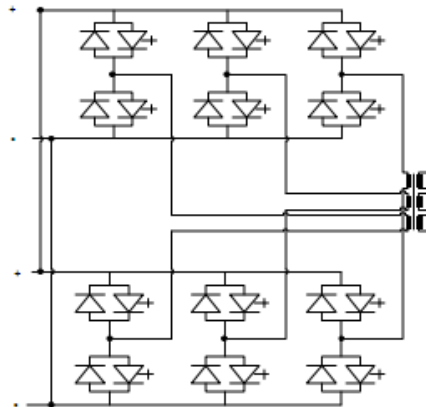
شکل ۱۰-۱۲ DVR محصول شرکت ABB

محفظه سیستم شامل موارد زیر است:

- مبدل‌ها
- ذخیره‌ساز انرژی
- کنترل‌کننده‌ها
- توان کمکی
- منبع DC از پیش شارژ شده
- تخلیه‌کننده
- خنک‌کننده هوا

ساختار پایه مبدل‌های این سیستم در شکل ۱۰-۱۳ نشان داده شده است که شامل ۱۲ قطعه IGBT، باس DC ۲/۲

کیلوولت و ساختار دوسطحی می‌باشد که قابلیت افزایش سطح توان تا ۱۰۰ مگاوات‌آمپر را دارد.



شکل ۱۰-۱۳ ساختار پایه مبدل‌های DVR محصول شرکت ABB

IGBT های استفاده شده در این مدل دارای سطح ولتاژ ۲/۵ کیلوولت و سطح جریان ۱ کیلو آمپر هستند. مشخصات IGCT های استفاده شده نیز ۴/۵ کیلوولت و ۴ کیلو آمپر است.

شکل ۱۰-۱۳ مبدل و ذخیره ساز این سیستم را در فضای داخلی نشان می دهد. این سیستم دارای خازن DC، پاسخ سریع (۱۵۰ میلی ثانیه) و سیستم تهویه و خنک کننده با هواست.

مشخصات کلی این سیستم DVR به شرح زیر است:

در حالت آماده باش:

- مبدل ها اتصال کوتاه شده اند.
- تلفات سیستم حدود ۶۵ کیلووات و بازده آن ۹۸ درصد است.
- افت ولتاژ ۱ درصد

مشخصه دینامیک:

- ولتاژ خروجی در دامنه و فاز کنترل می شود.
- زمان پاسخ: کمتر از ۱ میلی ثانیه

زمان جبران سازی: کمتر از یک چهارم سیکل.

زمان شارژ: دو دقیقه

نکات برجسته این محصول:

- ۱۹۶ روز متوالی باقابلیت دسترسی ۱۰۰ درصد.
- ۹۹,۳۷ درصد قابلیت دسترسی از زمان راهاندازی
- دو خطا از زمان راهاندازی: یکی جهت ارتقاء سیستم کنترل، دیگری جهت حفاظت خودی.
- حفظ یک پست.

### بررسی هزینه DVR [۲۱۰]:

میزان هزینه‌های DVR نصب‌شده در خط ۱۳/۸ کیلوولت در جدول ۱۰-۳ آورده شده است.

جدول ۱۰-۳: میزان هزینه‌های DVR نصب‌شده در خط ۱۳/۸ کیلوولت

DG و DVR	DVR به تنهایی	آیتم مورد نظر	نوع خطا
۱/۸	۲/۵	توان (MVA) DVR	LG
۵۰۰,۰۰۰~	۷۰۰,۰۰۰~	هزینه (\$) DVR	
۲۷۷/۸~	۲۸۰~	هزینه (\$/kVA) DVR	
۶	۷/۷۷	توان (MVA) DVR	LLG
۱,۷۰۰,۰۰۰~	۲,۲۰۰,۰۰۰~	هزینه (\$) DVR	
۲۸۳/۶~	۲۸۳/۱~	هزینه (\$/kVA) DVR	

### ۱۰-۸-۲ تجهیز DVR محصول شرکت S&C

این محصول در آغاز دهه ۹۰ میلادی توسعه یافت. DVR های شرکت S&C در ولتاژهای ۴/۱۶ تا ۳۴/۵ کیلوولت و توان ۲/۵ تا ۲۰ مگاوات آمپر موجود هستند. سیستم‌های DVR ولتاژ را از طریق ثانویه ترانسفورماتور سری به مدار تغذیه‌کننده بار حساس تزریق می‌کند. با کنترل دامنه و فاز این ولتاژ کیفیت توان بهبود می‌یابد. یک بانک خازنی مقدار اندکی انرژی را در خود ذخیره می‌کند که در واقع منبع ولتاژ DVR محسوب می‌شود. از آنجایی که اکثر افت ولتاژها در سیستم توزیع و انتقال در زمانی کمتر از ۲۰۰ میلی‌ثانیه و افت دامنه کمتر از ۵۰٪ ولتاژ نامی رخ می‌دهند، این منبع ولتاژ کافی خواهد بود [۲۱۲].

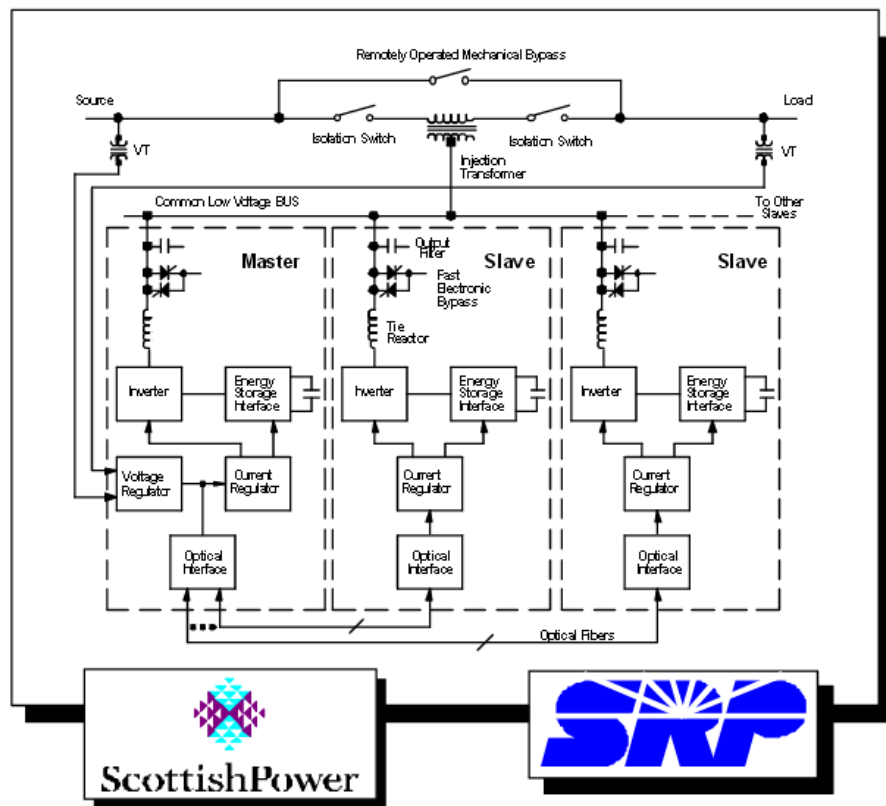
DVRها عموماً بر اساس ظرفیت جبران سازی آنها طبقه بندی می شوند. به عنوان مثال DVR با ظرفیت ۲ MVA می تواند برای بار ۴ MVA نصب شده و افت ولتاژهایی کمتر از ۵۰٪ مقدار نامی را در هر سه فاز جبران کند. به دلیل اینکه بیشتر افت ولتاژها متقارن نیستند، سیستم سنسور DVR باید قادر به جبران سازی مقدار مورد نیاز هر فاز باشد. میزان افزایش ولتاژ را می توان به صورت تابعی از بار تنظیم کرد. در صورتی که ظرفیت بار نسبت به DVR کوچک تر باشد، DVR می تواند افت ولتاژهای شدیدتری را جبران کند.

## ۱۰-۹- پروژهای عملی انجام شده در زمینه DVR

### ۱۰-۹-۱ نصب DVR توسط شرکت SRP برای ScottishPower

مشخصات این پروژه به شرح زیر است [۲۱۲]:

- اینورتر با ظرفیت ۲ مگا ولت آمپر در هر فاز
- ترانسفورماتور تزریق سری تکی، ترکیب شده با اینورتر
- مجموعه واحد از سوئیچ گیر با اتصال داخلی
- راکتورهای رابط برای فراهم کردن امپدانس جهت اشتراک گذاری جریان خروجی
- ارتباط بین پایه/پیرو از طریق ارتباطات فیبر نوری



شکل ۱۰-۱۴: DVR شرکت SRP

۱۰-۹-۲ نصب DVR توسط شرکت UPM برای Caledonian Paper plc Irvine, Scotland

Scotland

مشخصات سیستم این کارخانه به صورت زیر است [۲۱۲]:

- تولید ۳۲۵ تن کاغذ در سال
- بار کل کارخانه معادل ۴۷ مگا ولت آمپر
- تغذیه ۱۱ کیلوولت، ۵۰ هرتز از سیستم انتقال ۱۳۲ کیلوولتی اسکاتلند
- عمیق ترین افت ولتاژ معادل ۰/۳۴ پریونیت
- دارای ۳۷ خطای افت ولتاژ در سال

مشخصات این پروژه به شرح زیر است:

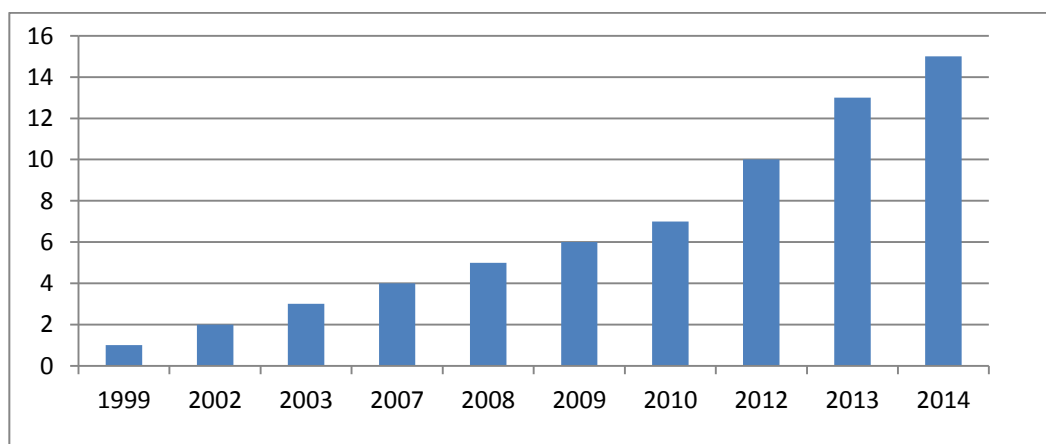


- ۴ مگا ولت آمپر، ۰/۸ مگا ژول، ۴۰٪ تزریق در ۲۰۰ میلی ثانیه (۱۰ سیکل) توسط DVR
- تغذیه توسط کابل ۱۱ کیلوولت
- ۲ عدد ماژول الکترونیکی ۲ مگا ولت آمپر
- ۲ عدد ماژول خازن ذخیره ساز انرژی ۰/۴ مگا ژول
- نصب بستر زیرزمینی برای اتصال داخلی تجهیزات DVR

## ۱۰-۱۰- بررسی اختراعات و مقالات چاپ شده در زمینه DVR

نمودار تجمعی اختراعات ثبت شده و کد اختراعات در زمینه DVR به ترتیب در شکل ۱۰-۱۵ و جدول ۱۰-۴ نشان داده شده است. روند ثبت اختراعات از سال ۱۹۹۹ تقریباً با رشد یکنواختی آغاز شده و در سال های اخیر رشد سریع تری پیدا کرده است ([۲۱۳] و [۱۸۰]).

بر اساس جدول ۱۰-۴ بیشترین اختراعات مربوط به جبران سازی و کنترل توان راکتیو در شبکه توزیع می باشد که اکثراً مربوط به سال های اخیر می باشند. نمودار تجمعی مقالات ژورنالی و کنفرانسی در زمینه DVR نیز به ترتیب در شکل ۱۰-۱۶ و شکل ۱۰-۱۷ نشان داده شده اند. روند چاپ مقالات ژورنال از سال ۱۹۹۹ آغاز و تاکنون تقریباً سیر یکنواختی داشته است. روند چاپ مقالات کنفرانس نیز تقریباً به صورت همزمان، از سال ۱۹۹۵ آغاز شده اما سیر صعودی داشته است که حکایت از افزایش توجه محافل علمی به موضوع DVR دارد.

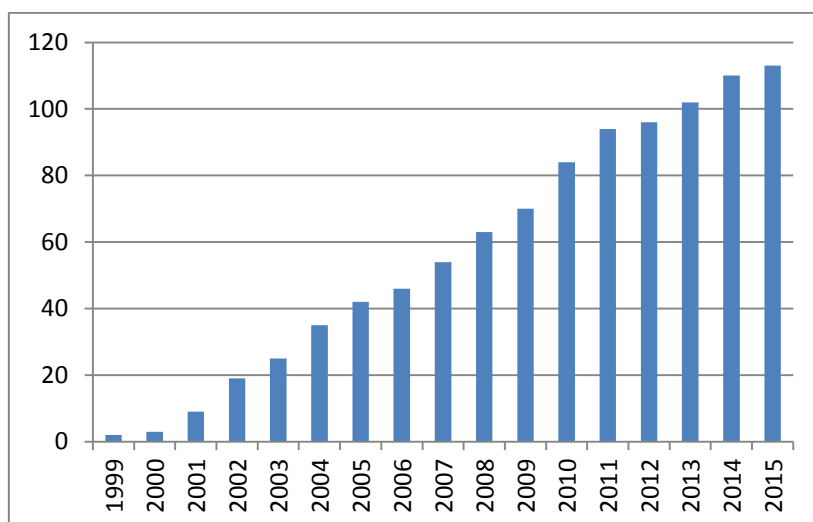


شکل ۱۰-۱۵ نمودار تجمعی اختراعات ثبت شده در زمینه DVR

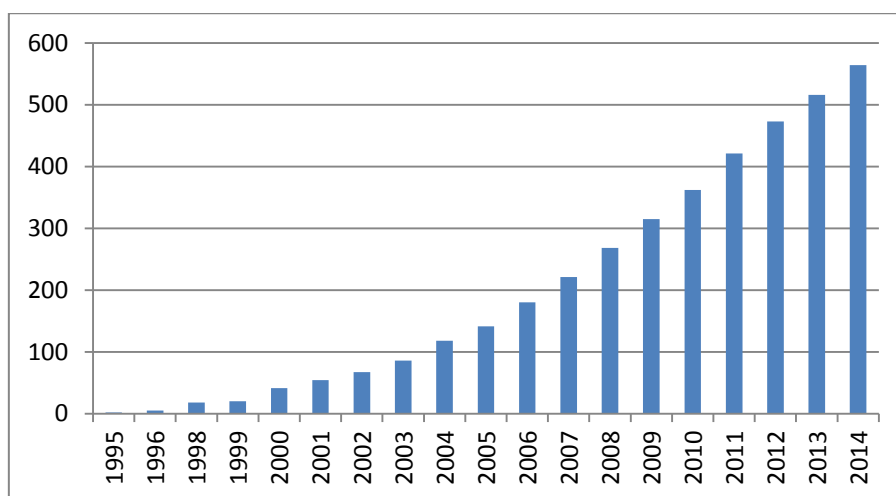
## جدول ۱۰-۴: کد اختراعات

کد اختراع	توضیحات	تعداد	سال ثبت اختراع
H02J3/00	تنظیم مدار برای شبکه AC اصلی و توزیع	۱	۲۰۰۷
H02J3/01	تنظیم مدار برای شبکه AC اصلی و توزیع به منظور کاهش هارمونیک‌ها و ریپل	۱	۲۰۰۷
H02J3/12	تنظیم مدار برای شبکه AC اصلی و توزیع جهت تنظیم ولتاژ در شبکه AC به وسیله تغییر مشخصه بار شبکه	۲	۱۹۹۹، ۲۰۱۳
H02J3/16	تنظیم مدار برای شبکه AC اصلی و توزیع جهت تنظیم ولتاژ در شبکه AC به وسیله کنترل توان راکتیو	۶	(۲) ۲۰۱۴، ۲۰۱۳، ۲۰۱۲، ۲۰۲۲
H02J3/18	تنظیم مدار برای شبکه AC اصلی و توزیع جهت تنظیم، حذف و یا جبران سازی توان راکتیو شبکه‌ها	۹	(۳) ۲۰۱۳، (۲) ۲۰۱۲، ۲۰۰۸، ۲۰۰۳، ۲۰۰۲، ۱۹۹۹
H02J3/1814	تنظیم مدار برای شبکه AC اصلی و توزیع جهت جلوگیری یا کاهش نوسان توان در شبکه	۴	۲۰۰۸، ۲۰۰۳، ۲۰۰۲، ۱۹۹۹
H02J3/24	تنظیم مدار برای شبکه AC اصلی و توزیع به منظور جلوگیری یا کاهش نوسان توان در شبکه توزیع	۱	۲۰۱۲
H02J3/26	تنظیم مدار برای شبکه AC اصلی و توزیع به منظور حذف یا کاهش عدم تقارن چند فازه شبکه توزیع	۱	۲۰۰۹
H02J3/28	تنظیم مدار برای شبکه AC اصلی و توزیع به منظور تعادل بار در شبکه توزیع توسط ذخیره‌سازهای انرژی	۲	۲۰۰۹، ۲۰۱۳
H02J3/38	تنظیم مدار برای شبکه AC اصلی و توزیع به منظور تغذیه موازی یک تک شبکه به وسیله دو (یا تعداد بیشتری) ژنراتور، مبدل یا ترانسفورماتور	۲	۲۰۱۳، ۲۰۱۲
H02J7/00	تنظیمات مدار برای شارژ یا دیپلاریزه کردن باتری‌ها یا برای تغذیه بار توسط باتری‌ها	۱	۲۰۱۳
Y02E40/18	جبران ساز ولتاژ سری کنترل شده در فناوری‌های مربوط به تولید، انتقال و توزیع توان الکتریکی مؤثر	۴	۲۰۰۸، ۲۰۰۳، ۲۰۰۲، ۱۹۹۹
Y02E40/22	فیلترهای توان اکتیو نامشخص یا تغذیه شده با ولتاژ	۱	۲۰۰۷
Y02E40/30	جبران سازی توان راکتیو در فناوری‌های مربوط به تولید، انتقال و توزیع توان الکتریکی مؤثر.	۴	(۲) ۲۰۱۳، (۳) ۲۰۱۲
Y02E40/32	جبران سازی توان راکتیو به وسیله ژنراتور سنکرون در فناوری‌های مربوط به تولید، انتقال و توزیع توان الکتریکی مؤثر	۱	۲۰۱۲
Y02E40/34	تنظیم ولتاژ در فناوری‌های مربوط به تولید، انتقال و توزیع توان الکتریکی مؤثر	۵	(۲) ۲۰۱۴، ۲۰۱۳، ۲۰۱۲، ۲۰۱۰
Y02E40/40	تنظیم کاهش هارمونیک در فناوری‌های مربوط به تولید، انتقال و توزیع	۱	۲۰۰۷

کد اختراع	توضیحات	تعداد	سال ثبت اختراع
	توان الکتریکی مؤثر		
Y02E40/50	حذف یا کاهش عدم تقارن چند فازه شبکه توزیع در فناوری‌های مربوط به تولید، انتقال و توزیع توان الکتریکی مؤثر	۱	۲۰۰۹
Y02E10/763	تولید و تبدیل انرژی از باد برای کاربردهای متصل به شبکه	۳	۲۰۱۲، ۲۰۱۳ (۲)



شکل ۱۰-۱۶ نمودار تجمعی مقالات ژورنال چاپ شده در زمینه DVR



شکل ۱۰-۱۷ نمودار تجمعی مقالات کنفرانسی ثبت شده در زمینه DVR

## ۱۰-۱۱- استانداردها

استانداردهای مورد استفاده در طراحی تجهیزات بهساز توان شامل DVR، D-Statcom و TSC در ادامه لیست شده‌اند.

### ۱۰-۱۱-۱ استانداردهای مربوط به راکتورها و ترانسفورماتورها

- IEEE Std 388-1992: استاندارد IEEE برای ترانسفورماتورها و راکتورهای مورد استفاده در تجهیزات تبدیل توان الکتریکی
- IEEE Std C57.13-1993: استاندارد IEEE برای ملزومات ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری
- IEEE Std C57.13.3-2014: راهنمای IEEE برای زمین کردن مدار ثانویه و بدنه ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری

### ۱۰-۱۱-۲ استانداردهای مربوط به تریستورها

- IEEE Std 428-1981: استاندارد IEEE برای تعاریف و ملزومات کنترل‌کننده‌های توان AC تریستوری
- ANSI/IEEE Std 936-1987: راهنمای IEEE برای مبدل‌هایی با کموتاسیون خودی.

### ۱۰-۱۱-۳ استانداردهای مربوط به اتصال به شبکه

- IEEE Std 1409-2012: راهنمای IEEE برای کاربرد الکترونیک قدرت برای بهبود کیفیت توان در سیستم‌های توزیع با ظرفیت ۱ تا ۳۸ کیلوولت
- IEEE Std 1676-2010: راهنمای IEEE برای معماری کنترلی تجهیزات الکترونیک قدرت بالا (۱ مگاوات و بیشتر) جهت استفاده در سیستم‌های انتقال و توزیع توان الکتریکی
- IEEE Std C57.142-2010: راهنمای IEEE برای توصیف وقوع و کاهش حالت‌های گذرای کلیدزنی ناشی از ترانسفورماتورها، ادوات کلیدزنی و اثر متقابل سیستم

- IEEE Std 519-2014: پیشنهادهای IEEE برای اعمال و ملزومات کنترل هارمونیک در سیستم‌های قدرت الکتریکی
- ANSI/IEEE Std 519-1981: راهنمای IEEE برای کنترل هارمونیک و جبران‌سازی راکتیو مبدل‌های قدرت استاتیک
- IEEE P1894: راهنمای IEEE برای مانیتورینگ آنالین و ضبط داده‌های مربوط به اضافه ولتاژ گذرا در سیستم قدرت
- IEEE P1250: راهنمای IEEE برای تشخیص و بهبود کیفیت ولتاژ در سیستم قدرت
- EN61000-3-2: محدودیت‌های هارمونیک اتصال به شبکه

#### ۱۰-۱۱-۴ استانداردهای مربوط عایق بندی

- IEEE Std C62.82.1-2010: استاندارد IEEE برای هماهنگی عایقی - تعاریف، اصول و قواعد.
- IEEE Std 1313.2-1999: راهنمای IEEE برای کاربرد هماهنگی عایقی
- ANSI/IEEE Std 930-1987: راهنمای IEEE برای بررسی آماری داده‌های تحمل ولتاژ عایق الکتریکی

## فصل یازدهم

### آزمایشگاه‌های الکترونیک قدرت

## ۱۱- فصل یازدهم آزمایشگاه‌های الکترونیک قدرت

### ۱-۱۱- مقدمه

به منظور توسعه فناوری الکترونیک قدرت در شبکه برق نیاز به ایجاد بسترها و مراکز تحقیقاتی برای پیاده‌سازی و توسعه ایده‌های جدید در این زمینه وجود دارد. امروزه در کشورهای توسعه‌یافته در بسیاری از مراکز دانشگاهی و تجاری، آزمایشگاه‌های الکترونیک قدرت مجهز به پیشرفته‌ترین ادوات پیاده‌سازی، آزمون و ارزیابی سیستم‌های الکترونیک قدرت وجود داشته و در راستای پیشبرد صنعت الکترونیک قدرت فعالیت می‌کنند. بنابراین به منظور حضور در این عرصه و فعالیت در جهت پیشبرد این صنعت در کشور باید مراکز آزمایشگاهی مناسب تأسیس گردد.

به منظور طراحی و توسعه یک محصول در مراحل مختلف نیاز به آزمایشگاه‌های با اهداف متفاوت وجود دارد. در مرحله طراحی و ساخت نیاز به مراکز آزمایشگاهی مجهز به تجهیزاتی برای طراحی، شبیه‌سازی، ساخت نمونه، تجهیزات اندازه‌گیری و مانیتورینگ مناسب و ... وجود دارد. پس از ساخت محصول با توجه به استانداردهای موجود ملی و بین‌المللی باید محصول مورد آزمون قرار گیرد. این آزمون‌ها با توجه دستورالعمل مربوط به هر استاندارد انجام گرفته و نتایج آن مؤید تأیید یا عدم تأیید عملکرد محصول است. پس از این مرحله لازم است عملکرد محصول در شرایط میدانی مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به توضیحات فوق می‌توان دسته‌بندی زیر را برای تأسیسات آزمایشگاهی مورد نیاز ارائه داد.

- آزمایشگاه‌های تحقیقاتی
- آزمایشگاه‌های مرجع
- آزمایشگاه‌ها یا محیط آزمون میدانی

بررسی‌های صورت گرفته در کشور نشان می‌دهد. که در همه حوزه‌های مورد اشاره نیاز به توسعه و ایجاد بستر مناسب در

کشور وجود دارد.

## ۱-۱-۱۱ تعاریف اولیه

یک محصول از زمانی که ایده اولیه آن در ذهن تصویر می‌شود تا زمان عرضه در بازار مراحل مختلفی را پشت سر می‌گذارد. در این فرایند محصول به شکل‌های مختلفی تولید و مورد آزمون قرار می‌گیرد که در ادامه برخی از تعاریف و عبارت‌های مورد استفاده در این خصوص ارائه شده است. وجود تعریف روشن از این عبارت‌ها به درک مسیری که محصول باید در مراحل مختلف طی کرده و آزمون‌های مورد نیاز در هر مرحله کمک خواهد کرد.

### ۱-۱-۱-۱۱- نمونه اولیه

نمونه اولیه را می‌توان به‌عنوان یک نمونه یا مدل عرضه‌شده از یک محصول به‌منظور ارزیابی یک ایده (یا پروسه) یا نقش‌آفرینی به‌عنوان یک محصول جهت تکرار تولید (یا یادگیری) دانست. یک نمونه اولیه را می‌توان برای آزمون یک طراحی جدید و به‌منظور افزایش دقت توسط کاربران و متخصصان تولید کرد. ساخت نمونه‌های اولیه به‌منظور تعیین خصوصیات یک سیستم واقعی (و نه تئوریک) نیز صورت می‌پذیرد. نمونه اولیه با در نظر داشتن کارکرد مورد انتظار از آن به گروه‌های زیر طبقه‌بندی می‌شود [۲۱۴].

### نمونه اولیه با کارکرد اثبات ایده

این نمونه اولیه در جهت اثبات کارایی ایده ساخته می‌شود و در نتیجه انطباق دقیقی ظاهری با نمونه واقعی نخواهد داشت. به‌صورت کلی، این نمونه اولیه در جهت اثبات امکان‌پذیری یک ایده به تولیدکنندگان ساخته می‌شود.

### نمونه اولیه با کارکرد مطالعه ساختار

این نمونه اولیه در جهت مطالعه و بررسی فرم محصول مورد نظر تولید می‌گردد. در عمل ممکن است برای جلوگیری از آسیب رسیدن به یک نمونه واقعی، یک نمونه اولیه با مواد اولیه ارزان‌تر ساخته شود. این نمونه برای استفاده حقیقی ساخته نمی‌شود و تنها برای درک چهره و حس عمومی محصول تولید می‌گردد.

### نمونه اولیه بصری



نمونه اولیه بصری، نمونه واقعی را از نظر چهره، احساس، ماده و ابعاد به صورت کامل تقلید می‌کند. همانند نمونه اولیه با کاربرد مطالعه ساختار، این نمونه اولیه نیز برای کاربرد حقیقی ساخته نمی‌شود اما به لحاظ بصری انطباق بسیار زیادی با نمونه واقعی دارد. این نمونه اولیه عمدتاً در کاربردهای فروش، گرافیک و مطالعات بسته‌بندی کاربرد دارد.

### نمونه اولیه عملکردی

برخلاف نمونه‌های اولیه بصری و ساختاری، نمونه‌های اولیه کارکردی حداکثر انطباق را با عملکرد حقیقی محصول دارند. این نمونه اولیه عمدتاً برای کاهش هزینه‌ها به جای محصول اولیه ساخته می‌شود.

### ۱۱-۱-۱-۲- نمایش تکنولوژی

نمایش تکنولوژی<sup>۱</sup> (یا مدل نمایشی) یک نمونه اولیه یا یک نمونه ناقص از محصولی است که برای اثبات کارایی یک ایده ساخته شده است. از نمایش تکنولوژی می‌توان برای ترغیب سرمایه‌گذاران، جامعه هدف، مشتریان و خبرنگاران استفاده کرد.

### ۱۱-۱-۱-۳- بستر آزمون

بستر آزمون<sup>۲</sup> ساختاری برای انجام آزمون‌های دقیق، شفاف و تکرارپذیر بر تئوری‌های علمی، ابزارهای محاسباتی و فناوری‌های نوین است. این عبارت به صورت گسترده در رشته‌های گوناگون برای توصیف محیط‌های پژوهش عملی استفاده شده است.

### ۱۱-۱-۱-۴- آزمون پایلوت

آزمون پایلوت<sup>۳</sup> به مطالعه مقیاس کوچکی گفته می‌شود که برای ارزیابی امکان‌پذیری، زمان، هزینه و اثرات معکوس احتمالی در پروژه مقیاس واقعی انجام می‌شود. آزمون‌های پایلوت عموماً قبل از انجام پروژه با مقیاس واقعی صورت می‌پذیرد تا از اتلاف منابع مالی و زمان در اثر یک طراحی ناقص جلوگیری شود.

1 Technology Demonstration

2 Test Bed

3 Pilot Experiment

در کاربردهای مهندسی، آزمون‌های پایلوت برای فروش محصولات مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این شیوه نتایج کمی آزمون‌های پایلوت به خریدار ارائه می‌گردد تا کارایی احتمالی تجهیز در مقیاس واقعی برای ذینفعان اثبات گردد.

### ۱۱-۱-۱-۵- محیط پایلوت

محیط پایلوت، یک سیستم کوچک صنعتی است که برای کسب اطلاعات راجع به رفتار سیستم بهره‌برداری می‌شود. اطلاعات به دست آمده برای استفاده در طراحی سیستم‌های بزرگ‌تر قابل استفاده است. عموماً محیط پایلوت سایز کوچک‌تری نسبت به تولیدات مقیاس واقعی خواهند داشت. از محیط پایلوت برای آموزش کارکنان نیز می‌توان استفاده کرد.

### ۱۱-۱-۲- آزمایشگاه‌های تحقیقاتی

همان‌طور که بیان شد تأسیسات آزمایشگاهی مورد نیاز را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی نمود.

- آزمایشگاه‌های تحقیقاتی
- آزمایشگاه‌های مرجع
- آزمایشگاه‌ها یا محیط تست میدانی

بنا بر تعریف، آزمایشگاه تحقیقاتی مجموعه‌ای است که امکان ایجاد شرایط کنترل شده‌ای را فراهم می‌کند تا بتوان اموری نظیر تحقیقات، آزمایش عملی و اندازه‌گیری را انجام داد. آزمایشگاه‌های تحقیقاتی بسته به ملزومات تحقیقاتی ممکن است اشکال گوناگونی به خود بگیرند.

آزمایشگاه‌های تحقیقاتی را می‌توان در دانشگاه‌ها، صنعت، نهادهای حکومتی و صنایع نظامی یافت. آزمایشگاه تحقیقاتی بسته به سایز و هدف آن ممکن است فضای کافی برای چندین پژوهشگر را فراهم کند. همچنین با اشتراک فضا، تجهیزات و کارکنان آزمایشگاه‌ها با یکدیگر می‌توان به مفهوم "آزمایشگاه باز" دست پیدا کرد.

اطلاعات کسب شده در مطالعات تطبیقی نشان‌دهنده آن است که کشورهای جهان اول برای دستیابی به اهداف اسناد راهبردی خود از راهبرد مشخصی استفاده می‌کنند. در این کشورها عمدتاً برای دستیابی به اهداف مدنظر، جدول زمانی

تعیین شده و پروژه‌های تحقیقاتی با موضوع و دستاوردهای مورد انتظار ملموس تدوین می‌شوند. در این کشورها، برای انجام پروژه‌های تعریف شده، هر پروژه تحقیقاتی را به یک (یا مجموعه‌ای از) دانشگاه و یا آژانس‌های تحقیقاتی اختصاص می‌دهند. پس از مشخص شدن انجام دهندگان پروژه‌های تحقیقاتی، اعتبارات لازم جهت اجرای پروژه‌ها به مجریان آنان اختصاص داده می‌شود. البته ممکن است برخی پروژه‌های تحقیقاتی به سفارش مستقل صنعت نیز به دانشگاه‌ها برسد. تخصیص اعتبارات به مجریان پروژه‌ها ممکن است به صورت مالی و یا تجهیز آزمایشگاهی باشد.

در جمهوری اسلامی ایران مراکزی نظیر دانشگاه‌ها، شرکت‌های مادر تخصصی، واحدهای مرتبط جهاد دانشگاهی و پارک‌های علم و فناوری از جمله کاندیداهای مطرح برای اجرای پروژه‌های مربوط به الکترونیک قدرت هستند. امکانات فعال در این مراکز در جدول ۱-۱۱ ذکر شده است.

جدول ۱-۱۱: لیست کاندیداهای احتمالی جهت اجرای پروژه‌های تحقیقاتی تعریف شده در ذیل سند راهبردی فناوری‌های

#### الکترونیک قدرت

نام مرکز / نهاد / دانشگاه	نام مرکز مستقر در مرکز / نهاد / دانشگاه	تجهیزات موجود
پژوهشگاه نیرو	آزمایشگاه الکترونیک قدرت و ماشین‌های الکتریکی	تجهیزات متداول
دانشگاه تهران	آزمایشگاه الکترونیک قدرت و محرکه‌های الکتریکی	تجهیزات متداول: منابع تغذیه، اسیلوسکوپ، بار متغیر، موتور-ژنراتور کوپل شده، پنل‌های سلول خورشیدی
دانشگاه صنعتی امیرکبیر	آزمایشگاه الکترونیک قدرت و محرکه‌های الکتریکی پیشرفته آزمایشگاه تحقیقاتی FACTS	تجهیزات متداول
دانشگاه صنعتی شریف	آزمایشگاه محرکه‌های الکتریکی و الکترونیک قدرت	تجهیزات متداول
دانشگاه علم و صنعت ایران	آزمایشگاه ماشین مخصوص و درایو آزمایشگاه تحقیقاتی الکترونیک قدرت	تجهیزات متداول
دانشگاه تربیت مدرس	آزمایشگاه الکترونیک قدرت و حفاظت	تجهیزات متداول
دانشگاه تبریز	آزمایشگاه پژوهشی ماشین و درایو آزمایشگاه پژوهشی ادوات FACTS و الکترونیک صنعتی پیشرفته	تجهیزات متداول
دانشگاه مشهد	آزمایشگاه الکترونیک قدرت	تجهیزات متداول
گروه مپنا	واحدهای دخیل در راه‌آهن برقی و ساخت سیستم تحریک استاتیک	تجهیزات متداول
بنیان الکترونیک	-	تجهیزات متداول

نام مرکز / نهاد / دانشگاه	نام مرکز مستقر در مرکز / نهاد / دانشگاه	تجهیزات موجود
جهاد دانشگاهی دانشگاه علم و صنعت	دارای حوزه‌های فعالیت مبدل‌ها و منابع تغذیه و یک‌سوسازهای صنعتی	تجهیزات متداول
جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی خواجه نصیر	دارای حوزه فعالیت ماشین‌های الکتریکی و الکترونیک قدرت	تجهیزات متداول

### ۱۱-۱-۳ آزمایشگاه‌های مرجع

امروزه صنعت تجهیزات برق وابستگی فراوانی به آزمون‌ها و آزمایشگاه‌های مرجع دارد. نتایج آزمون (تست) دقیق، کالیبراسیون و بازرسی برای حفاظت از ایمنی و سلامت عمومی و تسهیل بازرگانی اهمیت فراوانی دارد. بنابراین، حضور آزمایشگاه‌های مرجع در سطح استانداردهای جهانی و اقتصادی جهت حصول اطمینان از کیفیت تجهیزات مورد استفاده ضروری است.

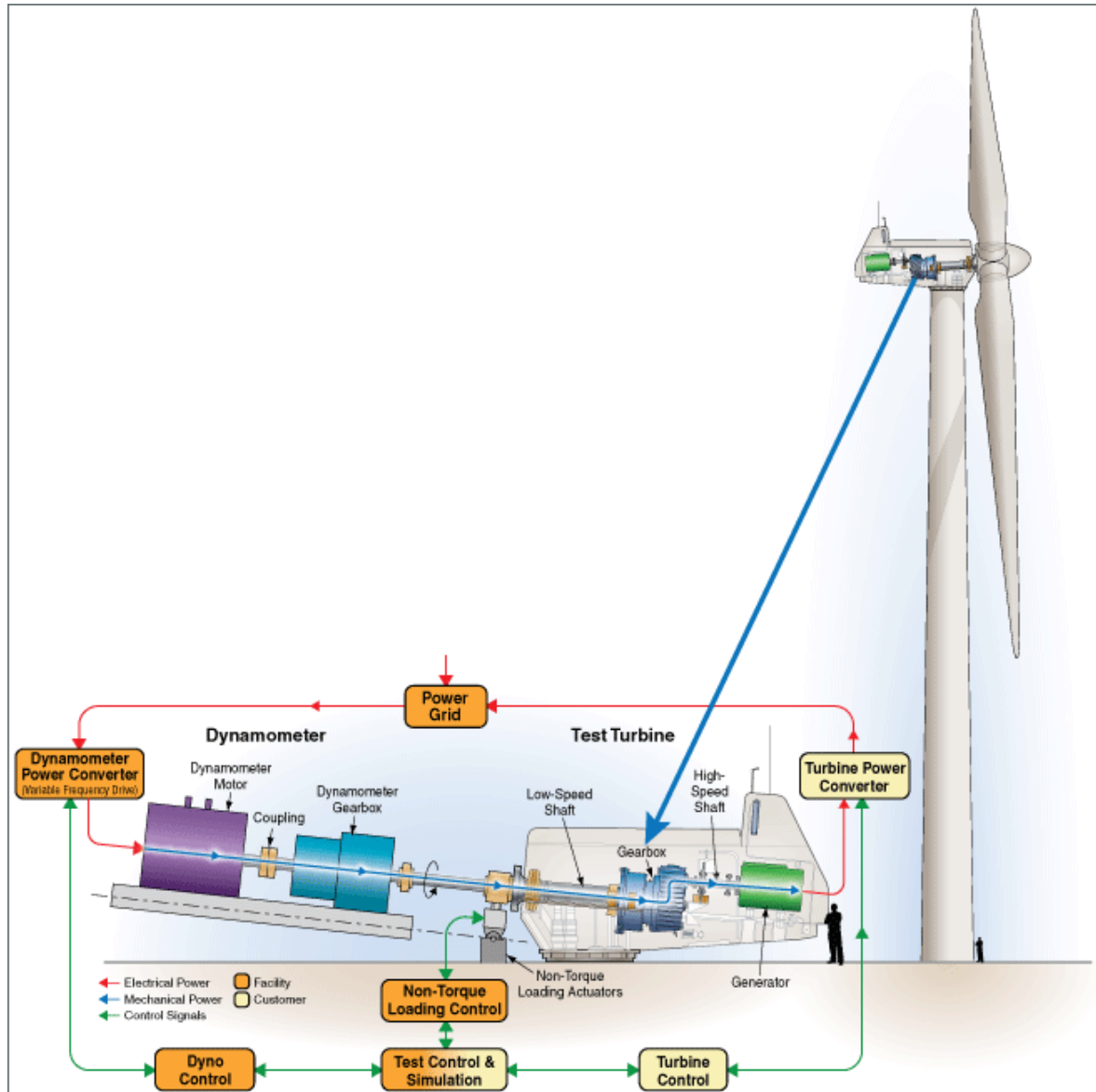
اخذ مجوزهای رسمی از آزمایشگاه‌های مرجع (که آزمون‌هایی بر مبنای ملزوماتی مشخص انجام خواهند داد) در به حداقل رساندن موانع فن تجارت و بازرگانی مؤثر خواهد بود و در نتیجه از فشارهای مالی بر تولیدکنندگان خواهد کاست. امروزه بخش مهمی از ارزیابی‌های یک محصول، ماده و یا قسمتی از یک تجهیز بر مبنای گزارش‌های دریافتی از آزمایشگاه‌های مرجع است. با حضور آزمایشگاه‌های مرجع و مقایسه گزارش‌های آنان، امکان مقایسه دقیق تولیدات مختلف نیز برای خریداران ممکن خواهد شد. بایستی در نظر داشت که تجهیزات الکترونیک قدرت شامل اجزای جانبی مانند خازن، ترانسفورماتور، راکتور و ... است که شامل بحث نیستند. تمرکز این سند بر بخش‌های الکترونیک قدرت تجهیزات است. به صورت نمونه ولوهای تریستوری اصلی‌ترین بخش الکترونیک قدرت تجهیز SVC است.

جمهوری اسلامی ایران، به دلیل فقدان آزمایشگاه‌های مرجع در برخی از حوزه‌های فناورانه الکترونیک قدرت، امکان حصول اطمینان از کیفیت تجهیزات تولیدی / وارداتی الکترونیک قدرت وجود ندارد. بنابراین، تولیدکنندگان داخلی مجرای برای اثبات کیفیت تجهیزات تولیدی خود ندارند. از سویی دیگر با توجه به این موضوع، امکان واردات تجهیزات فاقد کیفیت به داخل کشور نیز از چالش‌های پیش رو است. مجموعه عوامل ذکر شده منجر به افزایش ریسک در بازار تجهیزات الکترونیک قدرت در ایران شده است.

با توجه به آنکه سطح توان و ولتاژ تجهیزات الکترونیک قدرت متفاوت است، به نظر می‌رسد بایستی استراتژی‌های متفاوتی برای آن‌ها اتخاذ کرد. تجهیزاتی نظیر STS، DStatcom، فیلتر فعال، سلول‌های خورشیدی و DVR (که جملگی در شبکه‌های توزیع کاربرد دارند) که سطح توان و ولتاژ پایینی دارند و انتظار می‌رود تعداد بیشتری از آن‌ها تولید گردد، تأسیس آزمایشگاه مرجع توسط بخش خصوصی ممکن به نظر می‌رسد.

این در حالی است که تجهیزاتی چون سیستم تحریک، TSC، TCR، BESS، توربین بادی و مبدل فرکانس توربین گازی دارای سطح توان و ولتاژ بالایی هستند و سرمایه‌گذاری دولتی در تأسیس آزمایشگاه مرجع متناسب با آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد. اگرچه تمرکز این سند بر بخش‌های الکترونیک قدرت است، اما این بخش تنیدگی فراوانی با سایر حوزه‌ها دارد.

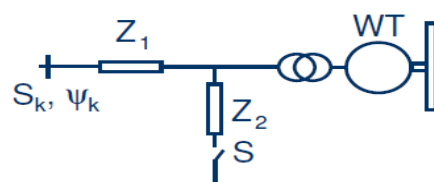
با در نظر داشتن توربین‌های بادی، آزمایشگاه‌های معتبر دنیا در زمینه تست توربین‌های بادی (نظیر NREL) بررسی شده است. در این آزمایشگاه‌ها بر محورهای نظیر آزمایش زنجیره درایو<sup>۱</sup>، آزمایش مبدل‌های واسط الکترونیک قدرت و ... متمرکز شده‌اند. البته لازم به ذکر است که هر کدام از اجزای تشکیل‌دهنده این مجموعه نظیر مواد فولادی ساخت پره‌ها، ژنراتورها و گیربکس مشمول آزمایش با در نظر گرفتن استانداردهای مرتبط با خودشان خواهد شد. به‌طور مثال آزمایشگاه NREL برای آزمایش زنجیره درایو توربین‌های بادی از دینامومتر ۵ مگاواتی استفاده می‌کند. در یک دینامومتر متداول، این تجهیز جایگزین توربین بادی (پره‌ها و روتور) می‌شود و به شفت کم‌سرعت متصل می‌گردد. دینامومتر می‌تواند شرایط عملی محتمل برای توربین بادی را در شدتی قابل کنترل ایجاد کند. آزمایش‌های انجام‌شده توسط دینامومتر بر قسمت‌های الکتریکی و مکانیکی مانند ژنراتورها، گیربکس، مبدل‌های الکترونیک قدرت، ترمز، سیستم روغن کاری سیستم سرمایشی و سیستم‌های کنترلی تمرکز دارد. این سیستم در شکل ۱۱-۱ نشان داده شده است. برای توضیحات بیشتر در این خصوص به پیوست الف مراجعه گردد.



شکل ۱۱-۱: استفاده از دینامومتر برای آزمایش زنجیره درایو توربین های بادی

از سویی دیگر برای آزمایش رعایت استاندارد IEC 61400-21، تجهیزات خاصی لازم است. به طور مثال شرکت ABB

برای آزمایش قابلیت های مبدل های الکترونیک قدرت در برابر افت ولتاژ مدار زیر را برای آزمایش مرجع استفاده می کند.



شکل ۱۱-۲: مدار پایه جهت آزمون مرجع مبدل های الکترونیک قدرت متصل به توربین بادی در برابر افت ولتاژ

در این مدار، امپدانس Z2 وقوع افت ولتاژ را شبیه‌سازی می‌کند. امپدانس‌ها (به دلیل نیاز به تلفات حرارتی کمتر) راکتانسی هستند. امپدانس Z1 نیز برای کاهش اثر افت ولتاژ بر شبکه اصلی قرار داده شده است. برای آنکه بتوان افت ولتاژ کنترل‌شده‌ای داشت بایستی بتوان مقدار امپدانس را تغییر داد. بدین منظور از راکتورهایی با تپ کنترل‌شده به کمک موتور (با کنترل از راه دور) استفاده می‌شود. برای کاهش سایز و جلوگیری از اشباع، از راکتورهای خنک شده به کمک روغن و هسته هوایی استفاده می‌شود. به نظر می‌توان از این تجهیزات برای آزمایش سیستم تحریک نیز استفاده کرد.

با در نظر داشتن سیستم تحریک، آزمایش‌های حقیقی انجام‌شده توسط شرکت‌های سازنده سیستم‌های تحریک برای ایران (توسط شرکت andritz hydro) مطالعه شده است. بر اساس این گزارش‌ها تجهیزات موردنیاز جهت آزمون‌های استاندارد (تست‌های عمومی، سیم‌بندی، تست مقاومت عایقی (اتاقک، ترانسفورماتور، کابل‌ها)، تست رگولاسیون، تست اتصال کوتاه، تست‌های مدارباز ژنراتور، تست بارداری ژنراتور، تست پایدارساز سیستم قدرت) شامل مولتی متر، megger tester (برای آزمایش ترانسفورماتور)، تعیین گر توالی فاز و اسیلوسکوپ می‌باشند. بنابراین برای آزمایش سیستم‌های تحریک، Site Test مناسب‌تر به نظر می‌رسد.

برای تجهیزات SVC (نظیر TSC و TCR)، استانداردهای گوناگونی وجود دارد که تجهیز SVC ملزم به رعایت آن‌هاست. با تمرکز بر بخش الکترونیک قدرت و آزمایشگاه‌های مرجع، به نظر می‌رسد آزمون ولوهای تریستوری از جمله نقاط اصلی موردبحث باشد. شرکت ABB مدارهای استاندارد خود برای تحمیل تنش‌های دلخواه ولتاژی و جریانی بر ولوهای تریستوری را ارائه داده است. مبنای مدارهای آزمون بر آن است که تنش‌های حداکثر ولتاژ و جریان به‌صورت همزمان اتفاق نمی‌افتند. بنابراین دو منبع توان مستقل از هم برای اعمال تنش‌های دلخواه ولتاژ و جریان لازم است. برای ساخت این مدارها نیاز به حضور سلف و خازن‌های قدرت و فیلتری، ولوهای تریستوری کمکی، پل‌های یکسوسازی و مدارات تولید ضربه ولتاژ است. این در حالی است که برای آزمون‌های عملکردی تجهیزات SVC، آزمون Site Test مناسب‌تر به نظر می‌رسد.

البته لازم به ذکر است که تکنیک شبیه‌سازی (HIL<sup>۱</sup>) که کاربرد فراوانی در توسعه و آزمون سیستم‌های زمان واقعی دارد زیرساخت مناسبی برای در نظر گرفتن پیچیدگی‌های سیستم تحت کنترل فراهم می‌کند. این پیچیدگی‌ها را می‌تواند با اضافه کردن معادلات دینامیک سیستم (شبیه‌سازی) در نظر گرفت.

شبیه‌ساز HIL تقلید تمامی سنسورها و عملگرها را در خود خواهد داشت. این اجزا نقش واسط میان شبیه‌ساز HIL و سیستم تحت تست را ایفا خواهند کرد. مقدار هر یک از سنسورها توسط شبیه‌ساز HIL تعیین خواهد شد و سیستم تحت تست از آن فیدبک خواهد گرفت و در ادامه الگوریتم کنترلی خود را به عملگرها اعمال خواهد کرد. اعمال مقادیر جدید به عملگرها منجر به تغییر وضعیت شبیه‌ساز HIL و ادامه مجدد فرایند خواهد شد. به‌عنوان نمونه شبیه‌ساز HIL برای بیان سیستم ترمز یک خودرو ممکن است شامل دینامیک‌های خودرو، سیستم ترمز و شرایط جاده باشد.

در بسیاری از موارد ممکن است کاراترین روش آزمون یک تجهیز، اتصال آن به سیستم واقعی باشد؛ اما در نظر گرفتن مواردی مانند هزینه، مدت‌زمان مورد مطالعه، ایمنی و امکان‌پذیری ممکن است شبیه‌ساز HIL را به‌عنوان روشی کارا معرفی کند.

شبیه‌ساز HIL در مطالعات سیستم قدرت کاربرد فزاینده‌ای دارد. در سال‌های اخیر شبیه‌ساز HIL برای انجام مطالعات پایداری، بهره‌برداری و فعالیت ضمن خطای شبکه‌های الکتریکی استفاده شده است. امروزه می‌توان سیستم‌هایی با تعداد ۱۰۰۰۰ باس را در کنار ژنراتورها، بارها، تجهیزات جبرانگر ضریب توان و اتصالات شبکه را در شبیه‌ساز HIL در نظر گرفت. همچنین از شبیه‌سازی HIL می‌توان برای بررسی اثرات اتصال تولیدات پراکنده، اتصال سیستم‌های اسکادا و ثبات اطلاعات فاز و تجهیزات Statcom استفاده کرد.

برای جمع‌بندی می‌توان گفت که تجهیزات الکترونیک قدرت عموماً بایستی استانداردهایی را در حوزه‌های گوناگون مرتبط با خود رعایت کنند. این استانداردها می‌توانند راجع به اجزای تشکیل‌دهنده تجهیز، سیستم کنترلی، مشخصات عملکردی، شیوه طراحی، مانیتورینگ، اتصال به شبکه و ... مطرح باشند. جهت حصول اطمینان برای مصرف‌کنندگان از جهت رعایت استانداردهای موردنیاز توسط تولید / واردکنندگان، آزمایشگاه‌های مرجع می‌بایستی به‌عنوان نهاد بی‌طرف نقش‌آفرینی کنند.



آزمایشگاه‌های مرجع بایستی توانمندی صدور گواهی آزمون‌های عملکردی و اطمینان از کیفیت را دارا باشند. همچنین آنان باید بتوانند از رعایت شرایط موجود در قراردادها اطمینان حاصل کنند. بایستی مدنظر داشت که گواهی آزمون برای صنایع حساس که خرابی تجهیز ممکن است اثرات منفی جدی در پی داشته باشد، اهمیت فراوانی دارد. از سویی دیگر برخی از تجهیزات الکترونیک قدرت ممکن است نیاز به نظارت مستمر داشته باشد. برای این منظور آزمایشگاه‌های مرجع می‌بایستی برای تمدید گواهی‌نامه محصول تولیدی/وارداتی، تولید/واردکنندگان را ملزم به ارسال مستمر درصدی از نمونه‌های تولیدی برای بررسی مجدد کنند. همچنین آزمایشگاه‌های مرجع باید سازوکاری برای لغو احتمالی گواهی‌نامه صادره در اثر شکایت‌های مشتریان داشته باشد. برخی آزمایشگاه‌های مرجع نیز باید تولیدکنندگان را ملزم به رعایت مدیریت کیفیت (نظیر ISO 9000) کنند.

### ۱۱-۱-۳-۱- مطالعه موردی - روند بررسی امکان اتصال اینورترهای PV به شبکه استرالیا

شورای انرژی پاک<sup>۱</sup> استرالیا لیستی از تمامی اینورترهای متصل به سلول خورشیدی و سازگار با استانداردهای این کشور را تهیه کرده است. این شورا برای تهیه لیست مورد اشاره از گواهی‌نامه‌های صادره از آزمایشگاه‌های مرجع زیر (و سایر نهادهای استانی آن کشور) استفاده می‌کند:

- Australian Safety Approvals (ASA) (JAS-ANZ)
- Conformity Certification Services Pty Ltd (CCS) (JAS-ANZ)
- Electrical Safety Office (Qld)
- Energy Safe Victoria (ESV)
- ITACS (JAS-ANZ)
- Office of Fair Trading (NSW)
- SAA Approvals (JAS-ANZ)
- SGS Systems (JAS-ANZ)
- TUV Rhineland Australia (JAS-ANZ)

هم‌اکنون استانداردهای ملی استرالیا تنها برای اینورترهای با ظرفیت کمتر از 30 kW تدوین شده‌اند. بنابراین آزمایشگاه‌های یادشده، رعایت استانداردهای ملی استرالیا را تنها برای ظرفیت‌های توانی کمتر از 30kW مدنظر قرار خواهند داد

و برای بالاتر از این ظرفیت، رعایت استانداردهای مرتبط جهانی را بررسی خواهند کرد. هر اینورتر PV تولیدشده در جهان پس از اخذ گواهی نامه یکی از آزمایشگاه‌های فوق امکان اتصال به شبکه استرالیا را خواهد داشت.

## ۱۱-۱-۴ آزمایشگاه پایلوت

آزمایشگاه‌های پایلوت<sup>۱</sup> بستری مناسب برای بررسی عملکرد تجهیزات تولیدی شرکت‌ها فراهم می‌کند به گونه‌ای که پیش از تولید انبوه می‌توان تجهیز را در آنجا مورد بررسی و آزمایش قرار داد. حضور آزمایشگاه‌های پایلوت هنگامی کلیدی بنظر می‌رسد که عدم وجود استانداردهای مشخص درباره بعضی از تجهیزات تولیدشده مدنظر قرار گرفته شود. در خصوص آزمایشگاه‌ها یا محیط تست میدانی با توجه به تنوع تجهیزات الکترونیک قدرت باید اقدامات مختلفی صورت پذیرد. بدین منظور می‌توان تجهیزات را به صورت زیر دسته‌بندی نمود

- تجهیزات با سطح توان و ولتاژ پایین
- تجهیزات با سطح توان و ولتاژ بالا

در خصوص تجهیزات توان پایین فراهم نمودن محیط تست میدانی برای سازنده مقدر بوده و در این بخش نیاز است که مکانیسم مدون و مشخص برای ثبت نتایج و تأیید آن‌ها فراهم شود.

در خصوص تجهیزات با سطح توان بالا امکان تست در بسیاری موارد به‌ویژه برای تجهیزاتی که باید در شبکه‌ی برق نصب کردند توسط سازنده مقدر نیست برای فراهم نمودن این امکان باید اولاً مکانیسم مشخصی برای تعیین محل تست تدوین شده و ثانیاً باید پوشش بیمه‌ای لازم برای جبران خسارت احتمالی طراحی گردد.

## ۱۱-۲- بررسی آزمایشگاه‌های پیشرفته الکترونیک قدرت در جهان

به‌منظور شناخت آزمایشگاه‌های پیشرفته الکترونیک قدرت در جهان و تجهیزات و قابلیت‌های آن‌ها در این بخش اطلاعات برخی از این آزمایشگاه‌ها جمع‌آوری گردیده است که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

## ۱۱-۲-۱ آزمایشگاه ملی OAK RIDGE (به اختصار ORNL)

آزمایشگاه ORNL، بزرگ‌ترین سازمان علوم و آزمایشگاه‌های انرژی آمریکا است که به تحقیقات پایه‌ای و کاربردی، به منظور یافتن پاسخ‌های نوین برای مشکلات موجود در انرژی و امنیت، می‌پردازد. سازمان ORNL، بودجه‌ای معادل ۱/۴ میلیارد دلار برای حمایت از مأموریت‌های ملی سازمان انرژی آمریکا، شامل اکتشافات علمی، انرژی پاک و امنیت دریافت می‌کند. این سازمان در چهار زیرگروه اصلی علوم نوترونی، علوم محاسباتی، علوم مواد و علوم هسته‌ای فعالیت می‌کند.

گروه تحقیقاتی الکترونیک قدرت و ماشین‌های الکتریکی این سازمان، در مرکز تحقیقات ملی حمل‌ونقل واقع در شهر Oak Ridge در ایالت Tennessee قرار دارد. این مرکز، مساحتی بالغ بر ۹۰۰۰ فوت مربع برای توسعه، ساخت و تست نمونه‌های آزمایشی از نسل جدید تکنولوژی الکترونیک قدرت و ماشین‌های الکتریکی در اختیار دارد. این آزمایشگاه از تحقیقات مشترک بین حوزه‌های الکترونیک قدرت، ماشین‌های الکتریکی، صنعت و حوزه‌های دانشگاهی حمایت می‌کند. پیشرفته‌ترین نرم‌افزارهای تحلیل، شبیه‌سازی و طراحی تجهیزات پیشرفته الکترونیک قدرت و ماشین‌های الکتریکی در اختیار کارکنان این آزمایشگاه قرار دارد تا آخرین دستاوردها در طراحی مدار و ماشین‌های الکتریکی را پیاده‌سازی کنند [۲۱۵].

### ۱۱-۲-۱-۱ تجهیزات آزمایشگاه

- سلول‌های تست دینامومتری
- ترمز جریان eddy، ۱۵۰ اسب بخار با سرعت ۷۵۰۰ دور در دقیقه
- ترمز جریان eddy، ۴۰۰ اسب بخار با سرعت ۶۵۰۰ دور در دقیقه
- چهارربعی، ۱۰۰ اسب بخار با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه (کنترل دیجیتال برای تنظیم دقیق سرعت یا گشتاور)
- منبع تغذیه چهارربعی ۶۰۰ ولت dc با جریان ۶۰۰ آمپر
- منابع تغذیه dc متنوع (ولتاژ ۴۵ تا ۴۸۰ ولت و جریان از ۸۵ تا ۲۰۰۰ آمپر)
- تقویت‌کننده‌های جریان
- واریاک‌های برند Allen Bradley
- پیل‌های سوختی ۱/۲ کیلوواتی

- درایوهای الکتريکی
- اینورتر Danfoss
- درایو ABB
- اینورترهای متعدد تجاری
- هود آزمایشگاهی سازگار با محیط زیست
- محفظه زیست محیطی
- قابلیت کنترل رطوبت (۵۰- تا ۱۸۰ درجه سانتی گراد)
- کوره زیست محیطی قابل برنامه ریزی (۷۵۰ درجه سانتی گراد)
- تانک محافظ تجهیزات دوار سرعت بالا قطر ۱/۲ متر، ارتفاع ۰/۸۳ متر

#### ۱۱-۲-۱-۲- محور تحقیقات

- مبدل های DC/DC
- اینورترها
- پکیجینگ
- الکترونیک قدرت در شبکه
- تجهیزات قدرت با پهنای باند بالا
- انتقال توان بدون سیم

### ۱۱-۲-۲ آزمایشگاه الکترونیک قدرت و درایوهای الکتريکی دانشگاه Texas Dallas

#### (به اختصار PEDL)

آزمایشگاه PEDL بر روی تحقیقات در زمینه الکترونیک قدرت پیشرفته، سیستم های درایو الکتريکی و فناوری های مدیریت انرژی به منظور افزایش کارایی صنایع، حمل و نقل و کاربردهای انرژی های نو متمرکز است. این مرکز، مطالعات و تحقیقات خود را صرف توسعه فناوری های جدید برای کاربردهای مستقیم و غیرمستقیم در سیستم های واقعی و صنعتی کردن

این تکنولوژی‌ها به منظور کاهش آلودگی، بهبود کارایی انرژی و توسعه راه‌حل‌های پایدار انرژی کرده است. آزمایشگاه PEDL با شرکت‌های Microsemi, Systems, IndyPower, Meidensha, Texas Instruments, Powersim و TyphoonHIL شراکت صنعتی دارد [۲۱۶].

### ۱۱-۲-۲-۱- تجهیزات آزمایشگاه

آزمایشگاه PEDL از دو آزمایشگاه شبیه‌سازی زمان واقعی و تست سخت‌افزاری تشکیل شده است. آزمایشگاه شبیه‌سازی، مجهز به تجهیزات الکترونیک قدرت و درایوهای موتوری مبتنی بر پردازنده‌های دیجیتال سیگنال (DSP<sup>۱</sup>) نوین در پلتفرم‌های آموزشی در نظر گرفته شده برای دانشجویان فارغ‌التحصیل، در حال تحصیل و همچنین مهندسين تازه کار است که در دانشگاه Texas Dallas ساخته شده‌اند. این پلتفرم، دانشجویان را قادر می‌سازد تا به سرعت و به طور کارآمدی، برنامه‌ریزی DSP را یاد بگیرند و تجهیزات جانبی را برای کاربردهای زمان واقعی تشکیل دهند تا توانایی کنترل و مدیریت دیجیتال توان را داشته باشند. هسته پلتفرم، سیستم HIL با دقت فوق‌العاده بالا و تجهیزات الکترونیک قدرت مربوطه که با تجهیزات کنترلی DSP کنترل می‌شود (دانشجویان را قادر به ایجاد مدل‌های نیروگاهی قابل تنظیم و زمان واقعی می‌کند)، از دیگر امکانات این آزمایشگاه است. آزمایشگاه تست سخت‌افزاری نیز به:

- جدیدترین تجهیزات تست قدرت
- دینامومترها
- تجهیزات تولید boardهای طراحی شده
- محفظه زیست‌محیطی
- کارگاه مکانیکی

مجهز است. همچنین این آزمایشگاه مجهز به آخرین تجهیزات لازم برای پیاده‌سازی مدارات و سیستم‌های الکترونیک قدرت در کاربردهای توانایی است.

### ۱۱-۲-۲-۲- محور تحقیقات

- سیستم‌های درایو سرعت‌متغیر موتورهای الکتریکی
- اینورترهای متصل به شبکه برای سیستم‌های انرژی‌های تجدیدپذیر
- مبدل‌های چند سطحی
- تجهیزات الکترونیک قدرت با دمای پایین و دمای بالا
- الکترونیک قدرت و کنترل برای خودروهای برقی، خودروهای الکتریکی هیبریدی و هواپیمای الکتریکی
- تشخیص خطا و مبدل‌های مقاوم در برابر خطا
- پیش‌بینی و مدیریت سلامت ماشین‌های الکتریکی
- سیستم‌های تبدیل توان و پیل‌های سوختی
- مبدل‌های توان با کلیدزنی نرم

### ۱۱-۲-۳- آزمایشگاه الکترونیک قدرت دانشگاه ایالت Utah (به اختصار UPEL)

آزمایشگاه UPEL که در سال ۲۰۱۲ در دپارتمان علوم مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه ایالت Utah تأسیس شد، بخشی از برنامه تحقیق و تکنولوژی ایالت Utah برای ایجاد مراکز تحقیق در سطح جهانی در زمینه انرژی و توان است.

آزمایشگاه UPEL، از زمان تأسیس، با سرمایه‌گذاری تحقیقاتی ۴ میلیون دلاری به‌طور قابل‌توجهی رشد داشته است. منابع این سرمایه‌گذاری، شرکای تحقیقاتی آزمایشگاه شامل سازمان انرژی (DOE<sup>۱</sup>)، آژانس پروژه‌های تحقیقاتی پیشرفته (ARPA-E<sup>۲</sup>)، اداره تحقیقات نیروی دریایی (ONR<sup>۳</sup>)، آزمایشگاه ملی انرژی‌های نو (NREL<sup>۴</sup>)، Raytheon، کمپانی موتور Ford و ... می‌باشند [۲۱۷].

1- Department Of Energy

2- Advanced Research Projects Agency

3- Office of Naval Research

4- National Renewable Energy Laboratory

### ۱۱-۲-۳-۱- تجهیزات آزمایشگاه

آزمایشگاه UPEL با مساحت اولیه ۲۰۰۰ فوت مربع، به جدیدترین تجهیزات برای تحقیقات الکترونیک قدرت مجهز است. قابلیت‌های تحقیقاتی این آزمایشگاه، بازه وسیعی از ریزشبکه‌های توانایی و ولتاژ بالا تا طراحی مدارات توان پایین و ولتاژ پایین برای سیستم‌های وایرلس را شامل می‌شود. سیستم آزمایشگاه، شامل تجهیزات الکتریکی زیر است:

- منابع تغذیه
- ۴۸۰ ولت AC سه فاز (۱۰۰ آمپر و ۵۰ آمپر)
- ۲۰۸ ولت AC سه فاز (۵۰ آمپر)
- ۲۰۸ ولت AC تک فاز (۵۰ آمپر)
- ۱۲۰ ولت AC تک فاز
- آزمایشگاه، کلیه تجهیزات موردنیاز برای تحقیقات الکترونیک قدرت را نیز دارد:
- منابع تغذیه AC تک فاز و سه فاز قابل برنامه‌ریزی
- منابع DC ولتاژ بالا و جریان پایین
- منابع DC ولتاژ پایین و جریان بالا
- مولتی‌مترهای دیجیتال
- بارهای الکترونیکی
- اسیلوسکوپ‌های سیگنال مختلط
- آنالایزر امپدانس

نرم‌افزارهای آزمایشگاه، شامل LTSpice، Matlab/Simulink، PLECS، Altium designer، Xilinx FPGA design و نرم‌افزار برنامه‌ریزی و نرم‌افزار طراحی همگام IC است. طبق قراردادی که دانشگاه ایالت Utah با آزمایشگاه دینامیک فضایی بسته است، آزمایشگاه UPEL به تجهیزات زیر نیز دسترسی دارد:

- ارزیابی و اعتبارسنجی تداخلات الکترومغناطیسی
- آزمایشگاه اسمبل الکترونیکی ISO 9001 ثبت شده در سال ۲۰۰۸

- کارگاه ماشین
- تحلیل و طراحی حرارتی

### ۱۱-۲-۳-۲- محور تحقیقات

چالش‌های تحقیقاتی Utah، رنج وسیعی از موضوعاتی که تأثیر مستقیم در جامعه دارد را شامل می‌شود:

- افزایش کارایی، کاهش وزن و افزایش طول عمر و رنج خودروهای برقی
- بهبود سیستم‌های مدیریت باتری به‌منظور افزایش طول عمر باتری‌ها در تجهیزات مختلف (از تلفن‌های هوشمند تا اتوبوس‌های الکتریکی)
- افزایش بازده و کارایی محاسباتی، روشنایی و توزیع توان در مراکز داده‌ها و ساختمان‌های تجاری
- خودکار کردن عملکرد سنسورهای وایرلس مینیاتوری
- یکپارچه‌سازی منابع انرژی تجدیدپذیر و ذخیره‌سازهای انرژی و کنترل‌های هوشمند به‌منظور بهبود قابلیت اطمینان و قابلیت در ریزشبکه‌های AC و DC
- تحقق تبدیل توان با قابلیت بالا در کاربردهای نظامی و فضایی

### ۱۱-۲-۴ آزمایشگاه الکترونیک قدرت و درایوهای الکتریکی دانشگاه ایالت میشیگان

#### (به اختصار آزمایشگاه MSU)

این آزمایشگاه که در ساختمان مجموعه تحقیقات مهندسی دانشگاه ایالت میشیگان قرار دارد، تمرکز خود را در زمینه تحقیق و توسعه تکنولوژی تبدیل توان و کنترل موتور برای انرژی‌های نو، تأسیسات و صنایع حمل‌ونقل قرار داده است.

حامیان اصلی این آزمایشگاه، Zhejiang، دانشگاه، TOSHIBA، Carrier، BAKER HUGHES، شرکت تحقیقات لوکوموتیو Zhuzhou، آزمایشگاه ORNL، صندوق ملی NSF، DOE، posco، YAZKI، Direct Drive، Argonne، United Defense، Consumers Energy، DENSO، Controlled Power Company، Herrick Foundation،

IMRA، KERI و PowerMax می‌باشند [۲۱۸].



## ۱۱-۲-۴-۱- تجهیزات آزمایشگاه

این مرکز از یک آزمایشگاه ولتاژ پایین (سه فاز ۴۸۰ ولت)، یک آزمایشگاه ولتاژ متوسط (سه فاز ۶۰۰۰ ولت) و یک آزمایشگاه فشارقوی (سه فاز ۱۵ کیلوولت، ۲ مگا ولت آمپر) برای پیشبرد تحقیقات، توسعه و تست مبدل‌های قدرت و درایو موتورهای الکتریکی (با ظرفیت ۱ کیلوولت آمپر گرفته تا ده‌ها مگا ولت آمپر) تشکیل شده است. آزمایشگاه MSU در پروژه‌های بسیاری، شامل مبدل‌های قدرت کوچک با توانی کمتر از ۱ کیلووات، اینورترهای چند سطحی تا چندین مگاوات و درایو موتورهای الکتریکی با آژانس‌ها و آزمایشگاه‌های دولتی، صنایع و دانشگاه‌های دیگر همکاری داشته است.

قسمت مهم تجهیزات و بسته‌های نرم‌افزاری در مرکز تحقیقات MSU برای الکترونیک قدرت، عبارت‌اند از:

- جایگاه لحیم قطعات روی برد
- منابع تغذیه ۲۴۰ و ۴۸۰ ولت ac و ۶۰۰ ولت dc
- سه واریاک ۱۰ کیلوولت آمپری و یک واریاک ۱۰۰ کیلوولت آمپری و بارها
- پنج اسیلوسکوپ رنگی دیجیتال با نمونه برداری ۱ GHz/۵۰۰ MHz
- چهار تقویت کننده و پروب‌های جریان ۲۰۰ MHz، ۱۰۰ و ۵۰۰ آمپری
- دو اندازه گیر توان دیجیتال
- یک دستگاه دینامومتر ۵۰ کیلوواتی و مجموعه‌های موتور/کنترل
- جعبه ابزارهای پیاده‌سازی DSP‌های خانواده F240xx شرکت TI<sup>۱</sup>
- جعبه ابزارهای پیاده‌سازی FPGA/CPLD‌های شرکت Xilinx
- نرم‌افزار Orcad schematics/PCB layout package
- نرم‌افزار Saber (برای شبیه‌سازی مکانیکی - حرارتی مدارات الکترونیک قدرت و موتور)
- نرم‌افزار Pspice
- نرم‌افزار Matlab

- بار ۶۰۰۰ ولت، ۱۰ مگا ولت آمپر و امکانات تست موتور ۱۲۰۰ اسب بخار
- پست انرژی انعطاف پذیر برای مصرف کنندگان (۰ تا ۱۵ کیلوولت، ۲۰۰۰ کیلوولت آمپر)، به منظور پیاده سازی، تست و ارزیابی شبکه های هوشمند شامل تولید (پیاده سازی و مدیریت منابع انرژی نو)، مصرف (بارهای مختلف مانند بارهای خانگی، خودروهای برقی هیبریدی قابل اتصال به شبکه و ...)، انتقال (تجهیزات کنترل هوشمند مانند ادوات FACTS و HVDC)، توزیع (اندازه گیری، مانیتورینگ و کنترل کیفیت توان).
- پست ترکشن راه آهن برقی شرکت Denso-Toyota Prius

### ۱۱-۲-۴-۲- محور تحقیقات

- سیستم های پیشرفته بهساز کیفیت توان در منابع انرژی نو مانند سیستم ها، کنترل های اتصال به شبکه و حفاظت های مربوطه در منابع توان فتوولتائیک و باد (از یک کیلووات تا چندین مگاوات).
- مبدل های قدرت و اینورترهای با چگالی توان بالا، ظرفیت دمایی بالا و قیمت پایین برای خودروهای برقی هیبریدی، خودروهای برقی با قابلیت اتصال به شبکه و خودروهای کاملاً برقی.
- مبدل های ولتاژ بالا و توانایی برای کاربردهای سیستم قدرت مانند تجهیزات FACTS شامل جبران ساز استاتیکی سنکرون (Statcom)، کنترل کننده یکپارچه جریان توان (UPFC) و ...
- مبدل ها و اینورترهای در ابعاد مگاوات، برای درایوهای الکتریکی بزرگ، ذخیره ساز انرژی باتری و سیستم های انتقال اجسام.
- ساختارهای پیشرفته در مدارات الکترونیک قدرت و کنترل کننده ها: درایوهای هوشمند MOSFET ها و IGBT ها، مداربندی های اینورتری و مبدل ها، مدارات متعادل کننده ولتاژ و حفاظت باتری و کاربرد هوش مداری برای خودترمیمی، تشخیص و عیب یابی.

## ۱۱-۲-۵ آزمایشگاه پیشرفته الکترونیک قدرت و درایوهای الکتريکی دانشگاه

### Connecticut (به اختصار APEDL-UCONN)

این آزمایشگاه بخشی از مرکز مهندسی انرژی و دپارتمان مهندسی برق و کامپیوتر در دانشگاه Connecticut است. این مرکز به طور عمده بر کاربردهای الکترونیک قدرت در درایو موتورهای الکتريکی، سیستم‌های انرژی نو، ریزشبکه‌ها و شبکه‌های هوشمند تمرکز کرده است.

اسپانسرهای تحقیقاتی آزمایشگاه APEDL، آکادمی علوم مهندسی دانشگاه Connecticut، United Technologies، PARETO ENERGY، Trans-Tek و اسپانسر تجهیزات آزمایشگاه، SOLARBRIDGE، YASKAWA، TDK-TI، Coilcraft و Lambda است [۲۱۹].

### ۱۱-۲-۵-۱- تجهیزات آزمایشگاه

- دینامومتر ۷ اسب بخار
- منبع تغذیه dc ۱۰ کیلووات و منابع توان ac سه فاز
- تحلیل گر توان ۴ کاناله
- پردازشگرهای سیگنال دیجیتال DSP، FPGA و CPLD
- اینورتر ۴۵ کیلوواتی و درایوهای فرکانس متغیر
- پنل‌های فتوولتائیک
- موتورهای القایی و مغناطیس دائم
- امکانات نرم‌افزاری مانند Labview و ...

### ۱۱-۲-۵-۲- محور تحقیقات

مطالعات درایوهای الکتريکی این آزمایشگاه، رنج وسیعی از کاربردها شامل خودروهای برقی هیبریدی و قابل اتصال به شبکه و سیستم‌های رانش الکتريکی را شامل می‌شود. مطالعات انرژی‌های نو نیز عمدتاً بر روی سیستم‌های فتوولتائیک متمرکز

است اما زمینه‌های دیگری را نیز پوشش می‌دهد. زمینه اصلی فعالیت‌های این آزمایشگاه، مطالعه کارایی، کنترل، بهینه‌سازی، قابلیت اطمینان و عملکرد زمان واقعی سیستم‌های الکترونیک قدرت است.

در حال حاضر این مرکز بر مدل‌سازی کارایی، هزینه و قابلیت اطمینان ادوات الکترونیک قدرت، تشخیص خطای هوشمند و بازیابی در ادوات الکترونیک قدرت، درایوهای با بازدهی و عملکرد بالا، مبدل‌های dc/ac در سیستم فتوولتائیک، سیستم یکپارچه PV و انرژی ترموالکتریک، موتورهای القایی خطی مازولار، مدل‌سازی زمان واقعی ریزش‌بکه‌ها، بازده انرژی در تجهیزات ریلی، شبیه‌سازی زمان واقعی خودروهای برقی و سیستم رانش کشتی و تشخیص خطا در درایوهای موتوری و بازیابی، فعالیت می‌کند.

## ۱۱-۲-۶ مرکز سیستم‌های الکترونیک قدرت دانشگاه Virginia Tech (به اختصار

### (CPES)

مرکز سیستم‌های الکترونیک قدرت، با مخارج تحقیقاتی سالانه در حدود ۴-۵ میلیون دلار، برای بهبود پردازش و توزیع توان الکتریکی (شامل الکترونیک خودروهای مبتنی بر باتری، سیستم‌های توزیع الکتریکی ملی و منطقه‌ای) اختصاص داده شده است.

در سال‌های ۱۹۹۸-۲۰۰۸، CPES یک مرکز تحقیقات مهندسی علوم ملی بوده است و با همکاری با ۵ دانشگاه و شرکت‌های صنعتی، این مرکز بزرگ‌ترین مرکز همکاری محققین الکترونیک قدرت تاکنون بوده است.

امروزه CPES یک ساختمان تحقیقاتی الکترونیک قدرت است که در راستای کاهش انرژی مصرفی و در عین حال افزایش قابلیت سیستم‌های مبتنی بر الکترونیک قدرت، فعالیت می‌کند.

این مرکز در حال حاضر بیش از ۷۰ عضو در راستای توسعه تکنولوژی الکترونیک قدرت دارد. در سال ۲۰۱۳-۲۰۱۴، این مرکز ۲/۱ میلیون دلار حمایت صنعتی با ۷۸ عضو صنعتی و ۳۴ همکار مهندسی و ۲/۹ میلیون دلار بودجه تحقیقاتی برای ۲۲ پروژه با ۱۶ حامی داشته است.

ساختمان مرکزی که در دانشگاه Virginia Tech واقع شده است، شامل بخش اداری و امکانات آزمایشگاهی با فضایی بیش از ۱۹۰۰۰ فوت مربع است. فضای تحقیقاتی در آزمایشگاه CPES، شامل یک آزمایشگاه تحقیقات الکتریکی، یک آزمایشگاه پکیجینگ و یک آزمایشگاه کامپیوتر است. یک کتابخانه تحقیقاتی و اتاق‌های کنفرانس با قابلیت‌های ویدئو کنفرانس، ارتباطات بین اعضای صنعتی CPES، اسپانسرهای تحقیقاتی و همکارانشان را حمایت می‌کند.

با کمک یک میلیون دلاری صندوق برنامه‌های دانشگاهی علوم دفاعی (DURIP<sup>1</sup>)، این آزمایشگاه به قابلیت‌های تحقیقات الکتریکی توانایی مجهز شده است. دانشگاه Virginia-Tech از جمله معدود دانشگاه‌هایی است که دارای چنین امکانات پیشرفته‌ای است که به آزمایشگاه CPES کمک می‌کند تا جایگاه خود را به‌عنوان پیشتاز در صنعت الکترونیک قدرت، حفظ کند [۲۲۰].

### ۱۱-۲-۶-۱- تجهیزات آزمایشگاه

همان‌طور که گفته شد، آزمایشگاه CPES، شامل آزمایشگاه تحقیقات الکتریکی، آزمایشگاه پکیجینگ و آزمایشگاه کامپیوتر است که به آزمایشگاه فشارقوی نیز مجهز شده است.

آزمایشگاه تحقیقات الکتریکی با به‌روزترین تجهیزات تست قدرت، دینامومترها، تجهیزات تولید نمونه بردهای طراحی شده، محفظه الکترومغناطیسی، اتاق تمیز، کارگاه مکانیکی و تعداد زیادی ایستگاه کامپیوتری مجهز شده است. آزمایشگاه تحقیقاتی الکترونیک قدرت قوی‌ترین تجهیزات موردنیاز برای پیاده‌سازی مدارات و سیستم‌های الکترونیک قدرت در کلیه ظرفیت‌ها (ولتاژها و توان‌های پایین تا ولتاژ ۶ کیلوولت و توان ۱ مگاوات) در اختیار دارد. تجهیزات استاندارد شامل: اسیلوسکوپ‌های گیگاهرتزی؛ تولیدکننده‌های توابع؛ تحلیل‌گرهای شبکه، طیف، امپدانس، منطقی و توان؛ سنسورهای حرارتی و تغذیه‌کننده‌های مبدل‌های AC/DC در آزمایشگاه موجود است. تجهیزات خاص نیز شامل تجهیزات تست حرارتی؛ تست‌کننده‌های فشارقوی؛ اسکنر میدان مغناطیسی سه‌بعدی، تحلیل‌گر تداخلات الکترومغناطیسی؛ دینامومترهای بزرگ و کوچک؛ تجهیزات مسیریاب اتوماتیک مدارات برد؛ بارهای متغیر و قابل برنامه‌ریزی و مبدل حرارتی خنک‌شونده با مایع نیز در آزمایشگاه موجود است.

1- Defense University Research Instrumentation Program

2- function generators

آزمایشگاه پکیجینگ مجتمع، قوی‌ترین آزمایشگاه پکیجینگ الکترونیک قدرت در ویرجینیا است. این آزمایشگاه قابلیت سوار کردن و تست ماژول‌های مجتمع الکترونیک قدرت با تجهیزات و فرآیندهای تولید استاندارد صنعتی را دارد. آزمایشگاه پکیجینگ مجتمع با تجهیزاتی برای فرآیندهایی مانند فیلم نازک، رسوب فلزی، براده‌برداری لیزری، آبکاری فلز، اتصال سیم، ایجاد برد مداری و فرآیند پختن سرامیک در حرارت پایین، راه‌اندازی شد. آزمایشگاه در حال حاضر به جدیدترین تجهیزات تولید در یک فضای ۴۰۰ فوت مربعی مجهز است. ابزارهای جدید شامل زدودن مایعات در کاربردهای چسبی و کپسول‌سازی است.

آزمایشگاه دارای قابلیت‌های مختلفی برای ارزیابی عملکرد حرارتی و الکترونیکی و قابلیت اطمینان ماژول‌های مجتمع الکترونیک قدرت است. قابلیت‌های تست الکتریکی شامل رسام‌های منحنی توانایی و توان‌پایین، تجهیزات اندازه‌گیری عایقی و آنالیزورهای خواص مغناطیسی است. ارزیابی حرارتی می‌تواند با استفاده از ترموکوپل‌ها، سنسورهای فیبر نوری، انعکاس مادون قرمز و تست‌های ضریب پخش حرارتی انجام گیرد. تحلیل قابلیت اطمینان با استفاده از دما و محفظه‌های بازیافت رطوبت انجام می‌گیرد.

آزمایشگاه کامپیوتر، کلیه نرم‌افزارهای مورد استفاده برای تحلیل و طراحی الکترونیک قدرت، شامل SPICE، Saber، I-DEAS، PSCAD/EMTDC، تجهیزات طراحی آنالوگ، تحلیل المان محدود با Ansoft-Maxwell 2D&3D، Mentor Graphics و نرم‌افزار شبیه‌سازی طراحی هم‌گام، SIMPLIS، TMA، نرم‌افزار تحلیل دمایی مدار FLOTHERM، نرم‌افزار شبیه‌سازی مواد Silvaco، iSIGHT و PLECS را دارا است.

آزمایشگاه فشارقوی به دلیل نیاز روزافزون الکترونیک قدرت (شامل مبدل‌های توان بادی، پیل سوختی، خودروهای برقی هیبریدی و کشتی‌های برقی، فناوری‌های تبدیل توان ولتاژ بالا)، هر روز توجه بیشتری به خود جلب می‌کند. با کمک ۸۳۹۳۳۷ دلاری از صندوق DURIP در سال ۲۰۰۲، در کنار هزینه ۲۵۰۰۰۰ دلاری CPES، آزمایشگاه تحقیقات الکتریکی در Virginia Tech، نوسازی شد و به سطح ولتاژ متوسط و توان چندین مگاوات ارتقا داده شد. در حال حاضر آزمایشگاه دارای ترانسفورماتورهای با پیکربندی متغیر ولتاژ متوسط و توان یک مگاوات، راکتورهای مربوطه، خازن‌ها، سوئیچ‌گیرها و کنترل‌کننده‌ها است. یک درایو IGBT ولتاژ متوسط با توان ۱ مگاوات نیز که از طرف General Electric اهدا شده است،

به‌عنوان بار قابل برنامه‌ریزی نصب شده است. کل مجموعه قادر به تست مبدل‌های قدرت به‌صورت پیوسته در حالت‌های عملکردی مختلف اکتیو و راکتیو در سطح ۴۱۶۰ ولت و ۱ مگا ولت‌آمپر است.

### ۱۱-۲-۶-۲- محور تحقیقات

- مدیریت توان برای کامپیوترها، تجهیزات مخابراتی و ...
- سیستم‌های انرژی نو
- سیستم‌های مبدل توان در وسایل نقلیه
- عناصر الکترونیک قدرت
- ساختارها و معماری تبدیل توان
- مدل‌سازی و کنترل
- کیفیت توان و تداخلات الکترومغناطیسی
- مدارات مجتمع با چگالی توان بالا

### ۱۱-۲-۷ آزمایشگاه توان هیدروژنی تجدیدپذیر دانشگاه North Dakota

گروه مهندسی برق و شیمی دانشگاه North Dakota، امکانات آزمایشگاهی را به‌منظور حمایت از تحقیقات بر روی محصولات هیدروژنی تجدیدپذیر و تبدیل توان آن فراهم کرده است. تحقیقات به‌طور عمده بر روی شناسایی ملزومات سیستمی موردنیاز برای پیاده‌سازی سیستم‌های انرژی هیدروژنی-بادی توزیع شده است. در حال حاضر، امکانات تست با سیستم‌های پیل سوختی غشای تبادل پروتونی (PEM<sup>۱</sup>)، به‌روزترین الکترولایزر PEM و ادوات الکترونیک قدرت مجهز است. آزمایشگاه الکترونیک قدرت این گروه، با کمک منابع و امکانات فراهم‌شده از منابع مختلف از جمله تجهیزات اهداشده از سازمان ملی NSF، در راستای بهبود دوره‌ها و برنامه‌های آموزشی و آزمایشگاه‌ها (CCLI<sup>۲</sup>)، تأسیس شده است [۲۲۱].

1- Proton Exchange Membrane

2- Course, Curriculum, and Laboratory Improvement

### ۱۱-۲-۷-۱- تجهیزات آزمایشگاه

در این آزمایشگاه، چهار ایستگاه آزمایشگاهی کامل الکترونیک قدرت وجود دارد که هر یک با بُردهای مبدل/اینورتری قابل تجدید ساختار، منابع تغذیه، اسیلوسکوپ‌های دیجیتال، کامپیوترهای شخصی، مولتی‌مترها، بارهای متغیر و تجهیزات دیگر مانند پرینترها و نرم‌افزارهای Matlab/Simulink، PSIM، Simplorer و Pspice تجهیز شده است. همچنین هر یک از این ایستگاه‌ها با واحدهای مبتنی بر داده‌برداری و تحلیل پیشرفته بر روی بُردهای پردازش دیجیتال به وسیله dSPACE مجهز شده‌اند. با استفاده از نرم‌افزارهای فراهم‌شده، دانشجویان می‌توانند عملکرد مدارهای کلیدزنی مختلف ساده و پیچیده، کنترل شده و کنترل نشده را طراحی و شبیه‌سازی نمایند. با استفاده از بُردهای اینورتر/مبدل موجود، طراحی‌های دانشجویان می‌تواند به صورت فیزیکی با استفاده از ارتباط متقابل Matlab/Simulink و dSPACE، پیاده‌سازی و کنترل شود.

بخش درایوهای الکتریکی موجود در این آزمایشگاه نیز به چهار ایستگاه آزمایشگاهی کامل درایوهای الکتریکی تقسیم شده است که هر یک با استفاده از موتورهای dc و ac ۴۲ ولتی، درایوهای مبدل/اینورتری قابل تجدید ساختار، منابع تغذیه، اسیلوسکوپ‌ها، کامپیوترهای شخصی، مولتی‌مترها، بارهای متغیر و تجهیزات دیگر مانند پرینترها و نرم‌افزارهای Matlab/Simulink، PSIM، Simplorer و Pspice تجهیز شده است. همچنین هر یک از این ایستگاه‌ها با واحدهای مبتنی بر داده‌برداری و تحلیل پیشرفته بر روی بُردهای پردازش دیجیتال به وسیله dSPACE مجهز شده‌اند.

### ۱۱-۲-۷-۲- محور تحقیقات

- پیل‌های سوختی
- الکترولایزر
- بکارگیری سیستم‌های بادی با سیستم‌های هیدروژنی
- توربین‌های بادی



## ۱۱-۲-۸ آزمایشگاه توان انعطاف پذیر DNV GL (به اختصار FPGL)

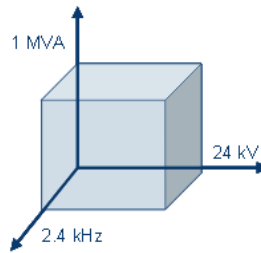
آزمایشگاه توان انعطاف پذیر DNV GL، یک محیط ایده آل برای تست ادوات الکترونیک قدرت تحت شرایط کنترل شده که مدلی از شرایط واقعی شبکه است، است. این آزمایشگاه و تجهیزات آن به طور خاص برای تست رنج وسیعی از ادوات الکترونیک قدرت قبل از اتصال به شبکه است. بدین ترتیب تولیدکنندگان و کاربران سیستم، تضمین لازم از بابت کارکرد صحیح تجهیزاتشان در شرایط واقعی را به دست خواهند آورد.

آزمایشگاه FPGL که در شهر Arnhem در هلند واقع شده است، قادر به شبیه سازی رنج وسیعی از شرایط عادی و خطا است. در واقع این آزمایشگاه قادر به تحویل توان تا ۱ مگا ولت آمپر در ولتاژهای پایین و متوسط (تا ۲۴ کیلوولت) و اغتشاشات قابل برنامه ریزی با هارمونیک های تا ۲/۴ کیلوهرتز است. اینورترهای قابل برنامه ریزی، آرایه های خازنی، مقاومتی، سلفی، بارهای غیرخطی و تجهیزات کنترلی هوشمند، قابلیت ایجاد یک محیط واقعی با تجهیزات واقعی در هر شرایط ممکن برای شبکه را امکان پذیر کرده است.

با تست های صورت گرفته در آزمایشگاه، تولیدکنندگان، یک گزارش عملکرد تحت عنوان KEMA برای عملکرد تجهیزاتشان تحت شرایط آزمایش (شرایط استاندارد) دریافت می کنند. همچنین این مرکز، اطلاعات مختلف آزمایشی را که می تواند به عنوان ورودی برای مدل سازی و صحت سنجی مدل، مورد استفاده قرار گیرد، به مشتریان می دهد [۲۲۲].

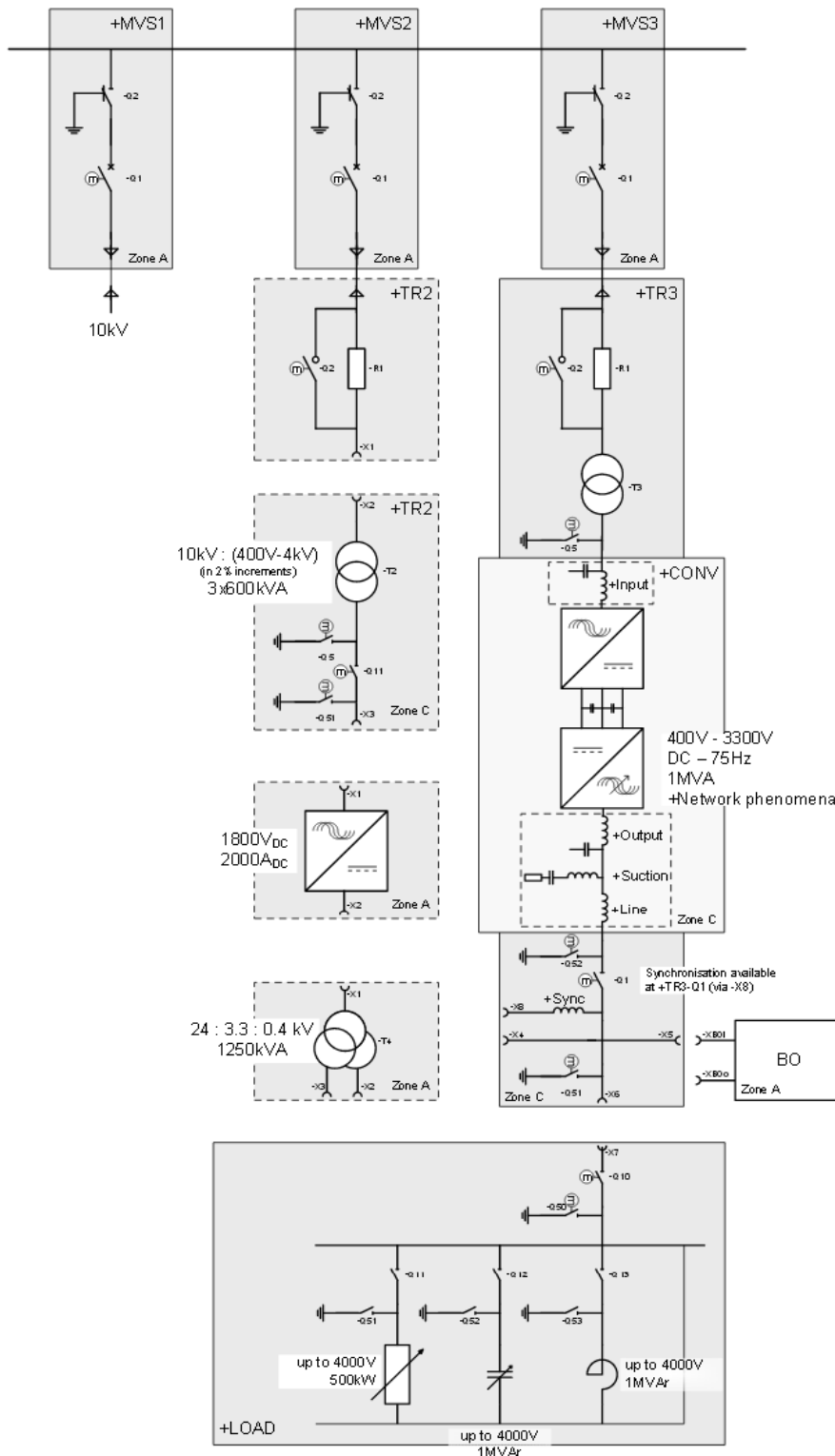
### ۱۱-۲-۸-۱- تجهیزات آزمایشگاه

- خلاصه ای از تجهیزات فنی آزمایشگاه، عبارت است از:
- سطح ولتاژ قابل دسترسی تا ۲۴ کیلوولت ac
- رنج وسیع فرکانس از DC تا ۷۵ هرتز
- توان پیوسته تا ۱ مگا ولت آمپر



شکل ۱۱-۳: محدوده ولتاژ، فرکانس و توان قابل دسترسی در آزمایشگاه FPGL

- هارمونیک‌های قابل دسترسی تا هارمونیک ۲۵<sup>ام</sup>
- سنکرونیزاسیون با منابع خارجی
- فلوی توان قابل کنترل دوطرفه
- بارهای پسیو قابل تنظیم (۰/۵ مگاوات، ۱ مگاوار)
- رنج ولتاژی تا ۴ کیلوولت با ترکیب‌های وسیع ممکن
- بارهای مقاومتی تا ۵۰۰ کیلوواهم، سلف‌ها و خازن‌های تا ۱ مگاوار



شکل ۴-۱۱: دیاگرام تک خطی شبکه تست آزمایشگاه FPGL

## ۱۱-۲-۸-۲- قابلیت‌های تست در آزمایشگاه

- پدیده‌های استاتیکی ولتاژ
- اغتشاشات هارمونیک ولتاژ
- ۶ کنترل کننده حلقه بسته (رزونانسی) تا هارمونیک ۱۵<sup>ام</sup>
- ۶ کنترل کننده حلقه باز
- نامتعادلی ولتاژ
- توالی منفی ولتاژ تا ۱۰ درصد توالی مثبت و قابلیت تنظیم آزادانه توالی صفر
- پدیده‌های دینامیکی ولتاژ
- تغییرات دینامیکی ولتاژ سیستم (در اندازه و فرکانس قدرت)
- فرورفتگی متعادل و نامتعادل ولتاژ
- وقفه‌های کوتاه
- تست‌های مذکور تحت استانداردهای بین‌المللی مانند سری‌های EN 50438، EN 50160، IEEE 1547، IEC 61000 و راهنمای BDEW آلمان (FGW-TR3) صورت می‌پذیرد.

## ۱۱-۲-۹- آزمایشگاه تکنولوژی و کاربرد الکترونیک قدرت در تحقیقات انرژی (به اختصار

### (PEATER

گروه PEATER در سال ۲۰۰۵ به عنوان یک مرکز تحقیقات در زمینه الکترونیک قدرت، تجهیزات نیمه‌هادی قدرت و کاربردهای سیستم قدرت و تبدیل انرژی، در سطح جهانی تأسیس شد.

فعالیت‌های این گروه در زمینه تبدیل انرژی، سطوح بسیار کوچک (mW) تا سطوح توان بسیار بالا (MW) را شامل می‌شود. این تکنولوژی بر روی توسعه و پیشبرد تجهیزات کلیدزنی نیمه‌هادی متمرکز شده است. پیشرفت‌های این گروه در تکنولوژی MOSFETها و IGBTها، راه‌ها را برای کاربردهای جدید مانند خودروهای برقی هیبریدی، هواپیماهای الکتریکی،

سیستم رانش کشتی برقی، توربین‌های بادی و همچنین در صنعت گوشی موبایل و تجهیزات محاسبه‌گر که مدیریت انرژی در همه این موارد پراهمیت است، هموار کرده است.

نیمه‌هادی‌های Anvil در سال ۲۰۱۰ از دانشکده مهندسی PEATER به‌عنوان توسعه‌یافته‌ترین عنصر در تکنولوژی نیمه‌هادی قدرت سیلیکون کاربید (SiC) ارائه شد [۲۲۳].

### ۱۱-۲-۹-۱- تجهیزات آزمایشگاه

این مرکز از سه بخش زیر تشکیل شده است:

#### اتاق تمیز Science city<sup>۱</sup>

اتاق تمیز Science city، یک آزمایشگاه ساخت نیمه‌هادی در دانشکده مهندسی است که به تولید تجهیزات نیمه‌هادی اختصاص داده است. این بخش یک اتاق تمیز با مساحت ۱۵۰ مترمربع و کلاس ISO ۶ است که ۱۰۰۰ برابر شرایط عادی نسبت به هوا فیلتر شده است. این شرایط قابلیت تولید و تست تجهیزات الکترونیک آزمایشگاهی را با امکاناتی همچون لیتوگرافی، حک کردن، رسوب‌گیری، اکسیداسیون، حرارت‌دهی و قابلیت‌های تست کردن، فراهم می‌کند.

از اوایل سال ۲۰۱۰، به این بخش، یک اتاق تمیز نیمه‌هادی کلاس ۱۰۰۰، با رطوبت کنترل شده، با یک اتاق زرد برای فوتولیتوگرافی با قابلیت لیتوگرافی ۰/۷۵ میکرون و یک سری تجهیزات پردازشی اضافه شد. این آزمایشگاه برای تحقیقات در زمینه فیزیک مواد و تکنولوژی ساخت تجهیزات از سیلیکون کاربید در نظر گرفته شده است. همچنین این آزمایشگاه به‌عنوان واحد محفظه رشد برای توسعه تجهیزات جدید و تجهیزات نمونه برای سیستم‌های دانشگاهی و صنعتی الکترونیک قدرت به کار گرفته می‌شود.

#### آزمایشگاه مشخصه‌های الکتریکی

این آزمایشگاه برای اندازه‌گیری بر روی تجهیزات نیمه‌هادی قدرت اختصاص داده شده است. آزمایشگاه شامل تجهیزات استاندارد صنعتی زیر است:

- آنالیزور تجهیزات نیمه‌هادی Agilent B1500A
- آنالیزور طیف Agilent
- ایستگاه تحقیق و کاوش
- ایستگاه تحقیق جیوه
- همچنین این آزمایشگاه شامل دستگاه‌های تست نیمه‌هادی‌های قدرت زیر است:
- دستگاه تست اینورتر پست‌به‌پست
- دستگاه تست کلیدزنی سلفی
- دستگاه تست گردش توان
- این دستگاه‌ها قابلیت تست در ولتاژهای تا ۸ کیلوولت را فراهم می‌کند.

### اتاق تمیز پکیجینگ کلاس ۸ ISO

این آزمایشگاه به پکیجینگ تجهیزات نیمه‌هادی اختصاص داده شده است. تجهیزات این آزمایشگاه شامل موارد زیر

می‌شود:

- لجم‌گذار قابل برنامه‌ریزی ATV SRO-704 / پردازش حرارتی / اجاق حرارت‌دهی سریع باقابلیت پردازش تا ۹۵۰ درجه
- تست‌کننده پیوند Dage سری 4000، شامل روش تست پیوند با کشیدن سیم، روش die shear و روش tweezer pull cartridges.
- چسباننده قالب Cammax Precima EDB65 با لایه محافظ گاز N2
- دستگاه چسباننده سیم Orthodyne مدل ۲۰
- ماشین پرینت نیمه‌اتوماتیک Mascoprint S200HFC

## ۱۱-۲-۹-۲- محور تحقیقات

حوزه‌های تحقیقاتی اصلی گروه PEATER، طراحی، ساخت، پکیجینگ و تست الکتریکی تجهیزات سیلیکون کاربیدی است.

## ۱۱-۲-۱۰ آزمایشگاه ملی انرژی‌های تجدیدپذیر (به اختصار NREL)

تحقیقات در آزمایشگاه هوشمند NREL، بر روی توسعه و پیاده‌سازی فناوری‌های هوشمند در زمینه به‌کارگیری منابع تولید پراکنده و تجدیدپذیر بر مبنای علم الکترونیک قدرت و مدیریت هوشمند انرژی برای کاربردهای مختلف، متمرکز است. بدین منظور مساحتی بالغ بر ۵۳۰۰ فوت مربع به‌منظور در دسترس بودن فضایی با قابلیت انعطاف بالا که به علت تنوع بالای کاربردهای توان هوشمند که شامل تست اینورترهای پیشرفته و مبدل‌های قدرت مسکونی و تجاری و تکنولوژی کنترل آن‌ها می‌شود، طراحی و مورد استفاده قرار گرفته است [۲۲۴].

## ۱۱-۲-۱۰-۱- تجهیزات آزمایشگاه

- سیستم HIL
- قابلیت اتصال شین توزیع تحقیقاتی (REDB<sup>1</sup>) به تجهیزات AC مختلف مانند شبیه‌سازهای شبکه، بارها، شبیه‌سازهای توربین بادی و تجهیزات DC مانند تغذیه DC، پنل‌های فتوولتائیک، باتری‌ها و بارهای DC
- چند REDB سه فاز AC (۲۵۰ آمپر، ۱۶۰۰ آمپر) و DC (۲۵۰ آمپر، ۱۶۰۰ آمپر) به‌منظور اجرا کردن چند آزمایش به‌صورت موازی
- سه کارگاه تست الکترونیک قدرت جداگانه و دارای حفاظ با دیوارهای عایق صوتی برای تست‌های بلندمدت مبدل‌های قدرت

- یک محفظه دارای پوشش و حفاظ باقابلیت ورود و خروج کاربر، به مساحت ۹۶ فوت مربع که در یکی از کارگاه‌ها واقع شده است و برای تست نمونه‌های اولیه که احتمال عدم موفقیت بالایی دارند، مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- بخش مربوط به توسعه و پیاده‌سازی تجهیزات به‌منظور ساخت مبدل‌های نمونه و مانیتورینگ تجهیزات
- چهار کارگاه تست باقابلیت حمایت از رنج وسیعی از تجهیزات خانگی که هر کارگاه نشان‌دهنده بارهای یک خانه بوده و به شبکه الکتریکی ۲۴۰/۱۲۰ ولتی و شبکه‌های آب و گاز طبیعی متصل است.
- خدمات مکانیکی مختلف مانند سیستم‌های خنک‌کنندگی و گرم‌کنندگی فرآیند با آب
- خروجی‌های تغذیه مختلف در هر یک از کارگاه‌های تست، از جمله ولتاژ ۴۸۰/۲۷۷ ولت ac، ۲۰۸/۱۲۰ ولت ac، ولتاژ ac ۲۴۰ ولتی فاز جداگانه<sup>۱</sup> و ولتاژ ac تک فاز ۱۲۰ ولتی.
- شبیه‌ساز شبکه
- بانک بارهای ac
- منابع تغذیه dc دوطرفه
- شبیه‌ساز شبکه ELGAR
- بانک بارهای الکترونیکی
- خنک‌کننده و بویلر تحقیقاتی
- سیستم جمع‌آوری و کنترل داده SCADA
- شبیه‌ساز PV

### ۱۱-۲-۱۰-۲- قابلیت‌های تستی و تحقیقاتی آزمایشگاه

- توسعه و پیاده‌سازی مبدل‌های قدرت به‌منظور پیاده‌سازی منابع انرژی تجدیدپذیر
- توسعه و پیاده‌سازی کنترل‌های پیشرفته برای سیستم‌های الکترونیک قدرت هوشمند



- تست نمونه‌های آزمایشی و تجاری مبدل‌های قدرت به منظور ارزیابی عملکرد، اتصال الکتریکی، امنیت و قابلیت اطمینان بلندمدت
- توسعه تحلیل HIL و تست سیستم‌های الکترونیک قدرت در مدل‌های شبکه توزیع هوشمند
- تست سیستم‌های پیشرفته اتوماسیون، گرمایش و تهویه صنعتی و خانگی و سیستم‌های مدیریت انرژی
- تحقیق بر روی انواع سناریوهای جدید سیستم توزیع از قبیل سیستم‌های DC خانگی، تولید انرژی و ذخیره‌سازی در مقیاس مسکونی در کنار سیستم‌های مدیریت انرژی خانگی
- توسعه سیستم‌های خودروی برقی
- مدل‌سازی HIL برای مشخصه بارهای خانگی و تولید
- تکنولوژی اندازه‌گیری پیشرفته شامل اندازه‌گیری هوشمند در تأسیسات و در تولید

## ۱۱-۲-۱۱ آزمایشگاه تست اینورتر فتوولتائیک Fraunhofer

مؤسسه Fraunhofer آلمان، بزرگ‌ترین مؤسسه تحقیقاتی انرژی خورشیدی در اروپا است که کارکنان آن بالغ بر ۱۳۰۰ نفر است. فعالیت‌های این مؤسسه شامل تحقیقات در مسائل علمی و فنی به کارگیری انرژی خورشیدی در طول تولید تکنولوژی و نمونه‌های کاربردی به منظور اثبات کارایی است. آزمایشگاه‌های این مؤسسه شامل آزمایشگاه‌های مربوط به تست پنل‌های فتوولتائیک و آزمایشگاه تست اینورتر فتوولتائیک است. در این بخش هدف بررسی آزمایشگاه اینورتر فتوولتائیک است [۲۲۵].

### ۱۱-۲-۱۱-۱ تجهیزات آزمایشگاه

- شبیه‌ساز PV ۱/۴ مگاواتی (تا ۲۰۰۰ ولت و ۱۷۶۰ آمپر)
- تجهیزات مربوط به تست تحمل افت ولتاژ حین خطا (LVRT<sup>۱</sup>) تا ۱ مگا ولت‌آمپر
- اتصال به ولتاژ متوسط (۲۰ کیلوولت)
- ترانسفورماتورهای قابل تنظیم ۲۰ تا ۲۵۵ کیلوولتی و ۱ تا ۱/۲۵ مگاوات آمپری
- شبیه‌ساز شبکه سه فاز ۳۰ کیلوواتی

- خازن‌ها و سلف‌های ۱ کیلوولتی و ۲ کیلوآمپری برای تنظیم امپدانس شبکه
  - تجهیزات تست سازگاری الکترومغناطیسی (EMC<sup>۱</sup>)
  - دستگاه‌های تولیدکننده ولتاژ ضربه و هم‌گام‌ساز
  - تحلیل‌گر دقت RLC (بایاس تا ۱۵۰ آمپر / پهنای باند ۳ مگاهرتز)
  - بخش تست نیمه‌هادی
  - سیستم‌های خنک‌کنندگی با هوا و آب با هیت‌سینک‌های دارای بیشترین انتقال حرارت
  - تجهیزات تست میدانی:
  - مجموعه سیار شامل تجهیزات تست LVRT ۴/۵ مگاولت آمپری
  - آرایه‌های ۱ PV مگاواتی قابل نصب بر روی زمین
  - تجهیزات اندازه‌گیری
  - آنالیزور توان دقت‌بالا تا ۵ کیلوولت‌آمپر و ۱ کیلوولت
  - یک ترنس‌دیوسر جریان ۶۰ تا ۵۰۰۰ آمپری
  - موقعیت‌یاب (GPS) با قابلیت هم‌گام‌سازی تا ۸۰ کانال اندازه‌گیری
  - نمونه‌برداری با فرکانس ۵۰ کیلوهرتز
  - نرم‌افزارهای شبیه‌سازی و تحلیل
  - نرم‌افزار Matlab/Simulink/PLECS
  - نرم‌افزار DIgSILENT
  - نرم‌افزارهای ارزیابی مدل‌های اینورتری
  - تجهیزات پیشرفته برای تحلیل هارمونیک و LVRT
- ۱۱-۲-۱۱-۲- قابلیت‌های تست و ارزیابی موجود در آزمایشگاه**
- تست هارمونیک و فلیکر

- تست LVRT
- تست اتصالات ولتاژپایین/متوسط/بالا، پست، ترانسفورماتور و نقطه اتصال به شبکه به منظور طراحی و تست الگوریتم‌های کنترلی در شرایط موجود
- ارزیابی عملکرد اینورترها در حالت موازی
- بررسی راه کارهای مختلف برای موازی کردن اینورترها، ردیابی دینامیکی و استاتیکی توان حداکثر، پتانسیل DC مشخص برای زمین
- تست‌های میدانی برای تست ادوات الکترونیک قدرت PVها در سیستم‌های قدرت واقعی
- تست سازگاری الکترومغناطیسی
- شبیه‌سازی ادوات الکترونیک قدرت به منظور بررسی کارایی، مدل‌سازی تلفات فرکانس پایین و فرکانس بالای عناصر پسیو در کنار تلفات کلیدزنی و هدایت نیمه‌هادی‌ها به صورت تابعی از دما و همچنین شبیه‌سازی رفتار حرارتی اتصالات نیمه‌هادی‌ها در شرایط مختلف مانند فلوی شدید توان راکتیو (در حالت LVRT)، فلوی معکوس توان و اضافه بار
- اندازه‌گیری کارآمدی اینورتر با استاندارد EN 50530 با استفاده از شبیه‌ساز PV
- بازده تبدیل (مدار الکترونیک قدرت)
- دقت ردیاب حداکثر توان

## ۱۱-۲-۱۲ آزمایشگاه تست اینورتر PV دانشگاه Carlos III مادرید (UC3M)

آزمایشگاه UC3M دارای تجهیزات آزمایشگاهی برای تست اینورتر PVهای تا ۳ مگاوات در شرایط محیطی واقعی (نور خورشید) است. این قابلیت با استفاده از واحدهای خورشیدی ۵ کیلوولت‌آمپری (۸۰۰ ولت dc، ۶۰۰ آمپر ac و ۴۰۰ ولت ac سه فاز تا ۶۰۰ آمپر ac) فراهم شده است. این آزمایشگاه قادر است خدمات محلی و مهارتی را در اختیار تولیدکنندگان در اروپا و سایر نقاط جهان قرار دهد [۲۲۶].

### ۱۱-۲-۱-۱- تجهیزات آزمایشگاه

- ژنراتور PV ۳۰۰۰ کیلوواتی (۱۰۰ ولت dc، ۲۰۰۰ آمپر dc و ۴۰۰ ولت ac سه فاز، ۱۶۰۰ آمپر ac)
- منابع تغذیه dc و ac
- آنالیزور توان دقت بالا (۰/۰۲ درصد)
- اندازه گیر جریان DC (تا ۶۰۰ آمپر) و اندازه گیر جریان AC (تا ۱۰۰۰ آمپر)
- اسیلوسکوپ با پهنای باند بالا
- بارها و عناصر پسیو LC
- دوربین حرارتی مادون قرمز
- موتورهای سه فاز تا ۱۰ اسب بخار و تک فاز تا ۰/۷۵ اسب بخار و دینامومترها
- ذخیره سازهای باتری
- شبیه ساز صاعقه

### ۱۱-۲-۲-۱- قابلیت های تست آزمایشگاه

امکان تست پارامترهای زیر در آزمایشگاه وجود دارد:

- توان ورودی و خروجی PV
- بازده (بازده حداکثر، بازده اروپایی و بازده کالیفرنایی)
- تحلیل و ارزیابی ردیابی توان حداکثر
- پارامترهای مربوط به کیفیت انرژی تزریقی
- پارامترهای توان خروجی
- هارمونیک
- نامتعادلی
- فلیکر و نوسانات ولتاژ

- تزریق مؤلفه DC
- اضافه ولتاژ (بلندمدت، گذرا)
- فرکانس‌های کلیدزنی
- پارامترهای مربوط به امنیت
- افت و وقفه‌های کوتاه‌مدت ولتاژ
- تغییرات فرکانس
- هارمونیک‌ها و میان‌هارمونیک‌ها
- پارامترهای دیگر
- اندازه‌گیری میزان نویز
- تحلیل حرارتی (ترموگرافی)
- جزیره‌شدگی

## ۱۱-۲-۱۳ آزمایشگاه الکترونیک قدرت و درایوهای الکتریکی دانشگاه WISCONSIN

### (UWM) MILWAUKEE

آزمایشگاه الکترونیک قدرت دانشگاه UWM، شامل آزمایشگاه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، الکترونیک قدرت و آزمایشگاه تونل باد است. اسپانسرهای آزمایشگاه الکترونیک قدرت و درایوهای الکتریکی برای پروژه‌های صنعتی، شامل شرکت‌های صنعتی GE، JCI، M-WERC، Eaton، Rockwell و ... و آژانس‌های فدرالی مانند DOE، NSF و DOD هستند.

ساختمان آزمایشگاه الکترونیک قدرت دارای مساحت ۲۰۰۰ فوت مربع باقابلیت تغذیه بالغ بر ۵۰۰ کیلوولت‌آمپر (ولتاژ ۴۸۰ و ۲۰۸ ولت سه فاز) است [۲۲۷].

## ۱۱-۲-۱۳-۱- تجهیزات آزمایشگاه

- بسته‌های نرم‌افزاری کامل MATLAB/Simulink، PSSIM، PSS/E و PSCAD برای مقاصد شبیه‌سازی

- منابع تغذیه توان بالای ac و dc (۱۶ کیلووات، ۴۸۰ ولت ac و دو منبع ۲۰ کیلووات، ۸۰۰ ولت dc)
- یک اسیلوسکوپ Lecroy LT364L چهار کاناله ۵۰۰ مگاهرتزی با نرم افزار تحلیل اندازه گیری توان PMA1 و پروب های جریان
- چهار اسیلوسکوپ نوع Tektronix 4000 چهار کاناله ۲۰۰ مگاهرتزی
- دو ژنراتور سنکرون ۶۳ کیلوولت آمپری
- سه اینورتر تبدیل دابل ۴۵ کیلوولت آمپری و یک ژنراتور القایی ۲۶ کیلوولت آمپری
- دو موتور القایی ۳۰ اسب بخاری و بار مقاومتی ۲۱ کیلوواتی
- یک شبیه ساز توربین بادی با موتور القایی ۷۵ اسب بخاری و دو ژنراتور ۵۰ کیلوواتی
- یک ذخیره ساز روی برمید<sup>۱</sup> ۵۰ کیلوواتی با مداربندی اتصال به شبکه
- ماژول های خازنی لیتیومیونی (یک ماژول ۳۶۰ ولت dc، ۹ فارادی و یک ماژول ۷۵۰ ولتی، ۵/۱ فارادی)
- قطعات الکترونیک قدرت شامل سوئیچ ها، درایور سوئیچ ها، منابع تغذیه و هیت سینک ها
- دو بسته dSPACE برای طراحی کنترل کننده در Simulink و انتقال به پردازنده سیگنال دیجیتال.
- سه ماژول ذخیره و دسترسی داده از راه دور<sup>۲</sup> با کارت های ورودی و خروجی دیجیتال و آنالوگ، کارت های تقویت ورودی و خروجی، کارت های مخابراتی و ...
- همچنین شامل تجهیزات دیگر شامل یک مبدل باک/بوست ۱۲۵ کیلوواتی و یک اینورتر ۱۲۵ کیلوولت آمپری با قابلیت اتصال سنکرون به شبکه به منظور تست باتری های ولتاژ بالا است.
- اعضای این آزمایشگاه در حال حاضر در حال پیاده سازی یک ریز شبکه با نفوذ بالای انرژی های نو در ساختمان آزمایشگاه می باشند. تجهیزات این ریز شبکه شامل اجزای زیر است:
- پنل فتوولتائیک ۱۰۰ کیلوواتی
- توربین بادی ۱۲ کیلوواتی
- ذخیره ساز لیتیومیونی

1- Zinc Bromide

2- National Instruments Compact RIO module

- دو ژنراتور گاز طبیعی ۴۵ کیلوواتی
- بارهای فعال و غیرفعال
- کلید استاتیکی سمت شبکه
- بیشتر این تجهیزات، از طرف شرکت M-WERC اهدا شده است.

### ۱۱-۲-۱۳-۲- محور تحقیقات

مدل‌سازی ذخیره‌سازهای انرژی، انرژی باد، ریزش‌بکه و به‌کارگیری ذخیره‌سازهای انرژی در کنار منابع انرژی نو.

## ۱۱-۳- معرفی سیستم‌های شبیه‌ساز HIL مورد استفاده در شبکه قدرت

اتصال گسترده منابع تولید توان تجدیدپذیر نقش مهمی در دستیابی به اهداف استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، افزایش بازدهی و کاهش گازهای گلخانه‌ای دارد. اثرات جانبی اتصال گسترده منابع تولید توان تجدیدپذیر به شبکه به دغدغه‌ای جدی برای تولیدکنندگان، بهره‌برداران و پژوهشگران تبدیل شده است.

با توجه به نرخ اکیداً صعودی اتصال منابع تجدیدپذیر به شبکه، برای حفظ امنیت، قابلیت اطمینان و کیفیت توان مطلوب مقررات سخت‌گیرانه‌ای در اغلب کشورهای دنیا وضع شده است. این امر فرایند طراحی منابع تجدیدپذیر، مبدل‌های الکترونیک قدرت و اجزای آن‌ها را تحت تأثیر قرار داده است. انتظارات رو به گسترش از منابع تولید توان تجدیدپذیر در اتصال به شبکه به سطح ولتاژ نقطه اتصال، توان نامی و نوع ژنراتور مورد استفاده بستگی دارد. فلسفه اصلی این مقررات بر الزام حمایت منابع تولید توان تجدیدپذیر از شبکه قدرت استوار است. در برخی از کدهای شبکه (عمدتاً MV)، منابع تولید توان تجدیدپذیر ملزم به تحمل افت ولتاژ و انحراف فرکانسی شده‌اند و بایستی در این شرایط با تزریق توان راکتیو و حمایت مؤثر از فرکانس، در فرایند بازیابی شبکه مشارکت داشته باشند. برخی از کدهای شبکه دستوراتی برای مدیریت تبادل توان اکتیو منابع تولید توان تجدیدپذیر با شبکه به‌منظور جلوگیری از عدم تعادل و عدم تراکم وضع کرده‌اند. به‌صورت مشابه دستوراتی برای مدیریت تبادل توان راکتیو منابع تولید توان تجدیدپذیر با شبکه به‌منظور رگولاسیون ولتاژ وضع شده است.

با توجه به مطالب ذکر شده، تولیدکنندگان بایستی محصولاتی منطبق بر کارکردهای مورد انتظار تولید کنند تا به بازارهای جهانی دسترسی داشته باشند. بهره‌برداران شبکه‌های قدرت در دنیا فرایندهایی برای تست و ارائه گواهی صلاحیت به محصولات تولید توان تجدیدپذیر وضع کرده‌اند تا ضمن حصول اطمینان از رعایت کارکردهای مورد انتظار، فرایند اتصال منابع تولید توان تجدیدپذیر به شبکه تسریع گردد. به صورت نمونه این فرایند در سند مشاوره‌ای اتصال منابع تولید توان تجدیدپذیر به شبکه کشور آلمان ذکر شده است. فرایند کشور آلمان ترکیبی از اندازه‌گیری‌های میدانی و شبیه‌سازی‌های کامپیوتری است. در این فرایند هر منبع تولید توان تجدیدپذیر گواهی مشخصات الکتریکی دریافت خواهد کرد که پایه‌ای برای ارائه گواهی انطباق‌پذیری خواهد بود. بر مبنای فرایند کشور آلمان در نهایت بایستی وضعیت هر منبع تولید توان تجدیدپذیر با در داشتن موضوعات زیر معین گردد:

- توانمندی کنترل توان اکتیو خروجی در شرایط عادی و انحراف فرکانسی
- توانمندی کنترل توان راکتیو خروجی
- تعامل با شبکه (هارمونیک فلیکر، نوسان ولتاژ)
- تنظیمات حفاظتی
- رفتار سیستم در هنگام وقوع اغتشاش در شبکه (افت ولتاژ و توانمندی حمایت از شبکه در این شرایط)

از سویی دیگر مطابق قوانین کشور آلمان، برای اثبات انطباق‌پذیری یک سیستم شامل چند منبع تولید توان تجدیدپذیر بایستی گواهی‌نامه نیروگاه اخذ گردد. در این حالت اعتبارسنجی مشخصات الکتریکی به کمک معادلات پخش بار و شبیه‌سازی‌های دینامیکی صورت می‌پذیرد. شبیه‌سازی‌های دینامیکی بر مبنای مدل‌های اعتبارسنجی شده صورت می‌پذیرد. در این حالت اتصال مذکور به صورت مدل معادل تونن صورت می‌پذیرد که با توجه به سطح اتصال کوتاه محل اتصال تعیین می‌گردد. نحوه پیاده‌سازی و اعتبارسنجی مدل‌های دینامیکی در گواهی‌نامه صادره ذکر می‌گردد.

### ۱۱-۳-۱ نیازسنجی

رهیافت ترکیب شبیه‌سازی و تست عملیاتی (Experimental) را شبیه‌سازی HIL می‌نامند. شبیه‌سازی HIL به دو نوع شبیه‌سازی HIL کنترل و HIL قدرت تقسیم‌بندی می‌گردد. شبیه‌سازی HIL کنترل می‌تواند شامل تست رله‌های حفاظتی،



کنترل کننده‌های مبدل‌های الکترونیک قدرت و رگولاتورهای کیفیت توان اطلاق گردد. شبیه‌ساز HIL قدرت می‌تواند شامل تست‌های تجهیزات واقعی نظیر اینورترهای متصل به سلول خورشیدی گردد. شبیه‌ساز HIL قدرت اجازه تست تجهیزات قدرت را در محیط سیستم قدرت مجازی در شرایط گوناگون و به‌گونه‌ای قابل تکرار، ایمن و اقتصادی فراهم می‌کند. در واقع شبیه‌ساز HIL قدرت تکنیک شبیه‌سازی بلادرنگ را با پاسخ تجهیز واقعی و ادوات کنترلی آن ترکیب می‌کند.

### ۱۱-۳-۲ بررسی بیشتر شبیه‌سازی HIL کنترل و قدرت

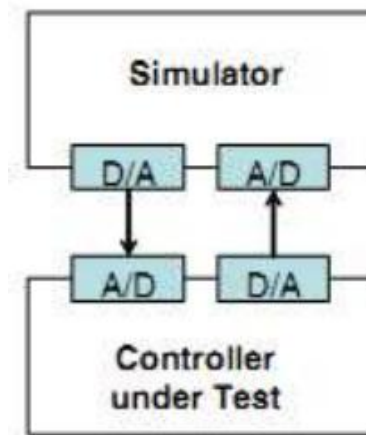
به صورت سنتی دو گزینه برای انجام تست تجهیزات با قدرت متوسط تا بالا وجود دارد: انجام تست به کمک تجهیز واقعی، انجام شبیه‌سازی نرم‌افزاری. امروزه راهکار سومی تحت نام شبیه‌سازی HIL در حال گسترش است که ترکیبی از دو راهکار سنتی است.

انجام تست به کمک تجهیز واقعی که روشی سراسر است شامل انجام آزمون بر تجهیز واقعی است. با در نظر داشتن دقت تست، این شیوه بهترین راه حل است؛ اما عواملی نظیر محدودیت‌های اقتصادی، ریسک بالا، عدم وجود انعطاف‌پذیری کافی و مساحت در دسترس از نکات منفی این روش هستند. عمدتاً نمی‌توان بخش‌هایی از تجهیزات موجود در فرایند تست را برای ایجاد شرایط مختلف شبیه‌سازی تغییر داد.

به صورت سنتی برای برطرف کردن مشکلات ناشی از انجام آزمون بر تجهیز واقعی، از تکنیک شبیه‌سازی نرم‌افزاری استفاده شده است. انعطاف‌پذیری بالا و هزینه اقتصادی بسیار کم از مزیت‌های این روش است. اجزای یک سیستم را می‌توان به دودسته تقسیم‌بندی کرد. دسته اول، اجزایی هستند که قابل مدل‌سازی هستند و مدل دقیقی برای آن‌ها وجود دارد. این در حالی است که دسته دوم شامل اجزایی هستند که مدل‌های دقیقی برای آنان ارائه نشده است. دقت شبیه‌سازی به دانش عمیق از تجهیزات سیستم و مدل‌سازی دقیق آن‌ها بستگی دارد. [۲۲۸]

### ۱۱-۳-۱-۱ شبیه‌سازی HIL کنترل

شبیه‌سازی HIL کنترل شامل تست یک تجهیز به کمک پورت‌های داده آن است. در این تکنیک سیگنال‌های دیجیتال (و یا سیگنال‌های آنالوگ تبدیل شده به سیگنال‌های دیجیتال) مابین سیستم تحت تست و شبیه‌ساز HIL در حال مبادله است. این فرایند در شکل ۱۱- نشان داده شده است.



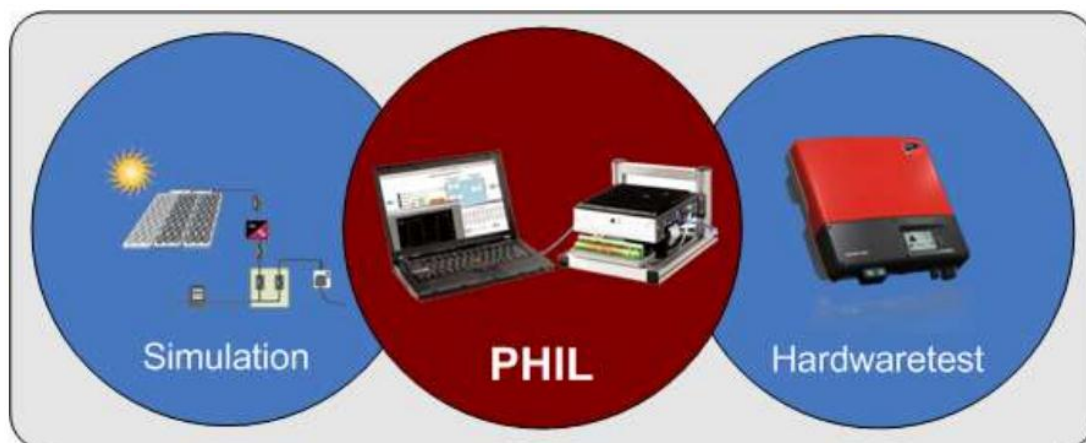
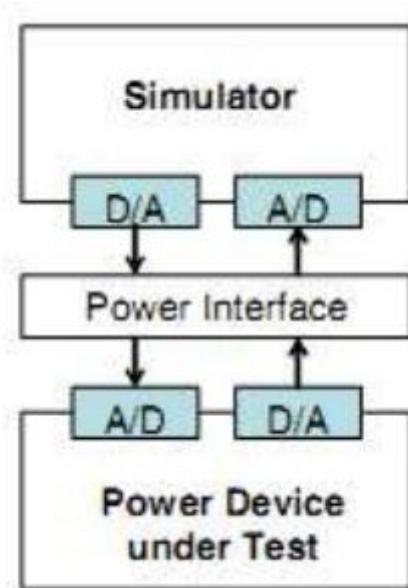
شکل ۱۱-۵: شبیه‌سازی HIL کنترل

این تکنیک امکان تست عملکردهای کنترلی یک تجهیز را فراهم می‌کند. برخی از کاربردهای این تکنیک عبارت‌اند از:

- ارزیابی کنترل‌کننده‌های صنعت فضایی
- ارزیابی کنترل‌کننده‌های الکترونیکی صنعت خودرو
- ارائه تجهیزات و عملگرهای جدید
- ژنراتورهای سیستم نیروگاه بادی
- خودروهای برقی و هیبرید

### ۱۱-۳-۲-۲- شبیه‌سازی HIL قدرت

برخلاف شبیه‌سازی HIL کنترل که در آن یک کنترل‌کننده تحت تست قرار می‌گیرد، در شبیه‌سازی HIL قدرت، یک تجهیز کامل قدرت (که توان الکتریکی مبادله می‌کند) نظیر اینورتر PV یا موتور آسنکرون تحت تست قرار می‌گیرد. در شبیه‌سازی HIL قدرت سیگنال‌های مبادله شده مابین شبیه‌ساز بلادرنگ و سیستم تحت تست در سطحی نیستند که مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال و (برعکس) از عهده جابجایی آن‌ها برآیند. بنابراین برای انجام این اتصال و جابجایی نیازمند برخی واسط‌های توان هستیم. این فرایند در شکل ۱۱-۱۱ نشان داده شده است.

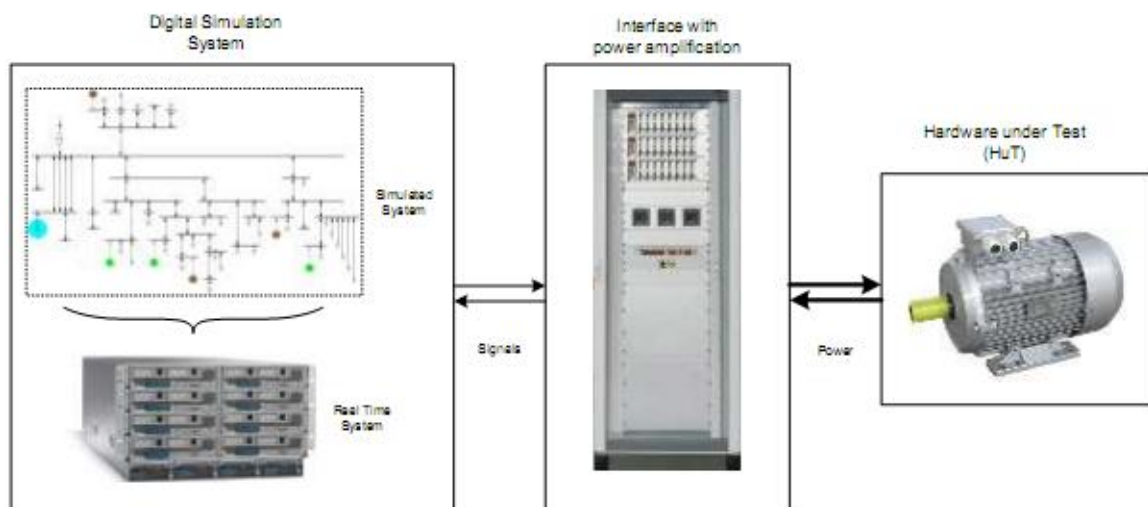


شکل ۱۱-۶: شبیه‌سازی HIL قدرت

واسط توانی، سیگنال‌های سطح پایین شبیه‌ساز بلادرنگ را به گونه‌ای مناسب به سیگنال‌های موردنیاز سیستم حقیقی تحت تست تبدیل می‌کند. این واسط توان شامل تقویت کننده قدرتی است که مقدار مرجعی را از شبیه‌ساز بلادرنگ (همانند ولتاژ و یا گشتاور) دریافت می‌کند و به صورتی مناسب به تجهیز تحت تست اعمال می‌کند. این واسط همچنین سنسوری دارد که واکنش سیستم تحت تست را اندازه‌گیری می‌کند (همانند جریان و یا سرعت چرخش) و به شبیه‌ساز بلادرنگ انتقال می‌دهد. وجود این واسط امکان اتصال تجهیز تحت تست به شبیه‌ساز بلادرنگ (که رفتار سیستم قدرت را به صورتی انعطاف‌پذیر تقلید می‌کند) را فراهم می‌کند.

شبیه‌سازی HIL قدرت نقش مهمی در توسعه، تست و اعتبارسنجی تجهیزات دارد. به کمک شبیه‌سازی HIL قدرت می‌توان رفتار تجهیز تحت تست را در اتصال به سیستم قدرتی انعطاف‌پذیر (به کمک شبیه‌ساز بلادرنگ) در شرایط گوناگون بهره‌برداری تست کرد. با توجه به آنکه سیستم قدرت اتصالی، به صورت مجازی توسط شبیه‌ساز بلادرنگ ایجاد شده است به سرعت (و بدون تغییرات فیزیکی خاص نظیر سیم کشی) می‌توان شرایط شبیه‌سازی را به دفعات تغییر داد. به کمک این ابزار می‌توان با هزینه و ریسک کم تمامی شرایط ممکن بهره‌برداری را آزمود و جنبه‌های نهان احتمالی تجهیز تحت تست را یافت. در مجموع، شبیه‌سازی HIL قدرت بستری مناسب برای تست انواع منابع تولید توان تجدیدپذیر نظیر اینورترهای سلول خورشیدی، توربین‌های بادی و سایر شبکه‌ها (نظیر میکروگریدها و خودروهای برقی) را به دست می‌دهد.

یک نمونه از اتصال موتور الکتریکی به شبیه‌ساز بلادرنگ به کمک واسط توانی در شکل ۱۱-۷ نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۷: اتصال موتور الکتریکی به شبیه‌ساز بلادرنگ به کمک واسط توانی

### ۱۱-۳-۳ معرفی تجهیزات حاضر در شبیه‌سازی HIL

#### ۱۱-۳-۳-۱- توان محاسباتی - شبیه‌ساز بلادرنگ

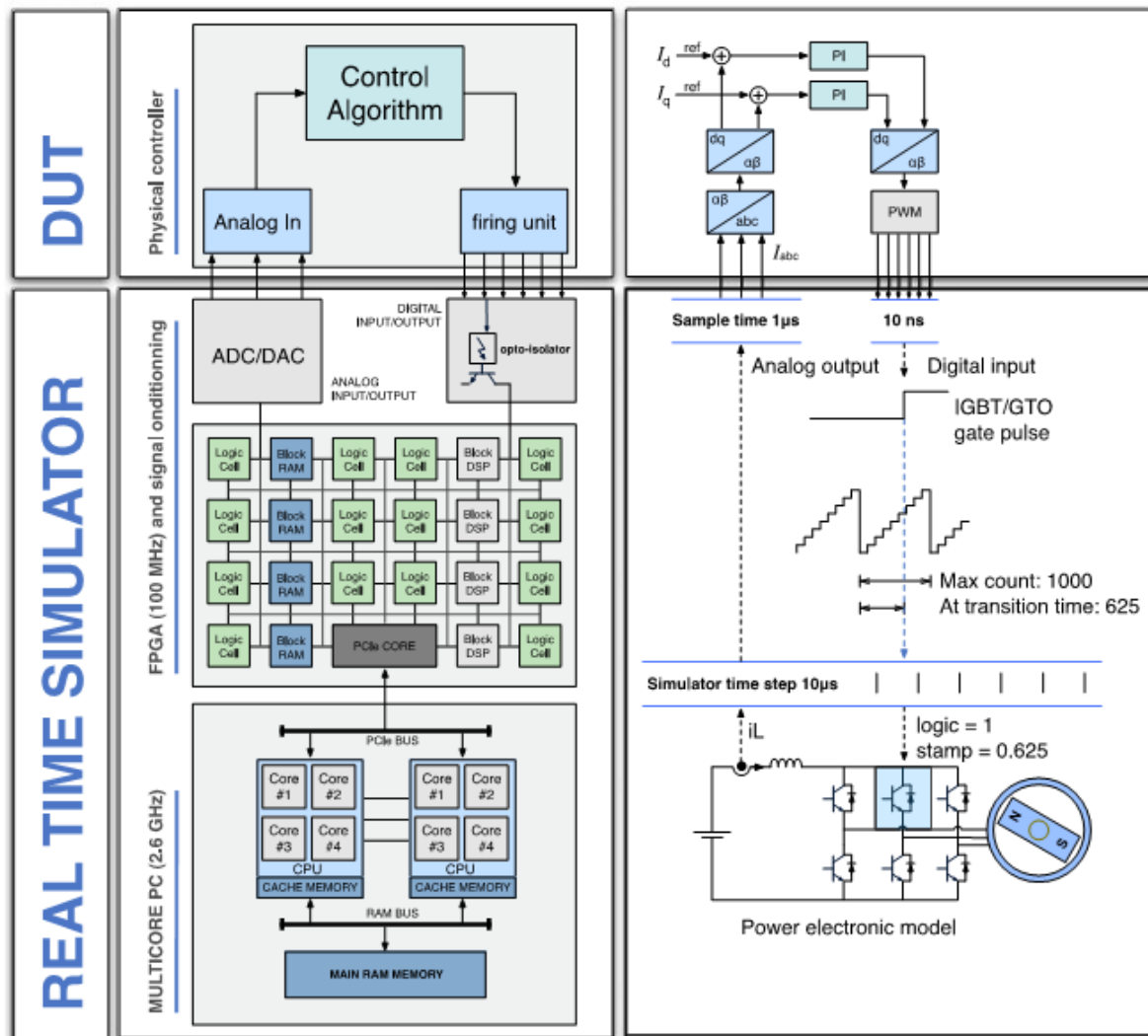
قسمت اصلی شبیه‌سازی HIL در شبیه‌ساز بلادرنگ قرار دارند که مدل نرم‌افزاری را محاسبه و اجرا می‌کند و دارای قابلیت تبادل داده ورودی/خروجی است. با توجه به آنکه تجهیز تحت تست به صورت بلادرنگ در حال فعالیت است، سیستم

قدرت مجازی شبیه‌سازی شده توسط شبیه‌ساز بلادرنگ نیز بایستی به صورت بلادرنگ فعالیت کند. بنابراین فرکانس شبیه‌سازی شبیه‌ساز بلادرنگ بایستی به اندازه‌ای بزرگ باشد که بتواند رفتار سیستم قدرت را به درستی در شرایط دینامیکی تقلید کند. به صورت تئوری، کامپیوتری با کارت‌های ورودی/خروجی و یا یک برد کنترلی نیز یک شبیه‌ساز بلادرنگ است؛ اما شبیه‌سازهای حرفه‌ای بلادرنگ برای شبیه‌سازی HIL سیستم‌های بسیار بزرگ و پیچیده طراحی می‌شوند. این شبیه‌سازهای بلادرنگ برای اولین بار در سال ۱۹۹۳ تحت نام RTDS عرضه شد.

### ۱۱-۳-۲- روش‌های پیاده‌سازی

به صورت صنعتی از دودسته سخت‌افزار برای پیاده‌سازی HIL می‌توان استفاده کرد: CPUهای چند هسته‌ای و FPGA. CPU ماشین حسابگر سریال است که ساختار کد نویسی بسیار انعطاف‌پذیری دارد که پیاده‌سازی الگوریتم‌های پیچیده را ساده می‌کند. کامپیوترهای امروزی از چندین هسته محاسباتی در کنار کارت‌های I/O با وسط PCI ساخته شده‌اند. زمان نمونه‌برداری CPUها به دلیل حضور واسط‌های PCI و سیستم عامل محدود است. در سویی دیگر، FPGA ساختاری موازی از منطق پایه و حافظه‌هاست که بسته به نیاز خریدار تغییر می‌یابد. چیپ‌های متداول FPGA عمدتاً روی بوردهایی ساخته می‌شوند که شامل RAM، ADC، DAC و I/Oهای بسیار سریع هستند. نکته منفی استفاده از FPGA در مشکل بودن پیاده‌سازی کدهای نرم‌افزاری است به گونه‌ای که عملاً بسیاری از کدهای پیشرفته قابل پیاده‌سازی بر FPGA نیستند. وجود واسط‌های I/O بسیار سریع ذاتی در FPGA توان نمونه‌برداری این تکنولوژی را افزایش می‌دهد.

شبیه‌ساز HIL صنعتی یک سیستم الکترونیک قدرت باید ترکیبی از فناوری‌های CPU و FPGA باشد تا بتواند به اهداف خود دست پیدا کند. ساختار یک شبیه‌ساز HIL ترکیبی در شکل ۱۱- نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۸: شبیه‌ساز HIL ترکیبی

در این ساختار بسیار متداول، ساختمان مدل (که می‌تواند یک سیستم مکانیکی و یا یک سیستم درایو موتور باشد) از طریق کد نویسی (یا به کمک Simulink و SystemBuild) بر CPU بارگذاری می‌شود. از سویی دیگر زمان‌های وقوع سوئیچینگ به کمک شمارنده‌های فرکانس بالای FPGA ثبت می‌شوند و اطلاعات دقیق مدت زمان آن‌ها به CPU و مدل ذخیره شده در آن ارسال می‌گردد.

نمونه‌برداری از وقایع سوئیچینگ به دلیل فرکانس بسیار بالای PWM (نسبت به توان نمونه‌برداری CPU که در حد 7-10 us است) به کمک FPGA الزامی است. اهمیت این موضوع در فرکانس‌های PWM بالاتر، حیاتی‌تر است.

### ۱۱-۳-۳-۳- مسائل ارتباطی

در شبیه‌سازی HIL قدرت، خطاهای ناشی از واسط توانی (تأخیر زمانی و اعوجاج) ممکن است منجر به ناپایداری و یا جواب غیردقیق شود. به صورت مثال حضور تقویت‌کننده توان ممکن است منجر به ناپایداری شبیه‌سازی HIL گردد در حالی که سیستم اصلی بوده است. همچنین تقویت‌کننده موردنظر به دلیل غیره ایده آل بودن ممکن است دارای خطا و تأخیر زمانی باشد. بررسی مراجع مختلف تحقیقاتی نشان‌دهنده آن است که الگوریتم واسط بایستی به گونه‌ای مناسب این چالش‌ها را حل و فصل کند.

علاوه بر واسط‌های توانی، عوامل دیگری نیز در شبیه‌سازی HIL ممکن است باعث نتیجه غیر صحیح و ناپایداری گردد. به صورت مثال فرکانس شبیه‌سازی شبیه‌ساز بلادرنگ اثر بسیار مهمی در پایداری شبیه‌سازی HIL دارد. از سویی دیگر تبدیلات آنالوگ به دیجیتال و دیجیتال به آنالوگ باید به اندازه کافی سریع و دقیق باشد. همچنین سنسورهای مورد استفاده بایستی صحت و سرعت کافی داشته باشند.

### ۱۱-۳-۳-۴- واسط توانی

در شبیه‌سازی HIL قدرت برای اتصال شبیه‌ساز بلادرنگ (که رفتار یک سیستم قدرت مجازی را تقلید می‌کند) و تجهیز تحت تست از واسط‌های توانی استفاده می‌شود. این واسط توانی عمدتاً از یک تقویت‌کننده توان و سنسور تشکیل شده است. دو کاربرد عمده شبیه‌سازی HIL در مهندسی برق و مکانیک است.

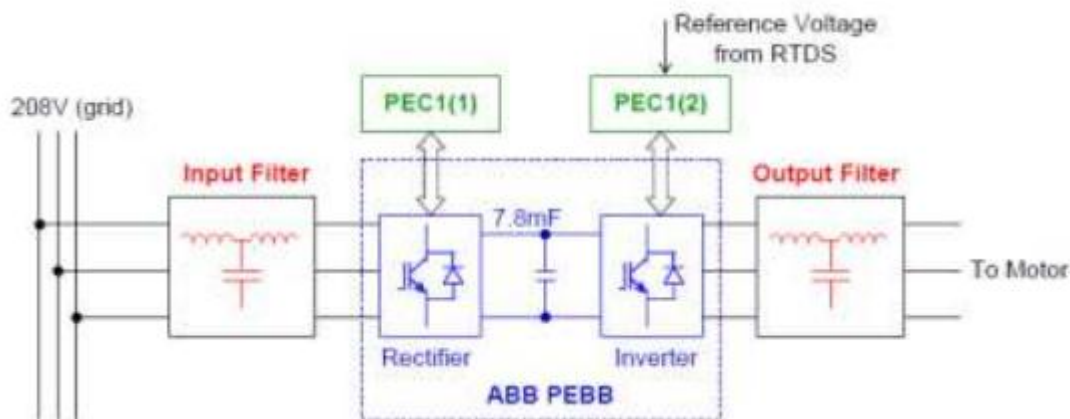
شبیه‌سازی HIL در مهندسی مکانیک در نمونه‌هایی نظیر خودرو، موتور نیروی محرکه کشتی، توربین بادی و ... کاربرد دارد. در این موارد شبیه‌ساز بلادرنگ مدل بار نیروی محرکه و یا توربین بادی را تقلید می‌کند. همچنین تجهیز تحت تست می‌تواند ژنراتوری باشد که از طریق واسط توانی موتور و نیروی محرکه آن به شبیه‌ساز بلادرنگ و ژنراتور متصل شده است. شبیه‌ساز بلادرنگ مقادیر مرجع سیگنال‌ها را (نظیر مراجع سرعت و گشتاور) به مجموعه موتور/ژنراتور اعمال کرده و پاسخ آن را از طریق سنسورها دریافت می‌کند.

شبیه‌سازی HIL در مهندسی برق نیز شامل یک تجهیز قدرت است اما شبیه‌ساز بلادرنگ یک سیستم قدرت الکتریکی را تقلید می‌کند. بنابراین واسط توانی بایستی به صورت الکتریکی به تجهیز تحت تست متصل گردد. واسط توانی که منطبق بر

ظرفیت توانی تجهیز تحت تست است سیگنال‌های ضعیف شبیه‌ساز بلادرنگ را دریافت می‌کند و آن را به گونه‌ای مناسب به تجهیز تحت تست اعمال می‌کند. در این فرایند دقت بالا و تأخیر کم اهمیتی فراوان دارد. با توجه به آنکه تقویت کننده بایستی توانمندی جذب و تزریق توان را داشته باشد، عملکرد چهارربعی لازم است. برخی از این واسط‌های توانی در ادامه گزارش شرح داده خواهند شد.

### ۱۱-۳-۳-۵- تقویت کننده سوئیچینگ

تقویت کننده سوئیچینگ برای شبیه‌سازی HIL قدرت از مبدل‌های الکترونیک قدرت تشکیل شده است. شکل ۱۱- نشان دهنده یک مبدل پشت‌به‌پشت منبع ولتاژ 50 KVA است. شبیه‌ساز بلادرنگ مقدار مرجع سیگنال را به مبدل ارسال می‌کند و از طریق آن به تجهیز تحت تست (که در این مثال یک موتور الکتریکی است) اعمال می‌شود.



شکل ۱۱-۹: تقویت کننده سوئیچینگ برای شبیه‌سازی HIL

ولتاژ لینک DC به کمک یکسوساز کنترل می‌گردد.

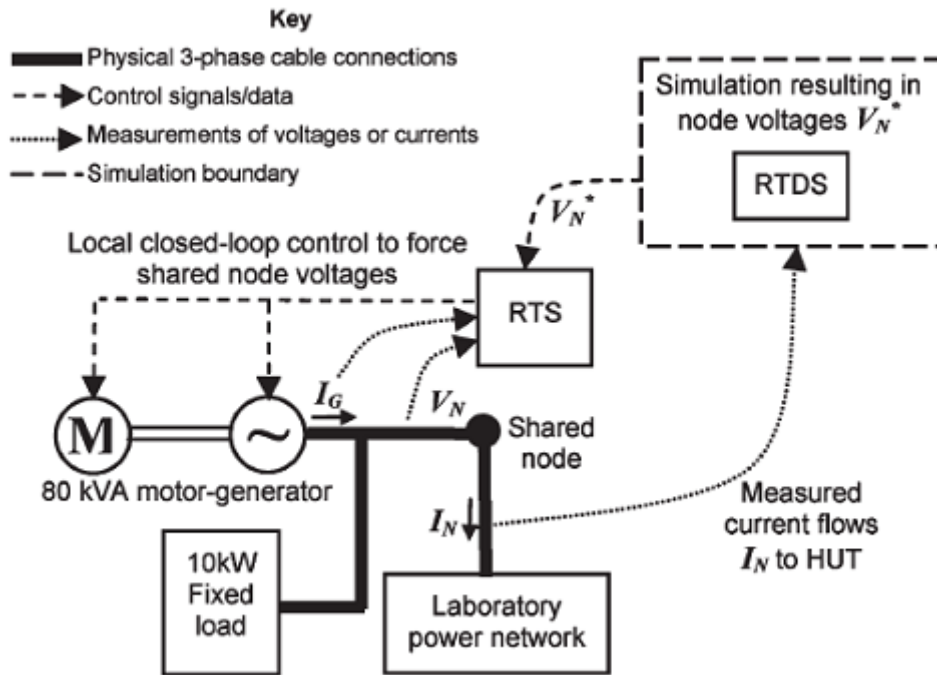
### ۱۱-۳-۳-۶- تقویت کننده خطی

تقویت کننده‌های خطی نیز در شبیه‌سازی HIL کاربرد دارند. تقویت کننده‌های خطی حرفه‌ای با قابلیت‌هایی نظیر دقت بالا و تأخیر زمانی کم گزینه مناسبی برای کاربردهای شبیه‌سازی HIL قدرت هستند.



### ۱۱-۳-۳-۷- ژنراتور سنکرون و بانک بار

در این گونه واسط توانی ژنراتور سنکرونی به یک موتور کوپل مکانیکی می‌گردد و مجموعه موتور/ژنراتور توسط کنترل‌کننده‌ای سریع کنترل می‌گردد. شبیه‌ساز بلادرنگ مقادیر مرجع ولتاژ را به کنترل‌کننده سریع مجموعه موتور/ژنراتور اعمال می‌کند. در نتیجه، ژنراتور سنکرون ولتاژ مرجع را به تجهیز تحت تست اعمال می‌کند. پاسخ تجهیز تحت تست همانند گونه‌های پیشین واسط توانی توسط حس‌گر اندازه‌گیری و به شبیه‌ساز بلادرنگ ارسال می‌گردد. این واسط توانی در شکل ۱۱- نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۱: ژنراتور سنکرون و بانک بار در نقش واسط توانی در شبیه‌سازی HIL قدرت

### ۱۱-۳-۴ تولیدکنندگان

در ادامه برخی از سازندگان مطرح سیستم شبیه‌ساز HIL معرفی می‌گردند.

### RTDS Technologies Inc - ۱-۳-۳-۱۱

شبیه‌ساز RTDS از پروژه‌های تحقیقاتی در مرکز تحقیقات HVDC مانیتوبا در سال ۱۹۸۰ به وجود آمد. در ادامه این روند در سال ۱۹۸۹ اولین شبیه‌سازی بلادرنگ HVDC در کانادا انجام شد. در نهایت در سال ۱۹۹۳ اولین فروش تجاری شبیه‌ساز RTDS انجام پذیرفت. به دنبال تجاری‌سازی محصول، شرکت RTDS Technologies Inc باهدف گسترش و تجاری‌سازی شبیه‌ساز تأسیس شد. محصولات این شرکت هم‌اکنون در ۳۷ کشور و ۱۱۰۰ واحد<sup>۱</sup> در حال فعالیت هستند. این شرکت هم‌اکنون توانسته است محصول خود را به‌عنوان ابزاری مورد اعتماد جهت تست تولید تجهیزات FACTS و HVDC معرفی کند. همچنین محصولات این شرکت بستر مناسبی برای تست رله‌های قدرت فراهم می‌کند. این شرکت در سال ۱۹۹۹ اولین سیستم قابل حمل و نقل RTDS را ارائه داد.

### OPAL-RT - ۲-۳-۳-۱۱

شرکت OPAL-RT در سال ۱۹۹۷ تأسیس شده است. این شرکت از پردازنده‌های چند هسته‌ای برای دستیابی به فرکانس بالاتر شبیه‌سازی استفاده می‌کند. این شرکت محصولاتی نظیر eMEGAsim (برای شبیه‌سازی بلادرنگ سیستم قدرت به کمک پردازنده‌های چند هسته‌ای intel و FPGA) و eDRIVEsim (برای شبیه‌سازی سیستم‌های کنترل پیشرفته درایو، مبدل‌های الکترونیک قدرت و ...) برای اجزای شبیه‌سازی HIL تولید می‌کند.



شکل ۱۱-۱۱: محصول eMEGAsim شرکت OPAL-RT

**Typhoon HIL Inc. – ۳-۴-۳-۱۱**

شرکت Typhoon HIL Inc از شرکت‌های پیشرو در زمینه ساخت توصیف گرهای بلادرنگ HIL برای ادوات الکترونیک قدرت است. این کمپانی که در سال ۲۰۰۸ تأسیس شد محصولات خود را به شرکت‌های معتبری چون ABB، FLEXGEN، AIT و TOSHIBA می‌فروشد.

**National Instruments – ۴-۴-۳-۱۱**

این شرکت که در سال ۱۹۷۶ تأسیس شد هم‌اکنون در ۵۰ کشور جهان شعبه دارد. این شرکت که شامل ۷۰۰۰ کارمند است در سال ۱۹۷۶ سود ۱,۲۴ میلیارد دلاری داشته است. پلتفرم HIL این شرکت از فناوری‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری برای کاهش زمان، هزینه و ریسک ناشی از تست سیستم‌های Embedded استفاده می‌کند. پلتفرم تست این شرکت (که تقریباً بقیه پلتفرم‌ها نیز شباهت بسیاری دارند) به صورت معمول شامل واسط اپراتوری، پردازنده بلادرنگ، واحد ایجاد خطا، واسط‌های ورودی/خروجی، واسط‌های سنکرونیزم پردازنده‌ها و واحدهای کنترل الکترونیکی است.

**Dspace – ۵-۴-۳-۱۱**

شرکت Dspace در سال ۱۹۹۰ در Paderborn, Germany تأسیس شد. در حوزه شبیه‌سازی بلادرنگ به کمک HIL، این شرکت تجهیزاتی به نام‌های SCALEXIO، dSPACE Simulator EcoLine، dSPACE Simulator Mid-Size و dSPACE Simulator Full-Size دارد.

**Hwacreate – ۶-۴-۳-۱۱**

Hwacreate در پارک علم و فناوری Zhong Guan Village Science and Technology چین تأسیس شده است. محصولات این شرکت تحت نام‌های HRT-1000، SimCreator و AFDX امکان فراهم‌سازی بستر شبیه‌سازی HIL را فراهم می‌کند.

## ۱۱-۳-۵ برخی خریداران شبیه‌سازی بلادرنگ HIL

### ۱۱-۳-۵-۱ دانشگاه New South Wales

مرکز تحقیقات انرژی استرالیا که در دانشگاه New South Wales استرالیا مستقر است، بزرگ‌ترین آزمایشگاه شبیه‌سازی بلادرنگ موجود در تمامی دانشگاه‌های دنیا را به کمک RTDS Simulator راه‌اندازی کرده است. آزمایشگاه سیستم‌های قدرت این دانشگاه ۱۸ rack شامل ۹۰ پردازنده و ۱۰۰ کارت ورودی/خروجی از سیستم RTDS را در اختیار دارد. این دانشگاه کمک ۱۹ میلیون دلاری از مرکز سرمایه‌گذاری آموزش استرالیا دریافت کرده است.



شکل ۱۱-۱۲: سیستم RTDS مستقر در دانشگاه New South Wales

### ۱۱-۳-۵-۲ مرکز تحقیقات KEPCO

مرکز تحقیقات وابسته به شرکت برق KEPCO کره جنوبی که شامل بیش از ۳۰۰۰۰ کیلومتر خط انتقال و ۹۳٪ ظرفیت تولید برق کره جنوبی است، در سال ۲۰۰۱ مجموعه‌ای شامل ۲۱ واحد از سیستم RTDS را خریداری کرده است. این مرکز تحقیقاتی از سیستم فوق برای ارزیابی عملکرد صحیح سیستم حفاظتی، رگولاتورها، مطالعات پایداری و سیستم‌های FACTS استفاده می‌کنند.

### ۱۱-۳-۵-۳- دانشگاه Universidade Federal de Juiz de Fora

دانشگاه Universidade Federal de Juiz de Fora برزیل در سال ۲۰۰۹ تجهیزات RTDS را به ارزش ۲۵٫۶ میلیون دلار خریداری کرده است. این دانشگاه برای بررسی پردازش سیگنال دیجیتال پیشرفته، بررسی پروتکل‌های ارتباطی در سیستم‌های قدرت، کنترل سیستم‌های قدرت و طراحی سیستم‌های حفاظتی برای سیستم‌های قدرت از این دستگاه استفاده می‌کند. این دانشگاه انتظار دارد از طریق این سرمایه‌گذاری به اهدافی نظیر توسعه پژوهش‌های تجربی در حوزه صنعت برق، افزایش تعداد ثبت اختراعات، تعامل بیشتر با صنعت و ثبت این دانشگاه به‌عنوان قطب مرجع در تحقیقات کاربردی برای بخش برق دست یابد.

### ۱۱-۳-۵-۴- دانشگاه AALBORG

آزمایشگاه شبیه‌سازی بلادرنگ دانشگاه AALBORG شامل ۲ واحد از سیستم RTDS به همراه یک کارت ورودی/خروجی است. این دانشگاه همچنین نرم‌افزار اختصاصی سیستم RTDS به نام RSCAD را نیز خریداری کرده است.



شکل ۱۱-۱۳: سیستم RTDS مستقر در دانشگاه AALBORG

### ۱۱-۳-۵- شرکت برق هند

شرکت برق هند یک سیستم RTDS در کنار کنترل کننده خط HVDC ۵۰۰ کیلوولتی Ballia-Bhiwadi خریداری کرده است. این سیستم RTDS شامل ۴ واحد (Rack) متصل به کنترل کننده خط HVDC است. شرکت برق هند در نظر دارد از این پروژه (که برای اولین بار در هند اجرا شده است) در جهت آموزش بهره‌برداران، آزمایش عملکرد دینامیکی و تنظیم پارامترهای کنترل کننده‌های HVDC و FACTS استفاده کند.

### ۱۱-۳-۶- شرکت برق نیوزلند

شبکه برق نیوزلند برای بررسی دقیق رفتار گذرای شبکه قدرت این کشور در برابر سیستم حفاظتی، مشخصات کنترلی، اغتشاشات و حالات خطا دار از سیستم RTDS استفاده می‌کند. لازم به ذکر است این شرکت قصد دارد برای دقیق‌تر شدن نتایج و امکان اضافه شدن مدل‌های پیچیده‌تر، سیستم RTDS موجود خود را ارتقا دهد و برای این ارتقا بودجه ۰/۱ میلیون دلاری در نظر گرفته است.

### ۱۱-۳-۷- کمپانی برق سعودی

کمپانی برق سعودی از یک سیستم RTDS برای مطالعه، کنترل و طراحی حفاظت برای سیستم قدرت سعودی استفاده می‌کند.

### ۱۱-۳-۸- آزمایشگاه ملی آمریکا

آزمایشگاه ملی آمریکا برای حمایت و توسعه اتصال منابع تولید تجدیدپذیر به شبکه سیستم شبیه‌ساز HIL قدرت را خریداری کرده است. شبیه‌ساز HIL قدرت این آزمایشگاه توانایی اتصال به تجهیزاتی در حد MW را دارد. برخی دیگر از خریداران سیستم شبیه‌سازی بلادرنگ در کشورهای مختلف در جدول زیر ذکر شده است.

#### جدول ۱۱-۲: لیست خریداران سیستم شبیه‌ساز HIL در دنیا

کشور	خریداران سیستم شبیه‌سازی بلادرنگ در کشور مربوطه
استرالیا	Defence Science and Technology Organisation Powerlink

خریداران سیستم شبیه سازی بلادرنگ در کشور مربوطه	کشور
Queensland University of Technology University of Queensland	
ABB Brazil CEMIG CEMIG-D CTEEP FPTI FURNAS ONS Siemens Brazil UFABC Universidade Federal de Campina Grande Universidade Federal de Ijatubá Universidade Federal do Rio Grande do Norte Universidade de Sao Paolo University of Campinas University of Juiz de Forza	برزیل
BCIT ERLPhase Power Technologies Ltd GE Multilin Kinectrics Inc. Manitoba Hydro University of Manitoba University of Saskatchewan University of Toronto University of Western Ontario	کانادا
BDCC Beijing Jiaotong University China Central Power Group China Agricultural University China EPRI China EPRI FACTS Chongqing EPRI Chongqing University CSG EHV CSG Technology Research Center CSG WEN CYG Shen-Rui DongFang Electronics East China EPRI Fujian EPRI Guangdong EPRI Guangdong PDC Guangxi EPTRI Guangxi University Guizhou University Guodian Nanjing Automation Co. Ltd. Inner Mongolia Research Institute Inner Mongolia University	چین

خریداران سیستم شبیه سازی بلادرنگ در کشور مربوطه	کشور
Jibei EPRI Jiangsu EPRI Jiangxi EPRI Jilin EPDC NARI NARI Relays NARI Technology Development Limited Company Ningbo Ligong North China Electric Power University North East China EPRI North East China Power Group Rongxin Electric Power Corp. SGCC-OP SGCTC Shaanxi Electric Power Corp. Shandong Electric Power College Shandong EPRI Shandong University Shanghai EP Shanghai Jiaotong University Shanghai Power T&D Shanghai University of Electric Power Shenyang University of Technology Sichuan Electrical Power Corp. Sifang EPRI South China University of Technology Southwest Jiaotong University Suzhou Heshun Taiyuan University of Technology Tianjin EPRI Tianjin University Tsinghua University Wuhan University XIHARI-HVDC XIHARI-Smart Grid Xi'an Jiaotong University Xian University of Technology XJ Group Corporation Yunnan EPRI Zhejiang EPRI Zhejiang University	
Aalborg University Technical University of Denmark	دانمارک
Alstom Grid Oy Ltd. Tampere University of Technology	فنلاند
GE Energy Conversion RTE Schneider Electric	فرانسه



خریداران سیستم شبیه سازی بلادرنگ در کشور مربوطه	کشور
Alstom Konstanz RWTH Aachen Siemens AG Siemens EA Siemens Mobility Technical University of Ilmenau	آلمان
National Technical University Athens	یونان
ABB HVDC India Bharat Heavy Electricals Limited Central Power Research Institute IIT Bhubaneswar IIT Kanpur IIT Roorkee Power Grid Corporation of India Ltd. University of Calcutta	هند
PLN	اندونزی
Ansaldo Energia ENEL ENEL Test Center Bari JRC Ispra Terna University of Cassino University of Catania	ایتالیا
Aichi Electric CHUBU EPCO Chugoku Electric Power Co. Enegate FUJI Electric Co. Hiroshima Institute of Technology Hitachi JPower Co. Kansai EPCO Kansai Training Center Kinkei Systems Kyusyu University Meidensha Corporation Mitsubishi Electric Takaoka EPCO Tohoku Electric Corporation Toshiba Corporation	ژاپن
PESTECH Sdn Bhd SESCO Tenaga Nasional Berhad University of Malaya	مالزی
CIMAT CFE – LAPTEM	مکزیک

خریداران سیستم شبیه‌سازی بلادرنگ در کشور مربوطه	کشور
University of San Luis Potosi	
NamPower	نامبیا
TU Delft	هلند
Transpower University of Canterbury	نیوزلند
National Grid Corporation of the Philippines University of the Philippines	فیلیپین
University of Lodz	لهستان
Universidade do Porto	پرتغال
Qatar University	قطر
EKRA FGC UES JSC Kazan Aviation Institute MPEI University NTC EES TECON Tomsk Polytechnic University VNIIR	روسیه
KACST KFUPM Saudi Electric Company	عربستان
Nanyang Technological University NUS VESTAS	سنگاپور
University of Ljubljana	اسلوونی
CPUT Durban Institute of Technology ESKOM University of Kwazulu-Natal University of the Witwatersrand	آفریقای جنوبی
Chang Won University Chongbuk National University Chonnam National University DGIST HHI Hyosung Industries Co. Ltd. Inha University KEPCO-KPS KEPRI – ITSPR KEPRI – KEPS KEPRI – HVDC KEPRI – SSA KESRI Korea Electric Power Corporation	کره جنوبی

خریداران سیستم شبیه سازی بلادرنگ در کشور مربوطه	کشور
Korea Electrotechnology Research Institute Korea University LS Industrial Systems Myongji University National Fusion Research Institute Seoul National University of Technology Uiduk University Xelpower Yonsei University Youho Electric Industries Co. Ltd	
GE Multilin Ingeteam Red Electrica de Espana, S.A. University of Zaragoza ZIV, P+C Ltd	اسپانیا
ABB AB – Automation Technologies ABB AB – Power Systems FACTS ABB AB – Power Systems HVDC	سوئد
NTUST Taiwan Power Research Institute	تایوان
PEA	تایلند
The Petroleum Institute	امارات متحده عربی
Alstom Grid UK Cardiff University Durham University Siemens UK University of Bath University of Manchester University of Strathclyde	بریتانیا
ABB USA Alstom Grid USA American Electric Power American Superconductor Basler Electric Baylor University Clemson University Dominion Technical Solutions Florida State University – CAPS General Electric – CRD Idaho National Laboratory Iowa State University Michigan State University Mississippi State University Missouri University of Science and Technology National Renewable Energy Lab North Carolina State University	آمریکا

خریداران سیستم شبیه سازی بلادرنگ در کشور مربوطه	کشور
Oak Ridge National Laboratory Pacific Gas & Electric PPL Quanta Technology Savannah River Nuclear Solutions Schweitzer Engineering Laboratories Southern California Edison Tennessee Technological University Texas A&M University Texas Tech University University of California – Riverside University of Connecticut University of Idaho University of Illinois University of North Carolina University of Tennessee University of Wyoming Virginia Commonwealth University Washington State University	
Corpoelec	ونزوئلا

## ۱۱-۴- نتیجه گیری

در خصوص آزمایشگاه‌های تحقیقاتی در کشور امکانات خوبی وجود داشته و در مراکز تحقیقاتی، دانشگاهی و صنعتی با توجه به نیازها و توان مالی، تأسیسات آزمایشگاهی مناسبی فراهم شده است. برای توسعه این مراکز و تجهیز آن‌ها به لوازم موردنیاز در برخی حوزه‌ها با توجه به هزینه و کاربرد، نیاز به حمایت هدفمند دولت وجود دارد. در این راستا باید شبکه‌ای از آزمایشگاه‌های تحقیقاتی الکترونیک قدرت در کشور ایجاد گردد که اقدامات زیر می‌تواند در ذیل این شبکه صورت پذیرد.

- حمایت از تجهیز آزمایشگاه‌های موجود به تجهیزات اولیه موردنیاز با توجه به پتانسیل منطقه‌ای
  - حمایت از ایجاد قطب‌های آزمایشگاهی با مشارکت مراکز تحقیقاتی و صنایع با توجه به پتانسیل‌های منطقه‌ای موجود
  - آموزش و تربیت متخصصین آزمایشگاهی به‌ویژه در زمینه‌های خاص
- در خصوص آزمایشگاه‌های مرجع و با توجه به وظایف مورد انتظار این آزمایشگاه‌ها باید تحت نظارت سازمان ملی استاندارد قرار داشته باشد. آزمایشگاه‌های مرجع را می‌توان با توجه به حوزه آن‌ها به‌صورت زیر در نظر گرفت.
- آزمایشگاه مرجعی که به لحاظ اقتصادی بخش خصوصی قادر به راه‌اندازی و بهره‌برداری از آن‌ها است.
  - آزمایشگاه‌های مرجعی که با توجه به سرمایه‌گذاری بالای موردنیاز و اهمیت آن‌ها باید توسط بخش دولتی یا وابسته به دولت فراهم شود.
  - آزمایشگاه‌های مرجعی که با توجه به سرمایه‌گذاری موردنیاز و دانش فنی آن می‌توان از آزمایشگاه‌های خارجی برای انجام آزمون‌ها استفاده نمود.

با توجه به موارد فوق باید اقدامات زیر را مدنظر قرار داد.

- تصویب استانداردهای موردنیاز و اتخاذ سیاست لازم برای اجباری نمودن آن‌ها
- حمایت دولت از سرمایه‌گذاری در جهت احداث آزمایشگاه‌های مرجع موردنیاز کشور
- فراهم نمودن مکانیسم و تسهیلات لازم برای تست تجهیزات در آزمایشگاه‌های خارجی

- انعقاد تفاهم‌های همکاری آزمایشگاهی

در خصوص آزمایشگاه‌ها یا محیط تست میدانی با توجه به تنوع تجهیزات الکترونیک قدرت باید اقدامات مختلفی صورت پذیرد. در خصوص تجهیزات توان پایین فراهم نمودن محیط تست میدانی برای سازنده مقدر بوده و در این بخش نیاز است که مکانیسم مدون و مشخص برای ثبت نتایج و تأیید آن‌ها فراهم شود.

در خصوص تجهیزات با سطح توان بالا امکان تست در بسیاری موارد به‌ویژه برای تجهیزاتی که باید در شبکه‌ی برق نصب کردند توسط سازنده مقدر نیست برای فراهم نمودن این امکان باید اولاً مکانیسم مشخصی برای تعیین محل تست تدوین شده و ثانیاً باید پوشش بیمه‌ای لازم برای جبران خسارت احتمالی طراحی می‌گردد.

در این فصل علاوه بر مطالعه آزمایشگاه‌های داخلی به بررسی آزمایشگاه‌های پیشرفته‌ی دانشگاهی و تجاری الکترونیک قدرت در جهان پرداخته شد. در این راستا، محورهای تحقیقاتی، فناوری و تجهیزات موجود در این آزمایشگاه‌ها معرفی گردید. به‌طور کلی می‌توان گفت یک آزمایشگاه الکترونیک قدرت بایستی دارای:

- منابع تغذیه ac و dc در رنج‌های توانی و ولتاژی مختلف
- انواع مختلف کلیدهای نیمه‌هادی و مبدل‌های الکترونیک قدرت پر کاربرد مانند مبدل‌های DC\DC، اینورترها و درایوهای تغذیه موتورهای الکتریکی
- اسیلوسکوپ‌ها و اندازه‌گیرهای جریان و ولتاژ
- پردازنده‌های دیجیتال سیگنال مانند DSPها، FPGAها و تجهیزات جانبی مورد نیاز برای برنامه‌ریزی آن‌ها
- سنسورها و تجهیزات لازم برای ساخت بردهای کنترلی
- دسترسی به بسته‌های نرم‌افزاری کامل Matlab، PSCAD، Altium Designer، Pspice و همچنین نرم‌افزارهای آزمایشگاهی مانند LabVIEW و ...
- انواع مختلف بارها و عناصر غیرفعال

باشد.

به منظور مطالعه و تحقیق در راستای صنایع کاربردی الکترونیک قدرت مانند درایوهای الکتریکی و منابع انرژی نو نیز

تجهیزاتی مانند:

- موتورهای القایی، سنکرون و مغناطیس دائم
- دینامومترها
- پنل‌های فتوولتائیک
- توربین‌های بادی آزمایشگاهی
- باتری و پیل‌های سوختی

موردنیاز است.

در این بخش همچنین مواردی دیگر از قبیل بودجه، تجهیزات و فضای در دسترس آزمایشگاه‌ها مورد توجه قرار گرفت. بدین

ترتیب اطلاعات ذکر شده می‌تواند به عنوان یک مرجع و راهنمای راه‌اندازی یک آزمایشگاه الکترونیک قدرت پیشرفته، مورد استفاده قرار گیرد.

## فصل دوازدهم

پروژه‌های فنی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک

قدرت



## ۱۲- فصل دوازدهم پروژه‌های فنی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت

### ۱۲-۱- مقدمه

در این فصل با توجه به توضیحات ارائه شده در فصول قبلی و نتایج مراحل سوم و چهارم، پروژه‌های پیشنهادی جهت دستیابی به اهداف سند مورد اشاره قرار خواهند گرفت.

### ۱۲-۲- طراحی و ساخت مبدل توربین بادی

مبدل توربین بادی از جمله اجزاء اساسی توربین باد است. ساخت مبدل توربین بادی از جمله اولویت‌های توسعه فناوری «سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق» است. برای این منظور فعالیت‌ها در دو مجموعه طراحی و ساخت مبدل مقیاس جزئی مگاواتی توربین بادی و طراحی و ساخت مبدل مقیاس کامل توربین بادی پیگیری خواهد شد.

فعالیت‌ها در زمینه ساخت توربین بادی مگاواتی در کشور از چند سال پیش آغاز گردیده و در این خصوص پژوهشگاه نیرو و شرکت مپنا فعالیت‌های درخور توجهی صورت داده‌اند. گروه مپنا در سال ۱۳۹۴ طی قراردادی با یک شرکت خارجی اقدام به کسب دانش فنی این مبدل‌ها از طریق انتقال فناوری نموده است و لذا در این زمینه فعالیت خاصی در سند پیش‌بینی نمی‌شود. البته لازم اقدامات مدنظر قرار گرفته در این سند حمایت‌ها و پشتیبانی مورد نیاز را در این زمینه فراهم خواهد نمود.

طراحی و ساخت مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل برای توربین بادی در این سند مشتمل بر سه فاز است. در فاز اول مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین بادی با ظرفیت چند صد کیلووات طراحی و ساخته خواهد شد. در ادامه یک نمونه مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین بادی ۲ مگاواتی ساخته خواهد شد و فعالیت فاز سوم طراحی و ساخت پنج نمونه مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین بادی مگاواتی را مدنظر دارد.

## ۱۲-۲-۱ ساخت مبدل مقیاس کامل توربین بادی چند صد کیلوواتی

### ۱۲-۲-۱-۱- عنوان پروژه

طراحی و ساخت مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین بادی مبتنی بر ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم ۲۵۰ کیلوواتی

### ۱۲-۲-۱-۲- تعریف مسئله و هدف از اجرای پژوهش

با توجه به تحقیقات انجام شده در روند توسعه مبدل‌های الکترونیک قدرت توربین باد و با توجه به اهمیت افزایش راندمان توربین‌های باد و قابلیت کنترل کامل و استحصال ماکزیمم توان باد و همچنین پیشرفت و توسعه کلیدهای نیمه‌هادی؛ مبدل‌های مقیاس کامل توربین باد مورد توجه فراوانی قرار گرفته و سهم عمده‌ای از بازار را به خود اختصاص خواهند داد. مسئله کاهش قیمت دلار بر کیلووات توربین‌های باد موجب افزایش توان توربین‌های بادی تا رنج بالاتر از ۱۰ مگاوات شده است. بنابراین انتظار می‌رود در سال‌های نه‌چندان دور سهم توربین‌های بادی القایی قفس سنجابی و دو سو تغذیه کاهش یافته و توربین‌های مغناطیس دائم سنکرون دارای مبدل مقیاس کامل جایگزین آن‌ها شوند.

تکنولوژی مبدل‌های توربین بادی مقیاس کامل یکی از فناوری‌های نوظهوری است که تقریباً از سال ۲۰۰۵ مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین از نظر تحقیق و توسعه این بخش اهمیت فراوانی دارد. همچنین انتقال دانش و بومی‌سازی این تکنولوژی نوظهور می‌تواند زمینه‌ساز پیشرفت علمی و اقتصادی در صنعت برق کشور شده و زمینه بهره‌برداری بهینه از پتانسیل باد کشور و کاهش اتکا به منابع فسیلی را فراهم کند.

در این پروژه مبدل الکترونیک قدرت یک توربین باد با ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم طراحی و ساخته خواهد شد. سایر اجزاء توربین در این پروژه به شکل مناسب تهیه و خریداری خواهد شد.

### ۱۲-۲-۱-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین باد

- پیاده‌سازی عملی یک نمونه مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین باد
- امکان استحصال انرژی باد در محدوده سرعتی گسترده‌تر و افزایش صرفه اقتصادی این توربین‌ها نسبت به توربین‌های القایی موجود
- امکان توسعه توربین‌های بادی مقیاس کوچک برای کاربرد در ریزشبکه‌ها
- افزایش راندمان و کاهش هزینه تعمیر و نگهداری به دلیل امکان حذف بخش‌های مکانیکی از جمله گیربکس
- تسهیل توسعه استفاده از انرژی باد در کشور و کمک به سایر فعالیت‌های در حال انجام در این حوزه
- جلوگیری از خروج ارز و فراهم نمودن امکان ساخت داخل مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین باد
- قرار گرفتن در جمع معدود کشورهای دارای این تکنولوژی
- کاهش اتکا به سوخت‌های فسیلی و کاهش آلاینده‌ها
- فراهم سازی دانش فنی و تجربه کاری جهت ساخت توربین‌های بزرگ مگاواتی
- اشتغال زایی

#### ۱۲-۲-۱-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- در خصوص ساخت این مبدل‌ها در کشور اقدام خاصی صورت نگرفته است.
- مجریان پیشنهادی: گروه مپنا، پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، صبا نیرو، شرکت‌های دانش‌بنیان

#### ۱۲-۲-۱-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده‌کنندگان

- ولتاژ نامی: ۴۰۰ ولت ac
- توان مبدل: ۲۵۰ کیلووات
- فرکانس نامی: ۵۰ هرتز
- بازده مبدل: بیش از ۹۵ درصد
- نوع ژنراتور: سنکرون مغناطیس دائم
- مشخصات محیطی: دمای ۲۰- درجه تا ۵۰+ درجه

- استانداردها: EN 61800-3 و ...
- تعداد: یک نمونه
- استفاده کننده محصول: وزارت نیرو

#### ۱۲-۲-۱-۶- نوع پروژه

- ساخت نمونه نیمه صنعتی

#### ۱۲-۲-۱-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه

- هزینه: بیست و پنج میلیارد ریال
- زمان: ۲۴ ماه

### ۱۲-۲-۲- طراحی و ساخت مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین باد دو مگاواتی

#### ۱۲-۲-۲-۱- عنوان پروژه

طراحی و ساخت مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین بادی مبتنی بر ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم ۲ مگاواتی

#### ۱۲-۲-۲-۲- تعریف مسئله و هدف از اجرای پژوهش

با توجه به تحقیقات انجام شده در روند توسعه مبدل های الکترونیک قدرت توربین باد و با توجه به اهمیت افزایش راندمان توربین های باد و قابلیت کنترل کامل و استحصال ماکزیمم توان باد و همچنین پیشرفت و توسعه کلیدهای نیمه هادی؛ مبدل های مقیاس کامل توربین باد مورد توجه فراوانی قرار گرفته و سهم عمده ای از بازار را به خود اختصاص خواهند داد. مسئله کاهش قیمت دلار بر کیلووات توربین های باد موجب افزایش توان توربین های بادی تا رنج بالاتر از ۱۰ مگاوات شده است. بنابراین انتظار می رود در سال های نه چندان دور سهم توربین های بادی القایی

قفس سنجابی و دو سو تغذیه کاهش یافته و توربین‌های مغناطیس دائم سنکرون دارای مبدل مقیاس کامل جایگزین آن‌ها شوند.

تکنولوژی مبدل‌های توربین بادی مقیاس کامل یکی از فناوری‌های نوظهوری است که تقریباً از سال ۲۰۰۵ مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین از نظر تحقیق و توسعه این بخش اهمیت فراوانی دارد. همچنین انتقال دانش و بومی‌سازی این تکنولوژی نوظهور می‌تواند زمینه‌ساز پیشرفت علمی و اقتصادی در صنعت برق کشور شده و زمینه بهره‌برداری بهینه از پتانسیل باد کشور و کاهش اتکا به منابع فسیلی را فراهم کند.

در این پروژه مبدل الکترونیک قدرت یک توربین باد با ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم طراحی و ساخته خواهد شد. سایر اجزاء توربین در این پروژه به شکل مناسب تهیه و خریداری خواهد شد.

### ۱۲-۲-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین باد
- پیاده‌سازی عملی یک نمونه مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین باد مگاواتی
- امکان استحصال انرژی باد در محدوده سرعتی گسترده‌تر و افزایش صرفه اقتصادی این توربین‌ها نسبت به توربین‌های القایی موجود
- افزایش راندمان و کاهش هزینه تعمیر و نگهداری به دلیل امکان حذف بخش‌های مکانیکی از جمله گیربکس
- تسهیل توسعه استفاده از انرژی باد در کشور و کمک به سایر فعالیت‌های در حال انجام در این حوزه در جهت دستیابی به هدف ۱۰ هزار مگاوات برق تجدیدپذیر
- جلوگیری از خروج ارز و فراهم نمودن امکان ساخت داخل مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین باد
- قرار گرفتن در جمع معدود کشورهای دارای این تکنولوژی
- کاهش اتکا به سوخت‌های فسیلی و کاهش آلاینده‌ها

### ۱۲-۲-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- در خصوص ساخت این مبدل‌ها در کشور اقدام خاصی صورت نگرفته است.

- مجریان پیشنهادی: گروه مینا، پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، صبا نیرو

### ۱۲-۲-۲-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده کنندگان

- توان مبدل: دو مگاوات
- فرکانس نامی: ۵۰ هرتز
- بازده مبدل: بیش از ۹۵ درصد
- نوع ژنراتور: سنکرون مغناطیس دائم
- مشخصات محیطی: دمای ۴۰- درجه تا ۵۰+ درجه
- استانداردها: EN 61800-3 و ...
- تعداد: یک نمونه
- استفاده کننده محصول: وزارت نیرو

### ۱۲-۲-۲-۶- نوع پروژه

- ساخت نمونه نیمه صنعتی

### ۱۲-۲-۲-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه

- هزینه: سیصد میلیارد ریال
- زمان: ۳۶ ماه

### ۱۲-۳- طراحی و ساخت اینورتر فتوولتائیک متصل به شبکه

بر اساس آمار منتشر شده میزان توان نصب شده فتوولتائیک تا انتهای سال ۲۰۱۳ به ۱۳۹ گیگاوات رسیده است. سه کشور چین، ژاپن و امریکا سه کشور برتر در نصب فتوولتائیک در سال ۲۰۱۳ شناخته شدند در صورتی که در دهه های اخیر اروپا در

بالاترین رده قرار داشت. در میان کشورهای اروپایی هم‌اکنون کشور آلمان پیشروی فتوولتائیک بوده است. بیشترین ظرفیت فتوولتائیک کشور چین در نواحی آفتابی غرب این کشور و به صورت پروژه‌های بسیار بزرگ مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. در «سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق» ساخت مبدل‌های فتوولتائیک از جمله اولویت‌های توسعه فناوری است. برای این منظور فعالیت‌ها در دودسته طراحی و ساخت مبدل فتوولتائیک مقیاس کوچک و نیروگاهی دنبال خواهد شد.

## ۱۲-۳-۱ طراحی و ساخت اینورتر فتوولتائیک متصل به شبکه کوچک

### ۱۲-۳-۱-۱-۱ عنوان پروژه

- طراحی و ساخت اینورتر فتوولتائیک متصل به شبکه با توان پنج کیلووات

### ۱۲-۳-۱-۲-۲ تعریف مسئله و هدف از اجرای پژوهش

در سند توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، تولید برق از باد و خورشید در اولویت‌های کشور قرار گرفته است. رشد چشمگیر تولید برق از طریق فتوولتائیک در سال‌های اخیر نشانگر آگاهی کشورها از مسائل زیست‌محیطی، کاهش وابستگی به منابع فسیلی، پیشرفت فناوری فتوولتائیک و همچنین نفوذ فتوولتائیک در بازار جهانی است. یکی از مهم‌ترین اجزای سیستم فتوولتائیک اینورتر است که نقش مهیا ساختن شرایط مطلوب اتصال فتوولتائیک به شبکه برق را ایفا می‌کند. راندمان کل سیستم فتوولتائیک به عملکرد اینورتر آن وابسته است. ساخت مبدل الکترونیک قدرت برای سیستم فتوولتائیک و انتقال دانش فنی آن می‌تواند زمینه‌ساز گسترش نفوذ کشور در بازار جهانی باشد زیرا بازار فتوولتائیک به اشباع نرسیده است و می‌توان در این بازار رقابت کرد.

کشور ایران دارای پتانسیل تابشی مناسبی برای استفاده از فتوولتائیک است و از نظر فرهنگی نیز فتوولتائیک برای جامعه شناخته شده است. بنابراین با انتقال دانش فنی و ساخت مدار قدرت و کنترل مبدل می‌توان عرصه را برای تولید ملی آن هموار نمود. این پروژه تحقیقاتی بر ساخت نمونه‌ی صنعتی سیستم فتوولتائیک ۵ کیلوواتی تمرکز خواهد داشت.

### ۱۲-۳-۱-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- دستیابی به دانش فنی ساخت صنعتی مبدل الکترونیک قدرت فتوولتائیک با مشخصات عملکردی مطابق با استانداردهای جهانی و کسب دانش فنی
- استفاده از فضای سقف منازل و عدم نیاز به خرید زمین
- منافع اقتصادی حاصل از خدمات پس از فروش تجهیزات
- امکان رقابت در بازارهای خارجی به دلیل نوظهور بودن مبدل‌های فتوولتائیک
- هزینه کم نگهداری و تعمیرات
- تسهیل توسعه استفاده از انرژی خورشید در کشور
- جلوگیری از خروج ارز و فراهم نمودن امکان ساخت داخل مبدل الکترونیک قدرت
- کسب دانش فنی و تجربه صنعتی جهت ساخت نمونه های توان بالا
- کاهش اتکا به سوخت‌های فسیلی و کاهش آلاینده‌ها

### ۱۲-۳-۱-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- در زمینه فتوولتائیک تاکنون در سازمان انرژی‌های نو ایران فعالیت‌های گسترده‌ای صورت گرفته است. تهیه اطلس تابش خورشید، ساخت نمونه‌های پایلوت از سیستم فتوولتائیک و همچنین امکان‌سنجی سیستم‌های هیبرید خورشیدی از جمله این اقدامات هستند. سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران نیز به ساخت سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه پرداخته است.
- مجریان پیشنهادی: پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکت‌های نیان الکترونیک، فاران، فاراتل، شرکت‌های دانش‌بنیان و سایر مراکز پژوهشی دانشگاهی

### ۱۲-۳-۱-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده‌کنندگان

- توان مبدل: پنج کیلووات
- ولتاژ نامی: ۲۳۰ ولت



- فرکانس نامی: ۵۰ هرتز
- بازده مبدل: در بازه ۳۰ درصد با رنومی تا بار نامی تقریباً ثابت و بیش از ۹۵ درصد
- نوع پنل: دلخواه
- مشخصات محیطی: دمای ۲۰- درجه تا ۶۰+ درجه
- تعداد: ۵ عدد
- استفاده کننده محصول: بخش خصوصی خانگی و کشاورزی

### ۱۲-۳-۱-۶- نوع پروژه

- ساخت صنعتی

### ۱۲-۳-۱-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه

- هزینه: دو و نیم میلیارد ریال
- زمان: ۱۸ ماه

### ۱۲-۳-۲- طراحی و ساخت نمونه اینورتر فتوولتائیک نیروگاهی

#### ۱۲-۳-۲-۱- عنوان پروژه

- طراحی و ساخت اینورتر فتوولتائیک نیروگاهی یک مگاواتی نیمه صنعتی

#### ۱۲-۳-۲-۲- تعریف مسئله و هدف از اجرای پژوهش

در سند توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، تولید برق از باد و خورشید در اولویت‌های کشور قرار گرفته است. مسئله قیمت تمام شده برای تولید برق خورشیدی یکی از مهم‌ترین مسائل در گسترش این تکنولوژی است. با افزایش ظرفیت سیستم فتوولتائیک هزینه‌های اولیه دلار بر کیلووات این سیستم‌ها نیز کاهش می‌یابد. در کشورهایی که زمین خالی برای بهره‌برداری از فتوولتائیک ندارند معمولاً از پشت‌بام خانه‌ها استفاده می‌کنند؛ اما در کشورهای پهناور تولید برق

فتوولتائیک به روش متمرکز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از آن رو که ایران دارای نواحی وسیع با پتانسیل تابشی مناسبی است لذا بهره‌برداری به روش متمرکز می‌تواند انتخاب مناسبی باشد. این پروژه به طراحی و ساخت یک نیروگاه فتوولتائیک با ظرفیت یک مگاوات تمرکز خواهد داشت.

### ۱۲-۳-۲-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- دستیابی به دانش فنی ساخت مبدل الکترونیک قدرت فتوولتائیک با مشخصات عملکردی مطابق با استانداردهای جهانی و کسب دانش فنی
- هزینه کم نگهداری و تعمیرات نسبت به نیروگاه‌های فسیلی
- تسهیل توسعه استفاده از انرژی خورشید در کشور و کمک به سایر فعالیت‌های در حال انجام در جهت دستیابی به هدف ۱۰ هزار مگاوات برق تجدیدپذیر
- جلوگیری از خروج ارز و فراهم نمودن امکان ساخت داخل مبدل الکترونیک قدرت
- کاهش اتکا به سوخت‌های فسیلی و کاهش آلاینده‌ها

### ۱۲-۳-۲-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- درزمینه فتوولتائیک نیروگاهی پژوهشگاه نیرو اقدامات و فعالیت‌های قابل توجهی را در سایت اراک صورت داده است که البته در خصوص ساخت مبدل‌های مورد نیاز تاکنون اقدامی صورت نگرفته است.
- مجریان پیشنهادی: گروه مپنا، پژوهشگاه نیرو

### ۱۲-۳-۲-۵- مشخصات فنی محصول نهایی

- توان مبدل (ها): یک مگاوات
- ساختار مبدل (ها): سه فاز ماژولار
- فرکانس نامی: ۵۰ هرتز
- بازده مبدل (ها): بیش از ۹۰ درصد
- نوع پنل: دلخواه

- رعایت الزامات اتصال به شبکه
- مشخصات محیطی: دمای  $-30$  درجه تا  $+60$  درجه
- تعداد: یک نمونه
- استفاده کننده محصول: وزارت نیرو

## ۱۲-۳-۲-۶- نوع پروژه

ساخت نمونه نیمه صنعتی

## ۱۲-۳-۲-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه

- هزینه: یکصد و بیست میلیارد ریال
- زمان: ۳۰ ماه

## ۱۲-۴- طراحی و ساخت SVC

پیشرفت در صنعت نیمه‌های قدرت و فناوری‌های کنترل منجر به ساخت تجهیزات SVC شده‌اند. این جبران‌سازها برای اولین بار در سال ۱۹۷۰ برای جبران‌سازی کوره‌های قوس ساخته شدند و چندین سال بعد برای جبران‌سازی خطوط انتقال به کار رفتند. ویژگی‌هایی نظیر سرعت پاسخ و انعطاف‌پذیری بالای بهره‌برداری از ویژگی‌های تجهیز است. تجهیز SVC از جمله تجهیزات جبران‌گر توان راکتیو است که می‌تواند برای بهبود ضریب قدرت، رگولاسیون ولتاژ، بهبود حالت گذرا، بهره‌برداری حداکثری از سیستم قدرت موجود و بهبود کیفیت توان (فلیکر) استفاده شود.

در «سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق» تجهیز SVC از جمله اولویت‌های توسعه فناوری است. برای این منظور فعالیت‌ها در دو مجموعه طراحی و ساخت SVC برای کاربرد در شبکه توزیع و طراحی و ساخت SVC برای کاربرد در شبکه انتقال و صنایع بزرگ پیگیری خواهد شد.

## ۱۲-۴-۱ طراحی و ساخت یک نمونه SVC قابل جابجایی

### ۱۲-۴-۱-۱- عنوان پروژه

- طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی SVC قابل جابجایی با ظرفیت 12 MVAR

### ۱۲-۴-۱-۲- تعریف مسئله و هدف از اجرای پژوهش

پروژه تحقیقاتی حاضر بر ساخت نمونه اولیه تجهیز SVC تمرکز خواهد داشت. مزایای اقتصادی ساخت تجهیز SVC با توجه به اهداف عملکردی مورد انتظار از جمله بهبود ضریب قدرت، رگولاسیون ولتاژ، بهبود حالت گذرا، بهره‌برداری حداکثری از سیستم قدرت موجود و بهبود کیفیت توان روشن خواهد شد. با کنترل مناسب توان راکتیو شبکه می‌توان از بروز شرایط اضافه بار خطوط و ترانسفورماتورها جلوگیری کرد و طول عمر آنها افزایش می‌یابد که بالطبع از زیان ناشی از کاهش عمر این تجهیزات جلوگیری خواهد شد. استفاده از SVC جهت فراهم نمودن توان راکتیو مورد نیاز ژنراتورهای القایی و همچنین کاهش فلیکر و یا کاهش ولتاژ ناشی از آن می‌تواند به توسعه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر کمک کند. برای مثال حضور SVC می‌تواند عملکرد ضمن خطای توربین‌های بادی را بهبود دهد و اثر فلیکر ناشی از سایه برج و افت ولتاژ ناشی از راه‌اندازی را جبران کند.

از طرف دیگر صنایع بزرگ به دلیل حضور بارهای موتوری و سلفی توان راکتیو بسیاری از شبکه جذب می‌کنند و به همین دلیل به شرکت برق جریمه می‌پردازند. از طرف دیگر این شرکت‌ها به دلیل سیاست‌های شرکت برق (که ناظر بر الزام حفظ کیفیت توان - با تمرکز بر فلیکر - در نقطه اتصال صنایع به شبکه هستند) با مشکل عدم امکان افزایش تولید مواجه هستند که ضررهای اقتصادی برای آنان در پی دارد. این موضوع به علت تزریق اغتشاشات توسط کارخانه‌ها به دلیل حضور بارهای سوئیچ شونده و موتوری است. تجهیز SVC می‌تواند ضمن برطرف کردن مشکلات فوق، باعث عدم انتشار اغتشاش از صنایع به شبکه گردد.

گسترش حمل و نقل برقی (مترو) منجر به افت ولتاژ و عدم تعادل در شبکه قدرت می‌گردد. استفاده از SVC کم‌حجم در متروها می‌تواند این موضوع را برطرف کند.

در این پروژه یک SVC با ظرفیت ۱۲ مگاوار ساخته خواهد شد. طراحی بخش الکترونیک قدرت این SVC به صورت ماژولار خواهد بود که به راحتی قابل توسعه باشد. طراحی مجموعه به صورتی خواهد بود که بتوان آن را داخل یک کانتینر جاسازی نموده و قابلیت جابجایی و نصب در زمان اندک را داشته باشد.

### ۱۲-۴-۱-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت SVC با مشخصات عملکردی مطابق با استانداردهای جهانی
- دستیابی به دانش فنی طراحی تجهیزات الکترونیک قدرت ماژولار و قابل حمل
- استفاده از دانش کسب شده و توسعه آن برای ساخت SVC در مقیاس شبکه انتقال
- تسهیل توسعه استفاده از منابع تجدیدپذیر در کشور
- جلوگیری از خروج ارز و فراهم نمودن امکان ساخت داخل SVC
- فراهم نمودن توان راکتیو موردنیاز ژنراتورهای القایی و همچنین کاهش فلیکر و یا کاهش اغتشاشات ولتاژ ناشی از آن
- کمک به صنایع متوسط برای بهبود کیفیت توان و رعایت الزامات شبکه برق و کاهش هزینه‌های مرتبط
- کمک به گسترش حمل و نقل برقی (مترو) از طریق رفع افت ولتاژ، عدم تعادل و ... ناشی از عملکرد آن‌ها در شبکه برق

### ۱۲-۴-۱-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- تجهیز SVC با ظرفیت نیمه صنعتی (در حد MVA) در پژوهشگاه نیرو در حال ساخت است. این SVC شامل یک TCR با ظرفیت  $14/-3.5$  MVAR است که دو شاخه بانک خازنی (فیلتری) نیز دارد. شرکت فنی مهندسی نور مشهد نیز پروژه طراحی و ساخت SVC ۳۰ مگاواوری را در دست داشته است هرچند که به مرحله ساخت نرسیده است.
- جهاد دانشگاهی واحد علم و صنعت توانمندی طراحی و ساخت یک سوسازهای صنعتی (تا ظرفیت 350 KVA) را در اختیار دارد. همچنین این واحد توانمندی کنترل و مانیتورینگ مبدل‌های صنعتی را نیز در اختیار دارد.

همچنین این واحد طراحی و ساخت یک سوسازهای صنعتی برای سیستم ترکشن مترو با ظرفیت 4 MVA با ساختار یکسوکننده ۶ فاز تمام موج و هواخنک را در دستور کار خود دارد. در نهایت، این واحد دانش فنی خنک کاری مبدل‌های الکترونیک قدرت با آب را نیز در دستور کار خود دارد. اگرچه تجهیزات فوق SVC نیستند اما از تکنولوژی مشابهی استفاده می‌کنند که فرایند دستیابی به ساخت تجهیز SVC را هموار می‌کند.

- در حوزه دانشگاهی نیز دانشگاه‌های برتر کشور در زمینه طراحی و ساخت نمونه آزمایشگاهی SVC فعالیت داشته‌اند. برای نمونه دکتر رضا قاضی (و همکاران) از دانشگاه فردوسی مشهد، دکتر حیدر علی شایان فر (و همکاران) از دانشگاه علم و صنعت، دکتر ذوالقدری (و همکاران) از دانشگاه صنعتی شریف، دکتر جواد مهدوی (و همکاران) از دانشگاه صنعتی شریف، دکتر حسینی (و همکاران) از دانشگاه تبریز اقدام به طراحی و ساخت نمونه آزمایشگاهی SVC کرده‌اند. نتایج تحقیق این پژوهشگران در مجله‌های تحقیقاتی منتشر شده است.
- مجریان پیشنهادی: پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکت‌های دانش‌بنیان

#### ۱۲-۴-۱-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده‌کنندگان

- ولتاژ ۲۰ کیلوولت
- ظرفیت: ۱۲ مگاوار
- فرکانس نامی: ۵۰ هرتز
- ساختار SVC: TSC+TCR+FC
- ساختار ولو: سه فاز ماژولار
- تجهیزات کنترل و ولو قابل حمل
- قابلیت تنظیم ولتاژ، حذف فلیکر و اصلاح ضریب قدرت
- رعایت کلیه استانداردهای عملکردی از جمله EMC
- تعداد: یک نمونه
- استفاده‌کننده محصول: وزارت نیرو، بخش خصوص

## ۱۲-۴-۱-۶- نوع پروژه

ساخت نمونه نیمه صنعتی

## ۱۲-۴-۱-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه:

- هزینه: سی میلیارد ریال
- زمان: ۲۵ ماه

## ۱۲-۴-۲- طراحی و ساخت یک نمونه SVC با ظرفیت بالا

### ۱۲-۴-۲-۱- عنوان پروژه

- طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی SVC با ظرفیت 70-130 MVAR

### ۱۲-۴-۲-۲- تعریف مسئله و هدف از اجرای پژوهش

پروژه تحقیقاتی حاضر بر ساخت تجهیز SVC با ظرفیت چند ده مگاوار تمرکز خواهد داشت. مزایای اقتصادی ساخت تجهیز SVC با توجه به اهداف عملکردی مورد انتظار از جمله بهبود ضریب قدرت، رگولاسیون ولتاژ، بهبود حالت گذرا، بهره‌برداری حداکثری از سیستم قدرت موجود و بهبود کیفیت توان روشن خواهد شد. با کنترل مناسب توان راکتیو شبکه می‌توان از بروز شرایط اضافه بار خطوط و ترانسفورماتورها جلوگیری کرد و طول عمر آنها افزایش می‌یابد که بالطبع از زیان ناشی از کاهش عمر این تجهیزات جلوگیری خواهد شد.

صنایع بزرگ به دلیل حضور بارهای موتوری و سلفی توان راکتیو بسیاری از شبکه جذب می‌کنند و به همین دلیل به شرکت برق جریمه می‌پردازند. این شرکت‌ها به دلیل سیاست‌های شرکت برق (که ناظر بر الزام حفظ کیفیت توان - با تمرکز بر فلیکر - در نقطه اتصال صنایع به شبکه هستند) با مشکل عدم امکان افزایش تولید مواجه هستند که ضررهای اقتصادی برای آنان در پی دارد. این موضوع به علت تزریق اغتشاشات توسط کارخانه‌ها به دلیل حضور بارهای سوئیچ شونده و موتوری است. تجهیز SVC می‌تواند ضمن برطرف کردن مشکلات فوق، باعث عدم انتشار اغتشاش از صنایع به شبکه گردد.

در این پروژه یک SVC با ظرفیت ۷۰ تا ۱۳۰ مگاوار ساخته خواهد شد. طراحی بخش الکترونیک قدرت این SVC به صورت ماژولار خواهد بود.

#### ۱۲-۴-۲-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت SVC با مشخصات عملکردی مطابق با استانداردهای جهانی
- جلوگیری از خروج ارز و فراهم نمودن امکان ساخت داخل SVC
- کمک به صنایع متوسط برای بهبود کیفیت توان و رعایت الزامات شبکه برق و کاهش هزینه‌های مرتبط
- کاربرد در پست‌های انتقال یا فوق توزیع جهت رفع مشکلات پایداری و جبران توان راکتیو

#### ۱۲-۴-۲-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- تجهیز SVC با ظرفیت نیمه‌صنعتی (در حد MVA) در پژوهشگاه نیرو در حال ساخت است. این SVC شامل یک TCR با ظرفیت (نهایی)  $+14/-3.5$  MVAR است که دو شاخه بانک خازنی (فیلتری) نیز حضور دارند. از سویی دیگر بنا بر مطالعات صورت گرفته، شرکت فنی مهندسی نور مشهد پروژه طراحی و ساخت SVC ۳۰ مگاواری را در دست داشته است هرچند که به مرحله ساخت نرسیده است.
- مجریان پیشنهادی: پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی

#### ۱۲-۴-۲-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده‌کنندگان

- ولتاژ ۲۰ کیلوولت
- ظرفیت: ۷۰ تا ۱۲۰ مگاوار
- فرکانس نامی: ۵۰ هرتز
- ساختار SVC: مطابق نیاز
- ساختار ولو: سه فاز ماژولار
- قابلیت تنظیم ولتاژ، حذف فلیکر
- رعایت کلیه استانداردهای عملکردی از جمله EMC



- تعداد: یک نمونه
- استفاده کننده محصول: وزارت نیرو، بخش خصوص

## ۱۲-۴-۲-۶- نوع پروژه

ساخت نمونه نیمه صنعتی

## ۱۲-۴-۲-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه:

- هزینه: در زمان عقد قرارداد محاسبه خواهد شد.
- زمان: در زمان عقد قرارداد تعیین خواهد شد.

## ۱۲-۵- طراحی و ساخت Statcom

پیشرفت در صنعت نیمه های قدرت و فناوری های کنترل منجر به معرفی تجهیزات FACTS گردید. این تجهیزات در اواخر دهه ۹۰ میلادی به صورت کاربردی مورد استفاده قرار گرفتند. ویژگی هایی نظیر سرعت پاسخ و انعطاف پذیری بالای بهره برداری از ویژگی های ادوات FACTS است. تجهیز Statcom از جمله ادوات موازی FACTS است که می تواند برای بهبود ضریب قدرت، رگولاسیون ولتاژ، بهبود پایداری، بهره برداری حداکثری از سیستم قدرت موجود و بهبود کیفیت توان استفاده شود.

در «سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق» تجهیز Statcom از جمله اولویت های توسعه فناوری است. برای این منظور فعالیت ها در دو مجموعه طراحی و ساخت Statcom برای کاربرد در شبکه توزیع و طراحی و ساخت Statcom برای کاربرد در شبکه انتقال و صنایع بزرگ پیگیری خواهد شد.

## ۱۲-۵-۱- طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی D-Statcom

## ۱۲-۵-۱-۱- عنوان پروژه:

- طراحی و ساخت نمونه نیمه‌صنعتی D-Statcom با ظرفیت  $\pm 2$  MVAR

## ۱۲-۵-۱-۲- تعریف مسئله و هدف از اجرای پژوهش

نقش ادوات الکترونیک قدرت را می‌توان از دیدگاه تأثیر مثبت آنان در ارتقای کیفیت توان بررسی کرد. مهم‌ترین منشأ اختلال کیفیت توان در صنایع عملکرد موتورها و مبدل‌های استاتیکی است. درحالی‌که مهم‌ترین منشأ اغتشاش در مصرف‌کنندگان از وسایل الکترونیکی ناشی می‌شود. به‌صورت کلی تجهیز D-Statcom توانمندی منحصر به فردی در برطرف کردن تمامی مشکلات کیفیت توان دارد. کیفیت توان پایین سیستم توزیع می‌تواند باعث افزایش تلفات اهمی به دلیل حضور جریان‌های هارمونیکی در خطوط توزیع و تجهیزاتی نظیر ترانسفورماتورها شوند که اثرات مخربی بر تلفات، دما و طول عمر آنها دارند. همچنین ولتاژهای هارمونیکی باعث ایجاد تلفات عایقی بیشتر در تجهیزات موازی و ایجاد جریان‌های هارمونیکی در این تجهیزات خواهد شد. این جریان اضافی باعث اشغال ظرفیت خطوط توزیع و سایر تجهیزات می‌گردد که در نتیجه امکان عبور توان از این خطوط و استفاده مؤثر از حداکثر ظرفیت آنها کاهش می‌یابد. از سوی دیگر عبور جریان‌های هارمونیکی از خطوط توزیع و تجهیزات شبکه باعث ایجاد اضافه حرارت می‌شود که در دراز مدت باعث کاهش عمر خطوط و تجهیزات شده و حتی ممکن است باعث خرابی آنها شود.

## ۱۲-۵-۱-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

این پروژه تحقیقاتی بر ساخت نمونه کارکردی تجهیز D-Statcom تمرکز خواهد داشت. در انتهای طرح تحقیقاتی انتظار می‌رود که بتوان یک D-Statcom با ظرفیت ۲ مگاوات آمپر طراحی کرده و ساخت. ایران کشوری دارای پتانسیل‌های بالا در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر است. به‌جرت می‌توان گفت که گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر بدون استفاده از بهسازهای کیفیت توان غیرممکن است. نصب تجهیزات D-Statcom در شبکه‌های با میزان بالایی

از تولیدات خورشیدی و بادی منجر به کاهش تلفات فیدر و افزایش ظرفیت قابل نصب مولدهای خورشیدی و باد خواهد شد.

کیفیت توان پایین در صنایع نیز ضررهای اقتصادی فراوانی تحمیل می‌کند. عموماً صنایع به دلیل حضور بارهای موتوری و سلفی توان راکتیو بسیاری از شبکه جذب می‌کنند. به همین دلیل می‌بایستی به شرکت توزیع جریمه پردازند. از طرف دیگر این شرکت‌ها به دلیل سیاست‌های شرکت توزیع (که ناظر بر الزام حفظ کیفیت توان در نقطه اتصال صنایع به شبکه هستند) با مشکل عدم امکان افزایش تولید مواجه هستند که ضررهای اقتصادی برای آنان در پی دارد. این موضوع به علت تزریق اغتشاشات توسط کارخانه‌ها به دلیل حضور بارهای غیرخطی، سوئیچ شونده و موتوری است. تجهیز D-Statcom می‌تواند ضمن برطرف کردن مشکلات فوق، باعث عدم انتشار اغتشاش از صنایع به شبکه گردد. در مواردی نیز ممکن است منشأ مشکلات کیفیت توان، شبکه برق باشد، که در این صورت نیز تجهیزات D-Statcom مؤثر هستند.

#### ۱۲-۵-۱-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- D-Statcom با ظرفیت نیمه‌صنعتی (در حد MVA) در کشور ساخته نشده است؛ اما نمونه‌های با ظرفیت بسیار پایین‌تر در کشور ساخته شده است. نمونه‌های ساخته‌شده به مراحل تجاری‌سازی نرسیده‌اند. برخی از نمونه‌ها به‌قرار زیر هستند:
- جهاد دانشگاهی واحد دانشگاه صنعتی خواجه نصیر توانمندی طراحی و ساخت Statcom تا ظرفیت 250 KVA را در اختیار دارد. از سویی دیگر جهاد دانشگاهی واحد علم و صنعت در حال فعالیت بر ساخت نمونه پایلوت VSC-HVDC (با ظرفیت 100KVA و ولتاژ 7KV DC) و نمونه پایلوت اینورترهای چند سطحی ولتاژ متوسط و UPS استاندارد است. اگرچه تجهیزات فوق از جنس D-Statcom نیستند اما از تکنولوژی مشابهی استفاده می‌کنند که فرایند دستیابی به ساخت تجهیز D-Statcom را هموار می‌کند.
- در حوزه دانشگاهی نیز دانشگاه‌های کشور در زمینه طراحی و ساخت نمونه آزمایشگاهی Statcom فعالیت داشته‌اند. برای نمونه دکتر طرفدار حق (و همکاران) در دانشگاه تبریز، دکتر علی عجمی (و همکاران) از دانشگاه تربیت‌معلم تبریز، دکتر احمد سالم نیا (و همکاران) از دانشگاه صنعت آب و برق عباسپور، دکتر سید حمید فتحی

(و همکاران) از دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دکتر توکلی بینا (و همکاران) از دانشگاه صنعتی خواجه نصیر و دکتر حسین ایمان عینی (و همکاران) از دانشگاه تهران اقدام به طراحی و ساخت نمونه آزمایشگاهی D-Statcom کرده‌اند. نتایج تحقیق این پژوهشگران در مجله‌های تحقیقاتی منتشر شده است.

- مجریان پیشنهادی: پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکت‌های دانش‌بنیان

### ۱۲-۵-۱-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده‌کنندگان

- ولتاژ ۴۰۰ ولت
- ظرفیت: ۲ مگاوار
- فرکانس نامی: ۵۰ هرتز
- ساختار: مبدل‌های چند سطحی مازولار H-Bridge
- تجهیزات کنترل و مبدل قابل حمل
- قابلیت تنظیم ولتاژ، حذف فلیکر و اصلاح ضریب قدرت
- رعایت کلیه استانداردهای عملکردی از جمله EMC
- محصول نهایی قابل حمل و در محفظه با طول، عرض و ارتفاع ۲,۹، ۲,۴، ۱۲,۲ متر
- وزن مجموعه نهایی کمتر از ۲۰ تن
- تعداد: یک عدد
- استفاده‌کننده محصول: وزارت نیرو، صنایع بخش خصوص

### ۱۲-۵-۱-۶- نوع پروژه

ساخت نمونه نیمه‌صنعتی

### ۱۲-۵-۱-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه:

- هزینه: سی میلیارد ریال
- زمان: ۲۴ ماه

## ۱۲-۶- طراحی و ساخت STS

در برخی بارهای حساس تغذیه آن‌ها از طریق دو فیدر مجزا صورت می‌گیرد. یک کلید منتقل‌کننده اتوماتیک مکانیکی در صورت بروز وقفه تغذیه در یکی از فیدرها بار را از این فیدر به فیدر دیگر منتقل می‌کند. کلیدهای مکانیکی متداول ظرف مدت ۰,۳ ثانیه تا چند ثانیه می‌توانند تغذیه بار را از فیدری به فیدر دیگر جابجا نمایند. کلید STS تجهیز می‌تواند بر الکترونیک قدرت است که می‌تواند جابجایی را در چند میلی‌ثانیه انجام دهد. در این بخش پروژه ساخت تجاری این کلیدها مدنظر قرار گرفته است.

### ۱۲-۶-۱ ساخت نمونه نیمه‌صنعتی STS

#### ۱۲-۶-۱-۱ عنوان پروژه:

- طراحی و ساخت نمونه نیمه‌صنعتی STS با ولتاژ ۴۰۰ ولت و ۴۰۰ آمپر

#### ۱۲-۶-۱-۲ تعریف مسئله و هدف از اجرای پژوهش

کلید STS تجهیز می‌تواند بر الکترونیک قدرت است که برای جایگزینی سوئیچ‌های منتقل‌کننده اتوماتیک مکانیکی استفاده می‌شود. تجهیزات مکانیکی متداول ظرف مدت ۰,۳ ثانیه تا چند ثانیه می‌توانند تغذیه بار را از فیدری به فیدر دیگر جابجا نمایند؛ اما برای تجهیزات الکترونیک حساس این زمان عملکرد زیاد بوده و لذا الزام به استفاده از STS به وجود می‌آید که جابجایی را می‌تواند در چند میلی‌ثانیه انجام دهد. به‌عنوان نمونه درایوها، CNCها، PLCها و سایر سیستم‌های کنترل فرایند میکروپروسسوری که در صنایع بسیار متداول هستند به اغتشاشات کیفیت توان حساس بوده و اغلب توسط UPS حفاظت می‌شوند. در صنایع بزرگ این بارها فراوان بوده و حفاظت تک‌تک بارها توسط UPS مقرون به‌صرفه نیست. راهکار جایگزین ارائه شده استفاده از کلیدهای انتقال استاتیک (STS) است. این کلیدها در سطح ولتاژ فشار متوسط و فشار ضعیف نصب گردیده و قادرند در صورت بروز اغتشاش کیفیت توان در منبع تغذیه (فیدر) اصلی آن را بلافاصله تشخیص داده و به‌سرعت بار را به تغذیه (فیدر) کمکی منتقل کنند.

تجهیزاتی نظیر داریو ها، PLCها و سایر سیستم‌های کنترل فرایند میکروپروسسوری به شدت به اغتشاشات کیفیت توان حساس هستند. در صورتی که بتوان از STSها برای حصول اطمینان از کیفیت توان مناسب برای این تجهیزات (به عنوان جایگزین UPS) استفاده کرد، با توجه به قیمت ارزان تر این تجهیز نسبت به UPS صرفه جویی اقتصادی برای مصرف کنندگان در پی خواهد بود.

مشخصات پیشنهادی برای ساخت نمونه اولیه، مناسب یک بار صنعتی متصل به شبکه فشار ضعیف و توان ظاهری حداکثر ۲۵۰ کیلووار است. با ساخت این نمونه و با توجه به اینکه سیستم کنترل طراحی شده عمومیت دارد، در صورت نیاز می توان آن را برای هر سطح ولتاژ و جریان نامی دیگر توسعه داد.

#### ۱۲-۶-۱-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- دستیابی به دانش فنی ساخت نمونه نیمه صنعتی تجهیز STS با مشخصات عملکردی مطابق با استانداردهای جهانی
- سیستم کنترل با قابلیت تشخیص انواع خطاها (سه فاز، تک فاز و ...) عدم حساسیت نسبت به حالات گذرا مثل کلیدزنی خازنی، جریان هجومی ترانسفورماتورها و ...
- توانمندی کنترل و مانیتورینگ قابل تعمیم برای STS های بزرگ تر

#### ۱۲-۶-۱-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- تجهیز STS در نمونه های صنعتی در کشور ساخته نشده است.
- مجریان پیشنهادی: پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی و شرکت های دانش بنیان

#### ۱۲-۶-۱-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده کنندگان

- ولتاژ: ۴۰۰ ولت
- جریان: ۴۰۰ آمپر
- ساختار: سه فاز هیبرید

- تشخیص اغتشاش و عمل جابجایی تغذیه بار در زمان ۰.۵ تا ۱ سیکل
- قابلیت اطمینان بالا

## ۱۲-۶-۱-۶- نوع پروژه

ساخت نمونه نیمه صنعتی

## ۱۲-۶-۱-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه:

- هزینه: دو میلیارد ریال
- زمان: ۱۸ ماه

## ۱۲-۷- طراحی و ساخت DVR

تجهیز DVR یکی از ادوات بهساز توان است که جهت مقابله با مشکلات کیفیت توان به صورت سری در شبکه قرار می گیرند. این تجهیز به صورت سری در مدار قرار می گیرد و از بار در مقابل اغتشاشات شبکه محافظت می کند. همچنین می تواند با جبران سازی کاهش یا افزایش ولتاژ، عدم تعادل و هارمونیک های ولتاژی که در نقطه اتصال مشترک ظاهر می شوند، دامنه و فاز ولتاژ بار را در مقدار نامی آن ثابت نگه دارد.

## ۱۲-۷-۱- طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی DVR

### ۱۲-۷-۱-۱- عنوان پروژه:

- طراحی و ساخت DVR نیمه صنعتی به ظرفیت ۳۰۰ کیلوولت آمپر و ولتاژ ۴۰۰ ولت

## ۱۲-۷-۱-۲- تعریف مسئله و هدف از اجرای پژوهش

مشکلات کیفیت توان سبب افزایش استفاده از DVR در این زمینه شده است. آمریکای شمالی در سال ۲۰۱۲ برای استفاده از DVR به صورت گسترده برنامه ریزی کرده و تعداد زیادی از تولیدکنندگان DVR در این خصوص در حال فعالیت هستند. بازار DVR در آسیا و اقیانوسیه نیز به سرعت در حال رشد است.

این تجهیز به صورت سری در مدار قرار می گیرد تا از اختلالات ولتاژ در شبکه توزیع جلوگیری کند. تجهیز DVR یک بهبوددهنده سری است که از اینورتر منبع ولتاژ با کنترل مدولاسیون پهنای پالس بهره می برد. این اینورتر به صورت مستقل، قادر به تولید و جذب توان اکتیو و راکتیو است.

تجهیز DVR برای جبران سازی اختلالات ولتاژ در شبکه توزیع نیاز به توان اکتیو دارد. این توان در DVR توسط ذخیره سازهای انرژی تأمین می شود. چرخ های طیار، باتری ها، ابرخازن ها، ذخیره سازهای انرژی مغناطیسی در ابرساناها می توانند در ذخیره سازی انرژی مورد استفاده قرار بگیرند. استفاده از ذخیره سازهای انرژی در DVR بسته به سطح طراحی و کل هزینه در نظر گرفته می شود. در پروژه حاضر با توجه به ظرفیت پیشنهادی ذخیره ساز انرژی مدنظر نیست. محصول نهایی یک DVR نیمه صنعتی با قابلیت حفاظت از بار در مقابل اغتشاشات شبکه و همچنین حذف اغتشاشات جریان بار در حد استاندارد است.

## ۱۲-۷-۱-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- دستیابی به دانش فنی ساخت نمونه نیمه صنعتی تجهیز DVR با مشخصات عملکردی مطابق با استانداردهای جهانی
- سیستم کنترل با قابلیت حفاظت بار در مقابل اغتشاشات شبکه
- توانمندی کنترل و مانیتورینگ قابل تعمیر
- جلوگیری از خروج ارز و فراهم نمودن امکان ساخت داخل DVR
- کمک به صنایع متوسط برای بهبود کیفیت توان و رعایت الزامات شبکه برق و کاهش هزینه های مرتبط
- جلوگیری از تحمیل هزینه های سنگین به دلیل کیفیت توان ضعیف و توقف تولید در خطوط تولید



## ۱۲-۷-۱-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- طراحی و ساخت DVR با ظرفیت ۲۴ کیلوولت آمپر و ۱/۲ کیلوولت - ابراهیم بابایی - دانشگاه تبریز - ۱۳۹۲.
- مجریان پیشنهادی: پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکت‌های دانش بنیان

## ۱۲-۷-۱-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده کنندگان

- ولتاژ: ۴۰۰ ولت
- ظرفیت: ۳۰۰ کیلوولت آمپر
- جبران افت ولتاژ تا ۵۰٪ (بدترین شرایط) به مدت ۰/۵ ثانیه
- ساختار ماژولار و قابل تعمیر برای ظرفیت‌های بالاتر
- دارای قابلیت اطمینان مطلوب
- تعداد: یک نمونه
- استفاده کنندگان: صنایع بخش خصوصی

## ۱۲-۷-۱-۶- نوع پروژه

ساخت نمونه نیمه صنعتی

## ۱۲-۷-۱-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه:

- هزینه: پنج میلیارد ریال
- زمان: ۲۰ ماه

## ۱۲-۸- طراحی و ساخت TSC

اکثر بارهای صنعتی مانند موتورها، ترانسفورماتورهای قدرت و جرثقیل‌ها توان اکتیو و راکتیو جذب می‌کنند. توان راکتیو سبب افزایش جریان مصرفی می‌شود که به نوبه خود باعث افزایش تلفات برق می‌شود. مصرف توان راکتیو را

می‌توان با استفاده از خازن‌ها جبران کرد. استفاده از بانک‌های خازنی ثابت در مواردی که مصرف توان راکتیو ثابت و یا دارای تغییرات کمی باشد متداول است ولی زمانی که تغییرات توان راکتیو زیاد باشد استفاده از بانک خازنی ثابت خود باعث بروز مشکلاتی از جمله اضافه ولتاژ در شبکه می‌شود، برای غلبه بر این مشکل از بانک‌های خازنی متغیر استفاده می‌شود که مقدار آن‌ها با کلیدزنی تغییر می‌کند. در چنین جبران‌سازهایی، تنظیم‌کننده ضریب توان، توان راکتیو را اندازه‌گیری کرده و با قطع و وصل کردن پله‌ای بانک‌های خازنی، ضریب توان را نزدیک به یک نگه می‌دارند. این عمل را می‌توان توسط یک خازن سوئیچ شونده تریستوری (TSC) انجام داد.

در این بخش دستیابی به دانش فنی ساخت تجاری TSC مدنظر است.

## ۱۲-۸-۱ طراحی و ساخت نمونه نیمه‌صنعتی TSC

### ۱۲-۸-۱-۱- عنوان پروژه:

- طراحی و ساخت نمونه صنعتی TSC به ظرفیت ۴۰۰ کیلووار

### ۱۲-۸-۱-۲- تعریف مسئله و هدف از اجرای پژوهش

استفاده از بانک‌های خازنی ثابت در مواردی که توان راکتیو دارای تغییرات سریع و زیادی باشد قادر به نشان دادن عملکرد مناسبی نیست و می‌تواند باعث بروز مشکلاتی شود. برای مثال زمانی که مصرف توان راکتیو کاهش یابد، تزریق بیش‌ازحد توان راکتیو توسط خازن سبب بدتر شدن ضریب توان خواهد شد، همچنین در کم باری موجب بروز اضافه ولتاژ در شبکه می‌شود، برای غلبه بر این مشکل از بانک‌های خازنی متغیر استفاده می‌شود که مقدار آن‌ها با کلیدزنی تغییر می‌کند. در چنین جبران‌سازهایی، تنظیم‌کننده ضریب توان، توان راکتیو را اندازه‌گیری کرده و با قطع و وصل کردن پله‌ای بانک‌های خازنی، ضریب توان را نزدیک به یک نگه می‌دارند. این عمل را می‌توان توسط یک خازن سوئیچ شونده مکانیک یا تریستوری (TSC) انجام داد.

در صنایعی با تغییرات بار زیاد و سریع، ضریب توان را نمی‌توان با پله‌های خازن که توسط کنتاکتورهای الکترومکانیکی کنترل می‌شوند، تصحیح کرد. در این موارد، سیستم سنتی به‌اندازه کافی سریع نیست تا بتواند توان

راکتیو درخواستی از جانب بار را دنبال کند. بنابراین استفاده از بانک‌های خازنی که توسط کلیدهای استاتیک کنترل می‌شوند مورد نیاز است. جبران‌سازی سریع‌تر سیستم‌ها منجر به افزایش متوسط ضریب توان می‌شود که در کل باعث صرفه‌جویی بهتر در مصرف انرژی می‌شود.

زمان پاسخ‌دهی TSC بسیار اندک در حدود یک یا نصف سیکل است که البته این زمان به دلیل تأخیر در سیستم اندازه‌گیری یا کنترل ممکن است افزایش یابد. تجهیز TSC برخلاف خازن‌های سوئیچ شونده مکانیکی تقریباً به صورت نامحدود عملکرد کلیدزنی را انجام می‌دهد.

پاسخ سریع TSC موجب پاسخ سریع به تقاضای توان راکتیو شده و TSC را برای جبران‌سازی ضریب توان بارهایی مانند ماشین‌های لحیم‌کاری، جرثقیل‌ها، بالابرها، ابزارهای قوس‌الکتریکی و سایر ماشین‌هایی با تغییرات متناوب بار مناسب می‌سازد. به دلیل حذف حالت‌های گذرا و عدم حضور بخش‌های متحرک مکانیکی، طول عمر مورد انتظار TSC به مقدار قابل توجهی نسبت به خازن سوئیچ شونده مکانیکی افزایش یافته است.

در این پروژه هدف دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت یک نمونه TSC صنعتی مدنظر قرار دارد.

## ۱۲-۸-۱-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- دستیابی به دانش فنی ساخت نمونه نیمه‌صنعتی TSC با مشخصات عملکردی مطابق با استانداردهای جهانی
- سیستم کنترل با قابلیت جبران سریع توان راکتیو
- ساختار ماژولار و قابل توسعه
- توانمندی کنترل و مانیتورینگ قابل‌تعمیم
- جلوگیری از خروج ارز و فراهم نمودن امکان ساخت داخل TSC
- کمک به صنایع متوسط برای بهبود ضریب توان و کاهش هزینه‌های مرتبط
- کاهش تلفات انرژی در شبکه‌های توزیع به دلیل جبران محلی توان راکتیو
- کاهش افت ولتاژ تغذیه بارها
- عدم افزایش ولتاژ در بی‌باری به علت کنترل‌پذیر بودن ظرفیت خازن‌ها

#### ۱۲-۸-۱-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- طراحی و ساخت مدار کنترلی TSC در دانشگاه تبریز توسط دکتر حسینی، سال ۱۳۷۱.
- طراحی و ساخت TSC در مقیاس آزمایشگاهی در پژوهشگاه نیرو با ظرفیت ۱/۵ کیلووار و ولتاژ ۳۸۰ ولت، سال ۱۳۷۸.
- مجریان پیشنهادی: پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکت‌های دانش بنیان

#### ۱۲-۸-۱-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده کنندگان

- ولتاژ: ۴۰۰ ولت
- ظرفیت: ۲۵۰+۱۵۰ کیلوولت آمپر
- ساختار ماژولار و قابل تعمیر برای ظرفیت‌های مختلف
- تعداد: یک نمونه
- استفاده کنندگان: صنایع بخش خصوصی

#### ۱۲-۸-۱-۶- نوع پروژه

- ساخت نمونه صنعتی

#### ۱۲-۸-۱-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه:

- هزینه: یک میلیارد و شش صد میلیون ریال
- زمان: ۱۴ ماه

## ۱۲-۹- طراحی و ساخت ذخیره‌ساز انرژی باتری

ذخیره‌سازی انرژی یکی از چالش برانگیزترین و پیچیده‌ترین موضوعات صنعت است. ذخیره‌سازی انرژی کارآمد منجر به ظهور فن‌آوری جدیدی شده است که قابلیت اطمینان و بهره‌وری بالا و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را باکیفیت بالاتری وعده می‌دهد.

ذخیره‌سازی انرژی می‌تواند نوسانات بین عرضه و تقاضای برق را متعادل کند. برای نیازمندی‌های کوتاه‌مدت ذخیره‌ساز باتری می‌تواند کنترل فرکانس و تعادل را برقرار کند و برای نیازهایی با مدت زمان طولانی‌تر می‌تواند عملکرد مدیریت انرژی داشته باشند. ذخیره‌ساز می‌تواند در ساعات خارج از پیک مصرف انرژی را ذخیره کرده و در ساعات پیک، آن را به سیستم پس بدهد. ذخیره‌ساز انرژی زمانی که به‌عنوان یک منبع تولید انرژی در شبکه بکار می‌رود می‌تواند سبب کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری شود.

ذخیره‌ساز انرژی در کنار منابع تجدیدپذیر می‌تواند با تولید همزمان با پیک تقاضای بار سبب افزایش ضریب استفاده منابع تجدیدپذیر شود. سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی می‌توانند ظرفیت موردنیاز توسعه سیستم‌های انتقال و توزیع را کاهش داده و از صرف هزینه‌های سنگین برای توسعه آن‌ها جلوگیری کنند. سیستم‌های منابع تغذیه بلادرنگ اساساً برای توان پشتیبان استفاده می‌شوند در حالی که سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی امروزه می‌توانند چندین بار را به‌صورت آنلاین تغذیه کنند.

تکنولوژی ذخیره‌ساز انرژی شامل تلمبه ذخیره‌ای، باتری، چرخ‌گردان، واحد ذخیره‌ساز انرژی ابررسانا و ابرخازن‌ها است. در بین این تکنولوژی‌ها، باتری‌ها راه‌حل بسیار خوبی برای واحدهای با توان بالا و زمان سرویس‌دهی زیر ۵ ساعت هستند.

در این بخش هدف دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت سیستم ذخیره‌ساز انرژی از نوع باتری است.

## ۱۲-۹-۱ طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی ذخیره ساز انرژی باطری

### ۱۲-۹-۱-۱- عنوان پروژه:

- طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی ذخیره ساز انرژی باطری به ظرفیت دو مگاوات ساعت

### ۱۲-۹-۱-۲- تعریف مسئله و هدف از اجرای پژوهش

ذخیره سازی انرژی می تواند نوسانات بین عرضه و تقاضای برق را متعادل کند. برای نیازمندی های کوتاه مدت ذخیره ساز باتری می تواند کنترل فرکانس و تعادل را برقرار کند و برای نیازهایی با مدت زمان طولانی تر می تواند عملکرد مدیریت انرژی داشته باشند. ذخیره ساز انرژی در کنار منابع تجدیدپذیر می تواند با تولید همزمان با پیک تقاضای بار سبب افزایش ضریب استفاده منابع تجدیدپذیر شود. تکنولوژی ذخیره ساز انرژی شامل آبی، باتری، چرخ گردان، واحد ذخیره ساز انرژی ابرسانا و ابرخازن ها است. در بین این تکنولوژی ها، باتری ها راه حل بسیار خوبی برای واحدهای با توان بالا و زمان سرویس دهی زیر ۵ ساعت هستند.

یک واحد ذخیره ساز باتری دارای دو جزء سخت افزاری است که یکی از آن ها سیستم مبدل و جزء دیگر مجموعه باتری آن است. سیستم مبدل و کنترل یک ذخیره ساز باتری، قسمت اصلی و حیاتی آن است که اتصال به شبکه و یا بار AC همچنین شارژ و تخلیه باتری از طریق آن صورت می گیرد. قیمت این جزء از مبدل قابل توجه بوده و می تواند بیش از ۲۵ درصد سیستم ذخیره ساز باتری را شامل شود. در انتخاب مبدل باتری، مهم ترین مسئله قابلیت اطمینان و بازدهی باتری است. قابلیت اطمینان از پیکربندی مبدل باتری تأثیر می پذیرد در پیکربندی مرسوم، جهت افزایش ولتاژ، باتری ها به صورت سری باهم قرار می گیرند.

در این پروژه هدف ساخت یک نمونه ذخیره ساز انرژی باطری با ظرفیت یک مگاوات و دو مگاوات ساعت است.

### ۱۲-۹-۱-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- دستیابی به دانش فنی ساخت نمونه نیمه صنعتی BESS با مشخصات عملکردی مطابق با استانداردهای جهانی
- سیستم کنترل با قابلیت شارژ و تخلیه با راندمان بالا

- ساختار مازولار و قابل توسعه
- توانمندی کنترل و مانیتورینگ قابل تعمیر
- جلوگیری از خروج ارز و فراهم نمودن امکان ساخت داخل BESS
- تسهیل توسعه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور و کمک به سایر فعالیت‌های در حال انجام در این حوزه
- در جهت دستیابی به هدف ۱۰ هزار مگاوات برق تجدیدپذیر
- قرار گرفتن در جمع معدود کشورهای دارای این تکنولوژی

#### ۱۲-۹-۱-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- سابقه خاصی در این زمینه در کشور وجود ندارد
- مجریان پیشنهادی: پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکت‌های دانش‌بنیان

#### ۱۲-۹-۱-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده‌کنندگان

- ولتاژ نامی ۴۰۰ ولت
- توان نامی ۵۰۰ کیلووات
- انرژی نامی ۲ مگاوات ساعت
- ساختار مبدل مازولار و قابل توسعه
- تعداد: یک نمونه
- استفاده‌کنندگان: وزارت نیرو

#### ۱۲-۹-۱-۶- نوع پروژه

- ساخت نمونه نیمه‌صنعتی

#### ۱۲-۹-۱-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه:

- هزینه: پنجاه میلیارد ریال

• زمان: ۲۸ ماه

## ۱۲-۱۰- دستیابی به دانش فنی طراحی تفصیلی SFC

نیاز به کارگیری مبدل‌های الکترونیک قدرت در راه‌اندازی نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای و گازی و همچنین تنظیم سرعت در سیستم تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت‌متغیر و مسائلی همچون راه‌اندازی نرم و سریع و بدون تنش مکانیکی در این نیروگاه‌ها، قابلیت کنترل فرکانس، ولتاژ و توان راکتیو به کمک SFC‌های کنترل سرعت امکان‌پذیر گردیده است. اهمیت الکترونیک قدرت در نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای و گازی، امری غیرقابل انکار است، به‌خصوص آن‌که نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت‌متغیر کاملاً بر مبنای مبدل‌های الکترونیک قدرت بنا شده‌اند. با توجه به نیاز کشور در این زمینه پروژه حاضر در پی دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت SFC است.

## ۱۲-۱۰-۱ دستیابی به دانش فنی طراحی و تهیه نقشه‌های اجرایی SFC

### ۱۲-۱۰-۱-۱ عنوان پروژه

• دستیابی به دانش فنی طراحی و تهیه نقشه‌های اجرایی SFC در کاربرد نیروگاه گازی و تلمبه‌ذخیره‌ای

### ۱۲-۱۰-۱-۲ تعریف مسئله و هدف از اجرای پژوهش

به دلیل بالا بودن ظرفیت توربین‌های آبی، راه‌اندازی مستقیم ماشین‌های سنکرون در حالت موتوری، امکان‌پذیر نیست. برای اتصال این نیروگاه‌ها به شبکه، از مبدل‌های فرکانسی استاتیکی (SFC) استفاده می‌شود. این مبدل‌ها و یا راه‌اندازها، در حالت موتوری ولتاژ و فرکانس ورودی ماشین را به‌صورت پیوسته از مقادیر پایین افزایش می‌دهند تا به سرعت سنکرون با شبکه برسد.

توربین‌های گازی نیز اغلب باید در مدت زمان کوتاهی راه‌اندازی شوند. راه‌انداز SFC، ابتدا توربین گاز را به‌صورت موتوری تغذیه می‌کند تا در مدت زمان کوتاهی، به سرعت نامی خود برسد و با شبکه سنکرون شود. کاربرد SFC



برای نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای، اتصال نرم موتور سنکرون به شبکه است ولی کاربرد آن برای نیروگاه گازی، راه‌اندازی سریع و رسیدن به سرعت سنکرون است.

در نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت‌متغیر که برای کنترل فرکانس و مدیریت توان در شبکه مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، زمانی که توربین در حالت موتوری عمل می‌کند، برای کنترل سرعت و گشتاور موتور، از درایوهای سرعت متغیر یا SFC‌های کنترل سرعت استفاده می‌شود. در این پروژه هدف دستیابی به دانش فنی طراحی و تهیه نقشه‌های اجرایی SFC در کاربرد نیروگاه گازی و تلمبه ذخیره‌ای است.

### ۱۰-۱-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- مطالعات لازم در خصوص انتخاب ساختار و شیوه کنترل مبدل‌های SFC در کاربردهای مختلف
- افزایش دانش فنی متخصصین داخلی در خصوص مبدل‌های SFC
- دستیابی به دانش فنی طراحی تفصیلی و تهیه نقشه‌های اجرایی SFC در کاربرد نیروگاه گازی و تلمبه ذخیره‌ای
- امکان استفاده از دانش حاصل برای ساخت داخل یا انتقال دانش فنی

### ۱۰-۱-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- در این خصوص مطالعات مختلف و پراکنده‌ای در کشور صورت گرفته است.
- مجریان پیشنهادی: دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی

### ۱۰-۱-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده‌کنندگان

- مطالعات فنی و اقتصادی طراحی محصول
- اسناد فنی و نقشه‌های اجرایی یک نمونه SFC نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای
- اسناد فنی و نقشه‌های اجرایی یک نمونه SFC نیروگاه گازی
- طراحی سیستم کنترل و الگوریتم‌های مربوطه

## ۱۲-۱۰-۱-۶- نوع پروژه

- مطالعاتی

## ۱۲-۱۰-۱-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه

- هزینه: یک میلیارد و پانصد میلیون ریال
- زمان: ۱۴ ماه

## ۱۲-۱۱- دستیابی به دانش فنی طراحی تفصیلی سیستم تحریک نیروگاهی

سیستم تحریک ژنراتور سنکرون، در واقع ستون فقرات سیستم کنترل ژنراتور سنکرون است. این سیستم شامل منبع توانی است که جریان مغناطیس کنندگی dc را به سیم پیچ‌های میدان ژنراتور سنکرون تزریق کرده و بدین وسیله در سیم پیچ‌های ماشین، ولتاژ و جریان ac القا می‌شود. در سیستم‌های تحریک امروزی، به منظور استفاده از توان ac خروجی ژنراتور برای تغذیه تحریک dc، از یکسوسازهای الکترونیک قدرت استفاده می‌شود. با توجه به نیاز کشور در این زمینه پروژه حاضر در پی دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت سیستم تحریک ژنراتور سنکرون است.

## ۱۲-۱۱-۱- دستیابی به دانش فنی طراحی و تهیه نقشه‌های اجرایی سیستم تحریک

### ۱۲-۱۱-۱-۱- عنوان پروژه

- دستیابی به دانش فنی طراحی و تهیه نقشه‌های اجرایی سیستم تحریک در کاربرد نیروگاه گازی و آبی

### ۱۲-۱۱-۱-۲- تعریف مسئله و هدف از اجرای پژوهش

پیشرفت تکنولوژی نیمه‌هادی‌ها حوزه سیستم‌های تحریک را دگرگون کرده است. در سیستم‌های تحریک قدیمی که کنترل تحریک مبتنی بر رئوستا و یا تقویت‌کننده‌ی مغناطیسی مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند که به علت بهره‌ی حلقه‌ی پایین، عملکرد کند و ناکارآمدی داشته‌اند. با استفاده از ترისტورها برای انتقال توان به سیستم تحریک

به منظور کنترل ولتاژ، سرعت پاسخ سیستم، بسیار سریع تر از سیستم‌های تحریک متعارف شده است. سیستم‌های تحریک مدرن متشکل از تریستورها، باند مرده‌ی بسیار پایینی دارند و هیچ تأخیری در سیستم ایجاد نمی‌کنند. انتخاب و به کارگیری تریستورها برای این کاربرد، اهمیت قابل توجهی دارد، زیرا که انتخاب نامناسب می‌تواند منجر به خطاهای متعدد در سیستم شود.

توان تحریک معمولاً از طریق ترمینال‌های ژنراتور یا منبع کمکی با یک ترانسفورماتور کاهنده به پل تریستوری منتقل می‌شود. رگولاتور ولتاژ که شامل کنترل حلقه بسته است، ولتاژ ترمینال ماشین را با مقدار مرجع مقایسه می‌کند و یک سیگنال خطا ایجاد می‌کند که زاویه آتش تریستورها را کنترل می‌کند. سپس ولتاژ dc پل با استفاده از حلقه‌های لغزان به سیم‌پیچ میدان ماشین منتقل می‌شود؛ بنابراین پل تریستوری، نقش بسیار مهمی در سیستم‌های تحریک استاتیکی ژنراتور سنکرون، به منظور تأمین ولتاژ کنترلی دقیق و سریع، ایفا می‌کند. در این پروژه هدف دستیابی به دانش فنی طراحی و تهیه نقشه‌های اجرایی SFC در کاربرد نیروگاه گازی و آبی است.

### ۱۲-۱۱-۱-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- مطالعات لازم در خصوص انتخاب ساختار و شیوه کنترل سیستم تحریک
- افزایش دانش فنی متخصصین داخلی در خصوص سیستم تحریک
- دستیابی به دانش فنی طراحی تفصیلی و تهیه نقشه‌های اجرایی سیستم تحریک
- امکان استفاده از دانش حاصل برای ساخت داخل یا انتقال دانش فنی

### ۱۲-۱۱-۱-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- در این خصوص پروژه‌هایی توسط شرکت آب نیرو و گروه مپنا جهت ساخت داخل سیستم تحریک در دست اجراست.
- مجریان پیشنهادی: دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی

### ۱۲-۱۱-۱-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده کنندگان

- مطالعات فنی و اقتصادی طراحی محصول

- اسناد فنی و نقشه‌های اجرایی یک نمونه سیستم تحریک نیروگاه آبی
- اسناد فنی و نقشه‌های اجرایی یک نمونه سیستم تحریک نیروگاه گازی
- طراحی سیستم کنترل و الگوریتم‌های مربوطه

## ۱۲-۱۱-۱-۶- نوع پروژه

- مطالعاتی

## ۱۲-۱۱-۱-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه

- هزینه: یک میلیارد و پانصد میلیون ریال
- زمان: ۱۴ ماه

## ۱۲-۱۲- طرح ملی آزمایشگاه الکترونیک قدرت

### ۱۲-۱۲-۱- طرح ملی راه‌اندازی آزمایشگاه شبیه‌ساز بلادرنگ تجهیزات الکترونیک قدرت

#### ۱۲-۱۲-۱-۱- عنوان طرح

راه‌اندازی آزمایشگاه شبیه‌ساز بلادرنگ جهت طراحی، توسعه و آزمون تجهیزات الکترونیک قدرت

#### ۱۲-۱۲-۱-۲- تعریف مسئله و هدف از اجرای طرح

طراحی و توسعه یک محصول در مراحل مختلف نیاز به آزمایشگاه‌های با اهداف متفاوت دارد. در مرحله طراحی و ساخت نیاز به مراکز آزمایشگاهی مجهز به تجهیزاتی برای طراحی، شبیه‌سازی، ساخت نمونه، تجهیزات اندازه‌گیری و مانیتورینگ مناسب و ... وجود دارد. پس از ساخت محصول با توجه به استانداردهای موجود ملی و بین‌المللی باید محصول مورد آزمون قرار گیرد. این آزمون‌ها با توجه دستورالعمل مربوط به هر استاندارد انجام گرفته و نتایج آن مؤید

تأیید یا عدم تأیید عملکرد محصول است. پس از این مرحله لازم است عملکرد محصول در شرایط میدانی مورد بررسی قرار گیرد.

تکنیک شبیه‌سازی Hardware In Loop کاربرد فراوانی در توسعه و آزمون سیستم‌های زمان واقعی دارد و زیرساخت مناسبی برای در نظر گرفتن پیچیدگی‌های سیستم تحت کنترل فراهم می‌کند. شبیه‌سازی HIL تقلید تمامی سنسورها و عملگرها را در خود خواهد داشت. این اجزا نقش واسط میان شبیه‌سازی HIL و سیستم تحت تست را ایفا خواهند کرد. مقدار هر یک از سنسورها توسط شبیه‌سازی HIL تعیین خواهد شد و سیستم تحت تست از آن فیدبک خواهد گرفت و در ادامه الگوریتم کنترلی خود را به عملگرها اعمال خواهد کرد. اعمال مقادیر جدید به عملگرها منجر به تغییر وضعیت شبیه‌سازی HIL و ادامه مجدد فرایند خواهد شد.

در بسیاری از موارد ممکن است کاراترین روش آزمون یک تجهیز، اتصال آن به سیستم واقعی باشد؛ اما در نظر گرفتن مواردی مانند هزینه، مدت زمان مورد مطالعه، ایمنی و امکان‌پذیری ممکن است شبیه‌سازی HIL را به‌عنوان روشی کارا معرفی کند.

هدف از این طرح فراهم نمودن آزمایشگاهی جهت تست کلیه تجهیزات الکترونیک قدرت تا ظرفیت ۵ مگا ولت‌آمپر است.

### ۱۲-۱-۳- سابقه انجام طرح در کشور و مجریان پیشنهادی

- در این خصوص تاکنون فعالیت خاصی در کشور صورت نگرفته است.
- مجریان پیشنهادی: وزارت نیرو

### ۱۲-۱-۴- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده‌کنندگان

- آزمایشگاهی جهت تحقیق، توسعه و آزمون تجهیزات الکترونیک قدرت که قادر به تست تجهیزاتی تا ظرفیت ۵ مگا ولت‌آمپر باشد
- استفاده‌کنندگان: کلیه مراکز و صنایع مرتبط با الکترونیک قدرت

## ۱۲-۱-۱-۵- نوع طرح

- راه‌اندازی آزمایشگاه

## ۱۲-۱-۱-۶- هزینه و زمان اجرای طرح

- هزینه: پانصد میلیارد ریال
- زمان: ۷۲ ماه

## ۱۲-۱۳- طرح ملی شبکه آزمایشگاهی

### ۱۲-۱۳-۱ طرح ملی راه‌اندازی شبکه آزمایشگاهی الکترونیک قدرت

#### ۱۲-۱۳-۱-۱- عنوان طرح

توسعه و تجهیز آزمایشگاه‌های الکترونیک قدرت کشور و ایجاد شبکه ملی آزمایشگاهی

#### ۱۲-۱۳-۱-۲- تعریف مسئله و هدف از اجرای طرح

بررسی صورت گرفته حاکی از این است که در کشور آزمایشگاه‌های تحقیقاتی امکانات خوبی داشته و در مراکز تحقیقاتی، دانشگاهی و صنعتی با توجه به نیازها و توان مالی، تأسیسات آزمایشگاهی مناسبی فراهم شده است. برای توسعه این مراکز و تجهیز آن‌ها به لوازم موردنیاز در برخی حوزه‌ها با توجه به هزینه و کاربرد، نیاز به حمایت هدفمند دولت وجود دارد. در این راستا باید شبکه‌ای از آزمایشگاه‌های تحقیقاتی الکترونیک قدرت در کشور ایجاد گردد که اقدامات زیر می‌تواند در ذیل این شبکه صورت پذیرد.

- حمایت از تجهیز آزمایشگاه‌های موجود به تجهیزات اولیه موردنیاز با توجه به پتانسیل منطقه‌ای
- حمایت از ایجاد قطب‌های آزمایشگاهی با مشارکت مراکز تحقیقاتی و صنایع با توجه به پتانسیل‌های منطقه‌ای

موجود

- آموزش و تربیت متخصصین آزمایشگاهی به‌ویژه درزمینه‌های خاص
- در خصوص آزمایشگاه‌های مرجع و با توجه به وظایف مورد انتظار این آزمایشگاه‌ها باید تحت نظارت سازمان ملی استاندارد قرار داشته باشد. آزمایشگاه‌های مرجع را می‌توان با توجه به حوزه آن‌ها به‌صورت زیر در نظر گرفت.
- آزمایشگاه مرجعی که به لحاظ اقتصادی بخش خصوصی قادر به راه‌اندازی و بهره‌برداری از آن‌ها است
- آزمایشگاه‌های مرجعی که با توجه به سرمایه‌گذاری بالای موردنیاز و اهمیت آن‌ها باید توسط بخش دولتی یا وابسته به دولت فراهم شود.
- آزمایشگاه‌های مرجعی که با توجه به سرمایه‌گذاری موردنیاز و دانش فنی آن می‌توان از آزمایشگاه‌های خارجی برای انجام آزمون‌ها استفاده نمود.
- با توجه به موارد فوق باید اقدامات زیر را مدنظر قرار داد.
- تصویب استانداردهای موردنیاز و اتخاذ سیاست لازم برای اجباری نمودن آن‌ها
- حمایت دولت از سرمایه‌گذاری در جهت احداث آزمایشگاه‌های مرجع موردنیاز کشور
- فراهم نمودن مکانیسم و تسهیلات لازم برای تست تجهیزات در آزمایشگاه‌های خارجی
- انعقاد تفاهم‌های همکاری آزمایشگاهی

### ۱۲-۱۳-۱-۳- سابقه انجام طرح در کشور و مجریان پیشنهادی

- در این خصوص تاکنون فعالیت خاصی در کشور صورت نگرفته است.
- مجریان پیشنهادی: پژوهشگاه نیرو، وزارت نیرو، صنایع، دانشگاه‌ها و کلیه مراکز تحقیقاتی کشور

### ۱۲-۱۳-۱-۴- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده‌کنندگان

- ایجاد شبکه آزمایشگاهی جهت تحقیق و توسعه در زمینه الکترونیک قدرت به شکلی که برای کلیه محققین این حوزه در سراسر کشور تجهیزات زیر قابل‌دسترس باشد.
- منابع تغذیه ac و dc در رنج‌های توانی و ولتاژی مختلف

- انواع مختلف کلیدهای نیمه‌هادی و مبدل‌های الکترونیک قدرت پر کاربرد مانند مبدل‌های DC\DC، اینورترها و درایوهای تغذیه موتورهای الکتریکی
  - اسیلوسکوپ‌ها و اندازه‌گیرهای جریان و ولتاژ
  - پردازنده‌های دیجیتال سیگنال مانند DSPها، FPGAها و تجهیزات جانبی مورد نیاز برای برنامه‌ریزی آنها
  - سنسورها و تجهیزات لازم برای ساخت بردهای کنترلی
  - دسترسی به بسته‌های نرم‌افزاری کامل Matlab، PSCAD، Altium Designer، Pspice و همچنین نرم‌افزارهای آزمایشگاهی مانند LabVIEW و ...
  - انواع مختلف بارها و عناصر غیرفعال
- باشد.

به‌منظور مطالعه و تحقیق در راستای صنایع کاربردی الکترونیک قدرت مانند درایوهای الکتریکی و منابع انرژی نو نیز تجهیزاتی مانند:

- موتورهای القایی، سنکرون و مغناطیس دائم
- دینامومترها
- پنل‌های فتوولتائیک
- توربین‌های بادی آزمایشگاهی
- باتری و پیل‌های سوختی
- استفاده‌کنندگان: کلیه مراکز و صنایع مرتبط با الکترونیک قدرت

## ۱۲-۱۳-۱-۵- نوع طرح

- راه‌اندازی آزمایشگاه

## ۱۲-۱۳-۱-۶- هزینه و زمان اجرای طرح

- هزینه: سیصد میلیارد ریال





۴۴۷

سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق

ویرایش اول، شهریور ۱۳۹۴

فاز ۵: برنامه تحلیلی و تهیه ره نگاشت

• زمان: ۱۲۰ ماه

## ۱۳- نتیجه گیری

### نتیجه گیری

در این گزارش مباحث فنی مربوط به اولویت‌های فناوری از قبیل معرفی فناوری، آینده‌پژوهی، چرخه عمر و ... بررسی گردید. فناوری‌های موردبررسی در این گزارش عبارت‌اند از مبدل توربین باد، مبدل‌های فتوولتائیک، تجهیز SVC، Statcom، تجهیزات الکترونیک قدرت نیروگاهی، انتقال DC، سیستم ذخیره‌ساز انرژی باطری، S-Statcom، TSC و DVR. آزمایشگاه‌های مطرح در حوزه الکترونیک قدرت نیز در این گزارش بررسی گردیدند.

با توجه به مطالعات و همچنین نتایج اولویت‌بندی فناوری در فازهای قبلی پروژه در فصل دوازدهم خلاصه شناسنامه‌ای از کلیه پروژه‌ها و طرح‌های موردنظر ارائه گردید. در گزارش‌ها بعدی این مرحله از پروژه برنامه زمانی و بودجه‌بندی پروژه‌های پیشنهادی تدوین و ارائه خواهد گردید.

## ۱۴- مراجع

### مراجع

- [۱] F. Blaabjerg, M. Liserre, and K. Ma, "Power electronics converters for wind turbine systems," *Industry Applications, IEEE Transactions on*, vol. 48, pp. 708-719, 2012.
- [۲] F. Blaabjerg, Z. Chen, R. Teodorescu, and F. Iov, "Power electronics in wind turbine systems," in *Power Electronics and Motion Control Conference, 2006. IPEMC 2006. CES/IEEE 5th International*, 2006, pp. 1-11.
- [۳] Z. Chen, J. M. Guerrero, and F. Blaabjerg, "A review of the state of the art of power electronics for wind turbines," *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 24, pp. 1859-1875, 2009.
- [۴] F. Blaabjerg and Z. Chen, "Power electronics for modern wind turbines," *Synthesis Lectures on Power Electronics*, vol. 1, pp. 1-68, 2005.
- [۵] g. w. e. council. (2014). *Global statistics*. Available: <http://www.gwec.net/global-figures/graphs#/>
- [۶] BTM, "BTM wind report, world market update," 2013.
- [۷] G. W. E. Council, "Global Wind report, Annual Market Update 2013," 2015.
- [۸] U. E. Department, "Wind Energy Production and Manufacturing Reaches Record Highs," 2013.
- [۹] D. M. Tacke, "FRESH WIND FOR THE NEXT BIG STEP," 2013.
- [۱۰] H. Stiesdal, "REDEFINING THE COST DEBATE – THE CONCEPT OF SOCIETY'S COST OF ELECTRICITY," 2013.
- [۱۱] REN21, "Renewables 2013 global status report," 2013.
- [۱۲] T. E. W. E. Association, "The European Offshore Wind Industry-Key Trends and Statistics 2012," 2013.

- [۱۳] M. I. C. LLC, "Floating Offshore Wind Foundations Industry Consortia and Projects in the United States, Europe and Japan," 2013.
- [۱۴] P. a. Thogersen, "Adjustable speed drives in the next decade: Future steps in industry and academia," *Electric Power Components and Systems* pp. 13-31, 2004.
- [۱۵] W. W. E. Association, "By the end of 2011, more than 330 manufacturers around the world offered commercial systems and more than 300 companies supplied parts and service," 2013.
- [۱۶] R. L. Iglesias, R. L. Arantegui, and M. A. Alonso, "Power electronics evolution in wind turbines—A market-based analysis," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 4982-499.۲۰۱۱, ۳
- [۱۷] F. Blaabjerg and K. Ma, "Future on power electronics for wind turbine systems," *Emerging and Selected Topics in Power Electronics, IEEE Journal of*, vol. 1, pp. 139-152, 2013.
- [۱۸] A. Faulstich, J. Stinke, and F. Wittwer, "Medium voltage converter for permanent magnet wind power generators up to 5 MW," in *Power Electronics and Applications, 2005 European Conference on*, 2005, pp. 9 pp.P. 9.
- [۱۹] D. S. Oliveira, M. M. Reis, C. E. Silva, L. Colado Barreto, F. L. Antunes, and B. L. Soares, "A three-phase high-frequency semicontrolled rectifier for PM WECS," *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 25, pp. 677-685, 2010.
- [۲۰] Y. Lang, N. Zargari, and S. Kouro, *Power conversion and control of wind energy systems* vol. 74: John Wiley & Sons, 20.۱۱
- [۲۱] J. Dai, D. Xu, and B. Wu, "A novel control scheme for current-source-converter-based PMSG wind energy conversion systems," *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 24, pp. 963-972, 2009.

- [۲۲] X. Yuan, "Multilevel modular high power converters for 10MW wind turbines," in *Industrial Electronics (ISIE), 2013 IEEE International Symposium on*, 2013, pp. 1-7.
- [۲۳] O. S. Senturk, L. Helle, S. Munk-Nielsen, P. Rodriguez, and R. Teodorescu, "Medium voltage three-level converters for the grid connection of a multi-MW wind turbine," in *Power Electronics and Applications, 2009. EPE'09. 13th European Conference on*, 2009, pp. 1-8.
- [۲۴] H. Hosoda and S. Peak, "Multi-level converters for large capacity motor drive," in *Power Electronics Conference (IPEC), 2010 International*, 2010, pp. 516-522.
- [۲۵] M. Altın, O. Goksu, R. Teodorescu, P. Rodriguez, B.B. Jensen, and L. Helle, "Overview of recent grid codes for wind power integration," in *Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM), 2010 12th International Conference on*, 2010, pp. 1152-1160.
- [۲۶] B. Engel, M. Victor, G. Bachmann, and A. Falk, "15 kV/16.7 Hz energy supply system with medium frequency transformer and 6.5 kV IGBTs in resonant operation," in *Proc. EPE*, 2003, pp. 2-4.
- [۲۷] D. Schreiber, "Power converter circuit arrangement for generators with dynamically variable power output," ed: Google Patents, 2004.
- [۲۸] R. Jones and P. Waite, "Optimised power converter for multi-MW direct drive permanent magnet wind turbines," in *Power Electronics and Applications (EPE 2011), Proceedings of the 2011-14th European Conference on*, 2011, pp. 1-10.
- [۲۹] C. H. Ng, M. A. Parker, L. Ran, P. J. Tavner, J. R. Bumby, and E. Spooner, "A multilevel modular converter for a large, light weight wind turbine generator," *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 23, pp. 1062-1074, 2008.

- [۳۰] J. Kang, N. Takada, E. Yamamoto, and E. Watanabe, "High power matrix converter for wind power generation applications," in *Power Electronics and ECCE Asia (ICPE & ECCE ۲۰۱۱)*, (IEEE 8th International Conference on, 2011, pp. 1331-1336.
- [۳۱] E. P. Office, ed, 2013.
- [۳۲] Energy.gov, "Wind Program Budget. Retrieved from Office of Energy Efficiency and Renewable Energy," 2014.
- [۳۳] I. E. Agency, "Technology Roadmap: Wind Energy. ۲۰۱۳ ",
- [۳۴] T. s. portal. (2013). *Global market share of the world's leading wind turbine manufacturers in 2013, based on sales in gigawatts.* Available: <http://www.statista.com/statistics/272813/market-share-of-the-leading-wind-turbine-manufacturers-worldwide/>
- [۳۵] G. t. media. (2013). *A Record Year for World Wind Power in 2012.* Available: <http://www.greentechmedia.com/articles/read/A-Record-Year-for-World-Wind-Power-in-2012>
- [۳۶] C. Tech. (2013). *WIND TURBINE MANUFACTURERS - GLOBAL MARKET SHARES* Available: <http://www.cleantechinvestor.com/portal/wind-energy/10502-wind-turbine-manufacturers-global-market-shares.html>
- [۳۷] M. A. a. P. Maegaard, "Worldwide Wind Turbine Market and Manufacturing Trends," 2008.
- [۳۸] Reuters. (2013). *Tax break extension breathes new life into U.S. wind Power.* Available: <http://www.reuters.com/article/2013/01/03/us-usa-fiscal-greentech-idUSBRE90201020130103>
- [۳۹] Bloomberg. (2012). *Sinovel to Put 351 Workers on Leave Amid Slup in Turbine Sales.* Available: <http://www.bloomberg.com/news/2012-11-15/sinovel-to-put-351-workers-on-leave-amid-slump-in-turbine-sales.html>
- [۴۰] S. a. Sawyer, "Global Wind Report—Annual Market Update 2012," 2013.

- [۴۱] B. News. (2012). *Wind Turbine Manufacturer Suzlon to Default on Bond Debt*. Available: <http://www.bloomberg.com/news/2012-10-11/suzlon-energy-said-to-plan-default-today-on-209-million-of-debt.html>
- [۴۲] E. E. a. R. Energy. "2013 Wind Technology Market Report," 2013.
- [۴۳] K. Ma and F. Blaabjerg, "The impact of power switching devices on the thermal performance of a 10 MW wind power NPC converter," *Energies*, vol. 5, pp. 2559-2577, 2012.
- [۴۴] I. R. E. Agency, "RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES," 2012.
- [۴۵] R. E. P. Network, "Global status report of renewables 2014," 2014.
- [۴۶] CREIA. (2013). *Very large projects from Chinese Renewable Energy Industries Association (CREIA),(*
- [۴۷] Reneweconomy. (2013). *Smaller-scale and distributed from CREIA*. Available: <http://reneweconomy.com.au/2013/china-coal-water-71907>
- [۴۸] IEA-PVPS, "PVPS Report Snapshot of Global PV 1992-2013 " 2014.
- [۴۹] S. e. i. association, "Solar Means Business 2013: Top U.S. Commercial Solar Users," 2013.
- [۵۰] T. Murphy. (7 February 2013). *Addressing PV Grid-Access Barriers Across Europe*. Available: <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2013/02/addressing-pv-grid-access-barriers-across-europe>
- [۵۱] P. Energy. (9 December 2013). *Australia Reaches 3 GW Solar Renewable Energy Milestone*. Available: <http://www.pennenergy.com/articles/pennenergy/2013/12/australia-reaches-solar-power-capacity-milestone-of-3-gw.html>
- [۵۲] K. Masri and D. Raheja, "Roadmap for developing PV manufacturing industry".

- [۵۳] p. magazine. (2013). *Saudi Arabia targets 41 GW of solar by 2032*. Available: [http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/saudi-arabia-targets-41-gw-of-solar-by-2032\\_100006719/#axzz3T1V7aiZE](http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/saudi-arabia-targets-41-gw-of-solar-by-2032_100006719/#axzz3T1V7aiZE)
- [۵۴] EPIA, "Global market outlook for photovoltaic until 2016," 2012.
- [۵۵] W. Alnaser and N. Alnaser, "The status of renewable energy in the GCC countries," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 3074-3098, 2011.
- [۵۶] M. Calais, J. Myrzik, T. Spooner, and V. G. Agelidis, "Inverters for single-phase grid connected photovoltaic systems-an overview," in *Power Electronics Specialists Conference, 2002. pesc 02. 200 IEEE 33rd Annual*, 2002, pp. 1995-2000.
- [۵۷] B. Verhoeven, *Utility aspects of grid connected photovoltaic power systems*: International Energy Agency, 1998.
- [۵۸] M. Meinhardt and G. Cramer, "Past, present and future of grid connected photovoltaic-and hybrid-power-systems," in *Power Engineering Society Summer Meeting, 2000. IEEE*, 2000, pp. 1283-1288.
- [۵۹] S. B. Kjaer, J. K. Pedersen, and F. Blaabjerg, "A review of single-phase grid-connected inverters for photovoltaic modules," *Industry Applications, IEEE Transactions on*, vol. 41, pp. 1292-1306, 2005.
- [۶۰] Wikipedia. (2013). *Solar inverter*. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_inverter](http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_inverter)
- [۶۱] N. P. Papanikolaou, E. C. Tatakis, A. Critsis, and D. Klimis, "Simplified high frequency converter in decentralized grid-connected PV systems: a novel low-cost solution," in *Proc. Eur. Conf. Power Electron. Appl*, 2003.
- [۶۲] T. Shimizu, K. Wada, and N. Nakamura, "Flyback-type single-phase utility interactive inverter with power pulsation decoupling on the dc input for an ac photovoltaic module system," *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 21, pp. 1264-1272, 2006.



- [۶۳] S. B. Kjaer and F. Blaabjerg, "Design optimization of a single phase inverter for photovoltaic applications," in *Power Electronics Specialist Conference, 2003. PESC'03. 2003 IEEE 34th Annual*, 2003, pp. 1183-1190.
- [۶۴] M. Nagao and K. Harada, "Power flow of photovoltaic system using buck-boost PWM power inverter," in *Power Electronics and Drive Systems, 1997. Proceedings. 1997 International Conference on*, 1997, pp. 144-149.
- [۶۵] S. Mekhilef, N. Rahim, and A. Omar, "A new solar energy conversion scheme implemented using grid-tied single phase inverter," in *TENCON 2000. Proceedings*, 2000, pp. 524-527.
- [۶۶] E. Achille, T. Martire, C. Glaize, and C. Joubert, "Optimized DC-AC boost converters for modular photovoltaic grid-connected generators," in *Industrial Electronics, 2004 IEEE International Symposium on*, 2004, pp. 1005-1010.
- [۶۷] D. C. Martins and R. Demonti, "Grid connected PV system using two energy processing stages," in *Photovoltaic Specialists Conference, 2002. Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE*, 2002, pp. 1649-1652.
- [۶۸] D. C. Martins and R. Demonti, "Photovoltaic energy processing for utility connected system," in *Industrial Electronics Society, 2001. IECON'01. The 27th Annual Conference of the IEEE*, 2001, pp. 1965-1969.
- [۶۹] A. Lohner, T. Meyer, and A. Nagel, "A new panel-integratable inverter concept for grid-connected photovoltaic systems," in *Industrial Electronics, 1996. ISIE'96. Proceedings of the IEEE International Symposium on*, 1996, pp. 827-831.
- [۷۰] S. 120. (2001). Available: [www.mastervolt.com/sunmaster](http://www.mastervolt.com/sunmaster)
- [۷۱] M. Meinhardt and P. Mutschler, "Inverters without transformer in photovoltaic applications," ed, 1995.

- [۷۲] T. Shimizu, M. Hirakata, T. Kamezawa, and H. Watanabe, "Generation control circuit for photovoltaic modules," *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 16, pp. 293-300, 2001.
- [۷۳] T. Shimizu, O. Hashimoto, and G. Kimura, "A novel high-performance utility-interactive photovoltaic inverter system," *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 18, pp. 704-711, 2003.
- [۷۴] M. Meinhardt and G. Cramer, "Multi-string-converter: the next step in evolution of string-converter technology," in *in Proc. 9th Eur .Power Electronics and Applications Conf*, 2001.
- [۷۵] S. B. T. M.S. O. Instructions. (2005). Available: [www.sma.de](http://www.sma.de)
- [۷۶] C. Dorofta, "Comparative analysis of four dc/dc converters for photovoltaic grid interconnection," Aalborg university, 2001.
- [۷۷] "Design of a dc/dc converter for photovoltaic grid interconnection," Aalborg University, 2001.
- [۷۸] J. Imhoff, G. F. Rodrigues, J. R. Pinheiro, and H. L. Hey, "A stand-alone photovoltaic system based on Dc-Dc converters in a multi string configuration," in *Power Electronics and Applications, 2007 European Conference on*, 2007, pp. 1-10.
- [۷۹] M. Desconzi, R. Beltrame, C. Rech, L. Schuch, and H. Hey, "Photovoltaic Stand-Alone Power Generation System with Multilevel Inverter," in *International Conference on Renewable Energies and Power Quality*, 2010.
- [۸۰] SMA, "Solar Stand-Alone Power and Backup Power Supply," 2009.
- [۸۱] IEA, "Trends 2013 in photovoltaic applications " 2013.
- [۸۲] I. Technology, "PV Inverters Report," 2014.
- [۸۳] F. i. f. s. e. s. ISE, "Photovoltaic report " 2014.

- [۸۴] B. Parida, S. Iniyana, and R. Goic, "A review of solar photovoltaic technologies," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 1625-1636, 2011.
- [۸۵] C. Breyer, C. Birkner, J. Meiss, J. C. Goldschmidt, and M. Riede, "A top-down analysis: Determining photovoltaics R&D investments from patent analysis and R&D headcount," *Energy Policy*, vol. 62, pp. 1570-1580, 2013.
- [۸۶] s. e. power, "the US photovoltaic industry roadmap " 2003.
- [۸۷] R. B. S. C. a. P. AG, "Directions for the solar economy: PV-Roadmap 2020," 2010.
- [۸۸] M. Frondel, N. Ritter, C. M. Schmidt, and C. Vance, "Economic impacts from the promotion of renewable energy technologies: The German experience," *Energy Policy*, vol. 38, pp. 4048-4056, 2010.
- [۸۹] C. Breyer and A. Gerlach, "Global overview on grid-parity," *Progress in photovoltaics: Research and Applications*, vol. 21, pp. 121-136, 2013.
- [۹۰] E. Union, "Analysis Part I: Investment and performance in R&D – Investing in the future," 2011.
- [۹۱] G. Research. (2013). *Global Inverter Taxonomy 2013*. Available: <http://www.greentechmedia.com/research/report/the-global-pv-inverter-landscape-2013>
- [۹۲] SMA. (2013). *solar inverters*. Available: [www.sma.de/](http://www.sma.de/)
- [۹۳] B. N. E. Finance, "PV production 2013: an all-Asian affair," 2014.
- [۹۴] N. D. Galen Barbose, Samantha Weaver, Ryan Wiser, "Tracking the Sun VI," Environmental Energy Technologies Division, Lawrence Berkeley National Laboratory 2012.
- [۹۵] J. S. a. p. report, "PV Status report 2013," 2013.
- [۹۶] p. resources. (2013). *pv standards*. Available: <http://www.pvresources.com/Standards/PVSystems.aspx>

- [۹۷] P. Laboratory. (2013). *PHOTON inverter test*. Available: [http://www.photon.info/photon\\_wechselrichtertest\\_en.photon](http://www.photon.info/photon_wechselrichtertest_en.photon)
- [۹۸] I. t. l. fraunhofer. (2013). *Test laboratory*. Available: <http://www.ise.fraunhofer.de/en/service-units/inverter-lab/leistungen>
- [۹۹] f. s. e. center. (2013). *inverter testing for PV systems*. Available: <http://www.fsec.ucf.edu/EN/research/photovoltaics/inverter/index.htm>
- [۱۰۰] marketsandmarkets, "Flexible AC Transmission System (FACTS) Market by Compensation (Shunt, Series, Combined), Component (Thyristors, Capacitor Banks, Reactors), Application, Industry Vertical (Electric Utilities, Steel, Mining), Global Forecast & Analysis (2013 - 2018) " 2013.
- [۱۰۱] L. GYUGYI, "Power Electronics in Electric Utilities: Static Var Compensators," *Proceedings of the IEEE*, vol. 76, pp. 483 - 494 1988.
- [۱۰۲] I. A. Erinmez, "Static Var Compensators. Working Group 38- 01, Task Force No. 2 on SVC " *CIGRE*, 1986.
- [۱۰۳] M. B. Shahid, M. U. Khan, M. A. Abbasi, and H. Nawaz, "Designing and simulation of SVC controller using coordinate transformation and Integral droop method " presented at the International Conference on Green and Ubiquitous Technology (GUT), Jakarta, 2012.
- [۱۰۴] E. Lerch, D. Povh, and X. L. "Advanced SVC control for damping power system oscillations " *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 6, pp. 524 - 535 1991.
- [۱۰۵] B. Drury, "Power Electronics: A Strategy For Success," D. f. B. I. Skills, Ed. ed, 2011.
- [۱۰۶] researchandmarkets, "Global SVC (Static Var Compensator) Industry Report 2014," 2014.
- [۱۰۷] M. M. Begovic, *Electrical Transmission Systems and Smart Grids: Selected Entries from the Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*: Springer, 2013.

- [۱۰۸] R. M. Mathur and R. K. Varma, *Thyristor-Based FACTS Controllers for Electrical Transmission Systems*: John Wiley & Sons, 2002.
- [۱۰۹] B. Singh, R. Saha, A. Chandra, and K. Al-Haddad, "Static synchronous compensators (Statcom): a review," *IET Power Electronics*, vol. 2, pp. 297–324, 2009.
- [۱۱۰] A. Yazdani and R. Iravani, *Voltage-Sourced Converters in Power Systems*: IEEE Wiley, 2010.
- [۱۱۱] A. R.H, "An investigation of the drive circuit requirements for the power insulated gate bipolar transistor (IGBT)," *IEEE Trans. Power Electron.* vol. 6, pp. 208–219, 1991.
- [۱۱۲] D. A, B. M, and T. A, "Performance analysis of advanced static VAR compensator using threelevel IGBT inverter," in *IEEE Proc. Industrial Electronics Society, 25th Annual Conf. IECON*, 1999, pp. 1440–1444.
- [۱۱۳] A. H. "Prospects of new technologies for power electronics in the 21st century," in *IEEE PES Transmission and Distribution Conf. Exhibition, Asia Pacific*, Yokohama, Japan, 2002.
- [۱۱۴] Q. Y. G. Y. W. L. and Y. H. "Three-level AC–DC–AC VSI with IGCTs used in P&F," in *IEEE Proc. 4th World Congress, Intelligent Control and Automation*, 2002, pp. 2516–2519.
- [۱۱۵] M. W. M. J. and C. J. "Control of Statcom using cascade multilevel inverter for high power application," in *IEEE Proc. Int. Conf. Power Electronics Drive Systems, PEDS*, 1999, pp. 871–876.
- [۱۱۶] L. C.K. J. L. S.K. R. H. S.Y. and C. H.S.H. "Circuit-level comparison of Statcom technologies," *IEEE Trans. Power Electron.* vol. 18, pp. 208–219, 2003.
- [۱۱۷] J. Rodríguez, J.S. Lai, and F.Z. Peng, "Multilevel Inverters: A Survey of Topologies, Controls, and Applications," *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, vol. 49, pp. 724–738, 2002.

- [۱۱۸] J. M. Carrasco, J. T. Bialasiewicz, R. C. P. Guisado, and J. I. León, "Power-Electronic Systems for the Grid Integration of Renewable Energy Sources: A Survey," *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, vol. 53, pp. 1002-1017, 2006.
- [۱۱۹] G. T. C. SOTO D. "A comparison of high power converter topologies for the implementation of FACTS controllers," *IEEE Trans. Ind. Electron.* vol. 49, pp. 1072–1080, 2002.
- [۱۲۰] L. J.S. and P. F.Z. "Multilevel converters – a new breed of power converters," *IEEE Trans. Ind. Appl.* vol. 32, pp. 509-517, 1996.
- [۱۲۱] L. Y.H. A. J. and W. N.R, "A new Statcom configuration using multi-level DC voltage reinjection for high power application," *IEEE Trans. Power Deliv.* vol. 19, pp. 1828–1834, 2004.
- [۱۲۲] C. G.C. C. N.S. R. C.T. and C. G.H. "Modeling, analysis and control of static VAR compensator using three-level inverter," presented at the IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 1992.
- [۱۲۳] S. C. and M. H. "Vector analysis and control of advanced static VAR compensators," in *IEE Proc. Gener. Transm. Distrib.* 1993, pp. 299–306.
- [۱۲۴] KAZMIERKOWSKIM.P. and M. L. "Current control technique for three phase voltage source PWM converters," *IEEE Trans. Ind. Electron.* vol. 45, pp. 691–703, 1998.
- [۱۲۵] J. Y. and E. A. "Applying PWM to control overcurrents at unbalanced faults of forced-commutated VSCs used as static VAR compensators," *IEEE Trans. Power Deliv.* vol. 12, pp. 273–278, 1997.
- [۱۲۶] K. D.N. "Modelling synchronous voltage source converters in transmission planning studies," *IEEE Trans. Power Deliv.* vol. 12, pp. 947–952, 1997.

- [۱۲۷] MORAN L.T. Z. P.D. and J. G. "Analysis and design of a three-phase synchronous solid-state VAR compensator," *IEEE Trans. Ind. Appl.* vol. 25, pp. 598–608, 1984.
- [۱۲۸] E. J.B. and JENKINSN. "Selection of passive elements for a three-level inverter based static synchronous compensator," *IEEE Trans. Power Deliv.* vol. 14, pp. 655–661, 1999.
- [۱۲۹] <http://www.arpa-e.energy.gov/?q=arpa-e-news-item/us-energy-department%E2%80%99s-arpa-e-announces-27-million-transformational-grid>. Available: <http://www.arpa-e.energy.gov/?q=arpa-e-news-item/us-energy-department%E2%80%99s-arpa-e-announces-27-million-transformational-grid>
- [۱۳۰] T. a. I. Ministry of Economy, "FY2013 Budget Request," T. a. I. Ministry of Economy, Ed. ed, 2013.
- [۱۳۱] T. Atalik, C. Ö. Gerçek, and M. Ermis, "Multi-DSP and -FPGA-Based Fully Digital Control System for Cascaded Multilevel Converters Used in FACTS Applications " *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS*, vol. 8, pp. 511-527, 2012.
- [۱۳۲] C. Jung-Chen, W. Chi-Jui, and Y. Shih-Shong, "Mitigation of harmonic disturbance at pumped storage power station with static frequency converter," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 12, pp. 232-240, 1997.
- [۱۳۳] R. J. Kerkman, T. A. Lipo, W. G. Newman, and J. E. Thirkell, "An Inquiry into Adjustable Speed Operation of a Pumped Hydro Plant Part 1 - Machine Design and Performance," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-99, pp. 1828-1837, 1980.
- [۱۳۴] M. Naidu and R. M. Mathur, "Evaluation of unit connected, variable speed, hydropower station for HVDC power transmission," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 4, pp. 668-676, 1989.
- [۱۳۵] J. Arrillaga, S. Sankar, C. P. Arnold, and N. R. Watson, "Characteristics of unit-connected HVDC generator-convertors operating at variable speeds," *IEE Proceedings C Generation, Transmission and Distribution*, vol. 139, pp. 295-299, 1992.

- [۱۳۶] R. J. Fostiak and H. R. Davis, "Electrical features of the Rocky Mountain pumped-storage project," *Energy Conversion, IEEE Transactions on*, vol. 9, pp. 20.۱۹۹۴, ۲۱۳-۶
- [۱۳۷] G. Magsaysay, T. Schuette, and R. J. Fostiak, "Use of a static frequency converter for rapid load response in pumped-storage plants," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 10, pp. 694-699, 1995.
- [۱۳۸] W. B. Gish, J. R. Schurz, B. Milano, and F. R. Schleif, "An Adjustable Speed Synchronous Machine for Hydroelectric Power Applications," *Power Apparatus and Systems, IEEE Transactions on*, vol. PAS-100, pp. 2171-2176, 1981.
- [۱۳۹] A. Bocquel and J. Janning, "Analysis of a 300 MW variable speed drive for pump-storage plant applications," in *Power Electronics and Applications, 2005 European Conference on*, 2005, pp. 10 pp.P.10.
- [۱۴۰] T. Taguchi, K. Aida, K. Mukai, and T. Yanagisawa, "Variable speed pumped storage system fed by large-scale cycloconverter," in *EUROPEAN CONFERENCE ON POWER ELECTRONICS AND APPLICATIONS*, 1992, pp. 237-237.
- [۱۴۱] Mitsubishi, "Pumped Storage Power Station with Adjustable Speed Pumped Storage Technology," Presentation available from The Energy and Resources Institute 2008.
- [۱۴۲] Toshiba, "Adjustable Speed Pumped Storage Experiences," 2008.
- [۱۴۳] Alstom, "Alstom awarded €125 million contract to supply cutting-edge technology to Switzerland's new Nant de Drance hydropower station," 2009.
- [۱۴۴] A. L. Saetre, "Variable Speed Pumped Storage Hydropower for Balancing Variable Power Production in Continental Europe," M.S. Thesis, Department of Electric Power Engineering, Norwegian University of Science and Technology, 2013.



- [۱۴۵] O. Abdalla, U. North China Electric Power ,and M. Han, "Power Electronics Converters for Variable Speed Pump Storage," *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, vol. 3, pp. 74-82, 2013.
- [۱۴۶] F. Wang and J. Jiang, "A novel static frequency converter based on multilevel cascaded H-bridge used for the startup of synchronous motor in pumped-storage power station," *Energy Conversion and Management*, vol. 52, pp. 2085-2091, 2011.
- [۱۴۷] EPO, "The European Patent Office," 2013.
- [۱۴۸] J.P.Deane, B.P.O Gallachoir, and E.J.McKeogh, "Techno-economic review of existing and new pumped hydro energy storage plant," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, pp. 1293-1302, 2010.
- [۱۴۹] B. Steffen, "Prospects for pumped-hydro storage in Germany," *Energy Policy*, vol. 45, pp. 420.۲۰۱۲ ,۴۲۹-
- [۱۵۰] S. M. Schoenung and W. V. Hassenzahl, "Long-vs. Short-Term Energy Storage Technologies Analysis. A Life-Cycle Cost Study. A Study for the DOE Energy Storage Systems Program," *Sandia National Laboratories* 2003.
- [۱۵۱] R. K. VERMA, A. K. YADAV, and A. KUMAR, "Static Excitation ", 2012.
- [۱۵۲] S. Sivanagaraju and G. Sreenivasan, *Power System Operational and Control*: Pearson Education India, 2010.
- [۱۵۳] "[http://www.alibaba.com/product-detail/Hot-sales-CE-ISO-10-1875KVA\\_1446984893.html](http://www.alibaba.com/product-detail/Hot-sales-CE-ISO-10-1875KVA_1446984893.html)."
- [۱۵۴] "[http://www.alibaba.com/product-detail/Professional-Factory-Supply-150KVA-Open-Type\\_2008924902.html](http://www.alibaba.com/product-detail/Professional-Factory-Supply-150KVA-Open-Type_2008924902.html)."
- [۱۵۵] "[http://www.alibaba.com/product-detail/2013-new-design-225kva-generator-excitation\\_1431290148.html](http://www.alibaba.com/product-detail/2013-new-design-225kva-generator-excitation_1431290148.html)."

- [۱۵۶] "[http://www.alibaba.com/product-detail/Excitation-system-for-alternator-for-home\\_1770345613.html](http://www.alibaba.com/product-detail/Excitation-system-for-alternator-for-home_1770345613.html)."
- [۱۵۷] "[http://www.alibaba.com/product-detail/Excitation-system\\_60177875050.html](http://www.alibaba.com/product-detail/Excitation-system_60177875050.html)."
- [۱۵۸] "[http://www.alibaba.com/product-detail/Excitation-Systems-excitation\\_219142649.html](http://www.alibaba.com/product-detail/Excitation-Systems-excitation_219142649.html)."
- [۱۵۹] "[http://www.alibaba.com/product-detail/Static-excitation-generator\\_1101002475.html](http://www.alibaba.com/product-detail/Static-excitation-generator_1101002475.html)."
- [۱۶۰] "HVDC Light, it's time to connect: ABB corporation, December 2012".
- [۱۶۱] J. P. C. a. R. S. R. Rudervall, " High Voltage Direct Current (HVDC) Technology Review Paper Transmission Systems," in *Energy Week 2000*, Washington, D.C, USA, March 7-8, 2000.
- [۱۶۲] M. D. M. Davies, J. Dorn, J. Lang, D. Retzmann, D. Soerangr, "HVDC PLUS – Basics and Principle of Operation," 2008.
- [۱۶۳] *Repower 5M – Proven technology in new dimensions*”, *Repower Systems Germany*. Available: [http://www.repower5m.de/index\\_flash\\_uk.htm](http://www.repower5m.de/index_flash_uk.htm)
- [۱۶۴] N. MacLeod, "The Challenges facing HVDC in the Early 21 st Century," 2013.
- [۱۶۵] "High-Voltage Direct Current Transmission Systems," 2013.
- [۱۶۶] "HVDC Transmission Market by Technology (LCC & VSC)," 2013.
- [۱۶۷] P. H. A. Skytt, L. Juhlin, "HVDC Light for connection of wind farms," presented at the 2nd International workshop on transmission networks for offshore wind farms, Stockholm, 2001.
- [۱۶۸] L. B. FENG WANG, TUAN LE, "An Overview Introduction of VSC-HVDC: State-of-art and Potential Applications in Electric Power Systems," presented at the Cigre, 21, Paris.
- [۱۶۹] A. Nami, J. Liang, F. Dijkhuizen, and G. D. Demetriades, "Modular Multilevel Converters for HVDC Applications: Review on Converter Cells and Functionalities," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 30, pp. 18-36, 2015.

- [۱۷۰] M. B. a. A. Beddard, "Voltage Source Converter HVDC Links – The state of the Art and Issues Going Forward," presented at the DeepWind, Norway, January 2012.
- [۱۷۱] R. L. A. k. Sellick, M, "Comparison of HVDC Light (VSC) and HVDC Classic (LCC) site aspects, for a 500MW 400kV HVDC transmission scheme," presented at the 10th IET International Conference on AC and DC Power Transmission (ACDC 201۲۰۱۲), (۲
- [۱۷۲] V. I. p. f. C. R. E. I. Association, 2013.
- [۱۷۳] C. M. I. Serban, "Look at the Role and Main Topologies of Battery Energy Storage Systems for Integration in Autonomous Microgrids," presented at the 12th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment, OPTIM 2010. 2010.
- [۱۷۴] B. N. S. B. Singh, A. Chandra, K. Al-Haddad, A. Pandey, and D. P. Kothari, "A Review of Three-Phase Improved Power Quality AC–DC Converters," *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, vol. 51, JUNE 2004 2004.
- [۱۷۵] G. L. S. Ponnaluri, J. K. Steinke, P. K. Steimer, "Comparison of single and two stage topologies for interface of BESS or Fuel Cell system using the ABB standard Power Electronics Building Blocks," presented at the European Conference on Power Electronics and Applications, 2005.
- [۱۷۶] "Draft Storage/Stationary Batteries Standards List Courtesy of UL."
- [۱۷۷] I. o. S.r. C. a. S. f. E. S. Systems.
- [۱۷۸] <http://phys.org/>.
- [۱۷۹] <http://www.mechanism.ir/>.
- [۱۸۰] <http://ieeexplore.ieee.org>.
- [۱۸۱] <https://www.greentechmedia.com>.

- [۱۸۲] P. J. B. Sinagh, D.P. Kothari, A. Chandra, K. Alhaddad. "Comprehensive Study of D-Statcom Configurations". IEEE Transaction on Industrial Informatics. Vol. 10, Issue: 2, pp:854-870. March 2014.
- [۱۸۳] T. I. O. G. P. QUALITY.
- [۱۸۴] R. T. APPLICATION NOTE COST OF POOR POWER QUALITY, David Chapman, May 2012.
- [۱۸۵] I. P. THYRISTOR-BASED FACTS CONTROLLERS FOR ELECTRICAL TRANSMISSION SYSTEMS A JOHN WILEY & SONS.
- [۱۸۶] [http://www05.abb.com/global/scot/scot232.nsf/veritydisplay/c67b725f0863e97048257dce0003cad8/\\$file/2ucd180000e002\\_c%20statcom%20technical%20catalogue.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot232.nsf/veritydisplay/c67b725f0863e97048257dce0003cad8/$file/2ucd180000e002_c%20statcom%20technical%20catalogue.pdf).
- [۱۸۷] [http://www.sandc.com/edocs\\_pdfs/EDOC\\_027260.pdf](http://www.sandc.com/edocs_pdfs/EDOC_027260.pdf).
- [۱۸۸] [http://www.scottishpowerrenewables.com/pages/dun\\_law.asp](http://www.scottishpowerrenewables.com/pages/dun_law.asp).
- [۱۸۹] <http://www.cielowind.com/projects/completed-developments/goat-mountain-wind-ranch>.
- [۱۹۰] [http://www.claritasindia.com/thyristor\\_switched\\_capacitor\\_banks.html](http://www.claritasindia.com/thyristor_switched_capacitor_banks.html).
- [۱۹۱] N. A. R. R. Omar, and M. Sulaiman "Dynamic Voltage Restorer Application for Power Quality Improvement in Electrical", Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(12): 379-396, 2011...
- [۱۹۲] E. o. L.V. T.S. C. B. o. E. E. Consumption.
- [۱۹۳] <http://www.alstom.com/Global/Grid/Resources/Documents/Low%20Voltage%20Compensation%20Brochure%20GB.pdf>.
- [۱۹۴] <http://www.made-in-china.com/showroom/eileen88gui/product-detailXSknbKhrrAWw/China-Low-Voltage-Dynamic-Reactive-Power-Componsation.html>.
- [۱۹۵] <http://eileen88gui.en.ecplaza.net/tsc-low-voltage-dynamic-reactive--92925-3044091.html>.

- [۱۹۶] [http://www.zhwld.com/En/ProductView\\_p95.html](http://www.zhwld.com/En/ProductView_p95.html).
- [۱۹۷] <http://www.frako.com/index.php/en/power-quality-en/dynamic-reactive-power-compensation>.
- [۱۹۸] <http://www.sdhuatian.com.cn/en/home/showproducts/14>.
- [۱۹۹] [www.sandc.com/edocs\\_pdfs/EDOC\\_024815.pdf](http://www.sandc.com/edocs_pdfs/EDOC_024815.pdf).
- [۲۰۰] [http://www.sandc.com/edocs\\_pdfs/EDOC\\_047895.pdf](http://www.sandc.com/edocs_pdfs/EDOC_047895.pdf).
- [۲۰۱] [http://www.sandc.com/edocs\\_pdfs/edoc\\_006350.pdf](http://www.sandc.com/edocs_pdfs/edoc_006350.pdf).
- [۲۰۲] [http://www.sandc.com/edocs\\_pdfs/edoc\\_037532.pdf](http://www.sandc.com/edocs_pdfs/edoc_037532.pdf).
- [۲۰۳] <http://www.abb.com/cawp/seitp202/61a23e7227580786c12577ff0032dcfa.aspx>.
- [۲۰۴] A. T. M. Rezakhah, M. Fotuhi Firuzabad, H. Abdollahzadeh, "Impact of Dynamic Voltage Restorer (DVR) on Reliability Improvement of Distribution System Sensitive Loads" PSC 2007.
- [۲۰۵] M. C. C. M. E. C. Brito, L. R. Limongi, and F. A. S. Neves "Low Cost Dynamic Voltage Restorer" International Conference on Renewable Energies and Power Quality, Santiago de Compostela (Spain), 28th to 30th March, 2012.
- [۲۰۶] S. S. C. Sngkek, and M. Vilathgamuwa, 2004. "Analysis of series compensation and DC-link voltage controls of a transformer less self-charging dynamic voltage restorer, " IEEE Trans on Power Delivery, 19(3): 1511-1518.
- [۲۰۷] <http://www.transparencymarketresearch.com/dynamic-voltage-restorer.html>.
- [۲۰۸] [http://grouper.ieee.org/groups/1409/9904\\_john.pdf](http://grouper.ieee.org/groups/1409/9904_john.pdf).
- [۲۰۹] A. E. M. M. A. S. D. V .R. C. R. i. t. D. G. E. W. EL-KHATTAM, Taylor and Francis, Electric Power Components and Systems, 24 Jun 2010.
- [۲۱۰] [http://www.sandc.com/edocs\\_pdfs/EDOC\\_006390.pdf](http://www.sandc.com/edocs_pdfs/EDOC_006390.pdf).

- [۲۱۱] [http://www.sandc.com/edocs\\_pdfs/EDOC\\_027922.pdf](http://www.sandc.com/edocs_pdfs/EDOC_027922.pdf).
- [۲۱۲] [http://grouper.ieee.org/groups/1409/0002\\_woodley.pdf](http://grouper.ieee.org/groups/1409/0002_woodley.pdf).
- [۲۱۳] [http://worldwide.espacenet.com/classification?locale=en\\_EP#!/CPC=Y02E10/763](http://worldwide.espacenet.com/classification?locale=en_EP#!/CPC=Y02E10/763).
- [۲۱۴] S. J. Andriole, *Rapid Application Prototyping: The Storyboard Approach to User Requirements Analysis: A Wiley-QED Publication*, 1993.
- [۲۱۵] R. A. P. T. S. A. t. U. R. A. A. W. Q. P. S. J. Andriole, 1993.
- [۲۱۶] <http://www.ornl.gov/>.
- [۲۱۷] <http://www.utdallas.edu/pedl/>.
- [۲۱۸] <http://power.usu.edu/>.
- [۲۱۹] <http://www.egr.msu.edu/pelab/>.
- [۲۲۰] <http://apedl.engr.uconn.edu/index.php>.
- [۲۲۱] <http://www.cpes.vt.edu/>.
- [۲۲۲] <http://engineering.und.edu/electrical/research/h2power/power-electronics-lab.cfm>.
- [۲۲۳] <http://www.dnvkema.com/services/testing/labs/flex-laboratory.aspx>.
- [۲۲۴] <http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/eng/research/energyconversion/peater/>.
- [۲۲۵] <http://www.nrel.gov/>.
- [۲۲۶] <http://www.ise.fraunhofer.de/en/service-units/inverter-lab>.
- [۲۲۷] [http://portal.uc3m.es/portal/page/portal/research/research\\_groups/gsep/gsep\\_website/inverters](http://portal.uc3m.es/portal/page/portal/research/research_groups/gsep/gsep_website/inverters).
- [۲۲۸] T. J. Hassell, Oliveira, A.M. Weaver, W.W. " Design ,construction, and testing of an electric machine test-bed for use in laboratory and research education", IEEE Frontiers in Education Conference, 2013.
- [۲۲۹] [http://www.nrel.gov/wind/facilities\\_dynamometer.html](http://www.nrel.gov/wind/facilities_dynamometer.html)

پیوست الف

## پیوست الف

### تست دینامومتری ماشین‌های الکتریکی

دینامومترها، صنایع و آژانس‌های تست را قادر به تحقیق، طراحی و صحت‌سنجی عملکرد و قابلیت اطمینان ماشین‌های الکتریکی نمونه و تجاری و اجزای سیستم‌های کنترل آن‌ها مانند مبدل‌های الکترونیک قدرت و تجهیزات مکانیکی، در صنایع گوناگون مانند توربین‌های بادی، می‌سازد.

در تست‌های دینامومتری، شرایط عملکردی واقعی برای ماشین الکتریکی، در محیط آزمایشگاه شبیه‌سازی می‌گردد. در یک آزمایش دینامومتری متعارف، از یک موتور پر قدرت کنترل‌شونده، به‌عنوان محرک اولیه ژنراتورها با هر مشخصه عملکردی و یا بار موتورهای الکتریکی با هر مشخصه عملکردی استفاده می‌شود که این موتور با ماشین الکتریکی مورد تست، به‌صورت مکانیکی کوپل می‌شود.

در ادامه به تشریح دو مورد از تست‌های دینامومتری مورد استفاده در آزمایشگاه‌های الکترونیک قدرت، پرداخته می‌شود.

### تست دینامومتری توربین باد

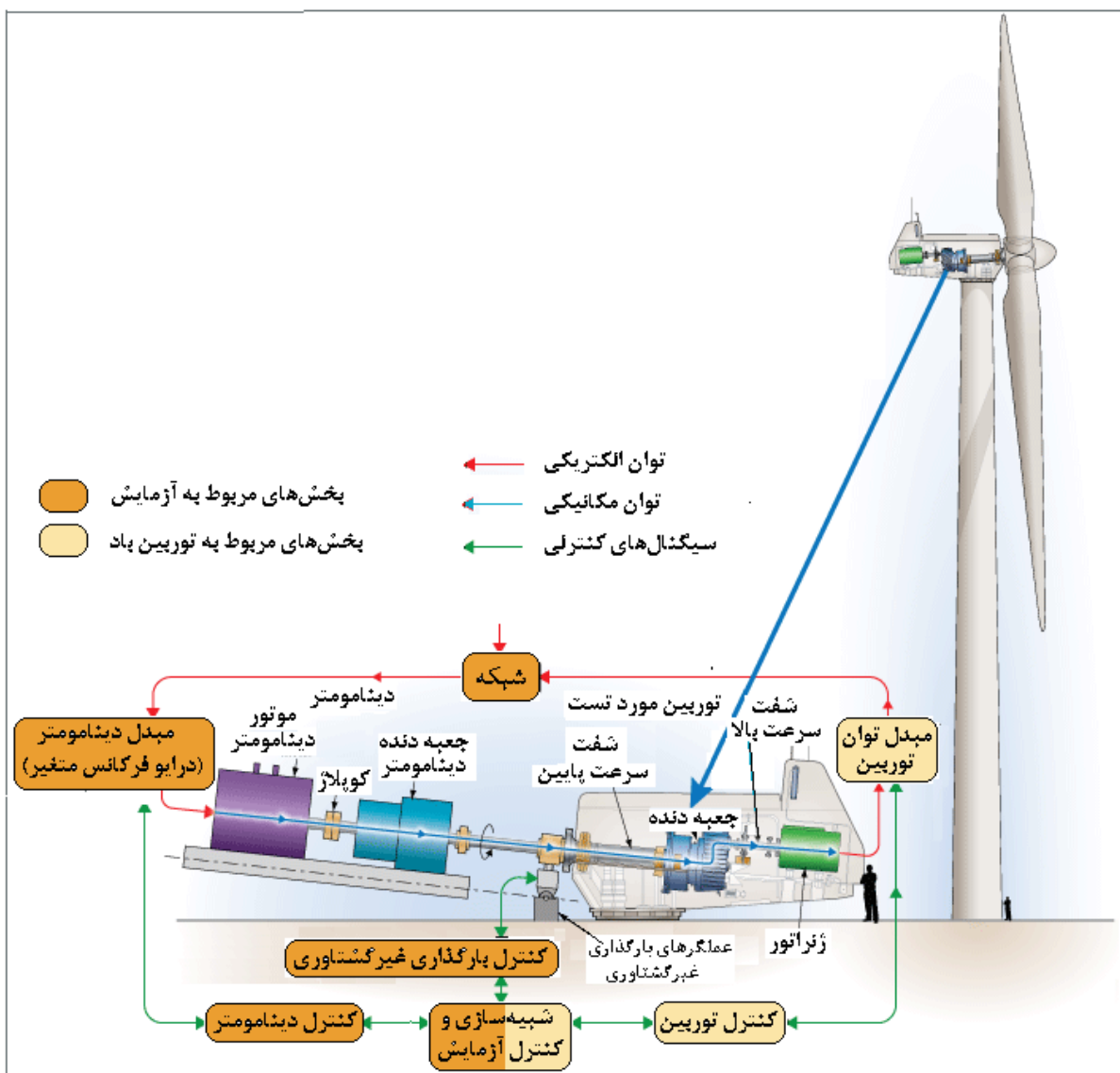
تست دینامومتری در توربین باد به‌منظور تست سیستم‌های تولید توان الکتریکی و مکانیکی در توربین بادی شامل ژنراتورها، جعبه‌دنده‌ها، مبدل‌های الکترونیک قدرت، یاتاقان‌ها، ترمزها و سیستم‌های روغن‌کاری، خنک‌کنندگی و کنترل صورت می‌گیرد.

مرکز ملی تکنولوژی باد<sup>۱</sup> (NWTC) آزمایشگاه NREL، به مهندسين صنعت باد، شرایط تست واحدی را پیشنهاد کرده است تا بتوانند رنج وسیعی از آزمایشات را بر روی توربین‌های بادی انجام دهند. این سیستم‌های دینامومتری سفارشی، قادر به تست توربین‌های بادی، از رنج توانی ۱ کیلووات تا ۵ مگاوات هستند.

شماتیک سیستم دینامومتری ۲/۵ مگاواتی NWTC که در شکل پیوست ۱-۱ نشان داده شده است، چگونگی کوپلاژ و تست سیستم تولید و انتقال توان یک توربین بادی را نشان می‌دهد. توربین مورد تست، به‌طور استواری به زمین تست،



نصب شده و از طریق شفت سرعت پایین اصلی آن به دینامومتر کوپل شده است. انرژی چرخشی تغذیه شده از طریق دینامومتر، به وسیله ژنراتور توربین به انرژی الکتریکی تبدیل می شود. انرژی الکتریکی تولیدی توسط ژنراتور از طریق یک شبکه الکتریکی محلی، دوباره به دینامومتر بازگردانده می شود. با توجه به هدف آزمایش، عملگرهای بارگذاری غیرگشتاوری (بارهایی که در راستای محور ژنراتور وارد نمی شوند)، می توانند برای اعمال بارگذاری های شدید ضربه ای، خمشی و برشی که معمولاً توسط روتور توربین ایجاد می شوند، مورد استفاده قرار گیرند.



شکل پیوست ۱-۱: شماتیک تست دینامومتری توربین بادی

## قابلیت‌های تست دینامومتری توربین باد

دینامومترها تجهیزات مؤثری هستند که با به‌کارگیری آن‌ها، اعتبارسنجی طراحی‌های جدید، با شبیه‌سازی "باد" ورودی توربین، بدون نیاز به انتظار رخ دادن محرک طبیعی، صورت می‌گیرد. در تست حالت ماندگار یا حالت استاتیکی، یک سری نقاط کار گشتاور/سرعت در طول منحنی توان توربین برای یک دوره زمانی ثابت، توسط دینامومتر به‌منظور ارزیابی عملکرد مکانیکی و الکتریکی، اعمال می‌شود. نقاط خارج از محدوده عملکرد عادی توربین، می‌تواند برای ارزیابی پاسخ سیستم به شرایط سخت مورد استفاده قرار گیرد.

### جدول پیوست ۱-۱: مشخصات سیستم‌های تست دینامومتری آزمایشگاه NREL

دینامومتر ۲۲۵ کیلوواتی	دینامومتر ۲/۵ مگاواتی	دینامومتر ۵ مگاواتی	
۲/۳ متر × ۴/۶ متر میز تست بالارونده شیاردار	۱۲/۲ متر × ۱۵/۲ متر × ۹ متر فضای تست	۲۰ متر × ۶ متر مساحت محل تست	کارگاه تست
	۳/۷ متر × ۶/۴ متر کف با شیارهای T شکل	۶/۱ متر × ۹/۸ متر کف فولادی	
جرثقیل بالاسری ۱۵ تنی	جرثقیل بالاسری ۵۰ تنی	دو جرثقیل بالاسری ۷۵ تنی	ظرفیت بالابر
	۹/۱۴ متر ارتفاع حداکثری قلاب	۱۴ متر ارتفاع حداکثری قلاب	
ولتاژ ۱۲۰، ۲۴۰ ولتی (۵۰ کیلوولت‌آمپر)، ۶۰ هرتز	ولتاژهای ۵۷۵، ۶۰۰، ۶۹۰ و ۴۱۶۰ ولت AC، ۶۰ هرتز	۱۳/۲ کیلوولت AC، ۶۰ هرتز ترانسفورماتور تغذیه در داخل کارگاه	تأسیسات
۰ تا ۲۱۶ dc ولت و ۲۵۰ کیلوولت‌آمپری (شبیه‌ساز شارژ باتری)			اتصال کارگاه تست به شبکه
تهویه طبیعی، کارگاه تست گرم‌شونده	تهویه هوای اجباری کارگاه تست گرم‌شونده با گاز	تهویه هوای اجباری کارگاه تست گرم‌شونده با گاز	خنک‌کننده و گرم‌کننده
اتاق کنترل شرایط آب و هوایی	اتاق کنترل شرایط آب و هوایی	اتاق کنترل شرایط آب و هوایی	
موتور القایی سرعت متغیر ۲۲۵ کیلوواتی	موتور القایی ۲/۵ مگاواتی، ۴۱۶۰ ولت ۴۱۵ آمپری	موتور القایی ۶ مگاواتی	دینامومتر
درایو سرعت متغیر و فیلتر هارمونیک	درایو فرکانس متغیر (VFD) با ظرفیت کامل، ۲ هرتز و پاسخ گشتاوری ۱: ۷۱/۹۳۷ با جعبه‌دنده ۳ مرحله‌ای	درایو فرکانس متغیر (VFD) با ظرفیت کامل، ۳۵۰ هرتز و پاسخ گشتاوری ۱: ۷۵ با جعبه‌دنده ۳ مرحله‌ای	محرک اولیه
دریافت توان نامی در سرعت ۱۸۰۰ rpm و حداکثر در ۳۶۰۰			

دینامومتر ۲۲۵ کیلوواتی rpm چندین جعبه دنده	دینامومتر ۲/۵ مگاواتی اپی سیکلیک	دینامومتر ۵ مگاواتی	
-	۰ تا ۱۶/۷ rpm: گشتاور محدود به ۱/۴ MN.m	۰ تا ۱۲ rpm: گشتاور محدود به ۴/۶ MN.m	توان و سرعت نامی برای تست
بتن‌های دارای میزهای فولادی جوش خورده و ثابت	۰ درجه شیب، با ظرفیت خمش تا ۶ درجه ۳/۶۶ متر ارتفاع حداکثر	۵ درجه شیب ثابت ۴ متر ارتفاع انتهای شفت	میز درایو
حالت‌های گشتاوری و سرعتی	حالت‌های کنترلی سرعت و گشتاور	همان دینامومتر ۲/۵ مگاواتی	سیستم کنترل
-	قابلیت تولید موج رمپ، سری زمانی دلخواه و فرمان خارجی نرخ آپدیت ۱۰۰ هرتز قابلیت برنامه نویسی	حداکثر ممان پره ۷/۲ MN.m حداکثر نیروی شعاعی ۳/۲ MN حداکثر نیروی ضربه ۴ MN	بارگذاری غیرگشتاوری
۹۶ کانال ۲۴ بیتی دریافت داده توزیع شده	ظرفیت شعاعی: ۴۴۰ kN نیرو و ۱۵۲ mm ضربه ظرفیت فشاری: ۱۵۶ kN نیرو و ۲۵۴ mm ضربه	۵۰۰ کانال ۲۴ بیتی دریافت داده توزیع شده	سیستم دریافت داده
سیستم‌های مجزا مانیتورینگ کیفیت توان	سیستم‌های مجزا مانیتورینگ کیفیت توان	همان دینامومتر ۲/۵ مگاواتی	

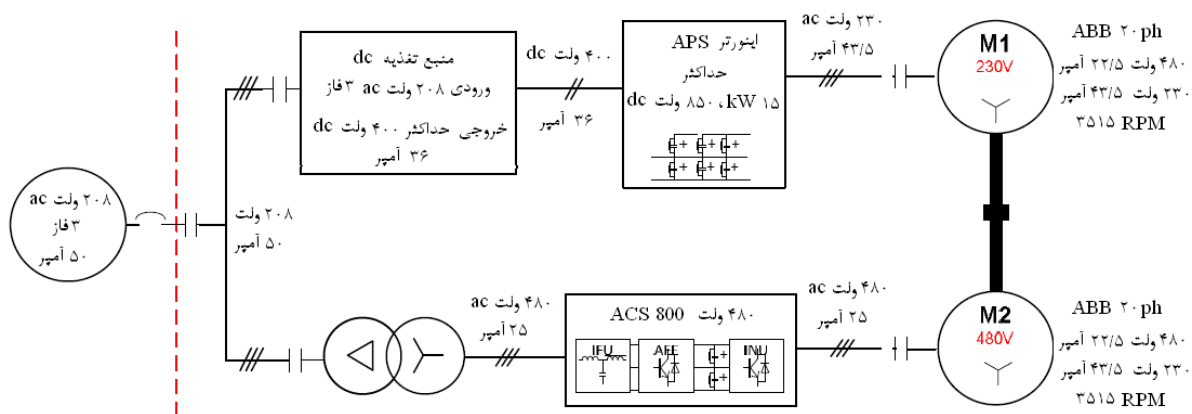
یا برای تست‌های عمر بسیار تسریع شده<sup>۱</sup> (HALT) در نظر گرفته شوند. با بارگذاری اضافی یک توربین در یک تست HALT، استهلاک مادام‌العمر توربین، در یک بازه زمانی منطقی تست، اعمال می‌شود. به منظور به دست آوردن درک بهتری از پاسخ مکانیکی، الکتریکی و سیستم کنترل در شرایط واقعی، روش‌های "مدل در حلقه"<sup>۲</sup> برای جایگذاری روتور، برج، پره و سیستم دوران قائم با شبیه‌سازی‌های کامپیوتری که در زمان واقعی اجرا می‌شوند، به کار گرفته می‌شوند [۲۲۹].

### تست دینامومتری ماشین‌های الکتریکی به منظور مطالعات تحقیقاتی در آزمایشگاه

1- Highly Accelerated Life Tests

2- Model in the loop

مزایای سیستم‌های دینامومتری، شبیه‌سازی رنج وسیعی از بارها که یک سیستم می‌تواند تجربه کند، تست دقت کنترل و همچنین کل واحد قبل از ارائه به مشتری است. به‌منظور تحقیق بر روی آخرین دستاوردها و روش‌های کنترل در صنایع دریای ماشین‌های الکتریکی، یک سیستم آزمایش دینامومتری در مرجع [۲۲۸]، برای تحقیق دانشجویان آزمایشگاه الکترونیک قدرت و درایوهای الکتریکی، طراحی و پیاده‌سازی شده است. ساختار این تست، در شکل پیوست ۱-۲ نشان داده شده است.



شکل پیوست ۱-۲: مدار تست دینامومتری ماشین الکتریکی

این سیستم آزمایشی به‌گونه‌ای طراحی شده است تا بتوان رنج وسیعی از انواع پیکربندی ماشین‌های الکتریکی و کاربردهایشان را تست کرد. در این تست موردی، از دو ماشین القایی ۲۰ اسب بخاری شرکت ABB استفاده شده است. دینامومتر با استفاده از درایو فرکانس‌متغیر ABB (۴ ربعی ظرفیت کامل) کنترل می‌شود. ماشین مورد تست نیز با استفاده از یک اینورتر مبتنی IGBT متعارف تغذیه می‌شود که با dSPACE کنترل می‌شود. یک اندازه‌گیر گشتاور دیجیتال فشرده شرکت Himmelstein نیز گشتاور و سرعت شفت را اندازه می‌گیرد.

### اجزای مولد اولیه

ساختار ارائه‌شده برای آزمایش، انرژی کمی از تغذیه اصلی جذب می‌کند. در بار کامل، جهت شارش انرژی، ساعت‌گرد است و فقط تلفات سیستم از شبکه جذب می‌گردد. این سیستم از یک منبع تغذیه می‌شود. در واقع منبع تغذیه، دو بار منبع DC و درایو فرکانس‌متغیر ABB را تغذیه می‌کند. منبع تغذیه DC نیز اینورتر APS که تغذیه‌کننده ماشین است، تغذیه می‌کند. به

علت اینکه درایو فرکانس متغیر در ولتاژ متفاوتی عمل می‌کند، نیاز به یک ترانسفورماتور دارد. این درایو فرکانس متغیر نیز موتور دینامومتر یا موتور جذب‌کننده را تغذیه خواهد کرد.

ماشین محرک اولیه، از طریق اینورتر و کنترل‌کننده dSPACE تغذیه می‌شود. درکلیدزنی اینورتر از روش‌های معمول ولت/هرتز، کنترل برداری و کنترل گشتاور مستقیم برای تأمین ولتاژ و جریان مناسب برای ماشین ۱ استفاده می‌شود.

منبع تغذیه dc ساخت شرکت Magna-Power Electronics است و در ساختارهای مختلف ورودی و خروجی وجود دارد. مدل مورد استفاده در این آزمایش، TSA400-36 است و ورودی سه فاز با ولتاژ ۲۴۰ ولت دارد. توان نامی خروجی آن ۱۵ کیلووات با ولتاژ dc خروجی حداکثر ۴۰۰ ولت و ۳۶ آمپر است. این منبع دارای سه حالت عملکردی است؛ عادی، ولتاژ ثابت یا جریان ثابت. در این تست، حالت ولتاژ ثابت با محدودیت جریان انتخاب شده است.

اینورتر مورد استفاده که ساخت شرکت Applied Power Systems است، می‌تواند در دو حالت dc/dc و dc/3ph\_ac مورد استفاده قرار گیرد. نوع اینورتر مورد استفاده، شماره IAP75T120 متشکل از ۶ بسته IGBT استاندارد است. این اینورتر می‌تواند تا ورودی ۸۵۰ ولت dc را بپذیرد و تا جریان فاز ۷۵ آمپر را بدهد. فرکانس کلیدزنی آن نیز ۲۰ کیلوهرتز است.

### اجزای دینامومتر

اجزای دینامومتر شامل ترانسفورماتور ایزوله‌کننده، درایو فرکانس متغیر و موتور القایی دوم است. این سیستم به منظور فراهم کردن گشتاور بار در شفت دینامومتر به کار گرفته شده است. درایو VFD به کار گرفته شده، یک درایو هارمونیک پایین است که مقدار هارمونیک تزریقی از شبکه یا منبع را به حداقل می‌رساند. سمت تغذیه این VFD به لینک dc، متشکل از IGBT و از نوع مبدل AFE<sup>۱</sup> است که درایو را بدون نیاز به تجهیزات گران‌قیمت، قادر به کاهش هارمونیک‌های سمت شبکه می‌کند. درایو فرکانس متغیر ABB همچنین دارای حالت‌های کنترل مستقیم گشتاور، کنترل حلقه‌باز دینامیکی سرعت با درایو ac تطبیق دقت با استفاده از کنترل برداری حلقه‌بسته شار، تخمین پارامتر برای راه‌اندازی آسان با ورود اطلاعات توسط کاربر و برنامه‌ریزی تطبیقی است.

### اجزای سیستم کوپلاژ دو ماشین الکتریکی

سیستم کوپلاژ موتور از یک سنسور گشتاور و دو واحد کوپلاژ انعطاف پذیر تشکیل شده است. این سیستم از نظر مکانیکی معلق است تا در چرخش شفت، تأخیری ایجاد نکند. تنها وسیله‌ای که به سنسور وصل است، یک کابل مکانیکی است که به‌عنوان زمین مکانیکی، مانع از چرخیدن آن می‌شود.

کنترل VFD از طریق نرم‌افزار LabVIEW با کامپیوتر تست صورت می‌گیرد. بدین ترتیب با ارسال فرمان متناسب می‌توان گشتاور و سرعت مرجع را در موتور دینامومتر اعمال کرد.

این سیستم می‌تواند به‌عنوان یک طرح آموزشی مورد استفاده قرار گیرد. در واقع رفتار آن را می‌توان مشاهده و تحلیل کرد و در مطالعاتی مانند بازده اجزاء، پاسخ سیستم، تخمین پارامتر ماشین مورد استفاده قرار داد [۲۲۸].

## اضافات

### Statcom های شرکت ABB سری PCS100

طبق ساختار مبدل‌های ولتاژ پایین، PCS100 [۱۸۶] دارای پهنای باند وسیع به همراه ساختار انعطاف‌پذیر و افزودنی ماژولار با قابلیت اطمینان بالا می‌باشد. از ویژگی‌های این محصول تصحیح ضریب توان و سایر اغتشاشات ناشی از تولیدات تجدیدپذیر در کاربردهایی نظیر بهره‌برداری از انرژی باد، خورشید و کاربردهای صنعتی متداول است. این محصول در ظرفیت‌های ۱۰۰ کیلووات تا ۱۰ مگاوات موجود است. استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند باد و خورشید در شبکه‌های برق به سرعت در حال افزایش هستند، اما Statcom مورد نیاز جهت اتصال به شبکه باید متناسب با نیازمندی‌های آن‌ها باشد.

ویژگی‌های Statcom سری PCS100 در ادامه ذکر شده‌اند:

سطح توان بار: ۱۰۰ کیلو تا ۱۰ مگا ولت‌آمپر

ولتاژ ورودی الکترونیک قدرت: ۲۰۸ تا ۴۸۰ ولت AC

موقعیت بازار: اولین سفارش از شرکت Suzlon Wind Energy در دسامبر ۲۰۰۹

مشخصات فیزیکی این محصول در Error! Reference source not found. آورده شده است.

مشخصات فیزیکی D-Statcom های شرکت ABB سری PCS100

ابعاد ارتفاع * عرض * طول (mm)	وزن (Kg)	توان نامی KVA @480V	جریان نامی راکتیو (A)	اتلاف حرارتی (Kw)	شار هوا (m3/min)	تعداد ماژول‌های	کد مدل
2200x1041x703	557	478	600	11.5	40	4	18-04A-B1x-z*
2200x1041x703	628	598	750	14.4	50	5	18-05A-B1x-z*
2200x1041x703	700	717	900	17.3	60	6	18-06A-B1x-z*
2200x1041x703	771	837	1050	20.1	70	7	18-07A-B1x-z*
2200x1041x703	842	956	1200	23.0	80	8	18-08A-B1x-z*
2200x1041x703	1015	1076	1350	25.9	90	9	18-09A-B2x-z*
2200x1041x703	1081	1195	1500	28.8	100	10	18-10A-B2x-z*
2200x1041x703	1152	1315	1650	31.6	110	11	18-11A-B2x-z*
2200x1041x703	1224	1434	1800	34.5	120	12	18-12A-B2x-z*
2200x1041x703	1295	1554	1950	37.4	130	13	18-13A-B2x-z*
2200x1041x703	1366	1673	2100	40.3	140	14	18-14A-B2x-z*
2200x1041x703	1437	1793	2250	43.1	150	15	18-15A-B2x-z*
2200x1041x703	1508	1912	2400	46.0	160	16	18-16A-B2x-z*

ابعاد ارتفاع عرض * طول (mm)	وزن (Kg)	توان نامی KVA @480V	جریان نامی راکتیو (A)	اتلاف حرارتی (Kw)	شمار هوا (m <sup>3</sup> /min)	تعداد ماژول های	کد مدل
2200x(1041+2041)x703	1852	2032	2550	48.9	170	17	18-17A-B3x-z*
2200x(1041+2041)x703	1923	2151	2700	51.8	180	18	18-18A-B3x-z*
2200x(1041+2041)x703	1994	2271	2850	54.6	190	19	18-19A-B3x-z*
2200x(1041+2041)x703	2065	2390	3000	57.5	200	20	18-20A-B3x-z*
2200x(1041+2041)x703	2136	2510	3150	60.4	210	21	18-21A-B3x-z*
2200x(1041+2041)x703	2208	2629	3300	63.3	220	22	18-22A-B3x-z*
2200x(1041+2041)x703	2279	2749	3450	66.1	230	23	18-23A-B3x-z*
2200x(1041+2041)x703	2350	2868	3600	69.0	240	24	18-24A-B3x-z*
2200x(2041+2041)x703	2523	2988	3750	71.9	250	25	18-25A-B4x-z*
2200x(2041+2041)x703	2589	3107	3900	74.8	260	26	18-26A-B4x-z*
2200x(2041+2041)x703	2660	3227	4050	77.6	270	27	18-27A-B4x-z*
2200x(2041+2041)x703	2732	3346	4200	80.5	280	28	18-28A-B4x-z*
2200x(2041+2041)x703	2803	3466	4350	83.4	290	29	18-29A-B4x-z*
2200x(2041+2041)x703	2874	3585	4500	86.3	300	30	18-30A-B4x-z*
2200x(2041+2041)x703	2945	3705	4650	89.1	310	31	18-31A-B4x-z*
2200x(2041+2041)x703	3016	3824	4800	92.0	320	32	18-32A-B4x-z*

مشخصات فنی:

- توان نامی: ۱۰۰ تا ۴۸۰۰ کیلووار (توان های بالاتر با موازی کردن دستگاه ها به دست می آید)

- ولتاژ نامی: ۴۸۰ ولت

- تلورانس ولتاژ: ±۱۰٪

- فرکانس نامی: ۵۰ یا ۶۰ هرتز

- تلورانس فرکانس: ±۱۰٪

- سیستم قدرت: ۳ فاز با سر وسط زمین شده

- ظرفیت خطا: ۶۵ کیلو آمپر

- قابلیت اضافه ولتاژ: ۲۰۰٪ اضافه بار برای ۲ ثانیه. ۱۵۰٪ اضافه بار برای ۳۰ ثانیه

- بازده: بیش از ۹۸ درصد

- کیفیت: ISO 9001



- ایمنی: IEC 62103
- انطباق الکترومغناطیسی: CISPR 11 Class A, Group 1
- مصونیت: IEC 61000-6-2
- عملکرد: IEEE 519, IEEE 1031-2000
- دمای عملکرد: صفر تا ۵۰ درجه سانتیگراد
- دمای کاهش بار: بالای ۴۰ درجه سانتیگراد، ۲٪ افت بار به ازای هر درجه افزایش دما، حداکثر تا ۵۰ درجه سانتیگراد.
- خنک‌سازی اینورتر: تهویه تحت فشار
- رطوبت: کمتر از ۹۵٪ بدون شبنم‌زدگی
- میزان درجه آلودگی: ۲
- نویز: کمتر از 85dBA در فاصله ۲ متری.
- رتبه‌بندی قفسه: IP20/NEMA 1
- رتبه‌بندی IP تابلوی HMI (GDM): IP54 (از جلو)
- میانگین زمان تعمیرات (MTTR): به‌طور معمول ۳۰ دقیقه برای تعویض ماژول.
- تشخیص اشکال: ذخیره‌سازی و حفظ خودکار وقایع و سرویس‌ها با قطع منبع تغذیه (Non-Volatile)
- مانیتورینگ از راه دور: اتصال ایمن اختیاری به ABB
- رابط کاربر: پنل رنگی لمسی ۸/۴ اینچی
- پنل لمسی: کنترل کامل پارامترها
- ورودی‌های کنترل:
- ورودی‌های دیجیتال:
- ورودی‌های ۱۰ رقمی
- استارت/استوپ/ریست (ماژول‌های پایه) و ۷ ورودی قابل برنامه‌ریزی (برد I/O توسعه‌یافته)
- ۲۴ ولت با منبع داخلی یا خارجی

- امپدانس ورودی ۲۵ کیلو اهم PNP و NPN با حداکثر تأخیر ۱۰ میلی ثانیه

ورودی‌های آنالوگ:

- ۲ ورودی آنالوگ (برد I/O توسعه یافته)

- ۱۰- تا ۱۰+ ولت،

$R_{in} > 200 \text{ K}\Omega$  -

- صفر تا ۲۰ میلی ثانیه

$R_{in} = 100 \Omega$  -

- حداکثر تأخیر ۲ میلی ثانیه

- ۱/۰٪ دقت اندازه‌گیری (resolution)

- ۲٪ ± دقت

ورودی PTC:

- ۲ ورودی PTC

خروجی‌های کنترل:

خروجی‌های دیجیتال:

- ۷ رله خروجی

- ۲۵۰ ولت، تک فاز AC، ۳۰ ولت DC (1A)

- رله‌های خطا، هشدار، عملکرد (ماژول پایه)

- ۴ خروجی قابل برنامه‌ریزی (برد I/O توسعه یافته)

خروجی آنالوگ:

- ۲ خروجی آنالوگ (برد I/O توسعه یافته)

- ۱۰- تا ۱۰+ ولت.

- صفر تا ۲۰ میلی آمپر، بار  $> 500 \Omega$

- حداکثر تأخیر ۵۰ میلی ثانیه

-  $\pm 2\%$  دقت

رابط SCADA: Ethernet, Modbus TCP/IP

Modbus RTU: RS485

Statcom شرکت CG Power

شرکت CG نشأت گرفته از شرکت Colonel REB Crompton که در سال ۱۸۷۸ در اسکس انگلستان تحت نام

REB Crompton & Co تأسیس شد تا در زمینه ساخت و قرارداد تجهیزات الکتریکی فعالیت کند. شرکت CG پس از

استقلال هند در سال ۱۹۴۷ به صورت مستقل فعالیت می کند. [۱۸۷]



Statcom شرکت CG Power

مشخصات محصول:

- سیستم ۳ فاز، ۵۰ هرتز، ۴۱۵ ولت، نصب در فضای داخلی

- جبران سازی توان راکتیو از ۱۰۰ تا ۵۰۰ کیلووار

- سیستم بدون پله

- پاسخ سریع (کمتر از ۶ میلی ثانیه)

- حذف ۱۰۰ درصدی اغتشاشات هارمونیک

- مطابق با استاندارد IEEE 519
- استاندارد ارتباطی RS 232 و RS 485
- کاهش رزونانس سیستم
- حفاظت OV و OC
- قابلیت توسعه ماژولار
- طیف هارمونیک از ۲ تا ۱۹
- حالات عملکرد:
- جبران ساز توان راکتیو (RPC)
- فیلتر اکتیو هارمونیک (AHF)
- جبران ساز وار استاتیک اکتیو (RPC+AHF)
- تست‌های زیر بر اساس نیاز کاربرد انجام می‌شوند:
- استمرار عملکرد مدار
- دقت عملکرد
- حفاظت اضافه ولتاژ و اضافه جریان
- بدون سیگنال (No Signal)
- استقامت مدار

معرفی شرکت‌های تولیدکننده و محصولات آن‌ها

شرکت ABB

بانک خازنی ولتاژ پایین Dynacomp

این محصول برای جبران‌سازی بسیار سریع و بدون حالت گذرای ناشی از تغییرات سریع بار و یا تعداد زیاد بارهای متصل به باس فشار ضعیف مورد استفاده قرار می‌گیرد. از مزایای این محصول می‌توان به جبران‌سازی بدون حالت گذرا و حداقل سازی شیب ولتاژ اشاره نمود. مقادیر بزرگی از خازن‌ها به صورت پله‌ای توسط Dynacomp، می‌توانند بسیار سریع به شبکه متصل شوند. با استفاده از ترانسفورماتور افزایشنده، این محصول می‌تواند به صورت جبران‌ساز خازنی در ولتاژ متوسط نیز مورد استفاده قرار گیرد [۱۹۳].

کاربردها:

این TSC در هر جایی که نیاز به زمان پاسخ کوتاه، تعداد عملکردهای بسیار زیاد، کلیدزنی بدون حالت گذرا یا مقدار زیادی توان راکتیو، باشد، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد؛ مانند:

ماشین‌های جوشکاری نقطه‌ای

کارخانه‌های نورد و پرس کننده‌های بزرگ با کلیدزنی سریع

جرتقیل‌ها

بالابرها

مخلوط کننده‌های لاستیک

ماشین‌های حفاری تونل

سایر مزایای محصول:

جبران‌ساز ضریب توان با سرعت بسیار بالا

مجهز به راکتورهای منحرف‌کننده<sup>۱</sup> به منظور حفاظت بهینه در برابر هارمونیک‌ها با حفظ حالت فیلتر کنندگی.

ماژول‌های تک فاز و سه فاز.

## کلیدزنی بدون حالت گذرا

قابلیت دفعات زیاد کلیدزنی با استفاده از سوئیچ‌های الکترونیک قدرت

طراحی ماژولار و فشرده‌ی استاندارد.

سادگی نصب و توسعه

برقراری ارتباط پیشرفته با Modbus

مشخصات این محصول در جدول ۹-۱ آورده شده است.

مشخصات TSC مدل Dynacomp از شرکت ABB

سه فاز ۵۰ هرتز: ۴۰۰/۳۸۰-۴۱۵-۵۲۵-۶۰۰-۶۹۰/۶۶۰ ولت سه فاز ۶۰ هرتز: ۳۸۰-۴۸۰-۶۰۰-۶۹۰/۶۶۰ ولت تک فاز ۵۰ هرتز: ۴۰۰/۳۸۰-۴۱۵-۶۰۰-۶۹۰/۶۶۰ ولت تک فاز ۶۰ هرتز: ۳۸۰-۴۸۰-۶۰۰-۶۹۰/۶۶۰ ولت	سطوح ولتاژ
از ۱۵۰ تا ۴۰۰ کیلووار در یک تابلو. تابلوهای اصلی (Master) و پیرو (Slave) را می‌توان تا توان ۱۲٫۸ مگاوار باهم ترکیب کرد.	سطوح توان و طراحی ماژولار
۵۰-۱۰۰-۲۰۰ و ۴۰۰ کیلووار	اندازه پله‌ها
۳۲ (کنترل CAN) - ۱۲ (ایزولاسیون نوری)	حداکثر تعداد پله‌ها
۱ تا ۴ در هر تابلو	خروجی فیزیکی
تکنولوژی <sup>۱</sup> CLMD. از نوع خشک و خود ترمیمی. مدل: IEC-80631-1&2	خازن
۷٪ برای سیستم سه فاز ۱۴٪ برای سیستم تک فاز	راکتور منحرف‌کننده
±۱۰٪ در ولتاژ ±۵٪ در فرکانس	محدوده قابل قبول
یک CT موردنیاز است (از کلاس ۱ یا بهتر) با جریان ۱ یا ۵ آمپر در ثانویه	CT موردنیاز
استفاده از Modbus RTU	ارتباطات
استفاده از کنترل‌کننده RVT-D	برنامه‌ریزی
در حالت حلقه بسته: کمتر از ۳ سیکل. در حالت حلقه باز: کمتر از یک سیکل. در حالت راه‌انداز خارجی: بلافاصله.	زمان پاسخ
RAL 7035	رنگ
IP21	سطح حفاظت

۱ از سری خازنهای ولتاژ پایین ساخت شرکت ABB با ویژگیهای تلفات بسیار کم، طول عمر بالا، وزن کم، نصب آسان و ... است.

ورودی کابل	از بالا (ورودی کابل از کف، اختیاری)
دمای محیط	۱۰- تا ۴۰ درجه سانتی گراد
نصب	ایستاده در کف
محیط	نصب در فضای داخلی با محیط تمیز تا ارتفاع ۱۰۰۰ متر
رطوبت	حداکثر ۹۵ درصد بدون شبنمزدگی
ویژگی‌های ممکن	<ul style="list-style-type: none"> <li>- قالب پایه</li> <li>- مدار شکن اصلی</li> <li>- پروب های دما</li> <li>- حفاظت IP43</li> <li>- مبدل RS485</li> <li>- راکتور پشتیبان<sup>۱</sup></li> <li>- راکتور منحرّف کننده<sup>۲</sup></li> <li>- نصب راکتور مخصوص</li> <li>- باس بارهای قلع اندود شده</li> <li>- میراسازها</li> <li>- ورودی کابل تابلو با باس بار (ورودی کابل از کف)</li> </ul>

شرکت ALSTOM

تجهیز TSC مدل DT [۱۹۴]

کاربرد: استفاده جهت اصلاح ضریب توان در مواردی که بارها به شدت تغییر می‌کنند، مانند جرثقیل‌های بارانداز و بالا برها.

مزایای محصول:

ابعاد کوچک

زمان پاسخ سریع

قابلیت توسعه پذیری

کاهش حالت گذرای کلیدزنی

پشتیبانی از ولتاژ تغذیه شبکه توزیع و اصلاح ضریب توان بارهای متصل

بدون حالت گذرا در هنگام کلیدزنی

سیگنال کنترل می‌تواند مستقیماً از بار دریافت شده تا جبران سازی شود.

مشخصات این محصول در جدول ۹-۲ آورده شده است.

مشخصات TSC شرکت ALSTOM مدل DT

مشخصات تکنیکی محصول	
۴۰۰ تا ۶۹۰ ولت	سطح ولتاژ
۵۰ یا ۶۰ هرتز	سطح فرکانس
۴۵۰ تا ۵۰ کیلووار	سطح توان

۱) زمانیکه هارمونیک ولتاژ از ۸٪ بیشتر یا طیف هارمونیک با مشخصات تکنیکی همخوانی نداشته باشد از این راکتور برای کاهش هارمونیک استفاده می‌شود.

۲) این راکتور جهت جلوگیری از وقوع رزونانس ناشی از اضافه کردن "راکتور پشتیبان" به سیستم اضافه می‌شود.

مشخصات تکنیکی محصول	
تعداد پله‌ها	۲ تا ۱۲
تنظیم فرکانس	۷٪ یا ۱۲٫۶٪
سطح عایقی	۲٫۵ کیلوولت
اضافه ولتاژ پیوسته	۱٫۱ پریونیت
ابعاد هارمونیک	بر اساس IEC 1000-2-2
نصب	فضای داخلی
محدوده کلاس IP	IP20C
کلاس دمایی:	۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد
متوسط ۲۴ ساعته:	۳۵ درجه سانتی‌گراد
متوسط یکساله:	۲۵ درجه سانتی‌گراد
ابعاد (عرض*طول*ارتفاع)	۱۰۰۰*۶۰۰*۲۰۰ میلی‌متر ۱۲۰۰*۶۰۰*۲۰۰ میلی‌متر
وزن	۲۵۰ تا ۷۰۰ کیلوگرم
رنگ	RAL7032 (خاکستری روشن)
استانداردها	IEC 60831-1&2, EN 60439-1

### شرکت Jiangu West Rectifier Co. Ltd.

تجهیز TSC ساخت این شرکت شامل سیستم کنترل، تریستور، خازن‌ها و راکتورها می‌باشد. جهت تحقق کنترل پله‌ای توان راکتیو، بانک‌های خازنی به چندین واحد تقسیم شده‌اند. دقت تنظیم توان راکتیو در این محصول به تعداد واحدهای چندگانه خازن‌ها بستگی دارد. نحوه اتصال TSC به صورت مثلث بوده اما برای جبران‌سازی بهینه توان راکتیو و فیلتر هارمونیک‌ها، ظرفیت و ساختار شاخه‌های TSC باید براساس تغییرات توان راکتیو و مؤلفه‌های هارمونیک بار غیرخطی تعیین شوند [۱۹۵] و [۱۹۶].

ویژگی‌های محصول:

بر پایه تکنولوژی کنترل DSP و تئوری کنترل توان لحظه‌ای، این محصول به دلیل کلیدزنی با سرعت بالا می‌تواند اغتشاشات منابع ولتاژ شبکه توزیع را جبران کرده و ضریب توان را اصلاح و هارمونیک‌های جریان بارهای متصل به شبکه را حذف کند.



کلیدهای تریستوری با قابلیت کلیدزنی در عبور از صفر<sup>۱</sup>، دارای عملکرد بدون نویز بوده و عملاً قادر به کلیدزنی بدون حالت گذرا هستند. بنابراین بسیار مطمئن تر از بانک‌های خازنی سوئیچ شونده مکانیکی عمل می‌کنند.



### نمونه TSC شرکت Jiangu West Rectifier

شکل ۹-۳ این محصول را نشان می‌دهد که برخی از مشخصات آن عبارت است از:

مناسب برای نیازمندی‌های شبکه قدرت ۴۰۰ تا ۷۰۰ ولت.

نحوه اتصال خازن‌ها: ستاره یا مثلث.

تغییرات ولتاژ کمتر از ۱۰٪.

قیمت از تاریخ ۳ ژوئن ۲۰۱۳ تا ۳ سپتامبر ۲۰۱۳: ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ دلار آمریکا به ازای هر ست.

کاربردها:

پایدارساز ولتاژ باس بار.

بهبود ضریب توان

حذف هارمونیک‌های جریان

کاهش تلفات شبکه

حذف تشدید هارمونیک

بهینه‌سازی توان راکتیو

افزایش ظرفیت بارگذاری ترانسفورماتور

شرکت Zhuhai Wanlida Electrical Automation Co. Ltd.

این شرکت چینی در سال ۱۹۹۱ تأسیس شده و حجم معاملات این شرکت در سال بیش از ۱۰۰ میلیون دلار آمریکا می‌باشد. در بخش مطالعات و توسعه این شرکت حدوداً ۵۰ نفر مشغول به کار بوده و سالانه ۵۰ تا ۱۰۰ میلیون دلار از فروش محصولات عاید این شرکت می‌شود [۱۹۷].

از تولیدات اصلی این شرکت می‌توان به درایو فرکانس متغیر در سطح ولتاژ متوسط، راه‌انداز نرم در ولتاژ متوسط، درایو AC و جبران‌سازهای استاتیک اشاره نمود.



نمونه تولیدات شرکت Zhuhai Wanlida Electrical Automation

شکل ۹-۴ محصول این شرکت را نشان می‌دهد. این TSC برای جبران‌سازی توان راکتیو، به صورت گسترده در صنعت متالورژی، معدن، صنعت پتروشیمی، ساخت‌وساز، ماشین‌کاری و موتورهای بکار می‌رود و ساختار آن بصورت زیر است.

۱. کنترل‌کننده

پردازش سیگنال کنترل دیجیتال و محاسبات کنترلی بلادرنگ (Real-Time) توسط DSP انجام می‌شود. زمان پاسخ دینامیک، کمتر از ۱۰ میلی‌ثانیه است.

جهت تشخیص کنترل سه فاز، تک فاز، توان راکتیو، ولتاژ و هارمونیک، روش کنترل چندگانه اعمال شده است.

جهت ارتباط با سیستم اتوماسیون پست‌ها از کانال‌های ارتباطی استاندارد استفاده می‌شود تا انتقال سریع داده، کنترل سریع (ورودی و خروجی) و ارتباطات از راه دور حاصل شود.

پاس کردن تست EMC با استفاده از قابلیت ضد تداخل.

دارای مصونیت<sup>۱</sup> ESD، موج، میدان مغناطیسی فرکانس قدرت، میدان الکترومغناطیسی فرکانس رادیویی، ضربه نوسان میرا شده و غیره.

عملکرد اندازه‌گیری دقیق توان راکتیو و هارمونیک.

تکنولوژی نمونه‌برداری AC<sup>۲</sup>، آنالیز چهار ربعی<sup>۳</sup>، سطح تداخل هارمونیک، نمودار میله‌ای هارمونیک‌ها.

عملکرد جمع‌آوری و ذخیره قدرتمند داده.

ثبت خطاها، جمع‌آوری و چک کردن تمام انواع پارامترهای الکتریکی و جداول.

عملکرد حفاظتی چندگانه: اضافه ولتاژ، افت ولتاژ، اضافه جریان، افت جریان، مقدار ورودی کلیدزنی و غیره.

هسته چندمنظوره سیستم‌عامل می‌تواند حداکثر ۱۶ پله بانک خازنی و تشخیص مقادیر کلیدزنی ۱۶ کاناله را کنترل کند.

۲. خازن

استفاده از خازن موازی ولتاژ پایین با قابلیت خود ترمیمی، مقاومت تخلیه و ابزار حفاظت داخلی.

تحمل ۱/۳۵ برابر اضافه جریان به صورت پیوسته.

تحمل ولتاژ بین قطب‌ها: ۲/۱۵ پرینیت در حالت AC و ۴/۳ پرینیت در حالت DC برای ۱۰ ثانیه.

تلورانس هر خازن کمتر از  $\pm 2/5\%$  و تلورانس کل بانک خازنی نیز کمتر از  $\pm 1/5\%$  است.

تلورانس سه فاز خازن‌ها: حداکثر یا حداقل آن کمتر از ۱/۰۱ است.

مکانیسم داخلی حفاظت در برابر فشار. زمانی که فشار خطای داخلی افزایش یابد، خازن به صورت خودکار از مدار خارج می‌شود.

مطابقت با استاندارد IEC831-1 و GB12747-91 مربوط به خازن موازی ولتاژ پایین با قابلیت خودترمیمی.

1 Electrostatic Discharge

۲ روشی برای نمونه برداری غیر یکنواخت از سیگنال AC است که در سیستم‌های قدرت برای اندازه‌گیری مستقیم جریان، ولتاژ و توان سه فاز و یا سایر متغیرهای سیستم بکار می‌رود.

۳ یک روش خاص تحلیل مجموعه‌ای از داده‌ها در یک ماتریس ۲x۲ (جدول چهاربخشی) است.

## ۳. راکتور

استفاده از راکتور با هسته آهن از نوع خشک و ورق فولاد سیلیکون نورد سرد با تلفات کم، استفاده از سیم لاکه با مقطع مستطیلی از کلاس C یا H با ظاهر و مشخصه دفع حرارتی مناسب، پس از اسمبل کردن هسته راکتور و هسته آهن، به ترتیب از آزمایش‌های پیش‌گرمایش، خلأ، پخت گرمایی گذرانده شده که سبب صلب و مقاوم شدن آن در برابر حرارت و نویز می‌شود. نگهدارنده‌های هسته آهنی از مواد غیر مغناطیسی تشکیل شده است تا ضریب کیفیت بالا، افزایش اندک دما و اثر فیلتری بهتری داشته باشد.

قسمت‌های خروجی از مواد ضد خوردگی و ترمینال‌های خروجی از لوله‌های مسی پرس سرد ساخته شده‌اند. تحمل ۱,۳۵ برابر اضافه جریان به‌طور پیوسته و ۲۰ برابر جریان نامی به مدت ۲ ثانیه.

تلورانس اندوکتانس: تلورانس تک فاز کمتر از  $\pm 1\%$  و تفاوت هر فاز نسبت به میانگین بیشتر از  $\pm 1\%$  نیست

مطابق با استاندارد ملی (چین) سری JB5346-1998

## ۴. کلیدهای تریستوری

طراحی ماژولار: شامل ماژول تریستوری تنظیم شونده با حالت عبور از صفر، مدار اسنابر RC، فیوز، خنک‌کننده، فن، کلید حرارتی.

استفاده از ماژول تریستوری تنظیم شونده با حالت عبور از صفر.

بدون حالت گذرا و نویز هنگام کلیدزنی.

سیگنال‌های ورودی توسط ایزولاسیون نوری با سیگنال‌های کنترلی کوپل شده‌اند.

سیستم دمای تریستورها را به‌صورت بلادرنگ اندازه‌گیری می‌کند.

حفاظت تلفات فاز و خطای فاز.

زمان پاسخ سریع.

طول عمر طولانی بدون نیاز به تعمیر و نگهداری.

سایر المان‌ها

کلید ایزولاسیون، برقگیر صاعقه، فیوز و ترانسفورماتور جریان از بهترین تولیدکنندگان داخلی (چین) و خارجی برای تضمین کیفیت TSC/TFC است.

عملکردها:

بهبود ضریب توان

پایداری ولتاژ باس بار و حذف تشدیدهای زیر سنکرون

حذف هارمونیک جریان

کاهش تلفات شبکه

بهبودسازی توان راکتیو

افزایش ظرفیت بارگذاری ترانسفورماتور

مشخصات محصول در جدول ۹-۳ آورده شده است.

مشخصات TSC شرکت Wanlida

اطلاعات تکنیکی	
سطح ولتاژ	۲۲۰ تا ۱۱۴۰ ولت AC
ولتاژ کاری	۰.۸ تا ۱.۱ پریونیت
فرکانس نامی	۵۰ یا ۶۰ هرتز (اختیاری)
نوع سیم‌پیچی	مثلث یا ستاره (اختیاری)
حالت کلیدزنی	سیکل/توالی / ترکیب کد شده (اختیاری)
زمان پاسخ	کمتر از ۲۰ میلی ثانیه
حداکثر جریان مجاز	۱.۳ برابر جریان نامی
پله‌های کنترلی	۱ تا ۱۲، یا ۱ تا ۱۶ (اختیاری)
حالت عملکرد چند واحد	موازی
تلفات توان	کمتر از ۰.۵٪
حالت‌های ارتباطی	232/CAN/GPRS /Modbus/RS485 و غیره (اختیاری)
IP	IP40 (سفارشی)
حالت خنک‌کنندگی	با هوا
ورودی	بالا، پایین یا باس بار (اختیاری)
ارتفاع محل نصب	کمتر از ۱۵۰۰ متر
دمای محیط	۲۰- تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد
رطوبت	کمتر از ۹۵٪

اطلاعات تکنیکی	
محیط کارکرد	بدون شبنمزدگی، بدون گازهای سمی، بدون گردو خاک فلزی و بدون مواد قابل انفجار با اشتعال.
نیازمندی‌های نصب	بدون لرزش، شیب کمتر از ۵ درجه
مشخصات کلیدزنی	کلیدزنی عبور از صفر جریان
نمایش هارمونیک	اندازه‌گیری و نمایش هارمونیک‌های دوم تا ۲۵ام.
حفاظت توالی فاز	خطای فاز و تلفات فاز
حفاظت تریستور	حفاظت افزایش دما و خود بازیابی
نمایشگر LCD	نمایش بلادرنگ ولتاژ و جریان
حفاظت فوریتی	کلید قطع فوری
حالت جبران‌سازی	جبران‌سازی سه فاز، جبران‌سازی خروج فاز
حالت حفاظتی	اضافه جریان، اضافه ولتاژ، اتصال کوتاه، شکست سریع

### شرکت Frako: TSC مدل LSFC-P-E

شرکت آلمانی Frako، یکی از شرکت‌های پیشرو در زمینه تولید جبران‌سازهای توان راکتیو، بهبوددهنده کیفیت توان و مدیریت انرژی می‌باشد که در سال ۱۹۲۸ تأسیس شده است. یکی از محصولات این شرکت جبران‌ساز توان راکتیو مدل LSFC-P-E است [۱۹۰].

این محصول اصلاح‌کننده ضریب توان دینامیک با کلیدزنی بخش‌های خازنی در ولتاژ و جریان صفر عمل می‌کند. این قابلیت سبب حذف اغتشاشات در شبکه می‌شود. سیستم‌های سری LSFC-E در شبکه توزیع، دارای رله کنترل 2012 RM با عملکرد سریع و/یا واحد اصلاح‌کننده ضریب توان دینامیک مدل SBS بوده و در شرایط زیر کاربرد دارند:

در شبکه‌ای که ظرفیت اتصال کوتاه در محل اختلالات در هنگام اتصال مصرف‌کننده‌های بزرگ به شبکه اندک باشد جایی که سیستم اصلاح‌کننده ضریب توان با عملکرد سریع و سیکل‌های کلیدزنی زیاد موردنیاز باشد.

جایی که اصلاح ضریب توان تنها برای چند سیکل از فرکانس منبع در یک‌زمان نیاز باشد.

این محصول به‌طور کلی در موارد زیر کاربرد دارد:

دستگاه‌های پرس

سیستم‌های جرثقیل

سیستم‌های مخلوط‌کن (همزن)

سیستم‌های خردکن

## دستگاه‌های جوشکاری

مشخصات تکنیکی این محصول در جدول ۹-۴ آورده شده است.

مشخصات تکنیکی محصول LSFC-P-E از شرکت Frako

مشخصه	مقادیر
ولتاژ نامی	۴۰۰ ولت
فرکانس نامی	۵۰ هرتز
ولتاژ نامی خازن	۴۴۰ ولت-۵۰ هرتز (*)(P7, -P8), ۴۸۰ ولت/۵۰ هرتز (P1)
سطح توان	۱۰۰ تا ۳۰۰ کیلووات
ظرفیت جریان خازن‌ها	به صورت دائمی: حداقل دو برابر جریان نامی در ۴۰۰ ولت-۵۰ هرتز به صورت پیک لحظه‌ای: ۳۰۰ برابر جریان نامی
تلفات نامی خازن‌ها	هسته خازن: ۰,۲ وات بر کیلووات ترمینال اتصال خازن: ۰,۵ وات بر کیلووات راکتورهای فیلتر هارمونیک: حداکثر ۶ وات بر کیلووات کلیدهای تریستوری: ۱,۶ وات بر کیلووات
دشارژ	با مقاومت‌های تخلیه مدل VDE 0560
حفاظت ورودی	IP 30 بر اساس DIN VDE 0660
دمای محیط	۵- تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد برای DIN VDE 0660
رطوبت نسبی	حداکثر ۹۰٪ بدون شبنم‌زدگی
رنگ	RL 7035

(\*): ضرایب Detuning موجود: P1 (۱۴٪)، P7 (۷٪)، P8 (۸٪)

شرکت Claritas Power System Solution (p) Ltd.

این شرکت هندی زیر نظر شرکت Frako آلمان فعالیت می‌کند. این شرکت حدود یک ده پیش تأسیس شده و هم‌اکنون به

بسیاری از کشورهای جنوب شرقی آسیا، خاورمیانه، آفریقا و حتی ایران صادرات انجام می‌دهد. [۷۰]

یکی از محصولات این شرکت بانک خازنی سوئیچ شونده با تریستور با مشخصات زیر است:

ولتاژ نامی: ۴۴۰ تا ۵۲۵ ولت، یا ۸۵۰ ولت.

تنظیم فیلتر بر اساس حذف هارمونیک‌های ۵ام، ۷ام، ۱۱ام و ۱۳ام.

KVAR نامی: ۵۰ تا ۲۵۰۰ KVAR

نوع عملکرد: خودکار

از مزایای این محصول می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

کلیدزنی خازن، دقیقاً در جریان صفر که منجر به عدم حضور حالت گذرا می‌شود.

عدم تولید هارمونیک و ضربه‌های ولتاژ و جریان.

تصحیح ضریب توان به صورت لحظه‌ای.

زمان پاسخ کمتر از ۲۰ میلی‌ثانیه

و ...

شرکت S&C: مدل PureWave AVC

جبران‌ساز جریان راکتیو و تصحیح‌کننده کیفیت توان برای بارهای دینامیکی متغیر با ظرفیت ۳۸۰ تا ۳۵ کیلوولت، ۵۰۰ کیلو تا

۲۵ مگاوار. [۱۹۸]

PureWave AVC که با میکروپروسور کنترل می‌شود از کلیدهای الکترونیک قدرت بهره می‌برد تا تعداد مناسبی از

خازن‌های قدرت را به مدار تزریق کند. این محصول برای جبران‌سازی توان راکتیو بارهای سنگین تجاری و صنعتی بسیار

مناسب است. برخی از این کاربردها عبارت‌اند از:



جبران‌ساز جریان راکتیو و تصحیح‌کننده کیفیت توان PureWave AVC

معدن



تولیدات خودرو

کاغذ و خمیر کاغذ

صنایع فولاد

نوار نقاله

تجهیزات تفریحی

با نصب این محصول با ظرفیت ۲۴۰۰ کیلووار در فیدر یک بارانداز که هفت جرثقیل بزرگ را تغذیه می‌کند، ضریب توان از ۴۰٪ به ۹۸٫۵٪ افزایش یافته و سالانه ۲۲۰٫۰۰۰ دلار در هزینه‌ها صرفه‌جویی می‌شود.

شرکت Shandong Hoteam

ویژگی‌های محصول: [۱۹۹]

توان راکتیو می‌تواند در کل بازه ظرفیت دستگاه به صورت پیوسته تنظیم شود.

ضریب توان می‌تواند همواره ۱ باشد (در مواردی که ظرفیت جبران‌سازی کل کافی باشد).



نمونه محصول شرکت Shandong Hoteam

تولیدکننده توان راکتیو<sup>۱</sup> (SVG) می‌تواند توان راکتیو را به صورت دوطرفه مبادله کند.

ظرفیت مزاد شاخه تولیدکننده توان رکتیو می تواند فیلتر اکتیو را تقویت کند.

TSC هیچ گونه حالت گذرای کلیدزنی ایجاد نکرده و هنگام وصل شدن جریان هجومی نخواهد داشت.

تولیدکننده توان رکتیو با بهره گیری از تکنولوژی دوگانی اینورتر می تواند رپیل جریان را کاهش دهد.

زمان پاسخ دینامیکی کمتر از ۲۰ میلی ثانیه است.

تریستورها از تکنولوژی ایزولاسیون نوری استفاده می کنند. همچنین؛ ایمن، مطمئن و دارای قابلیت ضد تداخل می باشد.

طراحی گرمایی مقاوم، عملکرد مطمئن و ایمن سیستم را تضمین می کند.

استفاده از چند سخت افزار و نرم افزار ضد تداخل. قابلیت ضد اختلال بالا و عملکرد مطمئن.

دارای دستورالعمل ایمنی خودی، حفاظت اضافه ولتاژ، حفاظت اضافه جریان و سایر دستورالعمل های سخت افزاری، تضمین عملکرد پایدار و مطمئن نیازمندی ها.

سیستم اندازه گیری خودکار ولتاژ، جریان، توان اکتیو، ضریب توان سیستم قبل و بعد از جبران سازی.

تنظیم کنترل و پارامترها به صورت دیجیتال، استفاده از نمایشگر ۷ اینچی لمسی، دارای دستورالعمل نمایش شکل موج، نمایش و حتی ثبت مقدار هارمونیک.

دارای پورت RS485، استاندارد پروتکل ارتباطی MODBUS، کامپیوتر نمایشگر از راه دور.

برخی دیگر از مشخصات این محصول در جدول ۱-۵ آورده شده است.

### مشخصات TSC از شرکت Shangdom Hoteam

مشخصات	
HTTSVG□□-□/□ GB/T15576-2008: low voltage reactive power static compensation device GB/T12747-2004: self-healing type low voltage parallel capacitor JB/T 9663-1999: low voltage reactive power automatic compensation controller GB/T 12325-2008: power quality power supply voltage deviation	مدل
GB/T 12326-2008 power quality voltage fluctuation and flicker GB/T14549-1993 power quality utility grid harmonic GB/T 15543-2008 power quality three phase voltage unbalance degree GB/T 15945-2008 electric system frequency permissible deviation GB/T18481-2001 temporary over voltage and transient over voltage	استاندارد انحصاری
\SCR\ switch capacitor TSC+ reactive power generator SVG	مود کلید

ورودی	
ولتاژ عملکرد	ولتاژ نامی -۱۵٪~۱۰٪
فرکانس عملکرد	۵۰ هرتز ±۵٪
مشخصات شاخص	
ضریب توان	ضریب توان همیشه می‌تواند ۱ باشد (دستگاه قابلیت کافی را دارد)
زمان پاسخ	کمتر از ۲۰ میلی‌ثانیه
جریان هجومی کلید	ندارد
نویز	کمتر از ۵۰ دسی بل
عملکرد حفاظتی	حفاظت ولتاژ غیرعادی، حفاظت اضافه جریان، حفاظت اضافه گرما، سیستم حفاظت خطا
تلفات توان اکتیو	کمتر از ۱٫۵٪ بار کامل در عملکرد با ظرفیت جبران‌سازی کامل
نیازمندی‌های CT	۳ قطعه، سطح ۰٫۲ و بالاتر، ظرفیت ثانویه ۵ آمپر
حالت تشخیص جریان	(اختیاری) تشخیص جریان منبع یا حالت تشخیص جریان بار
نمایشگر و رابط	
زبان	چینی/انگلیسی
نمایشگر	۷ اینچ لمسی
دکمه‌های عملکردی	لمسی
درگاه ارتباطی	RS-485 : پروتکل ارتباطی: MODBUS (RTU)
ساختار محصول	
عملکرد واحد	مجاز
عملکرد موازی	۱۰ دستگاه
سطح حفاظتی	IP3x (برای IP های بالاتر با تولیدکننده تماس گرفته شود)
رنگ	RAL7035
سیم‌کشی کنترل	هنگام عملکرد موازی از کابل دو هسته‌ای با سطح مقطع ۱٫۵ میلی‌متر مربع استفاده شود (تهیه این کابل بر عهده مشتری است)
نمونه‌برداری از جریان خط	استفاده از کابل دو هسته‌ای با سطح مقطع ۲٫۵ میلی‌متر مربع (تهیه این کابل بر عهده مشتری است)
شرایط محیطی	
محیط	نصب در فضای داخلی با هوای تمیز
دمای محیط	دمای کاری: ۱۰- تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد دمای انبار: ۲۵- تا ۵۵ درجه سانتی‌گراد
رطوبت نسبی	کمتر از ۹۵٪ بدون شبنم‌زدگی
ارتفاع	کمتر از ۲۰۰۰ متر. با کاهش بار می‌تواند در ارتفاع بالاتر کار کند.

## فهرست مطالب

۱- فصل اول ادبیات برنامه عملیاتی.....	۲
۱-۱- مقدمه.....	۲
۲-۱- مرور ادبیات روشهای تدوین برنامه عملیاتی.....	۳
۱-۲-۱- رویکرد چارچوب منطقی.....	۳
۲-۲-۱- روش پیشنهادی سند ملی فناوری پیلسوختی.....	۱۸
۳-۱- روش پیشنهادی برنامه عملیاتی.....	۳۱
۱-۳-۱- درنظرگیری ارتباط برنامههای با جهتگیریهی کلان و پشتیبان.....	۳۲
۲-۳-۱- تعیین حوزههای هدف.....	۳۴
۳-۳-۱- طراحی برنامهها.....	۳۵
۴-۳-۱- تبیین مجریان و نحوه عمل آنها.....	۳۶
۵-۳-۱- تعریف دورههای زمانی.....	۳۸
۶-۳-۱- برنامه ریزی منابع.....	۳۸
۷-۳-۱- ترسیم رهنگاشت برنامه عملیاتی.....	۳۹
۲- فصل دوم پروژههای فنی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت.....	۴۱
۱-۲- مقدمه.....	۴۱
۲-۲- طراحی و ساخت مبدل توربین بادی.....	۴۱
۱-۲-۲- طراحی و ساخت مبدل مقیاس کامل توربین بادی چند صد کیلوواتی.....	۴۲
۲-۲-۲- طراحی و ساخت مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین باد دو مگاواتی.....	۴۵
۳-۲-۲- طراحی و ساخت پنج نمونه مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین بادی مگاواتی.....	۴۷

- ۳-۲-۳ طراحی و ساخت اینورتر فتوولتائیک متصل به شبکه..... ۵۰
- ۳-۲-۱ طراحی و ساخت اینورتر فتوولتائیک متصل به شبکه کوچک..... ۵۰
- ۳-۲-۲ طراحی و ساخت نمونه اینورتر فتوولتائیک نیروگاهی..... ۵۳
- ۳-۳-۲ طراحی و ساخت اینورتر فتوولتائیک نیروگاهی..... ۵۵
- ۴-۲-۴ طراحی و ساخت SVC..... ۵۷
- ۴-۲-۱ طراحی و ساخت یک نمونه SVC قابل جابجایی..... ۵۷
- ۴-۲-۲ طراحی و ساخت دو نمونه SVC قابل جابجایی..... ۶۱
- ۴-۲-۳ طراحی و ساخت یک نمونه SVC با ظرفیت بالا..... ۶۴
- ۵-۲-۵ طراحی و ساخت STATCOM..... ۶۶
- ۵-۲-۱ طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی D-STATCOM..... ۶۷
- ۵-۲-۲ طراحی و ساخت نمونه صنعتی D-STATCOM..... ۷۰
- ۶-۲-۶ طراحی و ساخت STS..... ۷۳
- ۶-۲-۱ طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی STS..... ۷۳
- ۶-۲-۲ طراحی و ساخت نمونه صنعتی STS..... ۷۶
- ۷-۲-۷ طراحی و ساخت DVR..... ۷۸
- ۷-۲-۱ طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی DVR..... ۷۸
- ۷-۲-۲ طراحی و ساخت نمونه صنعتی DVR..... ۸۰
- ۸-۲-۸ طراحی و ساخت TSC..... ۸۲
- ۸-۲-۱ طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی TSC..... ۸۳
- ۸-۲-۲ طراحی و ساخت تجاری TSC..... ۸۵
- ۹-۲-۹ طراحی و ساخت ذخیره ساز انرژی باطری..... ۸۸

- ۸۸-۲-۹-۱ طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی ذخیره ساز انرژی باطری
- ۹۱-۲-۹-۲ طراحی و ساخت نمونه صنعتی ذخیره ساز انرژی باطری
- ۹۳-۲-۱۰-۱ طراحی و ساخت مبدل پیل سوختی
- ۹۴-۲-۱۰-۱ طراحی و ساخت مبدل پیل سوختی
- ۹۶-۲-۱۰-۲ طراحی و ساخت تجاری مبدل پیل سوختی
- ۹۸-۲-۱۱-۱ دستیابی به دانش فنی طراحی تفصیلی SFC
- ۹۸-۲-۱۱-۱ دستیابی به دانش فنی طراحی و تهیه نقشه‌های اجرایی SFC
- ۱۰۰-۲-۱۲-۱ دستیابی به دانش فنی طراحی تفصیلی سیستم تحریک نیروگاهی
- ۱۰۱-۲-۱۲-۱ دستیابی به دانش فنی طراحی و تهیه نقشه‌های اجرایی سیستم تحریک
- ۱۰۳-۲-۱۳-۱ طرح ملی آزمایشگاه الکترونیک قدرت
- ۱۰۳-۲-۱۳-۱ طرح ملی راه اندازی آزمایشگاه شبیه ساز بلادرنگ تجهیزات الکترونیک قدرت
- ۱۰۵-۲-۱۴-۱ طرح ملی شبکه آزمایشگاهی
- ۱۰۵-۲-۱۴-۱ طرح ملی راه اندازی شبکه آزمایشگاهی الکترونیک قدرت
- ۳- فصل سوم اقدامات توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت ۱۰۹**
- ۱۰۹-۳-۱ مقدمه
- ۱۰۹-۳-۲ تشکیل شورای راهبری توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت
- ۱۱۰-۳-۳ تعریف پروژه‌های ملی مورد حمایت دولت در راستای نیازمندی‌های کشور
- ۱۱۲-۳-۴ تدوین قوانین، مقررات و دستورالعمل‌های مورد نیاز برای حمایت از توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت
- ۱۱۲-۳-۵ استمرار مطالعات راهبردی مورد نیاز در خصوص فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت

- ۳-۶- کمک به ایجاد و تقویت جایگاه تشکل‌های علمی، صنفی و غیردولتی حامی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت..... ۱۱۴
- ۳-۷- بهره‌گیری از ظرفیت‌های مالی سایر ارگان‌های دولتی مرتبط..... ۱۱۶
- ۳-۸- تربیت و جذب نیروی انسانی متخصص مورد نیاز..... ۱۱۶
- ۳-۹- حمایت از تحقیق و پژوهش بویژه پژوهش‌های نیاز محور مرتبط با تجهیزات الکترونیک قدرت..... ۱۱۹
- ۳-۱۰- ایجاد سازوکارهای مختلف انگیزشی - حمایتی از شرکت‌های تولیدکننده تجهیزات اولویت‌دار نظیر اعطای معافیت‌های مالیاتی، اعطای وام و ..... ۱۲۰
- ۳-۱۱- تسهیل ورود سرمایه‌گذاران خطر پذیر..... ۱۲۱
- ۳-۱۲- حمایت از تجهیز آزمایشگاه‌های تحقیقاتی موجود و تشکیل شبکه آزمایشگاهی..... ۱۲۳
- ۳-۱۳- حمایت از ایجاد محیط مناسب تست عملیاتی و ایجاد آزمایشگاه شبیه ساز بلادرنگ طراحی، توسعه و آزمون تجهیزات الکترونیک قدرت..... ۱۲۴
- ۳-۱۴- تدوین استاندارد تجهیزات الکترونیک قدرت به منظور بهبود کیفیت تجهیزات وارداتی و ساخت داخل و ایجاد کمیته‌ای برای نظارت بر استانداردها..... ۱۲۵
- ۳-۱۵- هزینه و زمان اقدامات..... ۱۲۶
- نتیجه‌گیری..... ۱۳۸
- مراجع..... ۱۳۹

## فهرست اشکال

- شکل (۱-۱): گام های اصلی رویکرد چارچوب منطقی..... ۵
- شکل (۲-۱): نحوه بررسی گروه های مهم تر..... ۶
- شکل (۳-۱): درخت مشکل اصلی..... ۹
- شکل (۴-۱): بررسی اهمیت مفروضات..... ۱۵
- شکل (۵-۱): رهنگاشت برنامه عملیاتی..... ۳۹
- شکل (۱-۳): برنامه زمان بندی اقدامات مدیریتی توسعه فناوری های تجهیزات الکترونیک قدرت ..... ۱۳۴



## فهرست جداول

جدول (۱-۳): هزینه و زمان اقدامات مدیریتی توسعه فناوری‌های تجهیزات الکترونیک قدرت.....۱۲۶

## فصل اول

### ادبیات برنامه عملیاتی

## ۱- فصل اول ادبیات برنامه عملیاتی

### ۱-۱- مقدمه

یکی از مهمترین عوامل موفقیت و پیشتازی کشورهای توسعه یافته، توجه به دانش و مهارت های مدیریت به عنوان یکی از ضروریات توسعه و رشد اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی است. در این میان آنچه به عنوان اصلی ترین کارکرد مدیریت در هر کشور مورد نظر می باشد، برنامه ریزی و تلاش برای اجرا و نیل به اهداف از پیش تعیین شده در آن است. تحولات چند دهه گذشته همراه با وقوع نیازهای جدید در این سالها مدیران را با آنچنان دشواری هایی مواجه ساخته که کوچکترین غفلت آنها نسبت به مسائل، پیامدهای غیرقابل جبرانی را بدنبال خواهد داشت. مشاهده فناوری های امیدبخش که علی رغم داشتن راهبردها و سیاست های سنجیده، به دلیل بی توجهی به فرایند اجرا، موقعیت برجسته خود را از دست داده و از صحنه رقابت کنار رفته اند، موید این نکته مهم می باشد. لذا توجه به برنامه ریزی عملیاتی از آنچنان اهمیتی برخوردار است که تنها با تکیه بر تدوین راهبردها و اتخاذ سیاست ها نمی توان توسعه فناوری را محقق نمود. از این رو در دهه های اخیر توجه سیاست گذاران و صاحب نظران به شناسایی و بهره برداری هرچه بیشتر و بهتر از الگوها و ابزارهای نوین برنامه ریزی عملیاتی جلب شده است.

اقدامات لازم برای پیاده سازی و تحقق جهت گیری های کلان و پشتیبان، سوالاتی هستند که معمولاً در آخرین مرحله تدوین اسناد ملی توسعه مطرح می شوند. چه ساز و کارها، اجزاء، سازمان ها، افراد و به طور کلی چه الزاماتی نیاز است و نقش هر کدام به طور خاص در فرایند توسعه فناوری چیست؟ رابطه بین عوامل موثر بر تحقق جهت گیری های بالادستی چگونه است و تنظیم و تعامل بین آنها چگونه برقرار می شود؟

مباحث تدوین و پیاده سازی جهت گیری های کلان و پشتیبان، در حوزه "مدیریت راهبردی"<sup>۱</sup> مطرح می باشند. در مدیریت راهبردی نه تنها به رکن برنامه ریزی و تدوین اقدامات و فعالیت ها که اولین و شاید مهمترین گام باشد، پرداخته می شود بلکه

سایر ارکان مدیریت از جمله سازماندهی، تأمین منابع، نظارت و کنترل فعالیت‌ها و ارزیابی تحقق استراتژی‌ها را نیز در برمی‌گیرد و این فرآیند به طور دائمی و پویا تکرار می‌شود تا سیستم به اهداف مورد نظر دست یابد.

پیش از ارائه روش پیشنهادی برای تدوین برنامه عملیاتی بر مبنای ارکان جهت‌ساز و جهت‌گیری‌های پشتیبان، لازم است مروری بر ادبیات مرتبط با روش‌های موجود در ادبیات برای برنامه عملیاتی داشت. بر مبنای مفاهیم و گام‌های معرفی شده در این رویکردها روش پیشنهادی برای تدوین برنامه عملیاتی همراستا با جهت‌گیری‌های بالادستی معرفی می‌گردد.

## ۱-۲- مرور ادبیات روش‌های تدوین برنامه عملیاتی

در قالب مرور ادبیات، دو روش استفاده شده برای برنامه عملیاتی معرفی می‌گردد: روش اول رویکرد چارچوب منطقی است و روش دوم رویکرد تدوین برنامه عملیاتی استفاده شده در سند توسعه فناوری پیل سوختی ایران. در زیر به تشریح این رویکرد پرداخته شده است.

### ۱-۲-۱ رویکرد چارچوب منطقی

رویکرد چارچوب منطقی<sup>۱</sup> ابزاری است برای برنامه‌ریزی هدفمند پروژه‌ها. بسته به نیاز تحلیل‌گر، این ابزار می‌تواند با اهداف مختلف تحلیل، برآورد، و ارزیابی پروژه‌ها در برنامه‌ریزی عملیاتی مورد استفاده قرار گیرد. استفاده از این رویکرد منجر به بهبود کیفیت اجرای پروژه‌ها و در نتیجه دستیابی به امکان‌پذیری<sup>۲</sup>، مرتبط بودن<sup>۳</sup>، و پایداری<sup>۴</sup> می‌شود. در رویکرد چارچوب منطقی، صاحبان پروژه<sup>۵</sup> نقش اصلی را در اجرای پروژه‌های تعریف شده برعهده دارند. در نتیجه، اجرای موفق این پروژه‌ها وابسته به رسیدن به فهم مشترکی از این چارچوب در میان ذینفعان مختلف است.

1 Logical Framework Approach (LFA)

2 Feasibility

3 Relevancy

4 Sustainability

5 Project owners

از رویکرد چارچوب منطقی به منظور تسهیل طراحی و اجرای پروژه‌های توسعه، انتخاب و تنظیم اولویت در میان پروژه‌ها، و پیگیری و ارزیابی این پروژه‌ها استفاده می‌شود. از درجه تعریف، رویکرد چارچوب منطقی ابزاری است برای تحلیل منطقی و تفکر ساختاریافته در برنامه‌ریزی پروژه. این رویکرد به ایجاد ساختاری واحد برای تعامل و درکی مشترک میان گروه‌های مختلف ذینفعان پروژه کمک می‌کند. این رویکرد همچنین رویکردی هدف‌محور است، به این معنی که محوریت فرایند برنامه‌ریزی تحلیل مشکل است. تحلیل مشکل به تعریف اهداف منجر شده و اهداف تعیین شده، زمینه را برای انتخاب فعالیت‌های مرتبط آماده می‌کند. بر این اساس، یک ایده پایه در این رویکرد است که نباید در ابتدا در مورد این که چه کسی چه کاری را انجام دهد صحبت کرد، بلکه در آغاز باید پیرامون مشکلاتی که نیاز به برخورد دارند و نیز اهدافی که باید تامین گردد تحقیق شود.

تحلیل منطقی و نظام یافته عناصر اصلی طرح و هدایت نتایج آن، بهبود برنامه‌ریزی از طریق تعیین پیوند میان عناصر طرح و عوامل خارجی، فراهم آوردن چارچوبی برای پایش منظم آثار و نتایج طرح، تسهیل انتقال اطلاعات میان مجریان، متولیان، راهبران و ناظران طرح، اطمینان از تداوم رویکرد عملیات اجرایی طرح پس از جابه‌جایی مدیران و مهره‌های کلیدی طرح و سهولت تبادل اطلاعات میان طراحان، مجریان و دولتمردان از جمله مزایای برجسته رویکرد برای بهبود کیفیت طرح می‌باشد که در این قسمت تشریح می‌گردد.

### ۱-۲-۱-۱- گام‌های رویکرد چارچوب منطقی

رویکرد چارچوب منطقی به جنبه‌های کلیدی یک وضعیت پیچیده موجود می‌پردازد. جامع بودن کار برنامه‌ریزی بر مبنای این رویکرد با موارد ذیل تعیین می‌شود:

- مقدار اطلاعات در دسترس
- پیچیدگی مشکلات در دست اقدام
- تعداد شرکت‌کنندگان و توانایی‌های آنها

نقطه حرکت رویکرد چارچوب منطقی باید صفحه‌ای مشتمل بر شرح مشکلات موجود در منطقه پروژه باشد. به طور مثال یک مطالعه قبلی تسهیل کننده یا اطلاعات طبقه‌بندی شده مخصوص مورد نیاز است چنین اطلاعاتی باید پیش از اجرای

رویکرد چارچوب منطقی در اختیار قرار گرفته باشد. اطلاعات مربوط به علایق هر یک از گروه‌های درگیر در پروژه، نیازهای آنان، موقعیت اجتماعی - فرهنگی و غیره نیز باید در دسترس باشد.

مراحل اجرای رویکرد چارچوب منطقی در شکل زیر خلاصه شده و در ادامه به تفصیل شرح داده خواهند شد.



شکل (۱-۱): گام‌های اصلی رویکرد چارچوب منطقی

### ۱-۲-۱-۲- گام اول: تحلیل مشارکت

به‌عنوان نخستین گام، سیمای جامعی از گروه‌ها، افراد و مؤسسات ذینفع شرکت کننده در پروژه باید تهیه شود. سازمان‌ها، مسئولان سطوح مختلف، و گروه‌های ذینفع، انگیزه‌ها و منافع گوناگون دارند بنابراین تحلیل منافع و انتظارات کلیه شرکت‌کنندگان هم در اوایل فرآیند برنامه‌ریزی و هم در مراحل استقرار پروژه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

یک الزام اساسی در همه پروژه‌های توسعه‌ای آن است که اهداف عینی بازتاب نیازهای جامعه و گروه‌های ذینفع باشند و نه فقط نیازهای درونی مؤسسات. بر این اساس، لازم است لیستی از کلیه گروه‌هایی که دیدگاه‌های آن‌ها برای درک مشکل مزبور لازم است، و همچنین کلیه گروه‌هایی که در منطقه به طور مثبت یا منفی، مستقیم یا غیرمستقیم تحت تأثیر پروژه توسعه قرار می‌گیرند، تهیه شود.

جهت یک تحلیل اساسی باید کارگاه‌هایی متشکل از ذینفعان این حوزه تشکیل داد. در این کارگاه‌ها، باید که افراد

شرکت کننده در کارگاه به شکل نماینده گروه‌های مختلف طی جلسات کارگاه حاضر شوند. شناسایی همه طرف‌های دخیل (درگیر) در این کار ضروری است. جهت شناسایی لازم است تا:

- نام همه اشخاص ، گروه‌ها و مؤسسات اثرپذیر از محیط مشکل نوشته شود.
- گروه‌ها ، اشخاص ، سازمان‌ها و مقامات ذی‌نفع رده‌بندی شوند.
- درباره منافع و دیدگاه‌ها و اولویت‌بخشی به آنان هنگام تحلیل مشکل بحث صورت بگیرد.

### نگاهی به بعضی گروه‌ها

بر پایه اطلاعات موجود و بینش و تجربه اشخاص شرکت کننده در کارگاه، می‌توان تحلیل مفصل‌تری برای انتخاب گروه‌های شناسایی شده انجام داد. شرکت‌کنندگان در کارگاه آموزشی باید درباره ضوابط مورد استفاده در این تحلیل تصمیم بگیرند. پس از تعیین ضوابط، خصوصیات عمده هر یک از گروه‌ها باید طبق آن ضوابط شناسایی شود. در صورتی که وجود اختلاف عقیده بین شرکت‌کنندگان پیشبرد کار را دشوار می‌کند، باید با استفاده از "نشانه‌های ترافیک" بحث‌ها را قطع کرد. این نشانه‌ها جهت گردآوری اطلاعات بیشتر با نیاز به شفافیت‌سازی در مراحل بعدی فرایند به کار خواهند رفت.

#### نگاهی نزدیک‌تر بر بعضی گروه‌ها

- ۴- مهم‌ترین گروه‌ها انتخاب شوند.
- ۵- تحلیل مفصل‌تری از این گروه‌ها به عمل آید به طور مثال از لحاظ:
  - الف- مشکلات: مشکلات عمده اثرگذار یا رو در روی گروه (اقتصادی، محلی (منطقه‌ای)، فرهنگی و غیره)
  - ب- منافع: نیازها و علایق عمده از دیدگاه هر گروه
  - ج- توان بالقوه: نقاط ضعف و قوت هر گروه
  - د- پیوستگی‌ها: تعارض‌های عمده منافع ، الگوهای همکاری یا وابستگی یا گروه‌های دیگر

شکل (۱-۲): نحوه بررسی گروه‌های مهم‌تر

## تعیین چشم‌انداز برنامه‌ریزی

نکته شایان اهمیت آن است که شرکت‌کنندگان پروژه بتوانند درباره منافع و دیدگاه‌هایی که اولویت آن‌ها هنگام تحلیل مشکلات (گام ۲) مشخص شده توافق کنند. موضوعات مرتبطی که باید در ذهن داشته باشند عبارتند از:

- کدام گروه‌ها بیش از همه به کمک‌های خارجی نیاز دارند؟
- کدام گروه‌های ذی‌نفع باید حمایت شوند تا از توسعه مثبت اطمینان حاصل شود؟
- چه تعارضاتی هنگام حمایت از گروه‌های ذی‌نفع پدید خواهند آمد و چه تدابیری برای اجتناب از این گونه تعارضات می‌توان اندیشید؟

نکته مهم در این گام تعیین اولویت‌ها می‌باشد به عبارت دیگر هنگام اجرای تحلیل مشکلات (گام ۲) باید تصمیم گرفت که به کدام منافع و دیدگاه‌ها اولویت داده شود.

### ۱-۲-۱-۳- گام دوم: تحلیل مشکل

وضعیت کنونی بر پایه اطلاعات موجود تحلیل می‌شود؛ یعنی مشکلات عمده شناسایی شده و روابط علیتی بین این مشکلات به شکل یک درخت ترسیم می‌گردد. نکته مهم آن است که همه گزینه‌ها در جریان تحلیل مشکل همچنان مفتوح بمانند. هدف این مرحله اولیه تعیین یک دیدگاه کلی از وضعیت است. در ادامه این فرآیند، چشم‌انداز محدودتر و عمیق‌تر می‌شود تا آمادگی لازم جهت طراحی پروژه فراهم گردد.

برای تعریف مشکلات نیز ضرورت برگزاری پنل خبرگی یا کارگاه وجود دارد. گام‌های تنظیم مشکلات از این قرار می

باشد:

- مشکلات موجود و نه مشکلات احتمالی، تصویری یا مشکلات آینده شناسایی شود.
- منظور از یک مشکل نه فقط فقدان یک راه حل مناسب بلکه وجود یک حالت منفی می‌باشد.
- در هر کارت فقط یک مشکل نوشته شود.

### شناسایی نقطه شروع

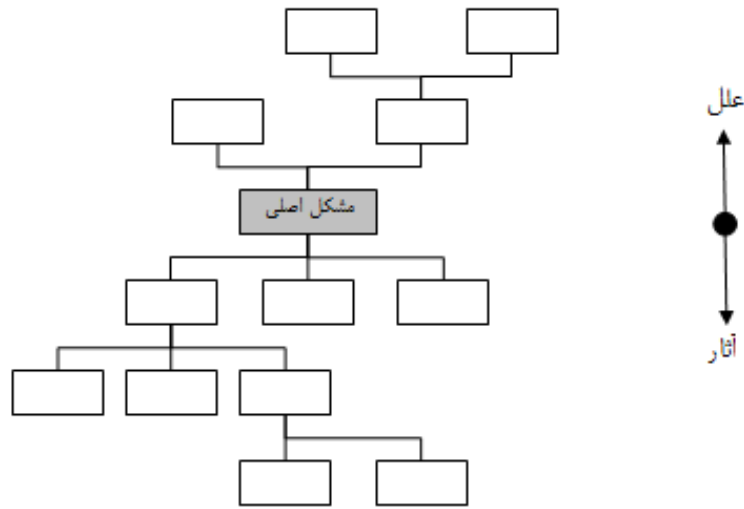


هر شرکت کننده کارگاه یک پیشنهاد به عنوان یک "مشکل اصلی" می نویسد به این معنی که آنچه را که خود به عنوان هسته اصلی مشکل می داند شرح می دهد. روح هدایت گر بحث و انتخاب مشکل اصلی، منافع و مشکلات گروه های ذی نفع، اشخاص و یا موسسات شرکت کننده در کارگاه است. سپس باید درباره هر یک از پیشنهادها در کارگاه بحث و تلاش شده و در مورد یک مشکل اصلی توافق به دست آید. اگر نتوان به توافق رسید آن گاه مشکلات پیشنهادی به شکل یک درخت و طبق روابط علیتی بین آن ها مرتب گردد. بار دیگر برای دستیابی به توافق درباره مشکل اصلی – بر پایه بازنگری به دست آمده از این طریق – تلاش صورت گیرد. اگر بازهم توافق کلی (اجماع) به دست نیامد آن گاه:

- از بارش افکار، نقش بازی، یا دیگر وسایل کمکی تصمیم گیری استفاده شود
- بهترین تصمیم انتخاب شود مثلاً با روش نمره دادن یا سایر روش ها
- درباره یکی از آن ها تصمیم موقت گرفته و به بررسی ادامه داده اما به بحث درباره مشکلات جانشین نیز توجه شود

در صورت امکان از رأی گیری رسمی برای دستیابی به یک تصمیم با اکثریت آرا پرهیز شود. برای انتخاب یک نقطه شروع مناسب می توان از طریق ذیل عمل نمود:

- مشکلات عمده موجود بر اساس اطلاعات در دسترس (با بارش افکار) شناسایی شوند.
- یک مشکل اصلی برای تحلیل انتخاب شود.
- طراحی درخت مشکل
- علل اساسی و مستقیم مشکل اصلی به موازات یکدیگر در بالای آن قرار داده می شوند.
- آثار اساسی و مستقیم مشکل اصلی به موازات یکدیگر و در زیر آن قرار می گیرند.
- علل و آثار ایجاد شده بعدی همراه با همان اصل قرار می گیرند تا درخت مشکل طراحی گردد.



شکل (۱-۳): درخت مشکل اصلی

وقتی شرکت کنندگان در کارگاه متقاعد شدند که همه اطلاعات لازم در این شبکه جهت توضیح روابط عمده علت اثر مشخصه مشکل گنجانده شده، می توان تحلیل مشکل و نتیجه گیری لازم را انجام داد. می توان اینچنین بیان نمود که جهت طراحی درخت مشکل قدم های ذیل برداشته شود:

- علل اساسی و مستقیم اصلی شناسایی شود.
  - آثار اساسی و مستقیم مشکل اصلی شناسایی گردد.
  - با نشان دادن روابط علت - اثر بین مشکلات، درخت مشکل طراحی شود
- درخت مشکل را بررسی و اعتبار و کامل بودن آن را رسیدگی و اصلاحات لازم انجام گیرد.

#### ۱-۲-۱-۴- گام سوم : تحلیل اهداف عینی

در این گام مراحل زیر باید پیموده شود:

#### طراحی درخت اهداف عینی

هنگام تحلیل اهداف عینی، درخت مشکل تبدیل به درخت اهداف عینی (راه‌حل‌های آینده مشکلات) شده و سپس تحلیل می‌شود. با شیوه کار به صورت از بالا به پایین همه مشکلات، دوباره واژه‌بندی و تبدیل به اهداف عینی (یعنی عبارات مثبت) می‌شوند.

مشکل اصلی حتی الامکان تبدیل به یک هدف عینی شده و دیگر به صورت ویژه دیده نمی‌شود.

دشواری تجدید واژه‌بندی را با شفاف کردن بیان مشکل اصلی می‌توان حل کرد. اگر عبارات حاصله پس از تجدید واژه‌بندی مشکلات همچنان نامفهوم باشند، یک هدف عینی جانشین برای آن نوشته می‌شود یا آن مشکل بدون تغییر باقی می‌ماند. وجود اهداف عینی مورد نظر در یک سطح برای دستیابی به اهداف عینی سطح بعد کافی هستند.

مشکلات: اگر علت A باشد آنگاه اثر B است.

اهداف عینی: وسیله X برای رسیدن به نتیجه Y

در این میان، این نکته را باید توجه کرد که هر رابطه علت-اثری خود به خود به یک رابطه وسیله - نتیجه‌ای تبدیل نمی‌شود بلکه این کار به تجدید واژه‌بندی ارتباط دارد. با شیوه کار به صورت از پایین به بالا بایستی مطمئن شد که رابطه‌های علت - اثری به رابطه‌های وسیله - نتیجه‌ای تبدیل شده‌اند. سرانجام خطوطی جهت نشان دادن رابطه‌های وسیله - نتیجه‌ای در درخت اهداف عینی رسم می‌شود.

لذا جهت طراحی درخت اهداف عینی قدم‌های ذیل طی می‌شود:

- دوباره همه عناصر درخت مشکل به صورت حالات مثبت و مطلوب تنظیم می‌شود.
- رابطه‌های وسیله - نتیجه حاصله بازبینی شده تا از اعتبار و کامل بودن درخت اهداف عینی اطمینان حاصل گردد.
- در صورت لزوم: در عبارات تجدید نظر می‌شود، اهداف عینی به ظاهر غیرواقع‌بینانه و غیرضروری حذف می‌شود، و هر جا لازم است اهداف عینی جدید اضافه می‌گردد.
- خطوط اتصال برای نشان دادن رابطه‌های وسیله - نتیجه‌ای ترسیم می‌گردد.

## ۱-۲-۱-۵- گام چهارم: تحلیل راه‌حل‌های جانشین

در این گام مراحل زیر باید پیموده شود:

### انتخاب راه‌های دیگر (جایگزین)

مقصود از تحلیل راه‌حل‌های جانشین، شناسایی گزینه‌های احتمالی جانشینی، ارزیابی اجرایی و سهولت این گزینه‌ها و توافق درباره یک استراتژی برای پروژه است. شاخه‌های وسیله - نتیجه احتمالی در درخت اهداف عینی که می‌توانند تبدیل به پروژه‌های توسعه‌ای احتمالی شوند شناسایی و مشخص شده‌اند. این شاخه‌های وسیله - نتیجه شامل گزینه‌های جانشین می‌باشند. گزینه‌های جانشینی شماره‌گذاری و نام‌گذاری می‌شوند مانند "رویکرد تولید"، "رویکرد درآمد"، "رویکرد آموزش" و غیره.

با مراجعه به نتایج تحلیل شرکت‌کنندگان (گام ۱)، آن‌ها می‌توانند درباره گزینه‌های جانشین و اینکه علایق کدام گروه‌های ذی‌نفع بر روی آن‌ها و به چه شکلی اثر می‌گذارد، بحث و تبادل نظر کنند. قدم‌های ذیل جهت شناسایی گزینه‌های جانشینی برداشته می‌شوند:

- پله‌های متفاوت وسیله - نتیجه به عنوان گزینه‌های جانشین یا اجزای پروژه شناسایی می‌شوند.
- اهداف عینی آشکارا نامطلوب یا دست‌نیافتنی حذف می‌گردد.
- اهداف عینی که به وسیله پروژه‌های دیگر در منطقه پی‌گیری می‌شوند حذف می‌گردد.
- درباره کاربردهای پروژه در گروه‌های متأثر از آن بحث صورت می‌گیرد.
- انتخاب پایاترین راه جانشین

گزینه‌های جانشینی باید با توجه به معیارهای ذیل انتخاب شوند:

- کل هزینه
- فواید آن برای گروه‌های اولی
- احتمال دستیابی به اهداف عینی خطرهای اجتماعی

شرکت کنندگان در کارگاه باید درباره هر نوع معیار دیگر برای استفاده در هنگام ارزیابی قابلیت دوام گزینه‌های جانشینی نیز توافق کنند. معیارهای احتمالی عبارتند از:

- معیارهای فنی: متناسب بودن، استفاده از منابع محلی، مناسب بازار بودن و غیره.
  - معیارهای مالی: هزینه‌ها با قابلیت پایداری از لحاظ مالی، ارزش خارجی مورد نیاز و غیره.
  - معیارهای اقتصادی: برونداد اقتصادی، مقرون به صرفه بودن و غیره.
  - معیارهای سازمانی: ظرفیت، قابلیت و تبحر فنی.
  - معیارهای اجتماعی / توزیعی: توزیع هزینه‌ها و سودها، موضوعات مربوط به جنسیت، محدودیت‌های اجتماعی - فرهنگی، مشارکت و انگیزه مردم محلی و غیره.
  - معیارهای زیست‌محیطی: اثرهای زیست‌محیطی، خسارات و سودهای زیست‌محیطی.
- تیم برنامه‌ریزی باید در رابطه با گزینه‌های جانشینی معیارهای متفاوتی را در نظر گرفته و ارزیابی دقیقی به عمل آورد مانند [زیاد / کم + / - گسترده / محدود] بر اساس این یافته‌ها تیم برنامه‌ریزی باید درباره یک استراتژی پروژه به توافق برسد.
- در ادامه گام‌های این مرحله، انتخاب استراتژی پروژه با سه گام ذیل صورت می‌پذیرد:
- اجرایی و آسان بودن گزینه‌های جانشینی ارزیابی می‌شود.
  - یکی از گزینه‌های جانشینی به عنوان استراتژی پروژه انتخاب می‌گردد.
  - در صورتی که نتوان به توافق مستقیم دست یافت آن‌گاه: معیارهای اضافی ایجاد یا گزینه‌های بحث برانگیز با اضافه یا حذف کردن عناصری از درخت اهداف عینی تغییر می‌کند.

### ۱-۲-۱-۶- گام پنجم: شناسایی عناصر اصلی پروژه

پس از انتخاب استراتژی پروژه توسعه، عناصر عمده آن که از درخت اهداف عینی به دست آمده‌اند، به ستون اول عمودی ماتریس پروژه (PM) منتقل می‌شوند. درباره یک هدف عینی توسعه و یک هدف عینی آنی تصمیم‌گیری صورت می‌پذیرد. در صورت لزوم واژه‌بندی درخت اهداف عینی دوباره تنظیم شده تا دقت آن‌ها بیشتر شود.

عناصر اصلی پروژه از این قرار خواهند بود:

- هدف نهایی (Goal)
- مقصود (Purpose)
- بروندادها (Outputs)
- فعالیتها (Activities)
- دروندادها (Inputs)

هدف نهایی (Goal)، اصطلاح هدف عینی پیش‌بینی شده برای درازمدت را توصیف می‌کند که پروژه توسعه در آن سهمیم است (توجیه پروژه توسعه)

مقصود (Purpose)، آثار مورد نظر پروژه توسعه (مقصود از پروژه) را برای ذینفعان مستقیم برای یک حالت با دقت اعلام شده در آینده شرح می‌دهد. باید توجه نمود که فقط یک هدف عینی آنی وجود داشته باشد.

بروندادها (Outputs) به صورت اهداف عینی بیان می‌شوند که مدیریت پروژه مسؤولیت دستیابی به آنها و پایدار بودنشان در طول پروژه را به عهده دارد و تأثیر مجموع آنها باید برای دستیابی به هدف عینی آنی کافی باشد. با وجود اینکه مدیریت پروژه باید بروندادهای آن را تضمین کند اما اهداف عینی آنی فراتر از کنترل مستقیم وی می‌باشد.

فعالیتها (Activities) به صورت فرآیندها بیان می‌شوند. از شرح جزئیات فعالیتها اجتناب کرده و بر ساختار پایه و استراتژی پروژه تأکید می‌شود. همه بروندادها باید شماره‌گذاری شوند. سپس هر فعالیت باید در رابطه با بروندادها متناظر با خود، شماره‌گذاری شود.

دروندادها (Inputs)ی عمده به شکل اعتبار مالی، کارمند و کالا بیان می‌شوند.

### ۱-۲-۱-۷- گام ششم: مفروضات

منظور از مفروضات حالاتی است که باید وجود داشته باشند تا پروژه به پیش برده شود ولی خارج از کنترل مستقیم

مدیریت پروژه قرار دارند. این گام شامل مراحل زیر است:

## شناسایی مفروضات

در این گام از پایین ماتریس شروع و رو به بالا عمل می شود. باید ملاحظه نمود که آیا درون داده‌ها برای اجرای فعالیت‌های پیش‌بینی شده کافی هستند یا اتفاقات دیگری هم باید در خارج از پروژه روی دهد (مفروضات).

بعضی مفروضات را از عناصر درخت اهداف عینی - که در پروژه گنجانده نشده باشند - می‌توان به دست آورد. مفروضات در هر یک از سطوح ماتریس پروژه به طرف بالا تا سطح هدف توسعه‌ای پروژه شناسایی می‌شوند. از پایین ماتریس شروع و در تمام سطوح بررسی می‌شود که پیشنهادات به صورت منطقی از یکدیگر پیروی می‌کنند و اینکه کامل هستند یا خیر. هر سطح باید شرایط لازم و کافی برای سطح بندی را داشته باشد.

باید اطمینان حاصل گردد که مفروضات چنان با جزئیات عملیاتی و به تفصیل شرح داده شده‌اند که می‌توان آن‌ها را کنترل کرد (در صورت امکان با شاخص‌ها)

مثال‌هایی از مفروضات عبارتند از: گیرندگان کمک هزینه تحصیلی به پست‌های تخصیص داده شده بر می‌گردند، مؤسسات محلی در فعالیت‌های برنامه‌ریزی همکاری می‌کنند، تغییر قیمت‌ها در سطح جهانی را می‌توان با میزان بودجه تعیین شده انطباق داد.

جهت شناسایی مفروضات مهم، می‌توان مفروضات را:

- از درخت اهداف عینی به دست آورد.
- به صورت حالات مثبت واژه‌بندی نمود. (به اهداف عینی مراجعه شود)
- با سطوح مختلف ماتریس پروژه، مرتبط نمود.
- مطابق با اهمیت و احتمالشان وزن داد.

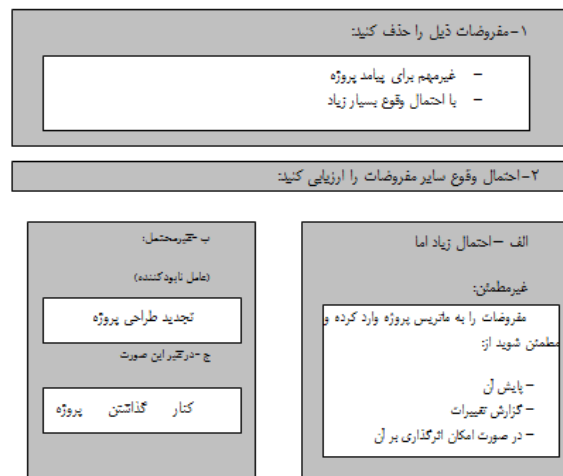
## بررسی مفروضات

برای نشان دادن احتمال موفقیت پروژه باید به صورت یک به یک و در هر سطح حرکت کرده و اهمیت احتمال آن‌ها را کنترل کرد. مفروضاتی که احتمال وقوع آن‌ها خیلی زیاد بوده یا برای وقوع پیامد پروژه اهمیت ندارند باید کنار گذاشته شوند. اگر شرکت‌کنندگان در کارگاه رویکرد چارچوب منطقی تعیین کردند که یکی از مفروضات برای پیامد پروژه مهم بوده اما احتمال

وقوع آن وجود ندارد، در این صورت آن یک عامل نابود کننده است. در صورتی که عوامل نابودکننده در پروژه پیدا شوند یا باید پروژه به شکلی تغییر داده شود تا از بروز چنین عواملی اجتناب شود یا باید کل پروژه متوقف شود.

مفروضات	←	هدف نهایی
مفروضات	←	مقصد
مفروضات	←	برونداها
مفروضات	←	فعالیتها

هر یک از سطوح ماتریس پروژه باید شرایط لازم و کافی برای سطح بعدی بالاتر را داشته باشد. بررسی اهمیت مفروضات از طریق قدم های ذکر شده در شکل ۱-۴ صورت می گیرد:



شکل (۱-۴): بررسی اهمیت مفروضات

### ۱-۲-۱-۸- گام هفتم : شاخص ها (ماتریس پروژه)

شاخص ها در ستون دوم ماتریس پروژه مشخص می شوند. جزییات شاخص ها تعیین کننده طرز اندازه گیری دامنه دستیابی به اهداف عینی در زمان های متفاوت است. اندازه گیری ها می توانند به انواع ذیل باشند:

- اندازه گیری کمی - مانند مقدار کیلومترهای بازسازی شده جاده ها.



- اندازه‌گیری کیفی – مانند همکاری کشاورزانی که کارکرد مؤثر دارند.

- اندازه‌گیری رفتاری – مانند افزایش استفاده از تسهیلات بهسازی محیط.

شاخص‌های کیفی نیز باید حتی‌الامکان قابل اندازه‌گیری باشند. شاخص‌های مستقیم ممکن است لازم شود که با شاخص‌های اضافی غیرمستقیم تکمیل شوند. وجود چند شاخص بهتر از یک شاخص است. شاخص‌های منفرد به ندرت سیمای جامعی از تغییرات را ارائه می‌کنند.

### تعریف میزان دستیابی به اهداف عینی

در زمینه رویکرد چارچوب منطقی، شاخص‌ها مشخص‌کننده استاندارد عملکردی هستند که باید برای دستیابی به هدف نهایی، مقصود و برون‌دادها به آن‌ها برسیم. شاخص‌ها باید نکات ذیل را مشخص کنند:

- گروه هدف (برای چه کسی)
- کمیت (چه قدر)
- کیفیت (چگونه)
- زمان (کی)
- محل (کجا)
- شاخص‌ها اساس و پایش و ارزشیابی‌اند.
- تنظیم شاخص‌ها

شاخص خوب باید این‌گونه باشد:

- اساسی: یعنی جنبه اساسی یک هدف عینی را با اصطلاحات دقیق منعکس می‌کند.
- مستقل: در سطوح متفاوت از آنجایی که اهداف توسعه و اهداف آنی متفاوت خواهند بود و انتظار می‌رود هر شاخص منعکس‌کننده مدرک دستیابی به هدف عینی باشد، یک شاخص را به طور معمول نمی‌توان برای بیش از یک هدف عینی به کار برد.

- واقعی: هر شاخص باید بازتاب یک واقعیت - و نه تصور ذهنی - باشد و باید برای تمامی حامیان پروژه و حتی اشخاص مطلع بدبین یک معنا و مفهوم را داشته باشد.
  - قابل قبول: یعنی تغییرات ثبت شده را بتوان به طور مستقیم به پروژه منتسب کرد.
  - مبتنی بر داده‌های به دست آمدنی: شاخص‌ها باید از داده‌هایی به دست آمده باشند که به آسانی در دسترس بوده یا بتوان با تلاش معقول و اضافی به عنوان بخشی از مدیریت اجرایی پروژه آن‌ها را گردآوری کرد.
- اندازه‌گیری‌های ارایه شده به وسیله شاخص‌ها باید آن قدر دقیق باشند که شاخص به طور عینی قابل تحقیق و رسیدگی باشد. شاخصی به طور عینی قابل تحقیق است که اشخاص مختلفی که از یک فرآیند اندازه‌گیری به صورت مستقل از یکدیگر استفاده می‌کنند، اندازه‌گیری‌های یکسان به دست آورند.
- در مراحل اولیه برنامه‌ریزی، شاخص‌ها فقط مقادیر راهنما هستند که برای تحلیل مفهوم پروژه به کار می‌روند. این مقادیر راهنما باید وقتی پروژه عملیاتی می‌شود دوباره بازنگری شده و در صورت لزوم به جای آن‌ها از شاخص‌های اختصاصی پروژه استفاده شود.

### بررسی ابزار رسیدگی

هنگام تدوین شاخص‌ها، منابع اطلاعاتی لازم برای استفاده آن‌ها باید مشخص شوند یعنی:

- چه اطلاعاتی در دسترس قرار می‌گیرد؛
- به چه شکلی
- چه کسی باید این اطلاعات را فراهم کند.

منابع خارج از پروژه باید از لحاظ در دسترس بودن، قابلیت اطمینان و مرتبط بودن ارزیابی شوند:

کار و هزینه‌های لازم برای هر نوع اطلاعات که به وسیله خود پروژه تولید می‌شود نیز باید ارزیابی شود. شاخص‌هایی که نتوانیم ابزار رسیدگی مناسبی برایشان شناسایی کنیم باید با شاخص‌های قابل رسیدگی تعویض شوند. شاخص‌هایی که پس از در نظر گرفتن هزینه و کاربرد و سودمندی، پرهزینه تشخیص داده شوند باید با شاخص‌های ساده‌تر و ارزان‌تر تعویض شوند.

تدوین شاخص‌ها باید شامل مشخص کردن ابزار رسیدگی به آن‌ها نیز باشند. در بسیاری موارد، افزودن یک ستون به عنوان "ابزار رسیدگی" به ماتریس پروژه می‌تواند مفید باشد. جهت بررسی مفید بودن شاخص سوالات ذیل را می‌توان مطرح نمود:

- آیا اطلاعات از منابع موجود (آمارها، پرونده‌ها و غیره) قابل دسترسی است؟
- آیا این اطلاعات حقیقی و روزآمد هست؟
- آیا گردآوری داده‌های خاص لازم است؟
- اگر پاسخ آری است آیا فایده‌های این داده‌ها هزینه آن‌ها را توجیه می‌کند؟

با مشخص شدن گام‌های فوق و تعیین دقیق هر کدام، در نهایت یک برنامه عملیاتی با جزئیات مناسب بدست می‌آید.

## ۱-۲-۲ روش پیشنهادی سند ملی فناوری پیل سوختی

در ایران تاکنون تجارب مختلف و متنوعی در حوزه تدوین اسناد ملی فناوری اتفاق افتاده است. از میان این اسناد، سند توسعه فناوری پیل سوختی بدون شک یکی از نظام‌مندترین و منطبق‌ترین اسناد بر اصول علمی سیاست فناوری و نوآوری بوده است. این سند در حوزه‌های تدوین اهداف، ارائه راهبردها، و تدوین برنامه عملیاتی به معرفی روش‌ها و رویکردهای پیشنهادی خود پرداخته است که مشروح این روش‌ها در دو کتاب به چاپ رسیده است (آراستی و همکاران، ۱۳۸۶؛ باقری‌مقدم و همکاران، ۱۳۸۶).

یکی از روش‌هایی که می‌توان از آن برای تدوین برنامه عملیاتی استفاده نمود، روش استفاده شده در سند توسعه فناوری پیل سوختی است. در این روش، برنامه عملیاتی روشی برای پیاده‌سازی راهبردهای توسعه فناوری قلمداد می‌گردد. برای پیاده‌سازی راهبردهای طراحی شده در قالب برنامه‌های عملیاتی، استفاده از رویکرد نظام‌های نوآوری ملی به‌عنوان چارچوبی جهت هدایت اقدامات و فعالیت در روش مذکور پیشنهاد می‌گردد. بر طبق ادله بیان شده در این روش، نظام نوآوری ملی از بیشترین قابلیت انطباق با پیش‌فرض‌های حوزه‌های اسناد ملی برخوردار است:

مدل نظام نوآوری ملی، رویکرد کاملی است که سعی دارد تا همه عوامل موثر بر شکل‌گیری یک نوآوری در داخل مرزهای یک کشور را توضیح دهد. در این مدل حتی نهادهای غیر رسمی مانند عرف‌ها و قواعد غیر رسمی حاکم بر رفتار اجزای سیستم مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. در یک کلمه می‌توان گفت "جامعیت" این مدل، ویژگی ممتاز آن است. این مدل نه تنها عوامل و اجزای درگیر و موثر در توسعه فناوری در سطح یک کشور را مورد مطالعه قرار می‌دهد، بلکه تاکید زیادی بر روابط و تعامل بین این اجزاء دارد. فرآیند نوآوری و یادگیری در این مدل جز از طریق تبادل دانش بین اجزای سیستم و همکاری بین آنها صورت نمی‌گیرد. بنابراین لحاظ کردن تبادل اطلاعات بین اجزاء سیستم و جریان دانش و منابع بین آنها نیز از خصوصیات این مدل است.

این مدل عوامل موثر بر شکل‌گیری نوآوری را به صورت جامعی در چهار سطح مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد. در سطح خرد با تمرکز بر قابلیت‌ها و توانمندی‌های بنگاه‌ها به چگونگی شکل‌گیری نوآوری در آنها می‌پردازد. در سطح میانی با تبیین مفهوم خوشه‌های صنعتی، به تحلیل چگونگی شکل‌گیری فرآیند نوآوری و یادگیری در خوشه صنعتی، از طریق روابط عمودی و افقی بین بنگاه‌ها و دیگر عوامل می‌پردازد. در سطح کلان به بررسی عوامل موثر بر نوآوری در سطح یک کشور و عوامل شکل دهنده فضای نوآوری مانند قوانین مالکیت فکری می‌پردازد. در سطح بین‌المللی نیز با در نظر گرفتن جریان‌های دانش بین مرز ملی سیستم با محیط بین‌الملل به بررسی نقش این تبادلات به صورت انتقال فناوری و دانش فنی در شکل‌دهی یک نوآوری فناورانه می‌پردازد.

نگاه سیستمی حاکم بر مدل نظام نوآوری ملی این اجازه را می‌دهد که بتوان اجزای سیستم را نه به صورت عوامل منفرد و مجزا و بلکه به صورت جزئی از یک سیستم کلی و در تعامل با سایر اجزاء، مورد تجزیه و تحلیل قرار داد.

در این روش، ابتدا لازم است تا تصویری از کارکردهایی که یک نظام نوآوری ملی باید به‌انجام برساند ارائه شود. پس از توصیف هر کارکرد و نیز ارائه شاخص برای اندازه‌گیری آنها، لازم است تا به ممیزی فناوری پرداخته شود. منظور از ممیزی فناوری ارائه تصویری از وضعیت فعلی فناوری در کشور است. اگر ارزیابی دقیقی از آنچه "داریم" وجود نداشته باشد، نمی‌توان برای حرکت به سمت وضعیت مطلوب گام برداشت و مطمئن بود که برنامه‌ها و سیاست‌ها درست، کامل و بهینه طراحی شده‌اند. به همین دلیل در چند سال اخیر، مطالعات و پژوهش‌های چشم‌گیری در رابطه با چگونگی ارزیابی و ممیزی وضعیت نوآوری در یک حوزه یا کشور خاص انجام گرفته است. نتایج این مطالعات و پژوهش‌ها تا آنجا پیش رفته است که حتی

دستورالعمل‌های استاندارد و کاملی مانند دستورالعمل اسلو<sup>۱</sup> و دستورالعمل فراسکاتی توسط سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه (OECD) تهیه و ارائه شده است. پس از ارائه روش‌های استاندارد در ارزیابی نوآوری، کشورهای بسیاری مانند تایلند و کشورهای عضو OECD از این دستورالعمل بارها استفاده نموده‌اند. در آخرین مرحله، باید مبتنی بر این نتایج و ارزیابی وضعیت موجود، پیشنهادها و راهکارهایی مناسب برای تحقق توسعه فناوری ارائه شود.

تاکنون کتاب‌های مختلفی پیرامون موضوع ممیزی فناوری به‌نگارش درآمده است که از آن‌ها می‌توان برای ممیزی فناوری در قالب نظام نوآوری ملی استفاده کرد. در مورد مرحله آخر نیز که مربوط به ارائه راه کار و اقدامات ضروری است، رویکرد نظرسنجی خبرگان رویکرد قالب است. بنابراین، در این قسمت نیاز است تا قدری بیشتر چارچوب اصلی تدوین برنامه عملیاتی که نظام‌های نوآوری ملی و کارکردها و شاخص‌های آن است روشن شود. این کار در ادامه و با تاکید بر تشریح اجزای نظام نوآوری ملی که در تدوین برنامه عملیاتی کاربرد دارد به انجام می‌رسد.

برای شکل‌گیری کارآمد زنجیره خلق، نشر و بکارگیری دانش در هر نظام نوآوری ملی، باید وظایف و فعالیت‌های تمامی اجزای سیستم، تبیین و تعیین شده باشد. مجموعه این وظایف را می‌توان در قالب گروه‌های فعالیت‌های ضروری در توسعه فناوری یا کارکردهای نظام نوآوری ملی تحلیل نمود. منظور از کارکردهای نظام نوآوری ملی، فعالیت‌های کلی آن یا حلقه‌های زنجیره دانش (از خلق ایده تا تجاری‌سازی و بازاریابی) می‌باشد. هر کدام از کارکردها یا فعالیت‌های کلی به یکسری فعالیت‌ها یا کارکردهای تخصصی تقسیم می‌شوند که آنها فعالیت‌های نظام نوآوری ملی نامیده می‌شوند.

سازمان همکاری و توسعه اقتصادی<sup>۲</sup>، به یکپارچه سازی تعاریف ارائه شده در مورد کارکردها و فعالیت‌های نظام نوآوری صنعتی و استاندارد کردن آنها (در حد ممکن) می‌پردازد که در گزارشات سال ۱۹۹۹ این سازمان منعکس شده است. در گزارشات مزبور، کارکردها بصورت زیر تقسیم بندی می‌شوند:

- سیاستگذاری و هدایت نوآوری
- تسهیل و تأمین بودجه R&D
- انجام R&D

1 Oslo Manual

2 Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)

- انتقال تکنولوژی
- توسعه نیروی انسانی
- انتشار تکنولوژی
- ارتقای کارآفرینی تکنولوژی
- تولید کالا و خدمات

### ۱-۲-۲-۱ - سیاستگذاری و هدایت نوآوری

همانگونه که اشاره شد قلب تپنده توسعه فناوری، نوآوری و تغییرات فناوری است. نوآوری یکی از ابزارهای مناسب در جهت رسیدن به توسعه فناوری است. در واقع به علت دید سیستمی به نوآوری و تعریف سیستم (بعنوان مجموعه ای از اجزاء مختلف و روابط حاکم بین این اجزاء در جهت رسیدن به هدفی واحد)، بایستی کلیه اجزاء و روابط آنها، هدف واحدی را دنبال کنند تا مجموعه فعالیتهای درون سیستم، جهت گیری واحدی (به سمت اهداف کلی صنعت) داشته باشند.

پس اولین کارکرد لازم در نظام نوآوری ملی، سیاست گذاری کلی است تا جایگاه مجموعه اجزاء و فعالیتهای درون سیستم به خوبی مشخص شده و بتوانند با قدرت و استحکام بیشتری در جهت توسعه فناوری صنعت و اهداف مشخص شده آن گام بردارند. به عنوان مثال، اگر یکی از شرکت های صنعتی، تولید محصول یا خدمت جدیدی را آغاز کند، نیازمند حمایت و پشتیبانی سیاستگذاران صنعت مربوطه است تا بتواند محصول / خدمت خود را به بازار عرضه کند. بنابراین در نظام نوآوری ملی هر صنعت، در ابتدا باید سیاست های کلی، تعیین و تدوین گردند. تعیین این اهداف و سیاست ها، فرآیند دشوار و پیچیده ای است که همکاری اجزاء و سازمان های خاصی را می طلبد. اما باید توجه کرد که این فرآیند و اجزای درگیر، به صنعت مورد مطالعه بستگی دارد.

به جرأت می توان گفت که این کارکرد، حیاتی ترین و مهمترین عنصر نظام نوآوری ملی می باشد. ضعف و عدم کارایی در عنصر سیاست گذاری نظام نوآوری ملی آنچنان بر عملکرد کل سیستم تأثیرگذار است که نه تنها آن را نمی توان با صرف هزینه های فراوان جبران کرد، بلکه باعث اتلاف منابع هم خواهد شد. از طرف دیگر، قوت و هوشمندی این عنصر نیز در اثربخشی و کارایی سیستم و تسریع دستیابی به اهداف سیستم بسیار مؤثر است.

شاید بتوان گفت که عدم و یا ضعف وجود چنین عنصری منجر به از هم پاشیدگی سایر عناصر و اجزا و ناهماهنگی بین آنها خواهد شد به طوری که می‌توان گفت سیستم منسجمی وجود نخواهد داشت. در حقیقت ایجاد و شکل‌دهی به عنصر سیاست‌گذاری سیستم، اولین اولویت در تحقق نظام نوآوری ملی می‌باشد. زیرا این عنصر است که در ابتدای امر وظیفه ارزیابی و شناخت نقاط قوت و ضعف عناصر سیستم و پیوندهای بین آنها را بر عهده دارد تا براساس این ارزیابی و شناخت از وضعیت سیستم به سیاست‌گذاری صحیح و کامل در جهت رفع نقاط ضعف و شکل‌دهی مناسب به ساختار سیستم و هدایت سیستم به جهت مطلوب اقدام نماید. این عنصر در نظام نوآوری ملی، عالی‌ترین سطح تصمیم‌گیری و جهت‌دهنده به تصمیمات سطوح پایین‌تر خواهد بود. در حقیقت این عنصر به مثابه مغز سیستم، فرماندهی کل سیستم را بر عهده خواهد داشت و سایر اجزاء اگر چه قدرت تصمیم‌گیری در سطوح خود را دارا هستند، اما در اصل تصمیمات آنها در جهت و برای تحقق سیاست‌های تنظیم شده از طرف عنصر سیاست‌گذاری سیستم می‌باشد. بنابراین اولین وظیفه عنصر سیاستگذار سیستم پس از ارزیابی و شناخت وضعیت سیستم، طراحی ساختار و فرآیندهای مورد نیاز برای تحقق اهداف سیستم و پس از آن سیاست‌گذاری و جهت‌دهی مناسب به حرکت سیستم برای تحقق اهداف سیستم می‌باشد.

طراحی دقیق ساختار نظام نوآوری ملی توسعه فناوری در کشور، نیازمند تعیین جایگاه مراکز و نهادهای متعددی است که حلقه‌های زنجیره آموزش، تحقیق، تولید، بازاریابی را تشکیل می‌دهند. علاوه بر مراکز آموزشی و تحقیقاتی و بنگاه‌های صنعتی، نیاز به نهادهای عمومی مختلفی از قبیل مراکز ثبت اختراع، مراکز اطلاع‌رسانی، مراکز انتقال فناوری، مراکز استاندارد، مراکز تأیید کیفی، پارک‌های تحقیقاتی و فناوری و مراکز رشد و غیره نیز می‌باشد تا نظام نوآوری ملی فناوری مورد نظر تکمیل گردد. همچنین ارتباط بخش‌های پیرامونی همچون نهادهای سرمایه‌گذاری، بانک‌ها، نهادهای حقوقی، گمرک، حفاظت از محیط زیست و غیره نیز با اجزای داخلی نظام نوآوری ملی پیل سوختی کشور بایستی به دقت ترسیم گردد.

می‌توان گفت اصلی‌ترین وظایف و اقدامات عنصر سیاستگذاری نظام نوآوری ملی به شرح زیر می‌باشد:

- شناخت و ارزیابی دائمی وضعیت اجزاء و عناصر نظام نوآوری ملی و عملکرد اجزاء و کل سیستم با انجام "ممیزی‌های نوآوری" استاندارد و به صورت دوره‌ای (مثلاً هر دو سال یکبار).

- پایش و شناخت دقیق، عمیق و همه جانبه روندهای جهانی نوآوری و توسعه فناوری در زمینه مربوطه و ارزیابی درست از وضعیت پیشرفت‌های فناورانه در کشورهای مختلف جهان و تحولات پژوهش، فناوری و بازارهای مربوطه.
- تدوین "سیاست‌های نوآوری" به معنای وسیع خود، بر مبنای شناخت بدست آمده از وضعیت موجود نظام نوآوری ملی و روند تحولات جهانی جهت کمک به شکل‌گیری منسجم نظام نوآوری ملی و جهت‌دهی به حرکت آن و هماهنگ‌کردن فعالیت‌های همه اجزاء و عناصر سیستم در جهت تحقق اهداف سیستم.
- طراحی و ارائه چشم‌انداز مطلوب از وضعیت سیستم در یک افق زمانی بلندمدت و مشخص که باعث جهت‌دهی و هماهنگی فعالیت‌های مختلف برای دستیابی به چشم‌انداز می‌شود.
- طراحی و تعیین ره‌نگاشت دستیابی به چشم‌انداز و مشخص کردن مراحل و گام‌های اصلی مانند تحقیق و توسعه، تجاری سازی، تولید و بازاریابی که برای رسیدن به چشم‌انداز باید پیموده شود.
- بسیج منابع مورد نیاز برای پیمودن مسیر طراحی شده و ارزیابی دائمی از میزان مسیری که طی شده است.
- فراهم آوردن محیطی پویا و بالنده، انعطاف‌پذیر و محرک و مشوق نوآوری و رشد علمی.

### ۱-۲-۲- تسهیل و تأمین بودجه تحقیق و توسعه

پس از آنکه اهداف کلی توسعه فناوری تعیین و تدوین گردید برای شکل‌دهی و پیشبرد فعالیت‌های درون سیستم، به بنیادهایی برای حمایت و تسهیل فعالیت‌های نوآوری و تحقیقات نیاز است. به طور کلی موسساتی که به نوعی باعث تسهیل، تعدیل و یا تسریع فرآیند نوآوری می‌شوند در این طبقه قرار می‌گیرند. از جمله مهمترین این مؤسسات می‌توان به مؤسساتی که منابع مالی و بودجه فعالیت‌های نوآوری را تأمین می‌کنند اشاره کرد. همچنین ادارات ثبت پتنت و مؤسسات استاندارد نیز مشمول این دسته می‌شود. بنابراین در ادامه به نقش این مؤسسات و ارتباط آنها با سیستم‌های نوآوری پرداخته خواهد شد.

علت تفکیک این کارکرد از کارکرد قبلی سیستم (سیاستگذاری کلی) به این جهت است که در اینجا اهداف سیستم تعیین نمی‌شوند، بلکه ابزارهایی استاندارد برای جهت‌گیری و رسیدن به این اهداف، معرفی و تعیین می‌شوند.

بنابراین از مهمترین فعالیت‌های این کارکرد می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:



## سرمایه‌گذاری و تأمین منابع مالی در نظام نوآوری ملی

تأمین منابع مالی در تسهیل نوآوری از اهمیت زیادی برخوردار است، چرا که توانایی صنعت در نوآوری وابستگی زیادی به سیستم مالی نوآوری آن صنعت دارد. علاوه بر این، سرمایه‌گذاری در نوآوری، تأثیر بسزایی بر احیاء رشد اقتصادی و اشتغال دارد. یکی از موانع جدی شرکت‌ها در راه نوآوری، عدم دسترسی به منابع مالی خارج از شرکت است (تاکید ما بر تأمین منابع مالی از خارج شرکت، در راستای اقدامات نوآورانه است). از آنجائیکه دوام و رشد شرکت‌ها در درازمدت به توانایی یادگیری آنها بستگی دارد و توانایی یادگیری نیز به نوبه خود به ایجاد و نگهداری عواملی نظیر نیروی انسانی، مهارت‌ها، بررسی و شناخت بازار و غیره بستگی دارد، بنابراین تخصیص منابع مالی به آموزش، تحقیق و توسعه، طراحی محصول، ارتقای توانایی‌ها و مهارت‌های سازمانی، ضروری بنظر می‌رسد.

## سیستم حقوق مالکیت معنوی

برقراری سیستم حقوق مالکیت معنوی (با هدف محافظت از نوآوری‌ها) و همچنین همسان‌سازی آن در بین کشورهای مختلف، محرکی برای سرمایه‌گذاری بیشتر شرکت‌ها در تحقیقات و ارتقای فعالیت‌های دانش‌افزا است. در این زمینه به چند نکته کلی می‌توان اشاره کرد: اولاً همسان‌سازی سیستم حقوق مالکیت معنوی، به افزایش رفاه عمومی در سطح جامعه کمک می‌کند. ثانیاً وجود این الگوی انگیزشی به تعریف پروژه‌های تحقیقاتی و تقسیم ریسک فعالیت‌های تحقیقاتی کمک می‌کند. عبارتی برقراری سیستم مالکیت معنوی و محافظت از نوآوری، عامل انگیزشی مناسبی جهت ترویج و تسهیل نوآوری است.

## استاندارد سازی

از دیگر نهادهایی که در ذیل عنوان نهادهای تسهیل‌کننده قرار می‌گیرند، می‌توان به موسسات استانداردسازی اشاره کرد. در یکپارچه سازی نظام نوآوری ملی و حرکت به سمت توسعه تکنولوژی صنعت، لازم است تا استانداردهایی بین اجزای سیستم حکمفرما شود تا در کل سیستم هماهنگی و زبان مشترکی حاکم شود.

استانداردها چارچوب کلی نوآوری را مشخص می‌سازند. این سیستم تا حدی ملی و تا حدی بین‌المللی است. استانداردها توسط موسسات استاندارد ثبت شده و پیگیری می‌شوند. بین فرآیندهای نوآوری و استانداردسازی ارتباط نزدیکی وجود دارد، بطوریکه هر دو عناصر اصلی ایجاد و یا بهبود تکنولوژی می‌باشند که گاهی مکمل یکدیگر بوده و گاهی در خلاف جهت

یکدیگر حرکت می‌کنند. نوآوری‌ها اغلب نتیجه تلاش‌های فردیست، که از طریق سیستم استانداردسازی و پتنت، نتایج و منافعش به صنعت منتقل می‌شود. در حقیقت افراد مبتکر و نوآور با مراجعه به این مؤسسات، ایده‌ها و تجارب خود را در اختیار دیگران قرار داده و استانداردها را بوجود می‌آورند. استانداردسازی هم در مورد محصول و هم در مورد فرآیند، انجام می‌شود. استانداردسازی در مجموع از منافع مصرف‌کننده حمایت می‌کند، چرا که باعث گسترش بازار (افزایش حق انتخاب) شده و به نوآوری سرعت می‌بخشد، علاوه بر این با استانداردسازی قدرت بکارگیری محصولات جدید توسط مصرف‌کنندگان نیز افزایش می‌یابد.

### ۱-۲-۳- انجام تحقیق و توسعه

هر چند این گزارش به دنبال معرفی عوامل موثر در نظام نوآوری ملی است و همانگونه که قبلاً تشریح شد، تحقیق و توسعه تنها یکی از اجزاء نوآوری است، اما به علت عدم وجود اطلاعات و آمار کمی و مناسب در مورد فعالیت‌های نوآورانه، کارکردهای نوآورانه سیستم به انجام تحقیق و توسعه محدود شده است. بنابراین R&D به عنوان شاخص مهم نوآوری، در نظر گرفته شده است. در واقع در این مرحله وارد سطح اجرایی شده و به تعیین و معرفی مجریان R&D در سطوح مختلف سیستم پرداخته می‌شود. این مجریان که انجام‌دهنده تحقیقات بنیادی، کاربردی و توسعه‌ای فناوری هستند، یکی از مهمترین کارکردهای سیستم را بر عهده داشته و یکی از منابع داخلی دانش در سیستم به شمار می‌روند.

مؤسسات انجام دهنده R&D در ابتدا بصورت آزمایشگاه‌های تحقیقات صنعتی و با هدف تحقیق و توسعه پیرامون محصولات و فرآیندهای جدید یا بهبود یافته، در زمینه صناعی نظیر الکترونیک و فرآورده‌های شیمیایی آغاز به کار نمودند. با مشارکت این آزمایشگاه‌ها با دانشگاه‌ها، به تدریج تحقیقات در رشته‌های مهندسی جدید و علوم کاربردی نیز در دستور کار این آزمایشگاه‌ها قرار گرفته و بخشی از این فعالیت‌ها به فرآیند " ابداع و اختراع " اختصاص یافته است.

ابداع و اختراع فعالیتی است که در آن محصول نهائی حاصل نمی‌شود زیرا تلاش‌های زیادی از جمله آزمایش، اصلاح، بازنگری و تجاری‌سازی قبل از عرضه محصول به بازار مورد نیاز است. نقش واحدها و آزمایشگاه‌های تحقیقاتی ایجاد شده در صنعت نسبت به آزمایشگاه‌های مستقر در دانشگاه‌ها و مراکز دولتی مهمتر می‌باشد. زیرا در اکثر صنایع این واحدها به جایگاه اصلی انجام فعالیت‌های R&D (بعنوان یکی از اجزای فرآیند نوآوری) تبدیل شده‌اند (البته نه در تمامی صنایع). علت این موضوع عبارت است از اینکه اولاً پس از خلق و انتشار فناوری، نقاط قوت و ضعف آن توسط استفاده‌کنندگان فناوری (شرکت‌ها

و مشتریان و تأمین کنندگان آنها) شناسائی می‌شود. بنابراین در طول زمان شرکت‌های فعال در یک صنعت خاص به سمت نوع خاصی از R&D گرایش پیدا کردند که نه تنها بر پایه یافته‌های علمی دانشمندان بلکه به میزان زیادی بر تجربه متکی باشد. ثانیاً یکی از اهداف نوآوری کسب سود بیشتر می‌باشد و این سودآوری در بسیاری از فناوری‌ها مستلزم یکپارچگی فعالیت‌های R&D با تولید و بازاریابی است که در قالب یک سازمان قابل حصول است.

گاهی یک نوآوری در کشوری در حال توسعه مستلزم یادگیری یا بکارگیری فناوری‌هایی می‌باشد که زمانی در کشورهای صنعتی به کار گرفته شده است. این یادگیری جهت تولید محصولات یا استفاده از تکنولوژی‌ها، بوسیله فرآیند " مهندسی معکوس " صورت می‌گیرد. گرچه در برخی کشورها فرآیند مهندسی معکوس جزو فعالیت‌های R&D نمی‌باشد اما مهندسی معکوس بسیار شبیه R&D است بطوریکه در دوران توسعه اقتصادی کشور کره، مهندسی معکوس یکی از مهمترین فعالیت‌ها در واحدهای R&D بوده که باعث تولید محصولات کاملاً متفاوتی شده است. همینطور این فرآیند در کشورهای صنعتی یکی از مهمترین منابع کسب دانش به شمار می‌رود. بنابراین در این تحقیق علاوه بر تحقیقات بنیادی، توسعه‌ای و کاربردی، مهندسی معکوس را نیز جزو فعالیت‌های مؤسسات انجام دهنده R&D در نظر می‌گیرند. در ادامه توضیحاتی در خصوص طبقه‌بندی انواع تحقیقات و جایگاه مراکز تحقیقاتی و دانشگاه‌ها ارائه می‌شود.

### تحقیقات بنیادی

تحقیقات بنیادی و یا پایه‌ای<sup>۱</sup> کاوش‌های اصلی هستند که هدف عمده آن توسعه مرزهای دانش و کشف ناشناخته‌های علمی است. آن بخش از این نوع تحقیقات که فارغ از نتایج اقتصادی و اجتماعی عمدتاً از روی کنجکاوی صورت می‌گیرد، تحقیقات محض<sup>۲</sup> نامیده می‌شود. متقابلاً تحقیقات راهبردی و یا تحقیقات بنیادی مأموریت‌گرا معطوف به فراهم نمودن زمینه علمی لازم به منظور حل مسائل کاربردی جاری و آتی می‌باشد. عمده تحقیقات بنیادی معمولاً توسط دانشگاه‌ها و بخش کمی از آن نیز توسط مؤسسات تحقیقاتی دولتی انجام می‌گیرد.

### تحقیقات کاربردی

1 Basic Research

2 Pure Research

تحقیقات کاربردی<sup>۱</sup> به آن دسته از کاوش‌های اصیل اطلاق می‌شود که هدف اصلی آن کشف کاربرد یافته‌های تحقیقات بنیادی و نیز رفع مشکل مربوطه به کاربردی کردن نتایج تحقیقات می‌باشد. این تحقیقات عمدتاً توسط دانشگاه‌ها و مؤسسات تحقیقاتی صورت می‌گیرد.

### تحقیقات توسعه‌ای

تحقیقات توسعه‌ای<sup>۲</sup> به فعالیت‌های تحقیقاتی مبتنی بر یافته‌های تحقیقات کاربردی اطلاق می‌گردد که هدف اصلی آن تدوین و اجرای روش‌های لازم جهت ایجاد و یا بهبود محصولات، مواد ابزار، خدمات و یا روش‌های جدید است. این تحقیقات عمدتاً توسط مؤسسات تحقیقاتی بزرگ وابسته به صنایع دانشگاهی و یا مؤسسات تحقیقاتی مستقل صورت می‌پذیرد. این نوع تحقیقات که به لحاظ طبیعت آن معمولاً بسیار پرهزینه است، بین ۸۰ تا ۹۰ درصد بودجه‌های تحقیقاتی را در زمینه مربوطه به خود اختصاص می‌دهد.

### مهندسی معکوس

اگر تحقیق را فرآیندی به منظور کشف نادانسته بدانیم، آنگاه می‌توان مهندسی معکوس را که در حقیقت یکی از روش‌های اصلی جهت دستیابی و انتقال فناوری است - خصوصاً در کشورهای در حال توسعه - در زمره تحقیقات به حساب آورد. در این نوع از تحقیقات ایده، موضوع و نمونه آن موجود است و وظیفه اصلی محقق طراحی مجدد و بازآفرینی سیستم موجود است. این فعالیت نیازمند انجام حجم قابل توجهی طراحی و تتبعی - مراجعه به نتایج تحقیقات موجود - می‌باشد. در بعضی موارد نیز که نتایج تحقیقات مورد نیاز قبلاً به دلایل امنیتی و یا اقتصادی منتشر شده است، این دسته از تحقیقات نیازمند انجام تحقیقات اصیل از انواع مختلف آن خواهد بود. این نوع تحقیقات عمدتاً توسط شرکت‌های تحقیقاتی و مؤسسات تحقیقاتی صورت می‌پذیرد.

### ۱-۲-۲-۴- انتقال فناوری

در مسیر دستیابی به هر فناوری، با توجه به میزان توانمندی که نسبت به آن حوزه وجود دارد و همچنین ارزیابی روش‌های مختلف دستیابی یکی از روش‌های توسعه درونزا یا انتقال تکنولوژی و یا روش‌های ترکیبی و میانی انتخاب می‌شود. بدلیل لزوم انتقال دانش و فناوری در بسیاری از موارد، لازم است تا ساز و کاری برای انتقال مناسب و کارآمد دانش و فناوری از منابع خارجی تعبیه شود. بسیاری از دولت‌ها از راه‌کارهای مختلفی جهت تسهیل و هرچه اثر بخش‌تر شدن این فرآیند در جهت توسعه فناوری استفاده می‌کنند. تخصیص وام‌ها و منابع مالی کم بهره، تسهیلات حقوقی و قانونی مورد نیاز از قبیل تسهیلات گمرکی و اعطای معافیت‌های مالیاتی از جمله راهکارهایی است که توسط دولت به کار گرفته می‌شود.

در بعضی موارد حتی دولت‌ها خود مستقیماً به انتقال دانش و فناوری و انتشار آن به مراکز مربوطه اقدام می‌کنند. در هر صورت انتقال فناوری یکی از کلیدی‌ترین کارکردهای نظام نوآوری ملی است که باید مورد توجه قرار گیرد. اهمیت این کارکرد در کشورهایی که به عنوان پیرو و نه پیشرو در توسعه فناوری محسوب می‌شوند از اهمیت بیشتری برخوردار است.

### ۱-۲-۲-۵- کارآفرینی فناوری

یکی از کارکردهای اساسی نظام نوآوری ملی، ارتقای کارآفرینی فناوری می‌باشد. هر چند ممکن است فعالیت‌های مربوطه بصورت پراکنده در سازمان‌های مختلف دنبال شود، ولی معمولاً اینگونه فعالیت‌ها در کشورهای موفق در مراکز حمایت از کارآفرینی متمرکز شده است. این مراکز برای اولین بار در سال ۱۹۵۹، در آمریکا شکل گرفتند. هدف اصلی از تشکیل چنین مراکزی این بود که " محلی برای پرورش شرکت‌های جوان، کمک به رشد این شرکت‌ها در طول دوره اولیه شکل‌گیری، ارائه کمک‌های مدیریتی، دسترسی به منافع مالی، حمایت‌های فنی و مکان مشترکی برای کار با شرایطی آسان " فراهم شود. امروزه بیش از ۱۵۰۰ مرکز در سطح جهان خصوصاً در آمریکا، اروپا و ژاپن فعال بوده، که بیش از ۵۰۰ مورد از آنها در کشورهای در حال توسعه متمرکز است.

به زبان ساده، مرکز حمایت از کارآفرینی، مکانی است که کسب و کارهای جدید در آن خلق شده و از کارآفرینان (قبل از آنکه طرح آنها به مرحله‌ای برسد که بتوان بر آن سرمایه‌گذاری نمود) حمایت می‌کند. این کمک‌ها در قالب حمایت‌های مالی، اداری، بازاریابی، طراحی، آموزش‌های مدیریت و غیره است. بطور خلاصه اهداف این مرکز عبارت است از تقویت خود اشتغالی،

توسعه کسب و کار، تسریع رشد اقتصادی، کاهش نرخ شکست کسب و کارها و ارتقاء آنها، تجاری سازی ایده های خلاق، ایجاد اشتغال، توسعه فناوری و خلق ثروت.

### ۱-۲-۲-۶- توسعه منابع انسانی

توسعه منابع انسانی بعنوان یکی از کارکردهای اصلی در ساختار نظام نوآوری ملی کشورها، نقش بسیار مهمی در آن سیستم ایفا می کند. در مباحث مربوطه نه تنها بر اهمیت انعطاف پذیری، سازگاری، آموزش مداوم و جابجایی افراد تاکید شده، بلکه بر نقش افراد در فرآیند یادگیری سازمانی و دسترسی به دانش نیز اشاره شده است.

طبق مطالعه ای که در استرالیا صورت گرفته، تحصیلات عالی نقش مهمی در جوامع یادگیرنده ایفا می کند، زیرا این تحصیلات در هر شکل و تخصصی که باشد باعث پرورش و پالایش افکار و تربیت افراد یادگیرنده می شود، بطوریکه این افراد نقش سازنده ای در سازمان ها، جامعه و کشور به عهده می گیرند. امروزه سیستم های آموزشی، اقتصادی و سیاسی عمیقاً به یکدیگر وابسته بوده و امکان توسعه یکی، بدون در نظر گرفتن دیگری وجود ندارد. سازمان OECD در مطالعه سال ۱۹۹۶ در حوزه علم و فناوری، بر نقش سیاست های دولت در مرتبط ساختن سیستم آموزشی با سیستم های اقتصادی، تاکید کرده است. همچنین در مطالعه دولت کانادا در سال ۱۹۹۶ آمده است که: ضعف توسعه نیروی انسانی نه تنها بهره وری و رشد اقتصادی، بلکه کیفیت زندگی (نظیر سلامت فیزیکی و روانی، قدرت تربیت فرزندان سالم) و بالاخره توانایی حفظ نظم و پیوستگی جامعه را نیز تحت تأثیر قرار می دهد.

اساساً محور هر گونه فعالیت نوآوری، خلق ایده در ذهن افرادی نوآور و خلاق است و توانمندی های فنی و مدیریتی متخصصان سیستم، ایده خلق شده را مرحله به مرحله پیش برده و آنرا با یک کاربرد در بازار پیوند می دهد. بنابراین حضور نیروی انسانی شایسته و توانمند در سیستم و ارائه آموزش های لازم و پیشرفته برای افزایش سطح قابلیت های تخصصی آنها، از پیش شرط های موفقیت در امر نوآوری در کلیت سیستم است. از سوی دیگر، انتقال افراد در بین اجزای مختلف سیستم، یکی از روش های مهم انتقال دانش و فناوری به شمار می رود و از سوی دیگر، باعث جامع نگری و ارتقاء توانمندی خود پرسنل می شود. از مهمترین فعالیت های زیر مجموعه کارکرد "توسعه نیروی انسانی" می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- آموزش

- تسهیل جابجایی افراد

جریان دانش از طریق ارتقاء توسعه منابع انسانی توسط مکانیزم‌های مختلفی از جمله، دانشگاه‌ها، موسسات آموزشی، موسسات تحقیقاتی و همینطور جابجایی نیروی انسانی متخصص برقرار می‌گردد.

### ۱-۲-۷- انتشار فناوری در نظام نوآوری ملی

پس از آنکه مجریان R&D نقش خود را در سیستم ایفا کرده و فناوری و دانش جدیدی را خلق نموده یا توسعه بخشیدند (یا حتی فناوری‌های موجود را بهبود دادند) لازم است تا این تغییرات در کل سیستم منتشر شوند و در یک جزء سیستم حبس نشوند. در واقع ویژگی عمده نظام نوآوری ملی در همین است که چون از مرحله خلق دانش تا کاربردی شدن آن را شامل می‌شود، انتشار فناوری در کل شبکه بعنوان یکی از فعالیتهای عمده سیستم‌های نوآوری صنایع مطرح می‌شود.

در سال‌های اخیر، تمامی کشورهای صنعتی پیشرفته (و برخی کشورهای در حال توسعه)، برنامه‌ها و سیاست‌های فراوانی را با هدف ارتقاء انتشار فناوری تدوین و دنبال کرده‌اند. انتشار و بکارگیری مناسب فناوری، زمینه ساز کسب توان رقابت صنعتی، بهره‌وری و کارایی اقتصادی، رشد تجاری، انعطاف پذیری، کیفیت، نگهداری و حفظ مشاغل پر درآمد و شکل‌گیری زمینه‌سازی نوآوری‌های بعدی است. در این راستا، نه تنها به روش‌های سیاست‌گذاری (با هدف تسریع انتشار فناوری و تقویت ارتباط مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان فناوری)، بلکه به خلق و توسعه سیستم‌های پشتیبانی و زیر ساختی انتشار فناوری نیز توجه خاصی مبذول می‌شود.

سازمان‌ها و اجزاء متعددی در نظام نوآوری ملی، درگیر انتشار فناوری بوده و فعالیتهای مختلفی را انجام می‌دهند. برخی

از فعالیتهای عمده در زمینه انتشار فناوری عبارتند از:

- بالا بردن آگاهی و نمایش فناوری
- خدمات جستجو و مرجع دهی اطلاعات
- آموزش، مشاوره و کمکهای فنی
- پروژه‌های مشترک تحقیقات و فناوری

- خریدهای دولتی

- شبکه‌سازی منطقه‌ای یا صنعتی

### ۱-۲-۲-۸- تولید کالا و خدمات

در نهایت زمانی که فناوری انتشار یافت، بایستی در تولید کالاها و خدمات، بکار گرفته شود. پس باید بخشی از نظام نوآوری ملی در فعالیت‌های سرمایه‌گذاری و تولید درگیر شوند تا ایده اولیه، باعث افزایش بهره‌وری و عملکرد اقتصادی کل کشور گردد. معمولاً این بخش از نظام نوآوری ملی دیرتر از سایر اجزاء شکل می‌گیرد.

در هر فناوری و محصول نوظهور، به دلیل اینکه در ابتدای چرخه عمر قیمت و هزینه تمام‌شده بالا بوده و ریسک استفاده از محصول یا فناوری‌های جدید برای مصرف‌کننده زیاد است از مکانیزم‌هایی برای کمک به شکل‌گیری بازار استفاده می‌شود. این کارکرد بیشتر مربوط به طرف تقاضا بوده و به انحاء مختلف باعث تحریک تقاضا می‌شود. بعنوان مثال برای اینکه استفاده از یک فناوری و محصول خاص در ابتدای امر فراگیر شود و تولیدکننده نیز انگیزه ادامه تولید پیدا کند به خریداران اولیه وام‌های کمکی اعطا می‌شود تا کالا و فناوری مورد نظر برای آن‌ها ارزان‌تر تمام شود. انواع فعالیت‌هایی که به تحریک بازار در داخل یا خارج از کشور کمک می‌پردازند در این زمره قرار می‌گیرند. در جهت کمک به اتصال به بازارهای جهانی نیز، دولت‌ها فعالیت‌های زیادی را انجام می‌دهند. انجام بازاریابی‌های بین‌المللی، سیاست‌های تشویق و توسعه صادرات و انواع تسهیلات قانونی در ابتدای انتشار محصول در بازارهای داخل و خارج از این جمله‌اند.

### ۱-۳- روش پیشنهادی برنامه عملیاتی

در این قسمت باید به معرفی (گام‌های) روشی برای تدوین برنامه عملیاتی پرداخت. این روش پیشنهادی باید قادر باشد تا به سوالات مختلف فرایند توسعه فناوری که تا این مرحله مورد توجه قرار نگرفته‌اند پاسخ داده شود؛ سوالاتی نظیر:

- برنامه‌ها برای پاسخ‌گویی به کدام اهداف تدوین و اجرا می‌شود؟



- برنامه‌ها چگونه اولویت‌ها و ملاحظات تعریف شده در راهبردها، سیاست‌ها و راه‌کارها را عملیاتی می‌سازند؟
- گروه‌ها یا نهادهای اصلی هدف (یعنی هویت‌هایی که این قصد تاثیرگذاری بر رفتار آن‌ها را دارد) کدامند؟
- مجری یا مجریان این برنامه کدامند؟ و نحوه عمل آن‌ها چگونه است؟
- دوره زمانی اجرای برنامه چقدر است؟
- منابع موردنیاز و نتایج مورد انتظار از اجرای این برنامه‌ها کدامند؟

بر مبنای رویکرد چارچوب منطقی و روش تدوین برنامه عملیاتی فناوری پیل سوختی از یک طرف، و نیز جهت‌گیری‌های کلان پشتیبان تدوین شده تا کنون، در این قسمت لازم است تا روش پیشنهادی تدوین برنامه عملیاتی ارائه شود. این روش پیشنهادی متشکل از گام‌های زیر خواهد بود:

### ۱-۳-۱ در نظرگیری ارتباط برنامه‌های با جهت‌گیری‌های کلان و پشتیبان

هر برنامه در ارتباط با یک و چند هدف بالادستی نوشته می‌شود. به عبارت دیگر، هدف اولیه یک سند توسعه فناوری در ابتدا برآورده ساختن جهت‌گیری‌های کلان و پشتیبان تعریف شده در مراحل قبل است. با توجه به منطقی که در فصول پیشین به عنوان فرایند تدوین اسناد ملی راهبردی بیان شد، تدوین برنامه‌های عملیاتی نیز باید با توجه و در نظرگیری این فرایند انجام گردد.

برنامه‌های تدوین شده در مرحله اول باید همراستا با اهداف کلان و خرد تعیین شده در مراحل قبلی باشد. برای این منظور، لازم است تا درخت ارتباط اهداف کلان-اهداف خرد-نتایج تعریف شود. این کار در قالب تحلیل و همراستا نمودن اهداف با پاسخ به سوالات زیر انجام می‌شود:

- اقدامات در بلندمدت باید به چه اهدافی دست پیدا کنند (اهداف کلان)؟
- تمرکز اصلی اقدامات در چیست (اهداف پروژه‌ای)؟
- چه اهداف خردی برای دستیابی به اهداف پروژه‌ای و در نتیجه اهداف کلان لازم است (نتایج)؟

با ترسیم شدن این درخت هدف، می‌توان تصویر روشنی از مقاصدی که برنامه‌های تدوینی باید ملاحظات آن‌ها را در نظر داشته باشند، ارائه داد.

در مرحله دوم، برنامه‌های تدوین شده باید با راهبردها، راه‌کارها و سیاست‌های تدوین شده همخوان باشد. این کار را می‌توان با تحلیل موانع شناسایی شده در مرحله جهت‌گیری‌های پشتیبان به انجام رساند. با در نظر داشتن موانع به شکل مشکلاتی که باید برای آن‌ها راه‌حل ارائه گردد، یک مشکل پیچیده به شکل آسانی حل خواهد شد اگر علت و اثرات آن به‌طور کامل مورد تحلیل قرار گرفته باشد. پیش از طراحی پروژه‌های عملیاتی برای توسعه فناوری، لازم است تا علت‌ها و همچنین اثرات مشکلات پدید آمده بررسی شود. علل مورد بررسی قرار می‌گیرند به این منظور که دلایل اصلی برای وقوع مشکلات شناسایی شده و راه‌حل‌ها و فعالیت‌های عملیاتی مناسب پیشنهاد گردند. اثرات مشکلات نیز ضرورت و نیاز به اجرای اقدامات و فعالیت‌های عملیاتی برای رفع مشکلات را نشان می‌دهد.

این مشکلات در مولفه‌ی جهت‌گیری‌های پشتیبان و در قالب موانع گذار شناسایی شده‌اند. در این گام تنها به تحلیل آن‌ها از طریق ترسیم درخت مشکلات پرداخته می‌شود. یکی از راه‌های تحلیل مشکلات شناسایی شده در گام‌های قبلی، بهره‌گیری از نظرات ذینفعان در قالب کارگاه‌های برنامه‌ریزی پروژه است. در این راستا، ذینفعان باید با پاسخ به سوالات زیر، در مورد درخت مشکلات به توافق برسند. این سوالات عبارتند از:

- مشکل اصلی در توسعه فناوری که باید برای حل آن پروژه‌های عملیاتی پیشنهاد نمود چیست (اولویت‌بندی مشکلات)؟
- علل اصلی در وقوع این مشکل چیست؟
- وقوع این مشکل چه اثراتی بر محیط اطراف می‌گذارد (چرا حل این مشکل ضروری است)؟
- چه کسانی مسببین پدیدار شدن مشکل هستند و چه کسانی از این مشکل تاثیر می‌پذیرند؟

بر مبنای این نظرات و نیز با توجه به خروجی حاصل راهبردها و راه‌کارها در جهت‌گیری‌های کلان و پشتیبان، درخت مشکلات ترسیم می‌گردد. در این درخت علت‌ها به‌عنوان ریشه‌های این تنه اصلی درخت (مشکلات اصلی) متصور می‌شوند. اثرات مشکلات نیز شاخ و برگ درخت را نشان می‌دهند. درخت مشکلات همیشه از پایین به بالا خوانده می‌شود. مشکلات

پایینی علل ایجاد مشکلات بالایی هستند. بنابراین امید به بهبود مشکلات با هدف قرار دادن ریشه‌ای‌ترین علل لازم است. در زمان طراحی فعالیت‌ها لازم است تا تمرکز و اولویت با فعالیت‌هایی باشد که بیش‌تر از همه قادر به حذف علل مشکلات (ریشه-ها) هستند. گاهی یک فعالیت قادر به حل چند علت و مشکل بوده و در بعضی شرایط نیز وجود چند فعالیت برای رفع یک علت یا مشکل لازم است.

با در نظر داشتن همزمان درخت هدف و درخت مشکلات، برنامه‌های تدوین شده کلیه ملاحظات بالادستی خود – که در جهت‌گیری‌های کلان و پشتیبان تعریف شده‌اند – را پوشش می‌دهد.

### ۱-۳-۲ تعیین حوزه‌های هدف

در تدوین برنامه‌ها، لازم است تا نهادهای اصلی هدف، یعنی مضمولان برنامه‌ها یا حوزه‌هایی که برنامه‌ها قصد تأثیرگذاری بر آن‌ها را دارند شناسایی نمود. هرچند در رویکردهای سیستمی تبیین شده برای ظهور نوآوری، خلق، انتشار و بهره‌برداری از نوآوری ناشی از تعامل دامنه متفاوتی از حوزه‌ها تعریف می‌گردد، اما برای دستیابی به هر هدف در سطح عملیاتی بعضی گروه‌ها یا نهادها (حوزه‌ها) می‌توانند نقش پیش‌برندگی بیشتری داشته باشند گروه‌ها و نهادهای هدف می‌توانند شامل موارد زیر باشند:

- شرکت‌های تازه‌تاسیس مبتنی بر فناوری،
- شرکت‌های بزرگ، شرکت‌های کوچک و متوسط،
- خوشه‌های صنعتی،
- موسسات پژوهشی و پژوهشگاه‌های دولتی،

هر نوع از برنامه‌های عملیاتی نیز برای یک گروه هدف خاص، مانند یک بخش یا یک خوشه خاص، یک شرکت کوچک یا متوسط و یا یک شرکت زایشی جدید طراحی می‌شود. برنامه‌ها باید نهادهایی را بیشتر مورد هدف قرار دهند که بیشترین تأثیرگذاری را در راستای تحقق درخت هدف و بیشترین سازگاری را با درخت مشکلات داشته باشد. این برنامه‌ها مناسب است تا مطابق با معیارهای زیر باشند:

- حوزه‌هایی که در حوزه سیاست‌گذاری موردنظر، بیشترین تأثیرگذاری را در راستای اهداف سیاستی داشته باشند،

- حوزه‌هایی که دارای بیشترین ارتباطات پسین و پیشین در سایر حوزه‌ها باشند، یعنی برون‌داد آن‌ها به‌عنوان درون‌داد حوزه‌ای دیگر بوده و یا با استفاده از برون‌داد سایر حوزه‌ها به‌عنوان درون‌داد، قابلیت تحریک و رشد در سایر حوزه‌ها را دارند،
  - حوزه‌هایی که بیشترین سرریز مثبت را برای سایر حوزه‌ها داشته باشند،
  - سرریزهایی که بیشترین توانایی درونی کردن دانش و تجربه به‌دست آمده از فعالیت فناورانه هدایت شده را برای کاربرد مجدد داشته باشند.
- انتخاب حوزه هدف مناسب نیازمند چارچوب تحلیلی مناسب است. از آنجا که انتخاب حوزه هدف ارتباط تنگاتنگی با جنس برنامه‌های اتخاذ شده دارد، این چارچوب منطقاً مشخص‌کننده همزمان نوع برنامه و حوزه هدف خواهد بود. بنابراین مناسب است تا این چارچوب در گام بعدی ارائه شود.

### ۱-۳-۳ طراحی برنامه‌ها

در این گام اقدامات ضروری به‌منظور برآورده کردن اهداف کلان و خرد و نیز محقق نمودن راهبردها، راه‌کارها و سیاست‌ها تعیین می‌شود. این اقدامات فعالیت‌هایی هستند که توسط کنش‌گران توسعه فناوری و در راستای راهبردهای کلان و سیاست‌های نوآوری تعریف می‌شود. این هم‌راستایی با در نظرگیری درخت مشکلات و درخت اهداف ترسیم شده در گام‌های قبلی حاصل می‌گردد. اگر برنامه‌ها و اقدام‌ها به‌طور صحیحی برنامه‌ریزی شوند، نتایج موردانتظار از انجام آن‌ها حاصل، و در نتیجه، اهداف میان‌مدت و بلندمدت نیز محقق می‌گردد. اقدامات و برنامه‌ها در فرایندی توافقی و تعاملی و براساس نظر ذینفعان استخراج می‌گردد. راه‌کارهای تدوین شده در مراحل قبل هم راهنمای مناسبی برای طراحی اقدامات هستند. به‌عبارت دیگر، برای تحقق هر راه‌کار، وجود مجموعه‌ای از اقدامات ضروری است.

### ۱-۳-۴ تبیین مجریان و نحوه عمل آن‌ها

منظور از مجریان نهادهایی است که مسئولیت اجرای برنامه‌ها را برعهده دارند. ممکن است مجری همان سیاست‌گذار باشد، اما در برخی موارد سیاست‌گذار و مجری نهادهای متفاوتی هستند.

اجرای برنامه‌ها، فرایند تعاملی میان دولت با گروه‌های هدفی است که تلاش می‌کنند برنامه مزبور را براساس انگیزه‌ها، ظرفیت و ادراک خودشان اجرا کنند یا از اجرای آن‌ها جلوگیری کرده یا آن‌ها را تغییر دهند. انگیزه کنش‌گران شامل انگیزه‌های درونی و بیرونی آن می‌شود. ظرفیت یک کنش‌گر به موقعیت وی در چارچوب نهادی اطلاق می‌شود و ادراک کنش‌گران می‌تواند شامل یادگیری، تجارب آن‌ها و اعتقاداتشان باشد. بنابراین باید رابطه تعاملی میان مجریان برنامه‌ها و کنش‌گران نیز در این فرایند مورد نظر قرار گیرد.

تعیین مجریان و مشخص نمودن نحوه عمل آن‌ها یکی از تاثیرگذارترین اجزای برنامه‌ها به‌شمار می‌رود. همان‌طور که قابلیت‌های نهاد تدوین‌کننده برنامه‌ها بر کیفیت برنامه‌ها تاثیر می‌گذارد، قابلیت‌های مجریان برنامه‌ها نیز آثار غیرقابل چشم‌پوشی بر کیفیت اجرای برنامه‌ها و خروجی حاصل از آن‌ها دارد. لذا اطمینان از انتخاب مناسب‌ترین مجری برای هر برنامه بسیار حائز اهمیت است. مجریان باید هم از لحاظ ظرفیت‌ها و قابلیت‌های درونی برای اجرای برنامه و هم از لحاظ اعتبار، جایگاه و ارتباطات بیرونی لازم ارزیابی شوند.

آنچه که در این زمینه گاه حتی مهم‌تر از کیستی مجری است، آن است که مجری چگونه عمل کند. نحوه عمل مجری به‌خصوص در برنامه‌های حمایتی مستقیم که ماهیتی گزینشی دارند، از اهمیت بیشتری برخوردار است. در غالب این‌گونه برنامه‌ها، مجری باید بتواند بین اجزای گروه هدف قضاوت کرده و موارد واجد شرایط را انتخاب کند. برای مثال، به‌منظور اعطای گرنت برای تحقیقات، انعقاد قراردادهای تحقیقاتی یا اعطای هرگونه کمک مستقیم به شرکت‌های کوچک و متوسط، معمولاً باید تا از بین متقاضیان تعداد محدودی انتخاب شوند. نتیجه مهم چنین شرایطی این است که اولاً مجری باید از صلاحیت‌های علمی، فنی و سازمانی لازم برخوردار باشد و ثانیاً بتواند فرایند انتخاب را کاملاً شفاف و عادلانه به انجام برساند.

با توجه به موارد فوق و نیز سایر نکاتی که معمولاً جزء اصول حکمرانی برای سیاست‌گذاران و مجریان در نظام‌های نوآوری است، بعضی از اصولی که مجریان در نحوه عمل خود باید به آن توجه کنند، در ذیل آمده و سعی شده برای هر اصل مصایق و رهنمودهایی کلی تدوین شود. اصول مزبور عبارتند از:

### الف- شفافیت و عدالت

تمام فعالیت‌های نهادهای دولتی در حوزه مورد بحث، باید در قالب سیاست‌ها و برنامه‌های مدون به اطلاع ذینفعان و عموم برسد.

سیاست‌گذاران و مجریان باید پایگاه‌های داده‌ای به‌روز از متن سیاست‌ها و برنامه‌ها، تمام فعالیت‌های انجام شده تحت این برنامه‌ها، مشخصات شرکت‌ها و پروژه‌های حمایت شده را برای دسترسی عموم علاقه‌مندان ایجاد نمایند. اصلاح‌رسانی و پایگاه داده ترجیحاً باید از طریق پورتال اینترنتی نیز انجام شود. درباره فعالیت‌هایی که با امنیت ملی ارتباط دارند و فعالیت‌هایی که به لحاظ موقعیت رقابتی شرکت مهم هستند، جزئیات دقیق فعالیت‌های حمایت شده می‌تواند محرمانه نگه داشته شود. اما همچنان عنوان پروژه یا فعالیت‌ها و توصیفی مختصر از آن باید در پایگاه داده وجود داشته باشد.

درموردی که برای اجرای برنامه‌ها به داوری خبرگان نیاز باشد، باید برای داوری‌ها از معیارهای مرتبط و مدون و فرایندهای شفاف استفاده شود

اعضای پنل‌های داوری باید درباره موضوعاتی که نظر می‌دهند کاملاً بی‌طرف و بدون هیچ‌گونه منفعتی باشند.

### ب- پاسخ‌گویی

سیاست‌گذاران و مجریان باید گزارشات دوره‌ای از عملکرد خود برای دسترسی عموم علاقه‌مندان انتشار دهند و گزارشات موردی طبق درخواست نهاد بالادست، با آخرین اطلاعات موجود تهیه نمایند.

سیاست‌گذاران و مجریان باید به‌شکل دوره‌ای تاثیر فعالیت‌های خود را از طریق مکانیزمی کاملاً بی‌طرفانه ارزیابی نمایند. علاوه بر معیارهای دیگر ارزیابی، باید توجه خاصی به تغییرات در نهاد هدف تحت محورهای تغییر در برون‌داد، تغییر در درون-داد، تغییر در رفتار نهاد هدف و میزان تداوم آن و بهبود ظرفیت حل مسئله و نوآوری.

### ج- قابل پیش‌بینی بودن

یعنی فعالیت‌هایی که مطابق معیارهای علمی، منطقی و شرایط و نیازهای موجود توجیه‌پذیرند، باید بر مبنای اصل وحدت رویه و به دور از تغییرات مدیریتی ادامه یابند و اگر هم قرار است از جایی قطع شوند، تاریخ این انقطاع از پیش مشخص باشد.

#### د- ظرفیت‌سازی

سیاست‌گذاران و مجریان باید پیش از اقدام به سیاست‌گذاری و اجرای سیاست‌ها، دانش، مهارت، شرایط و قابلیت‌های لازم برای موفقیت در فعالیت موردنظر را در خود ایجاد نمایند.

سیاست‌گذاران و مجریان باید فعالیت‌های خود را از طریق تیم‌های کوچک، چابک، متخصص، توانمند و انعطاف‌پذیر، مستقر در نهاد سیاست‌گذار و مجری هدایت نمایند.

#### ۱-۳-۵ تعریف دوره‌های زمانی

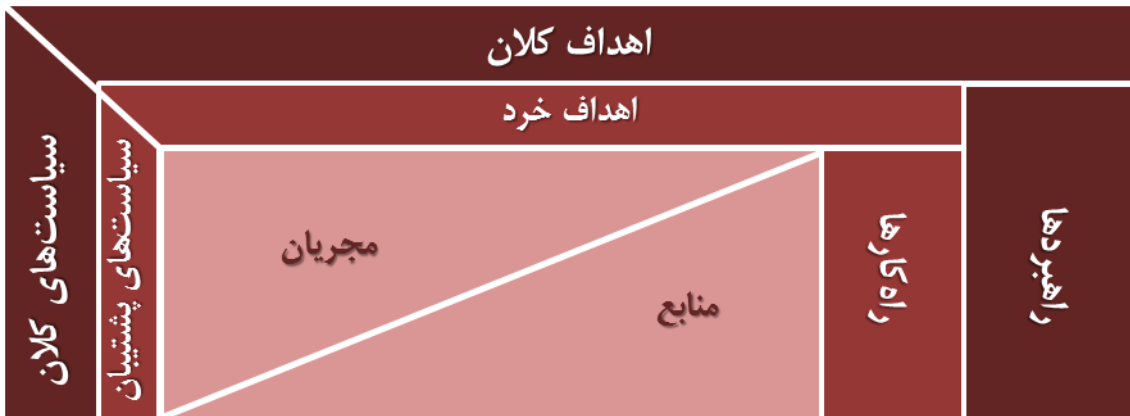
هرچند پایداری و قابل پیش‌بینی بودن گاه به‌عنوان نکات مثبت در بعضی از انواع برنامه‌های حمایتی برشمرده می‌شود، اما در عمل و به‌دلایل مختلف بهتر است این برنامه‌ها برای دوره‌های زمانی مشخص و محدود طراحی و اجرا شوند. از مهمترین مزایای محدود بودن زمان برنامه‌ها، می‌توان به روشن و محدود بودن بودجه موردنیاز، فراهم شدن امکانات ارزیابی بهتر نتایج و دستاوردها و امکان اصلاح، بازنگری و ایجاد تطابق بیشتر در برنامه‌ها با شرایط زمان، اشاره کرد. بر این اساس، لازم است تا دوره زمانی اجرایی هر برنامه را در این گام مشخص نمود.

#### ۱-۳-۶ برنامه‌ریزی منابع

برنامه‌ریزی منابع با هدف اجرایی نمودن اقدامات تعریف شده صورت می‌پذیرد. این برنامه‌ریزی را باید قبل از اجرایی کردن اقدامات به انجام رساند. منظور از منابع موردنیاز در این گام دانش فنی، ابزارآلات و تجهیزات و منابع مالی است. در صورت وجود منابع موردنیاز، برنامه‌ریزی منابع بیانگر چگونگی و اولویت‌بندی استفاده از آنهاست. اما در شرایطی که منابع موجود نباشد، برنامه‌ریزی به‌معنی چگونگی دستیابی به منابع از طریق خرید، همکاری، و یا تولید منابع موردنیاز است.

### ۱-۳-۷ ترسیم رهنگاشت برنامه عملیاتی

پس از تعریف اقدامات و برنامه‌ها، برنامه‌ریزی منابع و تعیین مجریان، در گام آخر برنامه عملیاتی لازم است تا ارتباط میان آن‌ها مشخص شده و خلاصه نتایج آن در قالب رهنگاشت برنامه عملیاتی ارائه شود. شکل زیر بیانگر ارتباط میان اجزای مختلف برنامه عملیاتی است.



شکل (۱-۵): رهنگاشت برنامه عملیاتی



## فصل دوم

پروژه‌های فنی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک

قدرت

## ۲- فصل دوم پروژه‌های فنی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت

### ۲-۱- مقدمه

در گزارش بند اول مرحله پنجم پروژه تحت عنوان "تدوین پروژه های اجرایی سند" پس از بررسی فناوری های اولویت دار سند پروژه‌هایی برای دستیابی به سطح مورد نظر فناورانه در هر فناوری پیشنهاد گردید. در این گزارش پروژه های پیشنهادی بشکلی جمع بندی و تکمیل گردیده است که اهداف کلی سند در هر فناوری پوشش داده شود. بدین منظور برخی پروژه‌ها در راستای صنعتی و تجاری سازی فناوری و حمایت از شکل گیری بازار تجهیزات در نظر گرفته شده است.

### ۲-۲- طراحی و ساخت مبدل توربین بادی

مبدل توربین بادی از جمله اجزاء اساسی توربین باد است. در سند «تدوین سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق» ساخت مبدل توربین بادی از جمله اولویتهای توسعه فناوری است. برای این منظور فعالیتها در دو مجموعه طراحی و ساخت مبدل مقیاس جزئی مگاواتی توربین بادی و طراحی و ساخت مبدل مقیاس کامل توربین بادی پیگیری خواهد شد.

فعالیتها در زمینه ساخت توربین بادی مگاواتی در کشور از چند سال پیش آغاز گردیده و در این خصوص پژوهشگاه نیرو و شرکت مپنا فعالیتها در خور توجهی صورت داده‌اند. گروه مپنا در سال ۱۳۹۴ طی قراردادی با یک شرکت خارجی اقدام به کسب دانش فنی این مبدلها از طریق انتقال فناوری نموده است و لذا در این زمینه فعالیت خاصی در سند پیش بینی نمی‌شود. البته لازم به ذکر است اقدامات مدنظر قرار گرفته در این سند حمایتها و پشتیبانی مورد نیاز را در این زمینه فراهم خواهد نمود.

طراحی و ساخت مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل برای توربین بادی در این سند مشتمل بر سه فاز است. در فاز اول مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین بادی با ظرفیت چند صد کیلووات طراحی و ساخته خواهد شد. در ادامه یک نمونه

مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین بادی ۲ مگاواتی ساخته خواهد شد و فعالیت فاز سوم طراحی و ساخت پنج نمونه مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین بادی مگاواتی را مد نظر دارد.

## ۲-۲-۱ طراحی و ساخت مبدل مقیاس کامل توربین بادی چند صد کیلوواتی

### ۲-۲-۱-۱-۱- عنوان پروژه

طراحی و ساخت مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین بادی مبتنی بر ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم ۲۵۰ کیلوواتی

### ۲-۲-۱-۲- تعریف مساله و هدف از اجرای پژوهش

با توجه به تحقیقات انجام شده در روند توسعه مبدل‌های الکترونیک قدرت توربین باد و با توجه به اهمیت افزایش راندمان توربین‌های باد و قابلیت کنترل کامل و استحصال ماکزیمم توان باد و همچنین پیشرفت و توسعه کلیدهای نیمه هادی؛ مبدل‌های مقیاس کامل توربین باد مورد توجه فراوانی قرار گرفته و سهم عمده‌ای از بازار را به خود اختصاص خواهند داد. مساله کاهش قیمت دلار بر کیلووات توربین‌های باد موجب افزایش توان توربین‌های بادی تا رنج بالاتر از ۱۰ مگاوات شده است. بنابراین انتظار می‌رود در سال‌های نه چندان دور سهم توربین‌های بادی القایی قفس سنجابی و دو سو تغذیه کاهش یافته و توربین‌های مغناطیس دائم سنکرون دارای مبدل مقیاس کامل جایگزین آنها شوند.

تکنولوژی مبدل‌های توربین بادی مقیاس کامل یکی از تکنولوژی‌های نوظهوری است که تقریباً از سال ۲۰۰۵ مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین از نظر تحقیق و توسعه این بخش اهمیت فراوانی دارد. همچنین انتقال دانش و بومی سازی این تکنولوژی نوظهور می‌تواند زمینه ساز پیشرفت علمی و اقتصادی در صنعت برق کشور شده و زمینه بهره برداری بهینه از پتانسیل باد کشور و کاهش اتکا به منابع فسیلی را فراهم کند.

مدار الکترونیک قدرت به کار رفته در مبدل باد از نظر ساختاری تا حدود زیادی مشابه مدارات الکترونیک قدرت به کار رفته در ادوات انعطاف پذیر خطوط انتقال است و تنها روش کنترل و رنج توانی آنها تا حدودی متفاوت است. بنابراین دستیابی به این مبدل می‌تواند زمینه ساز گسترش تکنولوژی‌های مشابه نیز گردد. در این پروژه مبدل الکترونیک قدرت یک توربین باد با ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم طراحی و ساخته خواهد شد. سایر اجزاء توربین در این پروژه به شکل مناسب تهیه و خریداری خواهد شد.

### ۲-۱-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین باد
- پیاده سازی عملی یک نمونه آزمایشی مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین باد
- گرفتن تاییدیه مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین باد از آزمایشگاه مرجع
- استفاده از دانش کسب شده در توسعه سایر تجهیزات مورد نیاز شبکه برق با ساختار الکترونیک قدرت مشابه
- امکان استحصال انرژی باد در محدوده سرعتی گسترده‌تر و افزایش صرفه اقتصادی این توربینها نسبت به توربینهای القایی موجود
- امکان توسعه توربینهای بادی مقیاس کوچک برای کاربرد در ریزشبکه‌ها
- افزایش راندمان و کاهش هزینه تعمیر و نگهداری بدلیل امکان حذف بخشهای مکانیکی از جمله گیربکس
- تسهیل توسعه استفاده از انرژی باد در کشور و کمک به سایر فعالیتهای در حال انجام در این حوزه
- جلوگیری از خروج ارز و فراهم نمودن امکان ساخت داخل مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین باد
- قرار گرفتن در جمع معدود کشورهای دارای این تکنولوژی
- کاهش اتکا به سوخت‌های فسیلی و کاهش آلاینده‌ها

### ۲-۱-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- در خصوص ساخت این مبدلها در کشور اقدام خاصی صورت نگرفته است.

- مجریان پیشنهادی: دانشگاهها، پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکتهای دانش بنیان

## ۲-۲-۱-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده کنندگان

- ولتاژ نامی: ۴۰۰ ولت ac
- توان مبدل: ۲۵۰ کیلووات
- فرکانس نامی: ۵۰ هرتز
- بازده مبدل: بیش از ۹۵ درصد
- نوع ژنراتور: سنکرون مغناطیس دائم
- مشخصات محیطی: دمای ۲۰- درجه تا ۵۰+ درجه
- استانداردها: EN 61800-3 و ...
- تعداد: یک نمونه
- استفاده کننده محصول: وزارت نیرو

## ۲-۲-۱-۶- نوع پروژه

- ساخت نمونه نیمه صنعتی

## ۲-۲-۱-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه

- هزینه: بیست و پنج میلیارد ریال
- زمان: ۲۴ ماه

## ۲-۲-۲ طراحی و ساخت مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین باد دو مگاواتی

### ۲-۲-۲-۱- عنوان پروژه

طراحی و ساخت مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین بادی مبتنی بر ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم ۲ مگاواتی

### ۲-۲-۲-۲- تعریف مساله و هدف از اجرای پژوهش

با توجه به تحقیقات انجام شده در روند توسعه مبدل‌های الکترونیک قدرت توربین باد و با توجه به اهمیت افزایش راندمان توربین‌های باد و قابلیت کنترل کامل و استحصال ماکزیمم توان باد و همچنین پیشرفت و توسعه کلیدهای نیمه هادی؛ مبدل‌های مقیاس کامل توربین باد مورد توجه فراوانی قرار گرفته و سهم عمده‌ای از بازار را به خود اختصاص خواهند داد. مساله کاهش قیمت دلار بر کیلووات توربین‌های باد موجب افزایش توان توربین‌های بادی تا رنج بالاتر از ۱۰ مگاوات شده است. بنابراین انتظار می‌رود در سال‌های نه چندان دور سهم توربین‌های بادی القایی قفس سنجابی و دو سو تغذیه کاهش یافته و توربین‌های مغناطیس دائم سنکرون دارای مبدل مقیاس کامل جایگزین آنها شوند.

تکنولوژی مبدل‌های توربین بادی مقیاس کامل یکی از تکنولوژی‌های نوظهوری است که تقریباً از سال ۲۰۰۵ مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین از نظر تحقیق و توسعه این بخش اهمیت فراوانی دارد. همچنین انتقال دانش و بومی سازی این تکنولوژی نوظهور می‌تواند زمینه ساز پیشرفت علمی و اقتصادی در صنعت برق کشور شده و زمینه بهره برداری بهینه از پتانسیل باد کشور و کاهش اتکا به منابع فسیلی را فراهم کند.

مدار الکترونیک قدرت به کار رفته در مبدل باد از نظر ساختاری تا حدود زیادی مشابه مدارات الکترونیک قدرت به کار رفته در ادوات انعطاف پذیر خطوط انتقال است و تنها روش کنترل و رنج توانی آنها تا حدودی متفاوت است. بنابراین دستیابی به این مبدل می‌تواند زمینه ساز گسترش تکنولوژی‌های مشابه نیز گردد.

در این پروژه مبدل الکترونیک قدرت یک توربین باد با ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم طراحی و ساخته خواهد شد. سایر اجزاء توربین در این پروژه به شکل مناسب تهیه و خریداری خواهد شد.

## ۲-۲-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین باد
- پیاده سازی عملی یک نمونه آزمایشی مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین باد مگاواتی
- گرفتن تاییدیه مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین باد از آزمایشگاه مرجع
- استفاده از دانش کسب شده در توسعه سایر تجهیزات مورد نیاز شبکه برق با ساختار الکترونیک قدرت مشابه از جمله مگا درایوها
- امکان استحصال انرژی باد در محدوده سرعتی گسترده تر و افزایش صرفه اقتصادی این توربینها نسبت به توربینهای القایی موجود
- افزایش راندمان و کاهش هزینه تعمیر و نگهداری بدلیل امکان حذف بخشهای مکانیکی از جمله گیربکس
- تسهیل توسعه استفاده از انرژی باد در کشور و کمک به سایر فعالیتهای در حال انجام در این حوزه در جهت دستیابی به هدف ۱۰ هزار مگاوات برق تجدیدپذیر
- جلوگیری از خروج ارز و فراهم نمودن امکان ساخت داخل مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین باد
- قرار گرفتن در جمع معدود کشورهای دارای این تکنولوژی
- کاهش اتکا به سوختهای فسیلی و کاهش آلایندهها

## ۲-۲-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- در خصوص ساخت این مبدلها در کشور اقدام خاصی صورت نگرفته است.
- مجریان پیشنهادی: دانشگاهها، پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکتهای دانش بنیان

## ۲-۲-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده کنندگان

- توان مبدل: دو مگاوات

- فرکانس نامی: ۵۰ هرتز
- بازده مبدل: بیش از ۹۵ درصد
- نوع ژنراتور: سنکرون مغناطیس دائم
- مشخصات محیطی: دمای ۴۰- درجه تا ۵۰+ درجه
- استانداردها: EN 61800-3 و ...
- تعداد: یک نمونه
- استفاده کننده محصول: وزارت نیرو

#### ۲-۲-۲-۶- نوع پروژه

- ساخت نمونه نیمه صنعتی

#### ۲-۲-۲-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه

- هزینه: سیصد میلیارد ریال
- زمان: ۳۶ ماه

### ۲-۲-۳- طراحی و ساخت پنج نمونه مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین بادی

#### مگاواتی

#### ۲-۳-۱- عنوان پروژه

طراحی و ساخت مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین بادی مبتنی بر ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم مگاواتی



## ۲-۳-۲- تعریف مساله و هدف از اجرای پژوهش

با توجه به تحقیقات انجام شده در روند توسعه مبدل‌های الکترونیک قدرت توربین باد و با توجه به اهمیت افزایش راندمان توربین‌های باد و قابلیت کنترل کامل و استحصال ماکزیمم توان باد و همچنین پیشرفت و توسعه کلیدهای نیمه هادی؛ مبدل‌های مقیاس کامل توربین باد مورد توجه فراوانی قرار گرفته و سهم عمده‌ای از بازار را به خود اختصاص خواهند داد. مساله کاهش قیمت دلار بر کیلووات توربین‌های باد موجب افزایش توان توربین‌های بادی تا رنج بالاتر از ۱۰ مگاوات شده است. بنابراین انتظار می‌رود در سال‌های نه چندان دور سهم توربین‌های بادی القایی قفس سنجابی و دو سو تغذیه کاهش یافته و توربین‌های مغناطیس دائم سنکرون دارای مبدل مقیاس کامل جایگزین آنها شوند.

تکنولوژی مبدل‌های توربین بادی مقیاس کامل یکی از تکنولوژی‌های نوظهوری است که تقریباً از سال ۲۰۰۵ مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین از نظر تحقیق و توسعه این بخش اهمیت فراوانی دارد. همچنین انتقال دانش و بومی سازی این تکنولوژی نوظهور می‌تواند زمینه ساز پیشرفت علمی و اقتصادی در صنعت برق کشور شده و زمینه بهره برداری بهینه از پتانسیل باد کشور و کاهش اتکا به منابع فسیلی را فراهم کند.

## ۲-۳-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- دستیابی به دانش فنی ساخت صنعتی مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین باد
- امکان استحصال انرژی باد در محدوده سرعتی گسترده‌تر و افزایش صرفه اقتصادی این توربینها نسبت به توربینهای القایی موجود
- افزایش راندمان و کاهش هزینه تعمیر و نگهداری بدلیل امکان حذف بخشهای مکانیکی از جمله گیربکس
- تسهیل توسعه استفاده از انرژی باد در کشور و کمک به سایر فعالیتهای در حال انجام در این حوزه در جهت دستیابی به هدف ۱۰ هزار مگاوات برق تجدیدپذیر
- جلوگیری از خروج ارز و فراهم نمودن امکان ساخت داخل مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین باد
- قرار گرفتن در جمع معدود کشورهای دارای این تکنولوژی

- کاهش اتکا به سوخت‌های فسیلی و کاهش آلاینده‌ها

#### ۲-۲-۳-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- در خصوص ساخت این مبدلها در کشور اقدام خاصی صورت نگرفته است.
- مجریان پیشنهادی: دانشگاهها، پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکتهای دانش بنیان

#### ۲-۲-۳-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده کنندگان

- توان مبدل: دو مگاوات
- فرکانس نامی: ۵۰ هرتز
- بازده مبدل: بیش از ۹۵ درصد
- نوع ژنراتور: سنکرون مغناطیس دائم
- مشخصات محیطی: دمای ۴۰- درجه تا ۵۰+ درجه
- استانداردها: EN 61800-3 و ...
- تعداد: پنج عدد
- استفاده کننده محصول: وزارت نیرو، بخش خصوصی

#### ۲-۲-۳-۶- نوع پروژه

- ساخت صنعتی

#### ۲-۲-۳-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه

- هزینه: در زمان عقد قرارداد محاسبه خواهد شد
- زمان: در زمان عقد قرارداد تعیین خواهد شد

## ۲-۳- طراحی و ساخت اینورتر فتوولتائیک متصل به شبکه

بر اساس آمار منتشر شده توسط میزان توان نصب شده فتوولتائیک تا انتهای سال ۲۰۱۳ به ۱۳۹ گیگاوات رسیده است. سه کشور چین، ژاپن و امریکا سه کشور برتر در نصب فتوولتائیک در سال ۲۰۱۳ شناخته شدند در صورتی که در دهه های اخیر اروپا در بالاترین رده قرار داشت. در میان کشورهای اروپایی هم اکنون کشور آلمان پیشروی فتوولتائیک بوده است. بیشترین ظرفیت فتوولتائیک کشور چین در نواحی آفتابی غرب این کشور و به صورت پروژه های بسیار بزرگ مورد بهره برداری قرار گرفته است.

در سند «تدوین سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق» ساخت مبدل های فتوولتائیک از جمله اولویتهای توسعه فناوری است. برای این منظور فعالیتها در دو دسته طراحی و ساخت مبدل فتوولتائیک مقیاس کوچک و نیروگاهی دنبال خواهد شد.

### ۲-۳-۱ طراحی و ساخت اینورتر فتوولتائیک متصل به شبکه کوچک

#### ۲-۳-۱-۱- عنوان پروژه:

- طراحی و ساخت اینورتر فتوولتائیک متصل به شبکه با توان پنج کیلووات

#### ۲-۳-۱-۲- تعریف مساله و هدف از اجرای پژوهش:

در سند توسعه انرژی های تجدیدپذیر، تولید برق از باد و خورشید در اولیتهای کشور قرار گرفته است. رشد چشمگیر تولید برق از طریق فتوولتائیک در سال های اخیر نشانگر آگاهی کشورها از مسائل زیست محیطی، کاهش وابستگی به منابع اولیه فسیلی، پیشرفت فناوری فتوولتائیک و همچنین نفوذ فتوولتائیک در بازار جهانی است. یکی از مهم ترین اجزای سیستم فتوولتائیک اینورتر است که نقش مهیا ساختن شرایط مطلوب اتصال فتوولتائیک به شبکه برق را ایفا می کند. راندمان کل سیستم فتوولتائیک به عملکرد اینورتر آن وابسته است. ساخت مبدل الکترونیک قدرت برای

سیستم فتوولتاییک و انتقال دانش فنی آن می‌تواند زمینه ساز گسترش نفوذ کشور در بازار جهانی باشد زیرا بازار فتوولتاییک به اشباع نرسیده است و می‌توان در این بازار رقابت کرد. کشور ایران دارای پتانسیل تابشی مناسبی برای استفاده از فتوولتاییک است و از نظر فرهنگی نیز فتوولتاییک برای جامعه شناخته شده است. بنابراین با انتقال دانش فنی و ساخت مدار قدرت و کنترل مبدل می‌توان عرصه را برای تولید ملی آن هموار نمود. این پروژه تحقیقاتی بر ساخت نمونه‌ی صنعتی سیستم فتوولتاییک ۵ کیلوواتی تمرکز خواهد داشت.

### ۲-۳-۱-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- ساخت صنعتی مبدل فتوولتاییک ۵ کیلوواتی
- دستیابی به دانش فنی ساخت صنعتی مبدل الکترونیک قدرت فتوولتاییک با مشخصات عملکردی مطابق با استانداردهای جهانی و کسب دانش فنی
- استفاده از فضای سقف منازل و عدم نیاز به خرید زمین
- منافع اقتصادی حاصل از خدمات پس از فروش تجهیزات
- امکان رقابت در بازارهای خارجی بدلیل نوظهور بودن مبدل‌های فتوولتاییک
- اشتغال زایی
- هزینه کم نگهداری و تعمیرات
- تسهیل توسعه استفاده از انرژی خورشید در کشور
- جلوگیری از خروج ارز و فراهم نمودن امکان ساخت داخل مبدل الکترونیک قدرت
- کاهش اتکا به سوخت‌های فسیلی و کاهش آلاینده‌ها

### ۲-۳-۱-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- در زمینه فتوولتاییک تاکنون در سازمان انرژی‌های نو ایران فعالیت‌های گسترده‌ای صورت گرفته است. تهیه اطلس تابش خورشید، ساخت نمونه‌های پایلوت از سیستم فتوولتاییک و همچنین امکان سنجی سیستم‌های هیبرید خورشیدی از جمله این اقدامات هستند. سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران نیز به ساخت سیستم‌های فتوولتاییک متصل به شبکه پرداخته‌اند.
- مجریان پیشنهادی: صنایع و شرکتهای دانش بنیان مرتبط

### ۲-۳-۱-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده کنندگان

- توان مبدل: پنج کیلووات
- ولتاژ نامی: ۲۳۰ ولت
- فرکانس نامی: ۵۰ هرتز
- بازده مبدل: در بازه ۳۰ درصد بارنامی تا بار نامی تقریباً ثابت و بیش از ۹۵ درصد
- نوع پنل: دلخواه
- مشخصات محیطی: دمای ۲۰- درجه تا ۶۰+ درجه
- تعداد: به تعداد مورد نیاز
- استفاده کننده محصول: بخش خصوصی خانگی و کشاورزی

### ۲-۳-۱-۶- نوع پروژه

- ساخت صنعتی

### ۲-۳-۱-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه

- هزینه: دو و نیم میلیارد ریال

• زمان: ۱۸ ماه

## ۲-۳-۲ طراحی و ساخت نمونه اینورتر فتوولتائیک نیروگاهی

### ۱-۲-۳-۲-۳ عنوان پروژه

• طراحی و ساخت اینورتر فتوولتائیک نیروگاهی یک مگاواتی نیمه صنعتی

### ۲-۲-۳-۲-۲ تعریف مساله و هدف از اجرای پژوهش:

در سند توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، تولید برق از باد و خورشید در اولویت‌های کشور قرار گرفته است. مساله قیمت تمام شده برای تولید برق خورشیدی یکی از مهم‌ترین مسائل در گسترش این تکنولوژی است. با افزایش ظرفیت سیستم فتوولتائیک هزینه‌های اولیه دلار بر کیلووات این سیستم‌ها نیز کاهش می‌یابد. در کشورهایی که زمین خالی برای بهره‌برداری از فتوولتائیک ندارند معمولاً از پشت بام خانه‌ها استفاده می‌کنند. اما در کشورهای پهناور تولید برق فتوولتائیک به روش متمرکز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از آنرو که ایران دارای نواحی وسیع با پتانسیل تابشی مناسبی است لذا بهره‌برداری به روش متمرکز می‌تواند انتخاب مناسبی باشد. این پروژه به طراحی و ساخت یک نیروگاه فتوولتائیک با ظرفیت یک مگاوات تمرکز خواهد داشت.

### ۳-۲-۳-۲-۳ دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- ساخت نیمه صنعتی مبدل فتوولتائیک مگاواتی
- دستیابی به دانش فنی مبدل الکترونیک قدرت فتوولتائیک با مشخصات عملکردی مطابق با استانداردهای جهانی و کسب دانش فنی
- هزینه کم نگهداری و تعمیرات نسبت به نیروگاههای فسیلی
- تسهیل توسعه استفاده از انرژی خورشید در کشور و کمک به سایر فعالیتهای در حال انجام در جهت دستیابی به هدف ۱۰ هزار مگاوات برق تجدیدپذیر

- جلوگیری از خروج ارز و فراهم نمودن امکان ساخت داخل مبدل الکترونیک قدرت
- کاهش اتکا به سوخت‌های فسیلی و کاهش آلاینده‌ها

### ۲-۳-۲-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- در زمینه فتوولتائیک نیروگاهی پژوهشگاه نیرو اقدامات و فعالیتهای قابل توجهی را در سایت اراک صورت داده است که البته در خصوص ساخت مبدلهای مورد نیاز تاکنون اقدامی صورت نگرفته است.
- مجریان پیشنهادی: دانشگاهها، پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکتهای دانش بنیان

### ۲-۳-۲-۵- مشخصات فنی محصول نهایی

- توان مبدل(ها): یک مگاوات
- ساختار مبدل(ها): سه فاز ماژولار
- فرکانس نامی: ۵۰ هرتز
- بازده مبدل(ها): بیش از ۹۰ درصد
- نوع پنل: دلخواه
- رعایت الزامات اتصال به شبکه
- مشخصات محیطی: دمای ۳۰- درجه تا ۶۰+ درجه
- تعداد: یک نمونه
- استفاده کننده محصول: وزارت نیرو

### ۲-۳-۲-۶- نوع پروژه

ساخت نمونه نیمه صنعتی

## ۲-۳-۲-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه

- هزینه: یکصد و بیست میلیارد ریال
- زمان: ۳۰ ماه

## ۲-۳-۳- طراحی و ساخت اینورتر فتوولتائیک نیروگاهی

### ۲-۳-۳-۱- عنوان پروژه

- طراحی و ساخت اینورتر فتوولتائیک نیروگاهی صنعتی

### ۲-۳-۳-۲- تعریف مساله و هدف از اجرای پژوهش

در سند توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، تولید برق از باد و خورشید در اولویت‌های کشور قرار گرفته است. مساله قیمت تمام شده برای تولید برق خورشیدی یکی از مهم‌ترین مسائل در گسترش این تکنولوژی است. با افزایش ظرفیت سیستم فتوولتائیک هزینه‌های اولیه دلار بر کیلووات این سیستم‌ها نیز کاهش می‌یابد. در کشورهای پهناور تولید برق فتوولتائیک به روش متمرکز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از آنرو که ایران دارای نواحی وسیع با پتانسیل تابشی مناسبی است لذا بهره‌برداری به روش متمرکز می‌تواند انتخاب مناسبی باشد. این پروژه به طراحی و ساخت یک نیروگاه فتوولتائیک با ظرفیت یک مگاوات تمرکز خواهد داشت.

### ۲-۳-۳-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- ساخت صنعتی مبدل فتوولتائیک مگاواتی
- دستیابی به دانش فنی ساخت صنعتی مبدل الکترونیک قدرت فتوولتائیک با مشخصات عملکردی مطابق با استانداردهای جهانی و کسب دانش فنی
- هزینه کم نگهداری و تعمیرات نسبت به نیروگاههای فسیلی



- تسهیل توسعه استفاده از انرژی خورشید در کشور و کمک به سایر فعالیتهای در حال انجام در جهت دستیابی به هدف ۱۰ هزار مگاوات برق تجدیدپذیر
- جلوگیری از خروج ارز و فراهم نمودن امکان ساخت داخل مبدل الکترونیک قدرت
- کاهش اتکا به سوخت‌های فسیلی و کاهش آلاینده‌ها

### ۲-۳-۳-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- در زمینه فتوولتاییک نیروگاهی پژوهشگاه نیرو اقدامات و فعالیتهای قابل توجهی را در سایت اراک صورت داده است که البته در خصوص ساخت مبدلهای مورد نیاز تاکنون اقدامی صورت نگرفته است.
- مجریان پیشنهادی: دانشگاهها، پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکتهای دانش بنیان

### ۲-۳-۳-۵- مشخصات فنی محصول نهایی

- توان مبدل(ها): یک تا پنج مگاوات
- ساختار مبدل(ها): سه فاز ماژولار
- فرکانس نامی: ۵۰ هرتز
- بازده مبدل(ها): بیش از ۹۰ درصد
- نوع پنل: دلخواه
- رعایت الزامات اتصال به شبکه
- مشخصات محیطی: دمای ۳۰- درجه تا ۶۰+ درجه
- تعداد: پنج نمونه
- استفاده کننده محصول: وزارت نیرو، بخش خصوص

## ۲-۳-۳-۶- نوع پروژه

ساخت نمونه صنعتی

## ۲-۳-۳-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه

- هزینه: در زمان عقد قرارداد محاسبه خواهد شد
- زمان: در زمان عقد قرارداد تعیین خواهد شد

## ۲-۴- طراحی و ساخت SVC

پیشرفت در صنعت نیمه‌های قدرت و تکنولوژی‌های کنترل الکترونیک منجر به ساخت تجهیزات SVC شده‌اند. این جبران‌سازها برای اولین بار در سال ۱۹۷۰ برای جبران‌سازی کوره‌های قوس ساخته شدند و چندین سال بعد برای جبران‌سازی خطوط انتقال به کار رفتند. ویژگی‌هایی نظیر سرعت پاسخ و انعطاف پذیری بالای بهره برداری از ویژگی‌های تجهیز است. تجهیز SVC از جمله تجهیزات جبران‌گر توان راکتیو است که می‌تواند برای بهبود ضریب قدرت، رگولاسیون ولتاژ، بهبود حالت گذرا، بهره برداری حداکثری از سیستم قدرت موجود و بهبود کیفیت توان (فلیکر) استفاده شود.

در سند «تدوین سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق» تجهیز SVC از جمله اولویتهای توسعه فناوری است. برای این منظور فعالیتها در دو مجموعه طراحی و ساخت SVC برای کاربرد در شبکه توزیع و طراحی و ساخت SVC برای کاربرد در شبکه انتقال و صنایع بزرگ پیگیری خواهد شد.

## ۲-۴-۱- طراحی و ساخت یک نمونه SVC قابل جابجایی

### ۲-۴-۱-۱- عنوان پروژه

- طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی SVC قابل جابجایی با ظرفیت 12 MVAR

## ۲-۴-۱-۲- تعریف مساله و هدف از اجرای پژوهش

پروژه تحقیقاتی حاضر بر ساخت نمونه اولیه از تجهیز SVC تمرکز خواهد داشت. مزایای اقتصادی ساخت تجهیز SVC با توجه به اهداف عملکردی مورد انتظار از جمله بهبود ضریب قدرت، رگولاسیون ولتاژ، بهبود حالت گذرا، بهره برداری حداکثری از سیستم قدرت موجود و بهبود کیفیت توان - فلیکر روشن خواهد شد. با کنترل مناسب توان راکتیو شبکه می‌توان از بروز شرایط اضافه بار خطوط و ترانسفورماتورها جلوگیری کرد و طول عمر آنها افزایش می‌یابد که بالتبع از زیان ناشی از کاهش عمر این تجهیزات جلوگیری خواهد شد. استفاده از SVC جهت فراهم نمودن توان راکتیو مورد نیاز ژنراتورهای القایی و همچنین کاهش فلیکر و یا کاهش ولتاژ ناشی از آن می‌تواند به توسعه انرژی های تجدیدپذیر کمک کند. برای مثال حضور SVC می‌تواند عملکرد ضمن خطای توربین های بادی را بهبود دهد و اثر فلیکر ناشی از سایه برج و افت ولتاژ ناشی از راه اندازی را جبران کند.

از طرفی دیگر صنایع بزرگ به دلیل حضور بارهای موتوری و سلفی توان راکتیو بسیاری از شبکه جذب می‌کنند و به همین دلیل به شرکت برق جریمه می‌پردازند. از طرف دیگر این شرکت‌ها به دلیل سیاست‌های شرکت برق (که ناظر بر الزام حفظ کیفیت توان - با تمرکز بر فلیکر - در نقطه اتصال صنایع به شبکه هستند) با مشکل عدم امکان افزایش تولید مواجه هستند که ضررهای اقتصادی برای آنان در پی دارد. این موضوع به علت تزریق اغتشاشات توسط کارخانجات بدلیل حضور بارهای سوئیچ شونده و موتوری است. تجهیز SVC می‌تواند ضمن برطرف کردن مشکلات فوق، باعث عدم انتشار اغتشاش از صنایع به شبکه گردد.

از سوی دیگر، گسترش حمل و نقل برقی (مترو) منجر به افت ولتاژ و عدم تعادل در شبکه قدرت می‌گردد. استفاده از SVC کم حجم در متروها می‌تواند این موضوع را برطرف کند.

در این پروژه یک SVC با ظرفیت ۱۲ مگاوار ساخته خواهد شد. طراحی بخش الکترونیک قدرت این SVC بصورت ماژولار خواهد بود که براحتی قابل توسعه باشد. طراحی مجموعه بصورتی خواهد بود که بتوان آن را داخل یک کانتینر جاسازی نموده و قابلیت جابجایی و نصب در زمان اندک را داشته باشد.

## ۲-۴-۱-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت SVC با مشخصات عملکردی مطابق با استانداردهای جهانی
- دستیابی به دانش فنی طراحی تجهیزات الکترونیک قدرت مازولار و قابل حمل
- استفاده از دانش کسب شده و توسعه آن برای ساخت SVC در مقیاس شبکه انتقال
- تسهیل توسعه استفاده از منابع تجدیدپذیر در کشور
- جلوگیری از خروج ارز و فراهم نمودن امکان ساخت داخل SVC
- فراهم نمودن توان راکتیو مورد نیاز ژنراتورهای القایی و همچنین کاهش فلیکر و یا کاهش اغتشاشات ولتاژ ناشی از آن
- کمک به صنایع متوسط برای بهبود کیفیت توان و رعایت الزامات شبکه برق و کاهش هزینه‌های مرتبط
- کمک به گسترش حمل و نقل برقی (مترو) از طریق رفع افت ولتاژ، عدم تعادل و ... ناشی از عملکرد آنها در شبکه برق

## ۲-۴-۱-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- تجهیز SVC با ظرفیت نیمه صنعتی (در حد MVA) در پژوهشگاه نیرو وابسته به وزارت نیرو در حال ساخت است. این SVC شامل یک TCR با ظرفیت (نهایی)  $14/-3.5$  MVAR است که دو شاخه بانک خازنی (فیلتری) نیز حضور دارند. از سویی دیگر بنابر مطالعات صورت گرفته، شرکت فنی مهندسی نور مشهد پروژه طراحی و ساخت SVC ۳۰ مگاواوری را در دست داشته است هرچند که به مرحله ساخت نرسیده است.
- جهاد دانشگاهی واحد علم و صنعت توانمندی طراحی و ساخت یکسوسازهای صنعتی (تا ظرفیت 350 KVA) را در اختیار دارد. همچنین این واحد توانمندی کنترل و مانیتورینگ مبدل های صنعتی را نیز در اختیار دارد. همچنین این واحد طراحی و ساخت یکسوسازهای صنعتی برای سیستم ترکشن مترو با ظرفیت 4 MVA با ساختار یکسوکنده ۶ فاز تمام موج و هواخنک را در دستور کار خود دارد. در نهایت، این واحد بدست آوردن

دانش فنی خنک کاری مبدل های الکترونیک قدرت با آب را در دستور کار خود دارد. اگرچه تجهیزات فوق SVC نیستند اما از تکنولوژی مشابهی استفاده می کنند که فرایند دستیابی به ساخت تجهیز SVC را هموار می کند.

- در حوزه دانشگاهی نیز دانشگاه های برتر کشور در زمینه طراحی و ساخت نمونه آزمایشگاهی SVC فعالیت داشته اند. برای نمونه دکتر رضا قاضی (و همکاران) از دانشگاه فردوسی مشهد، دکتر حیدر علی شایانفر (و همکاران) از دانشگاه علم و صنعت، دکتر ذولقدری (و همکاران) از دانشگاه صنعتی شریف، دکتر جواد مهدوی (و همکاران) از دانشگاه صنعتی شریف، دکتر حسینی (و همکاران) از دانشگاه تبریز اقدام به طراحی و ساخت نمونه آزمایشگاهی SVC کرده اند. نتایج تحقیق های این پژوهشگران در مجله های تحقیقاتی منتشر شده است.
- مجریان پیشنهادی: دانشگاهها، پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکتهای دانش بنیان

#### ۲-۴-۱-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده کنندگان

- ولتاژ ۲۰ کیلوولت
- ظرفیت: ۱۲ مگاوار
- فرکانس نامی: ۵۰ هرتز
- ساختار SVC: TSC+TCR+FC
- ساختار ولو: سه فاز ماژولار
- تجهیزات کنترل و ولو قابل حمل
- قابلیت تنظیم ولتاژ، حذف فیلتر و اصلاح ضریب قدرت
- رعایت کلیه استانداردهای عملکردی از جمله EMC
- تعداد: یک نمونه
- استفاده کننده محصول: وزارت نیرو، بخش خصوص

## ۲-۴-۱-۶- نوع پروژه

ساخت نمونه نیمه صنعتی

## ۲-۴-۱-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه:

- هزینه: سی میلیارد ریال
- زمان: ۲۵ ماه

## ۲-۴-۲ طراحی و ساخت دو نمونه SVC قابل جابجایی

### ۲-۴-۲-۱- عنوان پروژه

- طراحی و ساخت صنعتی SVC قابل جابجایی با ظرفیت ۵ تا ۱۵ مگاوار

### ۲-۴-۲-۲- تعریف مساله و هدف از اجرای پژوهش

این پروژه تحقیقاتی بر ساخت صنعتی تجهیز SVC تمرکز خواهد داشت. مزایای اقتصادی ساخت تجهیز SVC با توجه به اهداف عملکردی مورد انتظار از جمله بهبود ضریب قدرت، رگولاسیون ولتاژ، بهبود حالت گذرا، بهره برداری حداکثری از سیستم قدرت موجود و بهبود کیفیت توان - فلیکر روشن خواهد شد. استفاده از SVC جهت فراهم نمودن توان راکتیو مورد نیاز ژنراتورهای القایی و همچنین کاهش فلیکر و یا کاهش ولتاژ ناشی از آن می‌تواند به توسعه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر کمک کند. از طرف دیگر صنایع بزرگ به دلیل حضور بارهای موتوری و سلفی توان راکتیو بسیاری از شبکه جذب می‌کنند و به همین دلیل به شرکت برق جریمه می‌پردازند. تجهیز SVC می‌تواند از انتشار اغتشاش صنایع به شبکه برق جلوگیری کند. گسترش حمل و نقل برقی (مترو) منجر به افت ولتاژ و عدم تعادل در شبکه قدرت می‌گردد. استفاده از SVC می‌تواند این موضوع را برطرف کند.

### ۲-۴-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت صنعتی SVC با مشخصات عملکردی مطابق با استانداردهای جهانی
- تسهیل توسعه استفاده از منابع تجدیدپذیر در کشور
- کاربرد در پستهای توزیع یا فوق توزیع جهت رفع مشکلات کیفیت توان یا جبران توان راکتیو
- جلوگیری از خروج ارز و فراهم نمودن امکان ساخت داخل SVC
- فراهم نمودن توان راکتیو مورد نیاز ژنراتورهای القایی و همچنین کاهش فلیکر و یا کاهش اغتشاشات ولتاژ ناشی از آن
- کمک به صنایع متوسط برای بهبود کیفیت توان و رعایت الزامات شبکه برق و کاهش هزینه‌های مرتبط
- کمک به گسترش حمل و نقل برقی (مترو) از طریق رفع افت ولتاژ، عدم تعادل و ... ناشی از عملکرد آنها در شبکه برق

### ۲-۴-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- تجهیز SVC با ظرفیت نیمه صنعتی (در حد MVA) در پژوهشگاه نیرو وابسته به وزارت نیرو در حال ساخت است. این SVC شامل یک TCR با ظرفیت (نهایی) 14/-3.5 MVAR است که دو شاخه بانک خازنی (فیلتری) نیز حضور دارند. از سویی دیگر بنابر مطالعات صورت گرفته، شرکت فنی مهندسی نور مشهد پروژه طراحی و ساخت SVC ۳۰ مگاواوری را در دست داشته است هرچند که به مرحله ساخت نرسیده است.
- جهاد دانشگاهی واحد علم و صنعت توانمندی طراحی و ساخت یکسوسازهای صنعتی (تا ظرفیت 350 KVA) را در اختیار دارد. همچنین این واحد توانمندی کنترل و مانیتورینگ مبدل های صنعتی را نیز در اختیار دارد. همچنین این واحد طراحی و ساخت یکسوسازهای صنعتی برای سیستم ترکشن مترو با ظرفیت 4 MVA با ساختار یکسوکنده ۶ فاز تمام موج و هواخنک را در دستور کار خود دارد. در نهایت، این واحد بدست آوردن دانش فنی خنک کاری مبدل های الکترونیک قدرت با آب را در دستور کار خود دارد. اگرچه تجهیزات فوق

SVC نیستند اما از تکنولوژی مشابهی استفاده می کنند که فرایند دستیابی به ساخت تجهیز SVC را هموار می کند.

- مجریان پیشنهادی: دانشگاهها، پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکتهای دانش بنیان

#### ۲-۴-۲-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده کنندگان

- ولتاژ ۲۰ کیلوولت
- ظرفیت: ۵ تا ۱۵ مگاوار
- فرکانس نامی: ۵۰ هرتز
- ساختار SVC: مطابق نیاز
- ساختار ولو: سه فاز ماژولار
- تجهیزات کنترل و ولو قابل حمل
- قابلیت تنظیم ولتاژ، حذف فیلکر و اصلاح ضریب قدرت
- رعایت کلیه استانداردهای عملکردی از جمله EMC
- تعداد: دو عدد
- استفاده کننده محصول: وزارت نیرو، بخش خصوص

#### ۲-۴-۲-۶- نوع پروژه

ساخت صنعتی

#### ۲-۴-۲-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه:

- هزینه: در زمان عقد قرارداد محاسبه خواهد شد.
- زمان: در زمان عقد قرارداد تعیین خواهد شد.



## ۲-۴-۳ طراحی و ساخت یک نمونه SVC با ظرفیت بالا

### ۲-۴-۳-۱- عنوان پروژه

- طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی SVC با ظرفیت 70-130 MVAR

### ۲-۴-۳-۲- تعریف مساله و هدف از اجرای پژوهش

پروژه تحقیقاتی حاضر بر ساخت نمونه اولیه از تجهیز SVC تمرکز خواهد داشت. مزایای اقتصادی ساخت تجهیز SVC با توجه به اهداف عملکردی مورد انتظار از جمله بهبود ضریب قدرت، رگولاسیون ولتاژ، بهبود حالت گذرا، بهره برداری حداکثری از سیستم قدرت موجود و بهبود کیفیت توان - فلیکر روشن خواهد شد. با کنترل مناسب توان راکتیو شبکه می‌توان از بروز شرایط اضافه بار خطوط و ترانسفورماتورها جلوگیری کرد و طول عمر آنها افزایش می‌یابد که بالتبع از زیان ناشی از کاهش عمر این تجهیزات جلوگیری خواهد شد.

از طرفی دیگر صنایع بزرگ به دلیل حضور بارهای موتوری و سلفی توان راکتیو بسیاری از شبکه جذب می‌کنند و به همین دلیل به شرکت برق جریمه می‌پردازند. از طرف دیگر این شرکت‌ها به دلیل سیاست‌های شرکت برق (که ناظر بر الزام حفظ کیفیت توان - با تمرکز بر فلیکر - در نقطه اتصال صنایع به شبکه هستند) با مشکل عدم امکان افزایش تولید مواجه هستند که ضررهای اقتصادی برای آنان در پی دارد. این موضوع به علت تزریق اغتشاشات توسط کارخانجات بدلیل حضور بارهای سوئیچ‌شونده و موتوری است. تجهیز SVC می‌تواند ضمن برطرف کردن مشکلات فوق، باعث عدم انتشار اغتشاش از صنایع به شبکه گردد.

در این پروژه یک SVC با ظرفیت ۷۰ تا ۱۳۰ مگاوار ساخته خواهد شد. طراحی بخش الکترونیک قدرت این SVC بصورت ماژولار خواهد بود.

### ۲-۴-۳-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت SVC با مشخصات عملکردی مطابق با استانداردهای جهانی
- جلوگیری از خروج ارز و فراهم نمودن امکان ساخت داخل SVC

- کمک به صنایع متوسط برای بهبود کیفیت توان و رعایت الزامات شبکه برق و کاهش هزینه‌های مرتبط
- کاربرد در پستهای انتقال یا فوق توزیع جهت رفع مشکلات پایداری و جبران توان راکتیو

#### ۲-۴-۳-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- تجهیز SVC با ظرفیت نیمه صنعتی (در حد MVA) در پژوهشگاه نیرو وابسته به وزارت نیرو در حال ساخت است. این SVC شامل یک TCR با ظرفیت (نهایی)  $14/-3.5$  MVAR است که دو شاخه بانک خازنی (فیلتری) نیز حضور دارند. از سویی دیگر بنابر مطالعات صورت گرفته، شرکت فنی مهندسی نور مشهد پروژه طراحی و ساخت SVC ۳۰ مگاواوری را در دست داشته است هرچند که به مرحله ساخت نرسیده است.
- جهاد دانشگاهی واحد علم و صنعت توانمندی طراحی و ساخت یکسوسازهای صنعتی (تا ظرفیت 350 KVA) را در اختیار دارد. همچنین این واحد توانمندی کنترل و مانیتورینگ مبدل های صنعتی را نیز در اختیار دارد. همچنین این واحد طراحی و ساخت یکسوسازهای صنعتی برای سیستم ترکشن مترو با ظرفیت 4 MVA با ساختار یکسوکننده ۶ فاز تمام موج و هواخنک را در دستور کار خود دارد. در نهایت، این واحد بدست آوردن دانش فنی خنک کاری مبدل های الکترونیک قدرت با آب را در دستور کار خود دارد. اگرچه تجهیزات فوق SVC نیستند اما از تکنولوژی مشابهی استفاده می کنند که فرایند دستیابی به ساخت تجهیز SVC را هموار می کند.
- مجریان پیشنهادی: دانشگاهها، پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکتهای دانش بنیان

#### ۲-۴-۳-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده کنندگان

- ولتاژ ۲۰ کیلوولت
- ظرفیت: ۱۲۰ تا ۷۰ مگاوار
- فرکانس نامی: ۵۰ هرتز
- ساختار SVC: مطابق نیاز

- ساختار ولو: سه فاز مازولار
- قابلیت تنظیم ولتاژ، حذف فیلتر
- رعایت کلیه استانداردهای عملکردی از جمله EMC
- تعداد: یک نمونه
- استفاده کننده محصول: وزارت نیرو، بخش خصوص

## ۲-۴-۳-۶- نوع پروژه

ساخت نمونه نیمه صنعتی

## ۲-۴-۳-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه:

- هزینه: در زمان عقد قرارداد محاسبه خواهد شد.
- زمان: در زمان عقد قرارداد تعیین خواهد شد.

## ۲-۵- طراحی و ساخت STATCOM

پیشرفت در صنعت نیمه‌های قدرت و تکنولوژی‌های کنترل منجر به ساخت تجهیزات FACTS گردید. این تجهیزات در اواخر دهه ۹۰ میلادی بصورت کاربردی مورد استفاده قرار گرفتند. ویژگی‌هایی نظیر سرعت پاسخ و انعطاف پذیری بالای بهره برداری از ویژگی‌های ادوات FACTS است. تجهیز STATCOM از جمله ادوات موازی FACTS است که می‌تواند برای بهبود ضریب قدرت، رگولاسیون ولتاژ، بهبود پایداری، بهره برداری حداکثری از سیستم قدرت موجود و بهبود کیفیت توان استفاده شود.

در سند «تدوین سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق» تجهیز STATCOM از جمله اولویتهای توسعه فناوری است. برای این منظور فعالیتهای در دو مجموعه طراحی و ساخت

STATCOM برای کاربرد در شبکه توزیع و طراحی و ساخت STATCOM برای کاربرد در شبکه انتقال و صنایع بزرگ پیگیری خواهد شد.

## ۲-۵-۱ طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی D-STATCOM

### ۲-۵-۱-۱- عنوان پروژه:

- طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی D-STATCOM با ظرفیت  $\pm 2$  MVAR

### ۲-۵-۱-۲- تعریف مساله و هدف از اجرای پژوهش

نقش اقتصادی ادوات الکترونیک قدرت را می توان از دیدگاه تاثیر مثبت آنان در ارتقای کیفیت توان بررسی کرد. مهم ترین منشاء اختلال کیفیت توان در صنایع عملکرد موتورها و مبدل های استاتیکی است. در حالی که مهم ترین منشاء اغتشاش در مصرف کنندگان از وسائل الکترونیکی ناشی می شود. به صورت کلی تجهیز D-STATCOM توانمندی منحصر به فردی در برطرف کردن تمامی مشکلات کیفیت توان دارند. کیفیت توان پایین سیستم توزیع می تواند باعث افزایش تلفات اهمی به دلیل حضور جریان های هارمونیکی در خطوط توزیع و تجهیزاتی نظیر ترانسفورماتورها شوند که اثرات مخربی بر تلفات، دما و طول عمر آنها دارند. همچنین ولتاژهای هارمونیکی باعث ایجاد تلفات عایقی بیشتر در تجهیزات موزی و ایجاد جریان های هارمونیکی در این تجهیزات خواهد شد. این جریان اضافی باعث اشغال ظرفیت خطوط توزیع و سایر تجهیزات می گردد که در نتیجه امکان عبور توان از این خطوط و استفاده موثر از حداکثر ظرفیت آنها کاهش می یابد. از سوی دیگر عبور جریان های هارمونیکی از خطوط توزیع و تجهیزات شبکه باعث ایجاد اضافه حرارت می شود که در دراز مدت باعث کاهش عمر خطوط و تجهیزات شده و حتی ممکن است باعث خرابی آنها شود.

### ۲-۵-۱-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

این پروژه تحقیقاتی بر ساخت نمونه اولیه کارکردی تجهیز D-STATCOM تمرکز خواهد داشت. در انتهای طرح تحقیقاتی انتظار می رود که بتوان یک D-STATCOM با ظرفیت ۲ مگاوات آمپری طراحی و نمونه اولیه آنرا ساخت. از سویی دیگر با در نظر گرفتن انرژی‌های تجدیدپذیر، ایران کشوری دارای پتانسیل های بالا در زمینه انرژی خورشیدی است. به جرات می توان گفت که گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر بدون استفاده از بهسازهای کیفیت توان غیر ممکن است. نصب تجهیزات D-STATCOM در شبکه‌های با میزان بالایی از تولیدات خورشیدی منجر به کاهش تلفات فیدر و افزایش ظرفیت قابل نصب مولدهای خورشیدی خواهد شد.

کیفیت توان پایین در صنایع نیز ضررهای اقتصادی فراوانی تحمیل می کند. عموماً صنایع به دلیل حضور بارهای موتوری و سلفی توان راکتیو بسیاری از شبکه جذب می کنند. به همین دلیل می‌بایستی به شرکت توزیع جریمه بپردازند. از طرف دیگر این شرکت‌ها به دلیل سیاست‌های شرکت توزیع (که ناظر بر الزام حفظ کیفیت توان در نقطه اتصال صنایع به شبکه هستند) با مشکل عدم امکان افزایش تولید مواجه هستند که ضررهای اقتصادی برای آنان در پی دارد. این موضوع به علت تزریق اغتشاشات توسط کارخانجات بدلیل حضور بارهای غیرخطی، سوئیچ‌شونده و موتوری است. تجهیز D-STATCOM می‌تواند ضمن برطرف کردن مشکلات فوق، باعث عدم انتشار اغتشاش از صنایع به شبکه گردد. در مواردی نیز ممکن است منشاء مشکلات کیفیت توان، شبکه برق باشد، که در این صورت نیز تجهیز D-STATCOM موثر است.

### ۲-۵-۱-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- D-STATCOM با ظرفیت نیمه صنعتی (در حد MVA) در کشور ساخته نشده است. اما نمونه‌های با ظرفیت بسیار پایین تر در کشور ساخته شده است. نمونه های ساخته شده به مراحل تجاری سازی نرسیده اند. برخی از نمونه ها به قرار زیر هستند:
- به صورت نمونه جهاد دانشگاهی واحد دانشگاه صنعتی خواجه نصیر توانمندی طراحی و ساخت STATCOM تا ظرفیت 250 KVA را در اختیار دارد. از سویی دیگر جهاد دانشگاهی واحد علم و صنعت در حال فعالیت بر

ساخت نمونه پایلوت VSC-HVDC (با ظرفیت 100KVA و ولتاژ 7KV DC) و نمونه پایلوت اینورترهای چند سطحی ولتاژ متوسط و UPS استاندارد است. اگرچه تجهیزات فوق از جنس D-STATCOM نیستند اما از تکنولوژی مشابهی استفاده می کنند که فرایند دستیابی به ساخت تجهیز D-STATCOM را هموار می کند.

- در حوزه دانشگاهی نیز دانشگاه های برتر کشور در زمینه طراحی و ساخت نمونه آزمایشگاهی STATCOM فعالیت داشته اند. برای نمونه دکتر طرفدار حق (و همکاران) در دانشگاه تبریز، دکتر علی عجمی (و همکاران) از دانشگاه تربیت معلم تبریز، دکتر احمد سالم نیا (و همکاران) از دانشگاه صنعت آب و برق عباسپور، دکتر سید حمید فتحی (و همکاران) از دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دکتر توکلی بینا (و همکاران) از دانشگاه صنعتی خواجه نصیر و دکتر حسین ایمان عینی (و همکاران) از دانشگاه تهران اقدام به طراحی و ساخت نمونه آزمایشگاهی D-STATCOM کرده اند. نتایج تحقیق های این پژوهشگران در مجله های تحقیقاتی منتشر شده است.

- مجریان پیشنهادی: دانشگاهها، پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکتهای دانش بنیان

## ۲-۵-۱-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده کنندگان

- ولتاژ ۴۰۰ ولت
- ظرفیت: ۲ مگاوار
- فرکانس نامی: ۵۰ هرتز
- ساختار: مبدل های چند سطحی مازولار H-Bridge
- تجهیزات کنترل و مبدل قابل حمل
- قابلیت تنظیم ولتاژ، حذف فیلکر و اصلاح ضریب قدرت
- رعایت کلیه استانداردهای عملکردی از جمله EMC
- محصول نهایی قابل حمل و در محفظه با طول، عرض و ارتفاع ۱۲,۲، ۲,۴ و ۲,۹ متر
- وزن مجموعه نهایی کمتر از ۲۰ تن

• تعداد: یک عدد

• استفاده کننده محصول: وزارت نیرو، صنایع بخش خصوص

## ۲-۵-۱-۶- نوع پروژه

ساخت نمونه نیمه صنعتی

## ۲-۵-۱-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه:

• هزینه: یکصد و بیست میلیارد ریال

• زمان: ۲۴ ماه

## ۲-۵-۲ طراحی و ساخت نمونه صنعتی D-STATCOM

### ۲-۵-۲-۱- عنوان پروژه:

• طراحی و ساخت صنعتی D-STATCOM با ظرفیت چند MVAR

### ۲-۵-۲-۲- تعریف مساله و هدف از اجرای پژوهش

تجهیز D-STATCOM توانمندی منحصر به فردی در برطرف کردن تمامی مشکلات کیفیت توان دارند. کیفیت توان پایین سیستم توزیع می تواند باعث افزایش تلفات اهمی به دلیل حضور جریان های هارمونیک در خطوط توزیع و تجهیزاتی نظیر ترانسفورماتورها شوند که اثرات مخربی بر تلفات، دما و طول عمر آنها دارند. همچنین ولتاژهای هارمونیک باعث ایجاد تلفات عایقی بیشتر در تجهیزات موازی و ایجاد جریان های هارمونیک در این تجهیزات خواهد شد. این جریان اضافی باعث اشغال ظرفیت خطوط توزیع و سایر تجهیزات می گردد که در نتیجه امکان عبور توان از این خطوط و استفاده موثر از حداکثر ظرفیت آنها کاهش می یابد. از سوی دیگر عبور جریان های هارمونیک

از خطوط توزیع و تجهیزات شبکه باعث ایجاد اضافه حرارت می‌شود که در دراز مدت باعث کاهش عمر خطوط و تجهیزات شده و حتی ممکن است باعث خرابی آن‌ها شود.

### ۲-۵-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

این پروژه بر ساخت صنعتی تجهیز D-STATCOM تمرکز خواهد داشت. در انتهای پروژه انتظار می‌رود که دانش ساخت صنعتی D-STATCOM با ظرفیت کمتر از ۱۰ مگاوات آمپری فراهم شود. از سویی دیگر به جرات می‌توان گفت که گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر بدون استفاده از بهسازیهای کیفیت توان غیر ممکن است. نصب تجهیزات D-STATCOM در شبکه‌های با میزان بالایی از تولیدات خورشیدی منجر به کاهش تلفات فیدر و افزایش ظرفیت قابل نصب مولدهای خورشیدی خواهد شد.

کیفیت توان پایین در صنایع نیز ضررهای اقتصادی فراوانی تحمیل می‌کند. عموماً صنایع به دلیل حضور بارهای موتوری و سلفی توان راکتیو بسیاری از شبکه جذب می‌کنند. به همین دلیل می‌بایستی به شرکت توزیع جریمه پردازند. از طرف دیگر این شرکت‌ها به دلیل سیاست‌های شرکت توزیع (که ناظر بر الزام حفظ کیفیت توان در نقطه اتصال صنایع به شبکه هستند) با مشکل عدم امکان افزایش تولید مواجه هستند که ضررهای اقتصادی برای آنان در پی دارد. تجهیز D-STATCOM می‌تواند ضمن برطرف کردن مشکلات فوق، باعث عدم انتشار اغتشاش از صنایع به شبکه گردد.

### ۲-۵-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- D-STATCOM با ظرفیت نیمه صنعتی (در حد MVA) در کشور ساخته نشده است. اما نمونه‌های با ظرفیت بسیار پایین تر در کشور ساخته شده است. نمونه‌های ساخته شده به مراحل تجاری سازی نرسیده‌اند. برخی از نمونه‌ها به قرار زیر هستند:
- به صورت نمونه جهاد دانشگاهی واحد دانشگاه صنعتی خواجه نصیر توانمندی طراحی و ساخت STATCOM تا ظرفیت 250 KVA را در اختیار دارد. از سویی دیگر جهاد دانشگاهی واحد علم و صنعت در حال فعالیت بر



ساخت نمونه پایلوت VSC-HVDC (با ظرفیت 100KVA و ولتاژ 7KV DC) و نمونه پایلوت اینورترهای چند سطحی ولتاژ متوسط و UPS استاندارد است. اگرچه تجهیزات فوق از جنس D-STATCOM نیستند اما از تکنولوژی مشابهی استفاده می کنند که فرایند دستیابی به ساخت تجهیز D-STATCOM را هموار می کند.

- در حوزه دانشگاهی نیز دانشگاه های برتر کشور در زمینه طراحی و ساخت نمونه آزمایشگاهی STATCOM فعالیت داشته اند. برای نمونه دکتر طرفدار حق (و همکاران) در دانشگاه تبریز، دکتر علی عجمی (و همکاران) از دانشگاه تربیت معلم تبریز، دکتر احمد سالم نیا (و همکاران) از دانشگاه صنعت آب و برق عباسپور، دکتر سید حمید فتحی (و همکاران) از دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دکتر توکلی بینا (و همکاران) از دانشگاه صنعتی خواجه نصیر و دکتر حسین ایمان عینی (و همکاران) از دانشگاه تهران اقدام به طراحی و ساخت نمونه آزمایشگاهی D-STATCOM کرده اند. نتایج تحقیق های این پژوهشگران در مجله های تحقیقاتی منتشر شده است.

- مجریان پیشنهادی: دانشگاهها، پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکتهای دانش بنیان

## ۵-۲-۵-۲- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده کنندگان

- ولتاژ ۴۰۰ ولت یا ۲۰ کیلوولت
- ظرفیت: کمتر از ۱۰ مگاوار
- فرکانس نامی: ۵۰ هرتز
- ساختار: مبدل های چند سطحی ماژولار
- تجهیزات کنترل و مبدل قابل حمل
- قابلیت تنظیم ولتاژ، حذف فیلکر و اصلاح ضریب قدرت
- رعایت کلیه استانداردهای عملکردی از جمله EMC
- محصول نهایی قابل حمل و در محفظه با طول، عرض و ارتفاع ۱۲,۲، ۲,۴ و ۲,۹ متر
- وزن مجموعه نهایی کمتر از ۲۰ تن

• تعداد: دو عدد

• استفاده کننده محصول: وزارت نیرو، صنایع بخش خصوص

## ۲-۵-۶- نوع پروژه

ساخت نمونه صنعتی

## ۲-۵-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه:

• هزینه: در زمان عقد قرارداد

• زمان: در زمان عقد قرارداد

## ۲-۶- طراحی و ساخت STS

در برخی بارهای حساس تغذیه آنها از طریق دو فیدر مجزا صورت می‌گیرد. یک کلید منتقل کننده اتوماتیک مکانیکی در صورت بروز وقفه تغذیه در یکی از فیدرها بار را از یک فیدر به فیدر دیگر منتقل می‌کند. کلیدهای مکانیکی متداول ظرف مدت ۰,۳ ثانیه تا چند ثانیه می‌توانند تغذیه بار را از فیدری به فیدر دیگر جابجا نمایند. کلید STS تجهیز می‌شود بر الکترونیک قدرت است که می‌تواند جابجایی را در چند میلی ثانیه انجام دهد. در این بخش هدف ساخت تجاری این کلیدها مد نظر قرار گرفته است.

## ۲-۶-۱- طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی STS

### ۲-۶-۱-۱- عنوان پروژه:

• طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی STS با ولتاژ ۴۰۰ ولت و ۴۰۰ آمپر

## ۲-۶-۱-۲- تعریف مساله و هدف از اجرای پژوهش

کلید STS تجهیز می‌شود. تجهیزات مکانیکی متداول ظرف مدت ۰,۳ ثانیه تا چند ثانیه می‌توانند تغذیه بار را از فیدری به فیدر دیگر جابجا نمایند. اما برای تجهیزات الکترونیکی حساس این زمان عملکرد زیاد بوده و لذا الزام به استفاده از STS به وجود می‌آید که جابجایی را می‌تواند در چند میلی ثانیه انجام دهد. به عنوان نمونه درایوها، CNCها، PLCها و سایر سیستمهای کنترل فرایند میکروپروسسوری که در صنایع بسیار متداول هستند به اغتشاشات کیفیت توان حساس بوده و اغلب توسط UPS حفاظت می‌شوند. در صنایع بزرگ این بارها فراوان بوده و حفاظت تک تک بارها توسط UPS مقرون به صرفه نیست. راهکار جایگزین ارائه شده استفاده از کلیدهای انتقال استاتیک (STS) است. این کلیدها در سطح ولتاژ فشار متوسط و فشار ضعیف نصب گردیده و قادرند در صورت بروز اغتشاش کیفیت توان در منبع تغذیه (فیدر) اصلی آن را بلافاصله تشخیص داده و به سرعت بار را به تغذیه (فیدر) کمکی منتقل کنند.

تجهیزاتی نظیر درایو ها، PLC ها و سایر سیستم های کنترل فرایند میکروپروسسوری به شدت به اغتشاشات کیفیت توان حساس هستند. در صورتی که بتوان از STS ها برای حصول اطمینان از کیفیت توان مناسب برای این تجهیزات (به عنوان جایگزین UPS) استفاده شود، با توجه به قیمت های ارزاتر این تجهیز نسبت به UPS صرفه حویی اقتصادی برای مصرف کنندگان در پی خواهد بود.

مشخصات پیشنهادی برای ساخت نمونه اولیه، مناسب یک بار صنعتی متصل به شبکه فشار ضعیف و توان ظاهری حداکثر ۲۵۰ کیلووار می‌باشد. با ساخت این نمونه و با توجه به اینکه سیستم کنترل طراحی شده عمومیت دارد، در صورت نیاز می‌توان آنرا برای هر سطح ولتاژ و جریان نامی دیگر توسعه داد.

## ۲-۶-۱-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- دستیابی به دانش فنی ساخت نمونه نیمه صنعتی تجهیز STS با مشخصات عملکردی مطابق با استانداردهای

جهانی

- سیستم کنترل با قابلیت تشخیص انواع خطاها (سه فاز، تک فاز و ...) عدم حساسیت نسبت به حالات گذرا مثل کلیدزنی خازنی، جریان هجومی ترانسفورماتورها و ...
- توانمندی کنترل و مانیتورینگ قابل تعمیر برای STS های بزرگتر

## ۲-۶-۱-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

تجهیز STS در نمونه های صنعتی در کشور ساخته نشده است.

مجریان پیشنهادی: دانشگاهها، پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکتهای دانش بنیان

## ۲-۶-۱-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده کنندگان

- ولتاژ: ۴۰۰ ولت
- جریان: ۴۰۰ آمپر
- ساختار: سه فاز هایبرید
- تشخیص اغتشاش و عمل جابجایی تغذیه بار در زمان ۰,۵ تا ۱ سیکل
- قابلیت اطمینان بالا

## ۲-۶-۱-۶- نوع پروژه

ساخت نمونه نیمه صنعتی

## ۲-۶-۱-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه:

- هزینه: دو میلیارد ریال
- زمان: ۱۸ ماه

## ۲-۶-۲ طراحی و ساخت نمونه صنعتی STS

### ۲-۶-۲-۱- عنوان پروژه:

- طراحی و ساخت صنعتی STS با ولتاژ ۴۰۰ ولت و جریان ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ آمپر

### ۲-۶-۲-۲- تعریف مساله و هدف از اجرای پژوهش

کلید STS تجهیز می‌شود. تجهیزات مکانیکی متداول ظرف مدت ۰,۳ ثانیه تا چند ثانیه می‌توانند تغذیه بار را از فیدری به فیدر دیگر جابجا نمایند. اما برای تجهیزات الکترونیکی حساس این زمان عملکرد زیاد بوده و لذا الزام به استفاده از STS به وجود می‌آید که جابجایی را می‌تواند در چند میلی ثانیه انجام دهد. به عنوان نمونه درایوها، CNCها، PLCها و سایر سیستم‌های کنترل فرایند میکروپروسسوری که در صنایع بسیار متداول هستند به اغتشاشات کیفیت توان حساس بوده و اغلب توسط UPS حفاظت می‌شوند. در صنایع بزرگ این بارها فراوان بوده و حفاظت تک تک بارها توسط UPS مقرون به صرفه نیست. راهکار جایگزین ارائه شده استفاده از کلیدهای انتقال استاتیک (STS) است. این کلیدها در سطح ولتاژ فشار متوسط و فشار ضعیف نصب گردیده و قادرند در صورت بروز اغتشاش کیفیت توان در منبع تغذیه (فیدر) اصلی آن را بلافاصله تشخیص داده و به سرعت بار را به تغذیه (فیدر) کمکی منتقل کنند.

### ۲-۶-۲-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- دستیابی به دانش فنی ساخت صنعتی تجهیز STS با مشخصات عملکردی مطابق با استانداردهای جهانی
- سیستم کنترل با قابلیت تشخیص انواع خطاها (سه فاز، تک فاز و ...) عدم حساسیت نسبت به حالات گذرا مثل کلیدزنی خازنی، جریان هجومی ترانسفورماتورها و ...
- توانمندی کنترل و مانیتورینگ قابل تعمیر برای STS های بزرگتر

## ۲-۶-۲-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

تجهیز STS در نمونه های صنعتی در کشور ساخته نشده است.

- مجریان پیشنهادی: دانشگاهها، پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکتهای دانش بنیان

## ۲-۶-۲-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده کنندگان

- ولتاژ: ۴۰۰ ولت
- جریان: ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ آمپر
- ساختار: سه فاز هایبرید
- تشخیص اغتشاش و عمل جابجایی تغذیه بار در زمان ۰.۵ تا ۱ سیکل
- قابلیت اطمینان بالا
- تعداد: سه عدد
- استفاده کننده محصول: وزارت نیرو، بخش خصوص

## ۲-۶-۲-۶- نوع پروژه

ساخت نمونه صنعتی

## ۲-۶-۲-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه:

- هزینه: در زمان عقد قرارداد محاسبه خواهد شد.
- زمان: در زمان عقد قرارداد تعیین خواهد شد.

## ۷-۲- طراحی و ساخت DVR

تجهیز DVR یکی از ادوات بهساز توان است که جهت مقابله با مشکلات کیفیت توان بصورت سری در شبکه قرار می‌گیرند. این تجهیز بصورت سری در مدار قرار می‌گیرد و از بار در مقابل اغتشاشات شبکه محافظت می‌کند. همچنین می‌تواند با جبرانسازی کاهش یا افزایش ولتاژ، عدم تعادل و هارمونیکهای ولتاژی که در نقطه اتصال مشترک ظاهر می‌شوند (PCC)، دامنه و فاز ولتاژ بار را در مقدار نامی آن ثابت نگه دارد.

### ۷-۲-۱ طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی DVR

#### ۷-۲-۱-۱- عنوان پروژه:

- طراحی و ساخت DVR نیمه صنعتی به ظرفیت ۳۰۰ کیلو ولت آمپر و ولتاژ ۴۰۰ ولت

#### ۷-۲-۱-۲- تعریف مساله و هدف از اجرای پژوهش

مشکلات کیفیت توان سبب افزایش استفاده از DVR در این زمینه شده است. آمریکای شمالی در سال ۲۰۱۲ برای استفاده از DVR بصورت گسترده برنامه‌ریزی کرده و تعداد زیادی از تولیدکنندگان DVR در این خصوص در حال فعالیت هستند. بازار DVR در آسیا و اقیانوسیه نیز بسرعت در حال رشد است.

این تجهیز بصورت سری در مدار قرار می‌گیرد تا از اختلالات ولتاژ در شبکه توزیع جلوگیری کند. تجهیز DVR یک بهبود دهنده سری است که از اینورتر منبع ولتاژ با کنترل مدولاسیون پهنای باند (PWM) بهره می‌برد. این اینورتر بصورت مستقل، قادر به تولید و جذب توان اکتیو و راکتیو است.

تجهیز DVR برای جبرانسازی اختلالات ولتاژ در شبکه توزیع نیاز به توان اکتیو دارد. این توان در DVR توسط ذخیره‌سازهای انرژی تأمین می‌شود. چرخهای طیار، باتریها، ابرخازنها، ذخیره سازهای انرژی مغناطیسی در ابرساناها (SMES) می‌توانند در ذخیره سازی انرژی مورد استفاده قرار بگیرند. استفاده از ذخیره سازهای انرژی در DVR بسته به سطح طراحی و کل هزینه در نظر گرفته می‌شود. در پروژه حاضر با توجه به ظرفیت پیشنهادی ذخیره ساز

انرژی مدنظر نیست. محصول نهایی یک DVR نیمه صنعتی با قابلیت حفاظت از بار در مقابل اغتشاشات شبکه و همچنین حذف اغتشاشات جریان بار در حد استاندارد است.

### ۲-۷-۱-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- دستیابی به دانش فنی ساخت نمونه نیمه صنعتی تجهیز DVR با مشخصات عملکردی مطابق با استانداردهای جهانی
- سیستم کنترل با قابلیت حفاظت بار در مقابل اغتشاشات شبکه
- توانمندی کنترل و مانیتورینگ قابل تعمیر
- جلوگیری از خروج ارز و فراهم نمودن امکان ساخت داخل DVR
- کمک به صنایع متوسط برای بهبود کیفیت توان و رعایت الزامات شبکه برق و کاهش هزینه‌های مرتبط
- جلوگیری از تحمیل هزینه‌های سنگین بدلیل کیفیت توان ضعیف و توقف تولید در خطوط تولید

### ۲-۷-۱-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- طراحی و ساخت DVR با ظرفیت ۲۴ کیلو ولت آمپر و ۱/۲ کیلو ولت - ابراهیم بابایی - دانشگاه تبریز - ۱۳۹۲.
- مجریان پیشنهادی: دانشگاهها، پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکتهای دانش بنیان

### ۲-۷-۱-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده کنندگان

- ولتاژ: ۴۰۰ ولت
- ظرفیت: ۳۰۰ کیلو ولت آمپر
- جبران افت ولتاژ تا ۵۰٪ (بدترین شرایط) به مدت ۰/۵ ثانیه
- ساختار ماژولار و قابل تعمیر برای ظرفیتهای بالاتر



- دارای قابلیت اطمینان مطلوب
- تعداد: یک نمونه
- استفاده کنندگان: صنایع بخش خصوصی

## ۲-۷-۱-۶- نوع پروژه

ساخت نمونه نیمه صنعتی

## ۲-۷-۱-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه:

- هزینه: پنج میلیارد ریال
- زمان: ۲۰ ماه

## ۲-۷-۲ طراحی و ساخت نمونه صنعتی DVR

### ۲-۷-۲-۱- عنوان پروژه:

- طراحی و ساخت DVR صنعتی به ظرفیت ۲۰۰ تا ۵۰۰ کیلو ولت آمپر و ولتاژ ۴۰۰ ولت

### ۲-۷-۲-۲- تعریف مساله و هدف از اجرای پژوهش

تجهیز DVR برای جبران سازی اختلالات ولتاژ در شبکه توزیع نیاز به توان اکتیو دارد. این توان در DVR توسط ذخیره سازهای انرژی تأمین می شود. چرخهای طیار، باتریها، ابرخازنها، ذخیره سازهای انرژی مغناطیسی در ابرساناها (SMES) می توانند در ذخیره سازی انرژی مورد استفاده قرار بگیرند. استفاده از ذخیره سازهای انرژی در DVR بسته به سطح طراحی و کل هزینه در نظر گرفته می شود. در پروژه حاضر با توجه به ظرفیت پیشنهادی ذخیره ساز انرژی مدنظر نیست. محصول نهایی یک DVR نیمه صنعتی با قابلیت حفاظت از بار در مقابل اغتشاشات شبکه و همچنین حذف اغتشاشات جریان بار در حد استاندارد است.

### ۲-۷-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- دستیابی به دانش فنی ساخت صنعتی تجهیز DVR با مشخصات عملکردی مطابق با استانداردهای جهانی
- سیستم کنترل با قابلیت حفاظت بار در مقابل اغتشاشات شبکه
- توانمندی کنترل و مانیتورینگ قابل تعمیر
- جلوگیری از خروج ارز و فراهم نمودن امکان ساخت داخل DVR
- کمک به صنایع متوسط برای بهبود کیفیت توان و رعایت الزامات شبکه برق و کاهش هزینه‌های مرتبط
- جلوگیری از تحمیل هزینه‌های سنگین بدلیل کیفیت توان ضعیف و توقف در خطوط تولید

### ۲-۷-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- طراحی و ساخت DVR با ظرفیت ۲۴ کیلو ولت آمپر و ۱/۲ کیلو ولت- ابراهیم بابایی- دانشگاه تبریز- ۱۳۹۲.
- مجریان پیشنهادی: دانشگاهها، پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکتهای دانش بنیان

### ۲-۷-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده کنندگان

- ولتاژ: ۴۰۰ ولت
- ظرفیت: ۲۰۰ تا ۵۰۰ کیلو ولت آمپر
- جبران افت ولتاژ تا ۵۰٪ (بدترین شرایط) به مدت ۰/۵ ثانیه
- ساختار ماژولار و قابل تعمیر برای ظرفیتهای بالاتر
- دارای قابلیت اطمینان مطلوب
- تعداد: سه عدد
- استفاده کنندگان: صنایع بخش خصوصی

## ۲-۷-۲-۶- نوع پروژه

- ساخت صنعتی

## ۲-۷-۲-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه:

- هزینه: در زمان عقد قرارداد محاسبه خواهد شد.
- زمان: در زمان عقد قرارداد تعیین خواهد شد.

## ۲-۸- طراحی و ساخت TSC

اکثر بارهای صنعتی مانند موتورها، ترانسفورماتورهای قدرت و جرثقیلها توان اکتیو و راکتیو جذب می کنند. توان راکتیو سبب افزایش جریان مصرفی می شود که به نوبه خود باعث افزایش تلفات برق می شود. مصرف توان راکتیو را می توان با استفاده از خازنهای جبران کرد. استفاده از بانکهای خازنی ثابت در مواردی که مصرف توان راکتیو ثابت و یا دارای تغییرات کمی باشد متداول است ولی زمانیکه تغییرات توان راکتیو زیاد باشد استفاده از بانک خازنی ثابت خود باعث بروز مشکلاتی از جمله اضافه ولتاژ در شبکه می شود،

برای غلبه بر این مشکل از بانکهای خازنی متغیر استفاده می شود که مقدار آنها با کلیدزنی تغییر می کند. در چنین جبرانسازهایی، تنظیم کننده ضریب توان، توان راکتیو را اندازه گیری کرده و با قطع و وصل کردن پلهای بانکهای خازنی، ضریب توان را نزدیک به یک نگه می دارند. این عمل را می توان توسط یک خازن سوئیچ شونده تایریستوری (TSC) انجام داد.

در این بخش دستیابی به دانش فنی ساخت تجاری TSC مد نظر است.

## ۲-۸-۱ طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی TSC

### ۲-۸-۱-۱- عنوان پروژه:

- طراحی و ساخت نمونه صنعتی TSC به ظرفیت ۴۰۰ کیلووار

### ۲-۸-۱-۲- تعریف مساله و هدف از اجرای پژوهش

استفاده از بانکهای خازنی ثابت در مواردی که توان راکتیو دارای تغییرات سریع و زیادی باشد قادر به نشان دادن عملکرد مناسبی نیست و می تواند باعث بروز مشکلاتی شود. برای مثال زمانیکه مصرف توان راکتیو کاهش یابد، تزریق بیش از حد توان راکتیو توسط خازن سبب بدتر شدن ضریب توان خواهد شد، همچنین در کم باری موجب بروز اضافه ولتاژ در شبکه می شود، برای غلبه بر این مشکل از بانکهای خازنی متغیر استفاده می شود که مقدار آنها با کلیدزنی تغییر می کند. در چنین جبرانسازیهایی، تنظیم کننده ضریب توان، توان راکتیو را اندازه گیری کرده و با قطع و وصل کردن پله ای بانکهای خازنی، ضریب توان را نزدیک به یک نگه می دارند. این عمل را می توان توسط یک خازن سوئیچ شونده مکانیک (MSC) یا تایریستوری (TSC) انجام داد.

در صنایعی با تغییرات بار زیاد و سریع، ضریب توان را نمی توان با پله های خازن که توسط کنتاکتورهای الکترومکانیکی کنترل می شوند، تصحیح کرد. در این موارد، سیستم سنتی به اندازه کافی سریع نیست تا بتواند توان راکتیو درخواستی از جانب بار را دنبال کند. بنابراین استفاده از بانکهای خازنی که توسط کلیدهای استاتیک کنترل می شوند مورد نیاز است. جبرانسازی سریعتر سیستمها منجر به افزایش متوسط ضریب توان می شود که در کل باعث صرفه جویی بهتر در مصرف انرژی می شود.

زمان پاسخ دهی TSC بسیار اندک در حدود یک یا نصف سیکل است که البته این زمان بدلیل تاخیر در سیستم اندازه گیری یا کنترل ممکن است افزایش یابد. تجهیز TSC برخلاف خازنهای سوئیچ شونده مکانیکی (MSC) تقریباً بصورت نامحدود عملکرد کلیدزنی را انجام می دهد.

پاسخ سریع TSC موجب پاسخ سریع به تقاضای توان راکتیو شده و TSC را برای جبرانسازی ضریب توان بارهایی مانند ماشینهای لحیم کاری، جرثقیلها، بالابرها، ابزارهای قوس الکتریکی و سایر ماشینهایی با تغییرات متناوب بار

مناسب می سازد. بدلیل حذف حالت‌های گذرا و عدم حضور بخش‌های متحرک مکانیکی، طول عمر مورد انتظار TSC به مقدار قابل توجهی نسبت به خازن سوئیچ شونده مکانیکی (MSC) افزایش یافته است. در این پروژه هدف دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت یک نمونه TSC صنعتی مدنظر قرار دارد.

### ۲-۸-۱-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- دستیابی به دانش فنی ساخت نمونه نیمه صنعتی TSC با مشخصات عملکردی مطابق با استانداردهای جهانی
- سیستم کنترل با قابلیت جبران سریع توان راکتیو
- ساختار ماژولار و قابل توسعه
- توانمندی کنترل و مانیتورینگ قابل تعمیم
- جلوگیری از خروج ارز و فراهم نمودن امکان ساخت داخل TSC
- کمک به صنایع متوسط برای بهبود ضریب توان و کاهش هزینه‌های مرتبط
- کاهش تلفات انرژی در شبکه های توزیع بدلیل جبران محلی توان راکتیو
- کاهش افت ولتاژ تغذیه بارها
- عدم افزایش ولتاژ در بی باری به علت کنترل پذیر بودن ظرفیت خازنها

### ۲-۸-۱-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- طراحی و ساخت مدار کنترلی TSC در دانشگاه تبریز توسط دکتر حسینی، سال ۱۳۷۱.
- طراحی و ساخت TSC در مقیاس آزمایشگاهی در پژوهشگاه نیرو با ظرفیت ۱/۵ کیلو وار و ولتاژ ۳۸۰ ولت، سال ۱۳۷۸.
- مجریان پیشنهادی: دانشگاهها، پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکتهای دانش بنیان

## ۲-۸-۱-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده کنندگان

- ولتاژ: ۴۰۰ ولت
- ظرفیت: ۲۵۰+۱۵۰ کیلو ولت آمپر
- ساختار ماژولار و قابل تعمیم برای ظرفیتهای مختلف
- تعداد: یک نمونه
- استفاده کنندگان: صنایع بخش خصوصی

## ۲-۸-۱-۶- نوع پروژه

- ساخت نمونه صنعتی

## ۲-۸-۱-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه:

- هزینه: یک میلیارد و ششصد میلیون ریال
- زمان: ۱۴ ماه

## ۲-۸-۲ طراحی و ساخت تجاری TSC

### ۲-۸-۲-۱- عنوان پروژه:

- طراحی و ساخت تجاری TSC به ظرفیت ۵۰ تا ۵۰۰ کیلووار

### ۲-۸-۲-۲- تعریف مساله و هدف از اجرای پژوهش

در صناعی با تغییرات بار زیاد و سریع، ضریب توان را نمی توان با پله های خازن که توسط کنتاکتورهای الکترومکانیکی کنترل می شوند، تصحیح کرد. در این موارد، سیستم سنتی به اندازه کافی سریع نیست تا بتواند توان

راکتیو درخواستی از جانب بار را دنبال کند. بنابراین استفاده از بانکهای خازنی که توسط کلیدهای استاتیک کنترل می‌شوند مورد نیاز است. جبرانسازی سریعتر سیستمها منجر به افزایش متوسط ضریب توان می‌شود که در کل باعث صرفه جویی بهتر در مصرف انرژی می‌شود.

پاسخ سریع TSC موجب پاسخ سریع به تقاضای توان راکتیو شده و TSC را برای جبرانسازی ضریب توان بارهایی مانند ماشینهای لحیم کاری، جرثقیلها، بالابرها، ابزارهای قوس الکتریکی و سایر ماشینهایی با تغییرات متناوب بار مناسب می‌سازد. بدلیل حذف حالت‌های گذرا و عدم حضور بخش‌های متحرک مکانیکی، طول عمر مورد انتظار TSC به مقدار قابل توجهی نسبت به خازن سوئیچ شونده مکانیکی (MSC) افزایش یافته است. در این پروژه هدف دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت TSC صنعتی مدنظر قرار دارد.

## ۲-۸-۲-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- دستیابی به دانش فنی ساخت تجاری TSC با مشخصات عملکردی مطابق با استانداردهای جهانی
- سیستم کنترل با قابلیت جبران سریع توان راکتیو
- ساختار ماژولار و قابل توسعه
- جلوگیری از خروج ارز و فراهم نمودن امکان ساخت داخل TSC
- کمک به صنایع متوسط برای بهبود ضریب توان و کاهش هزینه‌های مرتبط
- کاهش تلفات انرژی در شبکه‌های توزیع بدلیل جبران محلی توان راکتیو
- کاهش افت ولتاژ تغذیه بارها
- عدم افزایش ولتاژ در بی باری به علت کنترل پذیر بودن ظرفیت خازنها

## ۲-۸-۲-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- طراحی و ساخت مدار کنترلی TSC در دانشگاه تبریز توسط دکتر حسینی، سال ۱۳۷۱.

- طراحی و ساخت TSC در مقیاس آزمایشگاهی در پژوهشگاه نیرو با ظرفیت ۱/۵ کیلو وار و ولتاژ ۳۸۰ ولت، سال ۱۳۷۸.

- مجریان پیشنهادی: بخش خصوصی

## ۲-۸-۲-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده کنندگان

- ولتاژ: ۴۰۰ ولت
- ظرفیت: ۵۰ تا ۵۰۰ کیلو ولت آمپر
- ساختار ماژولار و قابل تعمیم برای ظرفیتهای مختلف
- تعداد: مورد نیاز
- استفاده کنندگان: صنایع بخش خصوصی

## ۲-۸-۲-۶- نوع پروژه

- ساخت صنعتی

## ۲-۸-۲-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه:

- هزینه: در زمان عقد قرارداد محاسبه خواهد شد.
- زمان: در زمان عقد قرارداد تعیین خواهد شد.



## ۹-۲- طراحی و ساخت ذخیره ساز انرژی باطری

ذخیره سازی انرژی یکی از چالش برانگیزترین و پیچیده‌ترین موضوعات صنعت است. ذخیره‌سازی انرژی کارآمد منجر به ظهور فن آوری جدیدی شده است که قابلیت اطمینان و بهره وری بالا و استفاده از انرژیهای تجدید پذیر را با کیفیت بالاتری وعده می دهد.

ذخیره سازی انرژی می تواند نوسانات بین عرضه و تقاضای برق را متعادل کند. برای نیازمندیهای کوتاه مدت ذخیره ساز باتری می تواند کنترل فرکانس و تعادل را برقرار کند و برای نیازهایی با مدت زمان طولانی تر می توانند عملکرد مدیریت انرژی داشته باشند. ذخیره ساز می تواند در ساعات خارج از پیک مصرف انرژی را ذخیره کرده و در ساعات پیک، آن را به سیستم پس بدهد. ذخیره ساز انرژی زمانیکه به عنوان یک منبع تولید انرژی در شبکه بکار میروند می تواند سبب کاهش هزینه و یا هزینه های سرمایه گذاری شود.

ذخیره ساز انرژی در کنار منابع تجدید پذیر می تواند با تولید همزمان با پیک تقاضای بار سبب افزایش ضریب استفاده منابع تجدیدپذیر شود. سیستمهای ذخیره ساز انرژی می توانند ظرفیت موردنیاز توسعه سیستمهای انتقال و توزیع را کاهش داده و از صرف هزینه‌های سنگین برای توسعه آنها جلوگیری کنند. سیستمهای منابع تغذیه بلادرنگ (UPS) اساساً برای توان پشتیبان استفاده می شوند در حالیکه سیستمهای ذخیره ساز انرژی امروزه می توانند چندین بار را بصورت آنلاین تغذیه کنند.

تکنولوژی ذخیره‌ساز انرژی شامل آبی، باتری، چرخ گردان، واحد ذخیره‌ساز انرژی ابررسانا و ابرخازن‌ها است. در بین این تکنولوژی‌ها، باتری‌ها راه‌حل بسیار خوبی برای واحدهای با توان بالا و زمان سرویس دهی زیر ۵ ساعت هستند. در این بخش هدف دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت سیستم ذخیره ساز انرژی از نوع باطری است.

## ۹-۲-۱ طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی ذخیره ساز انرژی باطری

### ۹-۲-۱-۱- عنوان پروژه:

- طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی ذخیره ساز انرژی باطری به ظرفیت دو مگاوات ساعت

## ۲-۹-۱-۲- تعریف مساله و هدف از اجرای پژوهش

ذخیره سازی انرژی یکی از چالش برانگیزترین و پیچیده ترین موضوعات صنعت است. ذخیره سازی انرژی می تواند نوسانات بین عرضه و تقاضای برق را متعادل کند. برای نیازمندیهای کوتاه مدت ذخیره ساز باتری می تواند کنترل فرکانس و تعادل را برقرار کند و برای نیازهایی با مدت زمان طولانی تر می تواند عملکرد مدیریت انرژی داشته باشند. ذخیره ساز انرژی در کنار منابع تجدید پذیر می تواند با تولید همزمان با پیک تقاضای بار سبب افزایش ضریب استفاده منابع تجدیدپذیر شود. تکنولوژی ذخیره ساز انرژی شامل آبی، باتری، چرخ گردان، واحد ذخیره ساز انرژی ابررسانا و ابرخازن ها است. در بین این تکنولوژی ها، باتری ها راه حل بسیار خوبی برای واحدهای با توان بالا و زمان سرویس دهی زیر ۵ ساعت هستند.

یک واحد ذخیره ساز باتری دارای دو جزء سخت افزاری است که یکی از آنها سیستم مبدل و جزء دیگر مجموعه باتری آن است. سیستم مبدل و کنترل یک ذخیره ساز باتری، قسمت اصلی و حیاتی آن است که اتصال به شبکه و یا بار ac همچنین شارژ و تخلیه باتری از طریق آن صورت می گیرد. قیمت این جزء از مبدل قابل توجه بوده و می تواند بیش از ۲۵ درصد سیستم ذخیره ساز باتری را شامل شود. در انتخاب مبدل باتری، مهمترین مسئله قابلیت اطمینان و بازدهی باتری است. قابلیت اطمینان از پیکربندی مبدل باتری تأثیر می پذیرد در پیکربندی مرسوم، جهت افزایش ولتاژ، باتری ها به صورت سری باهم قرار می گیرند.

در این پروژه هدف ساخت یک نمونه ذخیره ساز انرژی باطری با ظرفیت یک مگاوات و دو مگاوات ساعت است.

## ۲-۹-۱-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- دستیابی به دانش فنی ساخت نمونه نیمه صنعتی BESS با مشخصات عملکردی مطابق با استانداردهای جهانی
- سیستم کنترل با قابلیت شارژ و تخلیه با راندمان بالا
- ساختار ماژولار و قابل توسعه
- توانمندی کنترل و مانیتورینگ قابل تعمیر
- جلوگیری از خروج ارز و فراهم نمودن امکان ساخت داخل BESS

- تسهیل توسعه استفاده از انرژی های تجدیدپذیر در کشور و کمک به سایر فعالیتهای در حال انجام در این حوزه
- در جهت دستیابی به هدف ۱۰ هزار مگاوات برق تجدیدپذیر
- قرار گرفتن در جمع معدود کشورهای دارای این تکنولوژی

## ۲-۹-۱-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- سابقه خاصی در این زمینه در کشور وجود ندارد
- مجریان پیشنهادی: دانشگاهها، پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکتهای دانش بنیان

## ۲-۹-۱-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده کنندگان

- ولتاژ نامی ۴۰۰ ولت
- توان نامی ۵۰۰ کیلووات
- انرژی نامی ۲ مگاوات ساعت
- ساختار مبدل ماژولار و قابل توسعه
- تعداد: یک نمونه
- استفاده کنندگان: وزارت نیرو

## ۲-۹-۱-۶- نوع پروژه

- ساخت نمونه نیمه صنعتی

## ۲-۹-۱-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه:

- هزینه: پنجاه میلیارد ریال
- زمان: ۲۸ ماه

## ۲-۹-۲ طراحی و ساخت نمونه صنعتی ذخیره ساز انرژی باطری

### ۲-۹-۲-۱- عنوان پروژه:

- طراحی و ساخت نمونه صنعتی ذخیره ساز انرژی باطری به ظرفیت یک تا ۵ مگاوات ساعت

### ۲-۹-۲-۲- تعریف مساله و هدف از اجرای پژوهش

ذخیره سازی انرژی یکی از چالش برانگیزترین و پیچیده ترین موضوعات صنعت است. یک ذخیره ساز باتری دارای دو جزء سخت افزاری است که یکی از آنها سیستم مبدل و جزء دیگر مجموعه باتری آن است. سیستم مبدل و کنترل یک ذخیره ساز باتری، قسمت اصلی و حیاتی آن است که اتصال به شبکه و یا بار AC همچنین شارژ و تخلیه باتری از طریق آن صورت می گیرد. قیمت این جزء از مبدل قابل توجه بوده و می تواند بیش از ۲۵ درصد سیستم ذخیره ساز باتری را شامل شود. در انتخاب مبدل باتری، مهمترین مسئله قابلیت اطمینان و بازدهی باتری است. قابلیت اطمینان از پیکربندی مبدل باتری تأثیر می پذیرد در پیکربندی مرسوم، جهت افزایش ولتاژ، باتری ها به صورت سری باهم قرار می گیرند.

در این پروژه هدف ساخت صنعتی ذخیره ساز انرژی باطری با ظرفیت یک تا پنج مگاوات ساعت است.

### ۲-۹-۲-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- دستیابی به دانش فنی ساخت صنعتی BESS با مشخصات عملکردی مطابق با استانداردهای جهانی
- سیستم کنترل با قابلیت شارژ و تخلیه با راندمان بالا
- ساختار ماژولار
- توانمندی کنترل و مانیتورینگ قابل تعمیم
- تسهیل توسعه استفاده از انرژی های تجدیدپذیر در کشور و کمک به سایر فعالیتهای در حال انجام در این حوزه
- در جهت دستیابی به هدف ۱۰ هزار مگاوات برق تجدیدپذیر
- جلوگیری از خروج ارز و فراهم نمودن امکان ساخت داخل BESS

- قرار گرفتن در جمع معدود کشورهای دارای این تکنولوژی

#### ۲-۹-۲-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- سابقه خاصی در این زمینه در کشور وجود ندارد
- مجریان پیشنهادی: دانشگاهها، پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکتهای دانش بنیان

#### ۲-۹-۲-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده کنندگان

- ولتاژ نامی ۴۰۰ ولت
- توان نامی ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ کیلووات
- انرژی نامی یک تا ۵ مگاوات ساعت
- ساختار مبدل مازولار و قابل توسعه
- تعداد: دو عدد
- استفاده کنندگان: وزارت نیرو

#### ۲-۹-۲-۶- نوع پروژه

- ساخت صنعتی

#### ۲-۹-۲-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه:

- هزینه: در زمان عقد قرارداد محاسبه خواهد شد.
- زمان: در زمان عقد قرارداد تعیین خواهد شد.

## ۲-۱۰- طراحی و ساخت مبدل پیل سوختی

رشد روز افزون مصرف انرژی به دلیل افزایش جمعیت و پیشرفت فناوری، منجر به کاهش ذخایر فسیلی تجدید ناپذیر از یکسو و تأثیرات جدی و جبران ناپذیر بر محیط زیست به دلیل انتشار شدید گازهای گلخانه ای از سوی دیگر شده است. در این میان هیدروژن، با توجه به ویژگیهای خاص به عنوان سوخت و حامل انرژی پاک مورد توجه قرار گرفته است.

یکی از فناوری های تبدیل انرژی که می تواند در عصر هیدروژنی نقش ویژه ای را ایفا نماید فناوری پیل سوختی می باشد که از مزایای استفاده از این فناوری می توان به راندمان بالا در مقایسه با سایر مبدل های انرژی، امکان تولید توان از میکرووات تا مگاوات، کاربردهای متنوع در صنایع مختلف نظیر برق، حمل و نقل، اطلاعات و ارتباطات، هوافضا، دفاعی، مصارف خانگی و قابل حمل، تولید ناچیز آلاینده های زیست محیطی، امکان تولید همزمان برق، حرارت و سرما و . . . اشاره نمود.

بسیاری از کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، سرمایه گذاری در این حوزه را به شکل جدی مورد توجه قرار داده و بودجه های قابل توجهی را به امر تحقیق و توسعه و تجاری سازی محصولات پیل سوختی اختصاص داده اند. تلاش های صورت گرفته در دهه ی اخیر، فناوری پیل سوختی را به صورت صنعت پیل سوختی در دنیا مطرح کرده است. صنعتی که اگر چه هنوز با مشکلات فنی و اقتصادی برای ارائه تمام پتانسیل خود مواجه است، اما مسیر توسعه آن تا حد زیادی مشخص شده است. به موازات توجه کشورهای مختلف به توسعه این فناوری، در ایران نیز توسعه این فناوری مورد توجه قرار گرفت که در نهایت با توجه به پیچیده و بین رشته ای بودن فناوری پیل سوختی و کاربردهای مختلف آن در صنایع و تأثیرات مختلف آن بر امنیت انرژی، اقتصاد انرژی، محیط زیست، حمل و نقل و صنایع بزرگ و اساسی کشور، منجر به تدوین سند راهبرد ملی توسعه فناوری پیل سوختی و تصویب آن در هیات دولت محترم در سال ۱۳۸۶ گردید.

مبدل پیل سوختی از جمله اجزاء اساسی آن است. در سند «تدوین سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق» ساخت مبدل های سوختی از جمله اولویتهای توسعه فناوری قرار نگرفت ولی با توجه به وجود تدوین سند راهبرد ملی توسعه فناوری پیل سوختی در کشور به منظور حمایت از فعالیتهای سند مذکور ساخت مبدلهای پیل سوختی در مقیاس ۵ کیلووات در سند حاضر در نظر گرفته شده است.

## ۲-۱۰-۱ طراحی و ساخت مبدل پیل سوختی

### ۲-۱۰-۱-۱- عنوان پروژه:

- طراحی و ساخت مبدل پیل سوختی با توان پنج کیلووات

### ۲-۱۰-۱-۲- تعریف مساله و هدف از اجرای پژوهش:

از فناوری های تبدیل انرژی که می تواند در آینده انرژی نقش ویژه ای ایفا نماید فناوری پیل سوختی است که از مزایای استفاده از این فناوری می توان به راندمان بالا در مقایسه با سایر مبدل های انرژی و کاربردهای متنوع در صنایع مختلف نظیر برق، حمل و نقل، اطلاعات و ارتباطات، هوافضا، دفاعی، مصارف خانگی و قابل حمل اشاره نمود.

در سند راهبرد ملی توسعه فناوری پیل سوختی کشور در بخش مربوط به اهداف کلان سند و بمنظور « ایجاد و توسعه بازارهای داخلی و نفوذ به بازارهای بین المللی هیدروژن و پیل سوختی با شروع از بازارهای زود هنگام » فعالیتهای زیر مورد نظر قرار گرفته است

- ساخت و بهره برداری از ۱۰۰۰ نمونه پیل سوختی ۱۰-۱ کیلو وات به همراه سیستم فرآورش سوخت برای کاربرد تولید برق و حرارت همزمان

- ساخت و بهره برداری از ۵۰۰ نمونه پیل سوختی ۵۰-۱ کیلو وات به همراه سیستم فرآورش سوخت برای کاربرد تولید برق و حرارت همزمان

- ساخت ۱۰۰۰ نمونه سیستم پیل سوختی در کاربرد برق پشتیبان ۱۲-۵ کیلو وات به همراه تعداد مورد نیاز کپسول تحت فشار هیدروژن

در پروژه پیشنهادی هدف دستیابی به دانش فنی ساخت مبدلهای الکترونیک قدرت پیل سوختی در مقیاس کوچک و تأمین نیاز کشور در این زمینه است.

## ۲-۱۰-۱-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- دستیابی به دانش فنی ساخت مبدل الکترونیک قدرت پیل سوختی با مشخصات عملکردی مطابق با استانداردهای جهانی
- امکان رقابت در بازارهای خارجی بدلیل نوظهور بودن پیل سوختی
- جلوگیری از خروج ارز و فراهم نمودن امکان ساخت داخل مبدل الکترونیک قدرت
- کاهش اتکا به سوخت‌های فسیلی و کاهش آلاینده‌ها

## ۲-۱۰-۱-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- در زمینه مبدل پیل سوختی تاکنون در فعالیتهای گسترده‌ای ذیل سند راهبرد ملی توسعه فناوری پیل سوختی صورت گرفته است. از جمله می توان به نمونه آزمایشگاهی یک نیروگاه خانگی، با توان نامی 5 kW و ولتاژ خروجی Vac 220، بر پایه پیل سوختی اشاره نمود که در دانشگاه علم و صنعت انجام شده است. فعالیتهای دیگری نیز در سازمان انرژی های نو صورت گرفته است.
- مجریان پیشنهادی: دانشگاهها، پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکتهای دانش بنیان مرتبط

## ۲-۱۰-۱-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده کنندگان

- توان مبدل: پنج کیلووات
- ولتاژ نامی: ۲۳۰ ولت
- فرکانس نامی: ۵۰ هرتز
- تعداد: دو نمونه
- استفاده کننده محصول: ذینفعان سند راهبرد ملی توسعه فناوری پیل سوختی



## ۲-۱۰-۱-۶- نوع پروژه

- ساخت نیمه صنعتی

## ۲-۱۰-۱-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه

- هزینه: دو میلیارد و پانصد میلیون ریال
- زمان: ۱۸ ماه

## ۲-۱۰-۲- طراحی و ساخت تجاری مبدل پیل سوختی

### ۲-۱۰-۲-۱- عنوان پروژه:

- طراحی و ساخت صنعتی مبدل پیل سوختی با توان پنج کیلووات

### ۲-۱۰-۲-۲- تعریف مساله و هدف از اجرای پژوهش:

در سند راهبرد ملی توسعه فناوری پیل سوختی کشور در بخش مربوط به اهداف کلان سند و بمنظور «ایجاد و توسعه بازارهای داخلی و نفوذ به بازارهای بین المللی هیدروژن و پیل سوختی با شروع از بازارهای زود هنگام» فعالیتهای زیر مورد نظر قرار گرفته است

- ساخت و بهره برداری از ۱۰۰۰ نمونه پیل سوختی ۱۰-۱ کیلو وات به همراه سیستم فرآورش سوخت برای کاربرد تولید برق و حرارت همزمان

- ساخت و بهره برداری از ۵۰۰ نمونه پیل سوختی ۵۰-۱ کیلو وات به همراه سیستم فرآورش سوخت برای کاربرد تولید برق و حرارت همزمان

- ساخت ۱۰۰۰ نمونه سیستم پیل سوختی در کاربرد برق پشتیبان ۱۲-۵ کیلو وات به همراه تعداد مورد نیاز کپسول تحت

فشار هیدروژن

در پروژه پیشنهادی هدف دستیابی به نمونه صنعتی/تجاری مبدل‌های الکترونیک قدرت پیل سوختی در مقیاس کوچک و تأمین نیاز کشور در این زمینه است.

## ۲-۱۰-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- دستیابی به دانش ساخت صنعتی مبدل الکترونیک قدرت پیل سوختی با مشخصات عملکردی مطابق با استانداردهای جهانی
- امکان رقابت در بازارهای خارجی بدلیل نوظهور بودن پیل سوختی
- جلوگیری از خروج ارز و فراهم نمودن امکان ساخت داخل مبدل الکترونیک قدرت
- کاهش اتکا به سوخت‌های فسیلی و کاهش آلاینده‌ها

## ۲-۱۰-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- در زمینه مبدل پیل سوختی تاکنون در فعالیتهای گسترده‌ای ذیل سند راهبرد ملی توسعه فناوری پیل سوختی صورت گرفته است. از جمله می توان به نمونه آزمایشگاهی یک نیروگاه خانگی، با توان نامی 5 kW و ولتاژ خروجی Vac 220، بر پایه پیل سوختی اشاره نمود که در دانشگاه علم و صنعت انجام شده است. فعالیتهای دیگری نیز در سازمان انرژی های نو صورت گرفته است.
- مجریان پیشنهادی: شرکتهای دانش بنیان مرتبط

## ۲-۱۰-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده کنندگان

- توان مبدل: پنج کیلووات
- ولتاژ نامی: ۲۳۰ ولت
- فرکانس نامی: ۵۰ هرتز
- تعداد: ۸۰ نمونه

- استفاده کننده محصول: ذینفعان سند راهبرد ملی توسعه فناوری پیل سوختی

## ۲-۱۰-۶- نوع پروژه

- ساخت صنعتی

## ۲-۱۰-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه

- هزینه: در زمان عقد قرارداد
- زمان: در زمان عقد قرارداد

## ۲-۱۱- دستیابی به دانش فنی طراحی تفصیلی SFC

با استفاده از مبدل‌های الکترونیک قدرت در راه‌اندازی نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای و گازی و همچنین تنظیم سرعت در سیستم تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت‌متغیر و مسائلی همچون راه‌اندازی نرم و سریع و بدون تنش‌های مکانیکی در این نیروگاه‌ها، قابلیت کنترل فرکانس، ولتاژ و توان راکتیو به کمک SFC‌های کنترل سرعت امکان پذیر گردیده است. اهمیت الکترونیک قدرت در نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای و گازی، امری غیرقابل انکار است، به خصوص آن که نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت متغیر کاملاً بر مبنای مبدل‌های الکترونیک قدرت بنا شده‌اند. با توجه به نیاز کشور در این زمینه پروژه حاضر در پی دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت SFC است.

## ۲-۱۱-۱- دستیابی به دانش فنی طراحی و تهیه نقشه‌های اجرایی SFC

### ۲-۱۱-۱- عنوان پروژه

- دستیابی به دانش فنی طراحی و تهیه نقشه‌های اجرایی SFC در کاربرد نیروگاه گازی و تلمبه ذخیره‌ای

## ۲-۱۱-۱-۲- تعریف مساله و هدف از اجرای پژوهش

به دلیل بالا بودن ظرفیت توربین‌های آبی، راه‌اندازی مستقیم ماشین‌های سنکرون در حالت موتوری، امکان‌پذیر نیست. برای اتصال این نیروگاه‌ها به شبکه، از مبدل‌های فرکانسی استاتیکی (SFC) استفاده می‌شود. این مبدل‌ها و یا راه‌اندازها، در حالت موتوری ولتاژ و فرکانس ورودی ماشین را به صورت پیوسته از مقادیر پایین افزایش می‌دهند تا به سرعت سنکرون با شبکه برسد.

توربین‌های گازی نیز اغلب باید در مدت زمان کوتاهی راه‌اندازی شوند. راه‌انداز SFC، ابتدا توربین گاز را به صورت موتوری تغذیه می‌کند تا در مدت زمان کوتاهی، به سرعت نامی خود برسد و با شبکه سنکرون شود. کاربرد SFC برای نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای، اتصال نرم موتور سنکرون به شبکه است ولی کاربرد آن برای نیروگاه گازی، راه‌اندازی سریع و رسیدن به سرعت سنکرون می‌باشد.

در نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای سرعت‌متغیر که برای کنترل فرکانس و مدیریت توان در شبکه مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، زمانی که توربین در حالت موتوری عمل می‌کند، برای کنترل سرعت و گشتاور موتور، از درایوهای سرعت متغیر یا SFCهای کنترل سرعت استفاده می‌شود.

در این پروژه هدف دستیابی به دانش فنی طراحی و تهیه نقشه‌های اجرایی SFC در کاربرد نیروگاه گازی و تلمبه ذخیره‌ای.

## ۲-۱۱-۱-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- مطالعات لازم در خصوص انتخاب ساختار و شیوه کنترل مبدل‌های SFC در کاربردهای مختلف
- افزایش دانش فنی متخصصین داخلی در خصوص مبدل‌های SFC
- دستیابی به دانش فنی طراحی تفصیلی و تهیه نقشه‌های اجرایی SFC در کاربرد نیروگاه گازی و تلمبه ذخیره‌ای
- امکان استفاده از دانش حاصل برای ساخت داخل یا انتقال دانش فنی

## ۲-۱۱-۱-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- در این خصوص مطالعات مختلف و پراکنده‌ای در کشور صورت گرفته است.
- مجریان پیشنهادی: دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی

## ۲-۱۱-۱-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده کنندگان

- مطالعات فنی و اقتصادی طراحی محصول
- اسناد فنی و نقشه های اجرایی یک نمونه SFC نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای
- اسناد فنی و نقشه های اجرایی یک نمونه SFC نیروگاه گازی
- طراحی سیستم کنترل و الگوریتمهای مربوطه

## ۲-۱۱-۱-۶- نوع پروژه

- مطالعاتی

## ۲-۱۱-۱-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه

- هزینه: یک میلیارد و پانصد میلیون ریال
- زمان: ۱۴ ماه

## ۲-۱۲- دستیابی به دانش فنی طراحی تفصیلی سیستم تحریک نیروگاهی

سیستم تحریک ژنراتور سنکرون، در واقع ستون فقرات سیستم کنترل ژنراتور سنکرون می‌باشد. این سیستم شامل منبع توانی است که جریان مغناطیس‌کنندگی dc را به سیم‌پیچ‌های میدان ژنراتور سنکرون تزریق کرده و بدین وسیله در سیم‌پیچ‌های ماشین، ولتاژ و جریان ac القا می‌شود. در سیستم‌های تحریک امروزی، به منظور استفاده از توان ac

خروجی ژنراتور برای تغذیه تحریک dc، از یکسوسازهای الکترونیک قدرت استفاده می‌شود. با توجه به نیاز کشور در این زمینه پروژه حاضر در پی دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت سیستم تحریک ژنراتور سنکرون است.

## ۲-۱۲-۱-۱ دستیابی به دانش فنی طراحی و تهیه نقشه‌های اجرایی سیستم تحریک

### ۲-۱۲-۱-۱-۱-۱ عنوان پروژه

- دستیابی به دانش فنی طراحی و تهیه نقشه‌های اجرایی سیستم تحریک در کاربرد نیروگاه گازی و آبی

### ۲-۱۲-۱-۱-۲-۲ تعریف مساله و هدف از اجرای پژوهش

پیشرفت تکنولوژی نیمه‌هادی‌ها حوزه سیستم‌های تحریک را دگرگون کرده است. در سیستم‌های تحریک قدیمی کنترل تحریک مبتنی بر رئوستا و یا تقویت‌کننده‌ی مغناطیسی مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند که به علت بهره‌ی حلقه‌ی پایین، عملکرد کند و ناکارآمدی داشته‌اند. با استفاده از تریستورها برای انتقال توان به سیستم تحریک به منظور کنترل ولتاژ، سرعت پاسخ سیستم، بسیار سریع‌تر از سیستم‌های تحریک متعارف شده است. سیستم‌های تحریک مدرن متشکل از تریستورها، باند مرده‌ی بسیار پایینی دارند و هیچ تأخیری در سیستم ایجاد نمی‌کنند. انتخاب و به کارگیری تریستورها برای این کاربرد، اهمیت قابل توجهی دارد، زیرا که انتخاب نامناسب می‌تواند منجر به خطاهای متعدد در سیستم شود.

توان تحریک معمولاً از طریق ترمینال‌های ژنراتور یا منبع کمکی با یک ترانسفورماتور کاهنده به پل تریستوری منتقل می‌شود. رگولاتور ولتاژ که شامل کنترل حلقه بسته است، ولتاژ ترمینال ماشین را با مقدار مرجع مقایسه می‌کند و یک سیگنال خطا ایجاد می‌کند که زاویه آتش تریستورها را کنترل می‌کند. سپس ولتاژ dc پل با استفاده از حلقه‌های لغزان به سیم‌پیچ میدان ماشین منتقل می‌شود. بنابراین پل تریستوری، نقش بسیار مهمی در سیستم‌های تحریک استاتیکی ژنراتور سنکرون، به منظور تأمین ولتاژ کنترلی دقیق و سریع، ایفا می‌کند. در این پروژه هدف دستیابی به دانش فنی طراحی و تهیه نقشه‌های اجرایی SFC در کاربرد نیروگاه گازی و آبی است.

## ۲-۱۲-۱-۳- دستاوردهای پروژه و صرفه اقتصادی

- مطالعات لازم در خصوص انتخاب ساختار و شیوه کنترل سیستم تحریک
- افزایش دانش فنی متخصصین داخلی در خصوص سیستم تحریک
- دستیابی به دانش فنی طراحی تفصیلی و تهیه نقشه‌های اجرایی سیستم تحریک
- امکان استفاده از دانش حاصل برای ساخت داخل یا انتقال دانش فنی

## ۲-۱۲-۱-۴- سابقه انجام پژوهش در کشور و مجریان پیشنهادی

- در این خصوص پروژه‌هایی توسط شرکت آب نیرو و گروه مپنا جهت ساخت داخل سیستم تحریک در دست اجراست.
- مجریان پیشنهادی: دانشگاهها، پژوهشگاه نیرو

## ۲-۱۲-۱-۵- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده کنندگان

- مطالعات فنی و اقتصادی طراحی محصول
- اسناد فنی و نقشه‌های اجرایی یک نمونه سیستم تحریک نیروگاه آبی
- اسناد فنی و نقشه‌های اجرایی یک نمونه سیستم تحریک نیروگاه گازی
- طراحی سیستم کنترل و الگوریتمهای مربوطه

## ۲-۱۲-۱-۶- نوع پروژه

- مطالعاتی

## ۲-۱۲-۱-۷- هزینه و زمان اجرای پروژه

- هزینه: یک میلیارد و پانصد میلیون ریال

• زمان: ۱۴ ماه

## ۲-۱۳- طرح ملی آزمایشگاه الکترونیک قدرت

### ۲-۱۳-۱- طرح ملی راه اندازی آزمایشگاه شبیه ساز بلادرنگ تجهیزات الکترونیک قدرت

#### ۲-۱۳-۱-۱- عنوان طرح

راه اندازی آزمایشگاه شبیه ساز بلادرنگ جهت طراحی، توسعه و آزمون تجهیزات الکترونیک قدرت

#### ۲-۱۳-۱-۲- تعریف مساله و هدف از اجرای طرح

طراحی و توسعه یک محصول در مراحل مختلف نیاز به آزمایشگاه‌های با اهداف متفاوت دارد. در مرحله طراحی و ساخت نیاز به مراکز آزمایشگاهی مجهز به تجهیزاتی برای طراحی، شبیه‌سازی، ساخت نمونه، تجهیزات اندازه‌گیری و مانیتورینگ مناسب و ... وجود دارد. پس از ساخت محصول با توجه به استانداردهای موجود ملی و بین‌المللی باید محصول مورد آزمون قرار گیرد. این آزمون‌ها با توجه دستورالعمل مربوط به هر استاندارد انجام گرفته و نتایج آن مؤید تأیید یا عدم تأیید عملکرد محصول است. پس از این مرحله لازم است عملکرد محصول در شرایط میدانی مورد بررسی قرار گیرد.

تکنیک شبیه سازی (HIL) Hardware In Loop کاربرد فراوانی در توسعه و آزمون سیستم‌های زمان واقعی دارد و زیرساخت مناسبی برای در نظر گرفتن پیچیدگی‌های سیستم تحت کنترل فراهم می‌کند. شبیه سازی HIL تقلید تمامی سنسورها و عملگرها را در خود خواهد داشت. این اجزا نقش واسط میان شبیه سازی HIL و سیستم تحت تست را ایفا خواهند کرد. مقدار هر یک از سنسورها توسط شبیه سازی HIL تعیین خواهد شد و سیستم تحت تست از آن فیدبک خواهد گرفت و در ادامه الگوریتم کنترلی خود را به عملگرها اعمال خواهد کرد. اعمال مقادیر جدید به عملگرها منجر به تغییر وضعیت شبیه سازی HIL و ادامه مجدد فرایند خواهد شد.



در بسیاری از موارد ممکن است کاراترین روش آزمون یک تجهیز، اتصال آن به سیستم واقعی باشد. اما در نظر گرفتن مواردی مانند هزینه، مدت زمان مورد مطالعه، ایمنی و امکان پذیری ممکن است شبیه سازی HIL را به عنوان روشی کارا معرفی کند.

هدف از این طرح فراهم نمودن آزمایشگاهی جهت تست کلیه تجهیزات الکترونیک قدرت تا ظرفیت ۵ مگاوات آمپر است.

### ۲-۱۳-۱-۳- سابقه انجام طرح در کشور و مجریان پیشنهادی

- در این خصوص تاکنون فعالیت خاصی در کشور صورت نگرفته است.
- مجریان پیشنهادی: وزارت نیرو

### ۲-۱۳-۱-۴- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده کنندگان

- آزمایشگاهی جهت تحقیق، توسعه و آزمون تجهیزات الکترونیک قدرت که قادر به تست تجهیزاتی تا ظرفیت ۵ مگاوات آمپر باشد
- استفاده کنندگان: کلیه مراکز و صنایع مرتبط با الکترونیک قدرت

### ۲-۱۳-۱-۵- نوع طرح

- راه اندازی آزمایشگاه

### ۲-۱۳-۱-۶- هزینه و زمان اجرای طرح

- هزینه: پانصد میلیارد ریال
- زمان: ۷۲ ماه

## ۲-۱۴ - طرح ملی شبکه آزمایشگاهی

### ۲-۱۴-۱ طرح ملی راه اندازی شبکه آزمایشگاهی الکترونیک قدرت

#### ۲-۱۴-۱-۱ - عنوان طرح

توسعه و تجهیز آزمایشگاه‌های الکترونیک قدرت کشور و ایجاد شبکه ملی آزمایشگاهی

#### ۲-۱۴-۱-۲ - تعریف مساله و هدف از اجرای طرح

بررسی صورت گرفته حاکی از این است که در کشور آزمایشگاه‌های تحقیقاتی امکانات خوبی داشته و در مراکز تحقیقاتی، دانشگاهی و صنعتی با توجه به نیازها و توان مالی، تأسیسات آزمایشگاهی مناسبی فراهم شده است. برای توسعه این مراکز و تجهیز آنها به لوازم مورد نیاز در برخی حوزه‌ها با توجه به هزینه و کاربرد، نیاز به حمایت هدفمند دولت وجود دارد. در این راستا باید شبکه‌ای از آزمایشگاه‌های تحقیقاتی الکترونیک قدرت در کشور ایجاد گردد که اقدامات زیر می‌تواند در ذیل این شبکه صورت پذیرد.

- حمایت از تجهیز آزمایشگاه‌های موجود به تجهیزات اولیه مورد نیاز با توجه به پتانسیل منطقه‌ای
  - حمایت از ایجاد قطب‌های آزمایشگاهی با مشارکت مراکز تحقیقاتی و صنایع با توجه به پتانسیل‌های منطقه‌ای موجود
  - آموزش و تربیت متخصصین آزمایشگاهی بویژه در زمینه‌های خاص
- در خصوص آزمایشگاه‌های مرجع و با توجه به وظایف مورد انتظار این آزمایشگاه‌ها باید تحت نظارت سازمان ملی استاندارد قرار داشته باشد. آزمایشگاه‌های مرجع را می‌توان با توجه به حوزه آنها به صورت زیر در نظر گرفت.
- آزمایشگاه مرجعی که به لحاظ اقتصادی بخش خصوصی قادر به راه‌اندازی و بهره‌برداری از آنها است

- آزمایشگاه‌های مرجعی که با توجه به سرمایه‌گذاری بالای مورد نیاز و اهمیت آنها باید توسط بخش دولتی یا وابسته به دولت فراهم شود.
- آزمایشگاه‌های مرجعی که با توجه به سرمایه‌گذاری مورد نیاز و دانش فنی آن می‌توان از آزمایشگاه‌های خارجی برای انجام آزمون‌ها استفاده نمود.
- با توجه به موارد فوق باید اقدامات زیر را مدنظر قرار داد.
- تصویب استانداردهای مورد نیاز و اتخاذ سیاست لازم برای اجباری نمودن آنها
- حمایت دولت از سرمایه‌گذاری در جهت احداث آزمایشگاه‌های مرجع مورد نیاز کشور
- فراهم نمودن مکانیزم و تسهیلات لازم برای تست تجهیزات در آزمایشگاه‌های خارجی
- انعقاد تفاهم‌های همکاری آزمایشگاهی

### ۲-۱۴-۱-۳- سابقه انجام طرح در کشور و مجریان پیشنهادی

- در این خصوص تاکنون فعالیت خاصی در کشور صورت نگرفته است.
- مجریان پیشنهادی: وزارت نیرو، صنایع، دانشگاهها و کلیه مراکز تحقیقاتی کشور

### ۲-۱۴-۱-۴- مشخصات فنی محصول نهایی، تعداد و استفاده کنندگان

- ایجاد شبکه آزمایشگاهی جهت تحقیق و توسعه در زمینه الکترونیک قدرت بشکلی که برای کلیه محققین این حوزه در سراسر کشور تجهیزات زیر قابل دسترس باشد.
- منابع تغذیه ac و dc در رنج‌های توانی و ولتاژی مختلف
  - انواع مختلف کلیدهای نیمه‌هادی و مبدل‌های الکترونیک قدرت پر کاربرد مانند مبدل‌های DC\DC، اینورترها و درایوهای تغذیه موتورهای الکتریکی
  - اسیلوسکوپ‌ها و اندازه‌گیرهای جریان و ولتاژ

- پردازنده‌های دیجیتال سیگنال مانند DSPها، FPGAها و تجهیزات جانبی مورد نیاز برای برنامه‌ریزی آنها
- سنسورها و تجهیزات لازم برای ساخت بردهای کنترلی
- دسترسی به بسته‌های نرم‌افزاری کامل Matlab، PSCAD، Altium Designer، Pspice و همچنین نرم-افزارهای آزمایشگاهی مانند LabVIEW و ...
- انواع مختلف بارها و عناصر غیرفعال
- باشد. به منظور مطالعه و تحقیق در راستای صنایع کاربردی الکترونیک قدرت مانند درایوهای الکتریکی و منابع انرژی نو نیز تجهیزاتی مانند:
- موتورهای القایی، سنکرون و مغناطیس دائم
- دینامومترها
- پنل‌های فتوولتائیک
- توربین‌های بادی آزمایشگاهی
- باتری و پیل‌های سوختی
- استفاده کنندگان: کلیه مراکز و صنایع مرتبط با الکترونیک قدرت

## ۲-۱۴-۱-۵- نوع طرح

- راه اندازی آزمایشگاه

## ۲-۱۴-۱-۶- هزینه و زمان اجرای طرح

- هزینه: سیصد میلیارد ریال
- زمان: ۱۲۰ ماه

## فصل سوم

اقدامات توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت

### ۳- فصل سوم اقدامات توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت

#### ۳-۱- مقدمه

در گزارش فاز چهارم همین پروژه با انجام مصاحباتی با خبرگان حوزه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت، چالش‌های توسعه این فناوری‌ها شناسایی گردید و برای هر یک اقدامات لازم پیشنهاد شد. در این فصل برای هر یک از اقدامات پیشنهادی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت آن گزارش شناسنامه اقدامات به همراه میزان بودجه مورد نیاز، زمان انجام و متولیان پیشنهادی ارائه شده است.

#### ۳-۲- تشکیل شورای راهبری توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت

عنوان اقدام: تشکیل شورای راهبری توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت

##### تشریح فعالیت‌ها

اهمیت فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت، حجم بالای برنامه‌ریزی‌ها، سرمایه‌گذاری‌های بین‌المللی و تجربیات حاصل در داخل کشور همگی مؤید این نکته هستند که توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در داخل کشور، نیازمند عزمی ملی با حضور تمام ذینفعان تاثیرگذار بر توسعه این فناوری می‌باشد. با این نگرش یکی از اقدامات سند راهبردی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت به پیشنهاد کمیته راهبری تدوین سند، تشکیل شورای راهبری توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت با حضور قریب به اتفاق سازمان‌ها و نهادهای ذی‌نفع است.

پس از تدوین سند راهبردی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت، به نظر می‌رسد ادامه روند توسعه فناوری این تجهیزات، نیازمند ایجاد ساز و کار و تشکیلات منظم‌تری است تا بتواند بصورت متمرکز پیگیری فعالیت‌های در نظر گرفته شده

برای تحقق اقدامات مورد اشاره در سند را دنبال کند. این شورا علاوه بر تدوین جزئیات برنامه عملیاتی سند، نقش کلیدی و مهمی را در تحقق چندین اقدام بر عهده دارد که به عنوان نمونه می‌توان به اقدامات ذیل اشاره نمود:

- تشکیل دبیرخانه شورا با هدف پیگیری و اجرای اقدامات سند
- تدوین و پیشنهاد مجموعه قوانین و مقررات حمایت از توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت
- استمرار بخشیدن به انجام مطالعات راهبردی مورد نیاز در خصوص فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت
- نظارت کلان بر پروژه‌های توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در کشور
- ...

دبیرخانه کمیته راهبری و این شورا موظف هستند با تشکیل کمیته‌های تخصصی روند توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت را در سطح کشورهای مختلف دنیا مورد بررسی قرار داده و بر اساس آن، مسیر سیاست‌گذاری توسعه این فناوری را در کشور تعیین نمایند و همچنین مطالعات مورد نیاز اقدامات مختلف را انجام دهد.

در این راستا، به نظر می‌رسد به منظور تدقیق اهداف و مأموریت‌های این شورا، انجام یک مطالعه راهبردی ضروری می‌نماید تا بطور جامع، ابعاد مأموریتی این شورا مشخص و مکانیزم تحقق آن‌ها از طریق طراحی ساختار متناسبی پیش بینی گردد. در ادامه، تشکیل این شورا نیازمند سیر مراحل قانونی جهت اخذ مجوزهای لازم است تا پس از آن اقدامات اجرایی از قبیل تعیین موقعیت جغرافیایی برای تشکیل شورا، تجهیز شورا به امکانات سخت افزاری و نرم افزاری لازم و جذب متخصصین و کادر اداری شورا، انجام پذیرد.

### ۳-۳- تعریف پروژه‌های ملی مورد حمایت دولت در راستای نیازمندی‌های کشور

عنوان اقدام: تعریف پروژه‌های ملی مورد حمایت دولت در راستای نیازمندی‌های کشور

تشریح فعالیت‌ها:

با توجه به تجهیزات اولویت‌دار الکترونیک قدرت که از گزارش فاز سوم احصا شده است، پروژه‌هایی (اقدامات فنی) در راستای نیازمندی‌های کشور تعریف شده است که در گزارش فاز پنجم پروژه برای هر یک از این پروژه‌ها زمان و بودجه تخمینی، مجریان پیشنهادی و تعریف و دلایل توجیه‌پذیری پروژه به همراه تطابق این پروژه‌ها با اولویت‌های فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت بیان شده است. عناوین این پروژه‌ها به صورت کلی عبارتند از:

- پیاده‌سازی یک SVC تجاری قابل جابجایی در شبکه توزیع
- پیاده‌سازی یک نمونه D-Statcom قابل جابجایی در شبکه توزیع
- پیاده‌سازی یک TSC ماژولار تجاری صنعتی
- پیاده‌سازی یک نمونه مبدل ژنراتور مغناطیس دائم توربین بادی
- پیاده‌سازی یک نمونه مبدل فتوولتائیک مگاواتی
- پیاده‌سازی یک نمونه مبدل فتوولتائیک کیلوواتی
- پیاده‌سازی یک نمونه مبدل پیل سوختی کیلوواتی
- پیاده‌سازی یک نمونه ذخیره‌ساز انرژی باطری مگاواتی
- پیاده‌سازی یک DVR صنعتی
- پیاده‌سازی یک نمونه STS تحقیقاتی
- دانش فنی طراحی و ساخت SFC نیروگاهی
- دانش فنی طراحی و ساخت سیستم تحریک نیروگاهی
- طرح ملی آزمایشگاه شبیه‌ساز بلادرنگ طراحی، توسعه و آزمون تجهیزات الکترونیک قدرت



### ۳-۴- تدوین قوانین، مقررات و دستورالعمل‌های مورد نیاز برای حمایت از توسعه

#### فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت

عنوان اقدام: تدوین قوانین، مقررات و دستورالعمل‌های مورد نیاز برای حمایت از توسعه فناوری

تجهیزات الکترونیک قدرت

تشریح فعالیت‌ها

مجموعه قوانین تجاری هر کشور، مبنایی برای فعالیت‌های تجاری و سرمایه‌گذاری در آن کشور است و بر نوع، دامنه و کارایی این فعالیت‌ها اثر فراوانی دارد. اندک تاملی در کارکردهای نظام نوآوری فناورانه نشان می‌دهد که نظام قانونی و حقوقی، نقش مهمی را در ابعاد حمایت از سرمایه‌گذاری و تامین منابع مالی و حمایت از حقوق مالکیت معنوی ایفا می‌کند. لذا توجه به ایجاد زیر ساخت مناسب قانونی در ابعاد مختلف تاثیر گذار بر روند توسعه فناوری حائز اهمیت بسیار است.

بدیهی است تدوین قوانین و مقررات مناسب در این حوزه نیازمند تشکیل کمیته‌های تخصصی است تا بتوانند با بررسی وضعیت موجود کشور در ابعاد مختلف قانونی و حقوقی، نیازمندی‌های قانونی را شناسایی و بر اساس تجربیات سایر کشورها در این زمینه، به تدوین مقررات و قوانینی متناسب با ساختار و موقعیت کشورمان بپردازند.

همچنین این کمیته باید اقدامات لازم را در خصوص تصویب این قوانین در مراجع ذیصلاح انجام داده و مکانیزم‌هایی را در جهت اجرای این قوانین توسط بخش‌های مرتبط طراحی نماید.

### ۳-۵- استمرار مطالعات راهبردی مورد نیاز در خصوص فناوری تجهیزات

#### الکترونیک قدرت

عنوان اقدام: استمرار مطالعات راهبردی مورد نیاز در خصوص فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت

## تشریح فعالیت‌ها

در فرآیند خطیر سیاستگذاری کلان فناوری کشور، شناسایی و تحلیل جریان‌ها و پیشرفت‌های فناوری در سطح جهان بعنوان یکی از مقدمات تعیین‌کننده در آینده‌نگری و ترسیم نقشه راه فناوری، نقش مهم و اساسی دارد و نتایج حاصل از این فرآیند، محور و مبنای وضع سیاست‌های اصولی و هدفمند فناوری تلقی می‌شود. بر این اساس و نظر به اهمیت فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت و نیاز به حجم بالای برنامه‌ریزی‌ها و نیز هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری در جهت توسعه این فناوری، استمرار مطالعات راهبردی در حوزه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت لازم و ضروری می‌نماید. علاوه بر اینکه نتایج این مطالعات منجر به انجام اصلاحات احتمالی در اقدامات در نظر گرفته شده در سند خواهد شد که انجام این بازنگری بصورت دوسالانه در طول مدت زمان اجرای سند قابل انجام است.

بدیهی است انجام این مطالعات در گام نخست نیازمند تشکیل کمیته‌های تخصصی است که بتوانند بصورت مستمر روند توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت را در کشورهای مختلف دنیا مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار داده بر اساس شرایط و امکانات موجود در کشور بهترین خط سیر را در جهت اصلاح و بهبود روند توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در کشورمان ارائه نمایند. بطور کلی می‌توان گفت این اقدام یکی از کارکردهای اساسی شورای راهبری توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت است و همانطور که در تشریح اقدام مربوطه (تاسیس شورای راهبری توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت) اشاره شد، در قالب کمیته‌های تخصصی مربوطه انجام می‌شود. لازم به ذکر است گستره این مطالعات، کلیه حوزه‌های فنی و تخصصی، نظام قانونی و حقوقی، نظام اقتصادی و مالی و نظایر آن را که تأثیرات مهمی در تغییر و تحولات روند توسعه فناوری در کشور دارند، شامل می‌شود.

### ۳-۶- کمک به ایجاد و تقویت جایگاه تشکل‌های علمی، صنفی و غیردولتی حامی

#### توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت

عنوان اقدام: کمک به ایجاد و تقویت جایگاه تشکل‌های علمی، صنفی و غیردولتی حامی توسعه فناوری

#### تجهیزات الکترونیک قدرت

#### تشریح فعالیت‌ها

توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت با در نظر گرفتن نظام نوآوری فناورانه نیازمند وجود و اثرگذاری نهادهای واسطی خواهد بود تا بوسیله آن روابط و تعاملات موجود در نظام، نهادینه و زمینه توسعه پایدار این فناوری فراهم گردد. بسترسازی و ایجاد نهادها و تشکل‌های علمی، صنفی و غیر دولتی در جوامع امروزی از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. این تشکل‌ها در واقع نماینده گروه‌های مختلف جامعه می‌باشند که به نحوی با جزء و یا اجزایی از فرآیند توسعه تکنولوژی مرتبط بوده و دارای علایق و انگیزه‌های مشترک در یک مجموعه متشکل هستند. این تشکل‌ها دارای ویژگی‌هایی هستند که در صورتی که به طور کامل رعایت شود تضمین‌کننده موفقیت و پایداری آنها خواهد بود. از جمله این ویژگی‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- خودجوشی و نیاز طبیعی
- تعهد و هدف مشترک
- قانونمندی
- برنامه و فعالیت مشخص
- جلب مشارکت و عضویت
- مشارکت و مسئولیت‌پذیری

تشکل‌های علمی، صنفی و غیر دولتی در حوزه فناورانه براساس شرایط تحقیقاتی و علمی کشور و جهان و همچنین انگیزش‌های موجود حوزه این تکنولوژی به طور خودجوش به وجود آمده، دارای ضوابط مشخص و تعریف شده‌ای بوده و در

راستای دستیابی به اهداف خود دارای برنامه و فعالیت مشخص در یک بخش یا رشته خاص می‌باشد. اصولاً هدف این تشکل‌ها سودجویانه نیست بلکه بیشتر دارای اهداف علمی، فرهنگی و اجتماعی می‌باشند.

از آنجا که فرآیند توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت دارای زمینه‌های متنوع و گسترده‌ای از موضوعات مورد توجه تشکل‌های علمی، صنفی و غیردولتی در دانشگاه، صنعت و ... می‌باشد، لذا می‌توان با کمک و حمایت لازم به منظور ایجاد و تقویت جایگاه این تشکل‌ها به تسریع در فرآیند توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت کمک نمود. به منظور هماهنگ‌سازی و هم‌افزایی نتایج و ایجاد تعامل موثر، ارتباط با تشکل‌های علمی، صنفی و غیردولتی حامی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت به عنوان یکی از وظایف دبیرخانه شورای راهبری مورد توجه قرار می‌گیرد. هدف اصلی در این زمینه علاوه بر ارائه کمک‌های مالی، اطلاعاتی و ... به تشکل‌های فوق، انتقال خطوط و موضوعات راهبردی کمیته راهبری توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت به آنها و از سوی دیگر جذب نظرات و یافته‌های آنان و پیگیری‌های لازم در راستای آن می‌باشد.

در اولین گام فرصت‌ها، ظرفیت‌ها و زمینه‌های بالقوه برای ایجاد و توسعه این تشکل‌ها را در بستر دانشگاه‌ها، صنعت و سایر نهادها از جمله نهادهای مدنی شناسایی نموده و پس از مطالعه و انجام بررسی‌های لازم، از روش‌ها و ابزارهای مختلف در جهت ایجاد جذابیت برای ایجاد تشکل‌های مستعد شکل‌گیری استفاده خواهد کرد. ارائه کمک‌های مالی از طریق وام‌های بلاعوض و اطلاع‌رسانی به تشکل‌های شناسایی شده از ابعاد حمایت‌های مالی و اطلاعاتی این دفتر خواهد بود. همچنین این دفتر در راستای ارائه خدمات علمی، سمینارها و نشست‌های مختلفی با هدف ایجاد ارتباط و تبادل علمی میان این تشکل‌ها با سایر مراکز مشابه داخلی و خارجی برگزار خواهد کرد. از دیگر فعالیت‌های در این زمینه بررسی و شناسایی موانع موجود بر سر راه ایجاد و توسعه این‌گونه تشکل‌ها و پیگیری به منظور رفع آنها می‌باشد. مجموعه فعالیت‌های فوق می‌تواند زمینه‌ساز شکل‌گیری و توسعه نهادهایی کارآمد در بخش‌های مختلف از جمله دانشگاه و صنعت و در نهایت تسریع در فرآیند توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت گردد.

### ۳-۷- بهره‌گیری از ظرفیت‌های مالی سایر ارگان‌های دولتی مرتبط

عنوان اقدام: بهره‌گیری از ظرفیت‌های مالی سایر ارگان‌های دولتی مرتبط (صندوق‌های توسعه فناوری و بودجه‌های تحقیق و توسعه)

#### تشریح فعالیت‌ها

توسعه تکنولوژی از مؤلفه‌های اساسی توسعه صنعتی و توسعه صنعتی از عوامل بسیار اثرگذار بر توسعه اقتصادی است. برای دستیابی به توسعه تکنولوژی، ایجاد بسترهای مناسب و سپس تکمیل یکایک حلقه‌های زنجیره توسعه لازم و ضروری می‌نماید. در این راستا ایجاد ساز و کارهایی برای فراهم آوردن جریان منابع لازم طرح‌های تحقیقاتی و نوآورانه که پایه و اساس توسعه تکنولوژی است، به‌خصوص با توجه به طولانی بودن زمان بازدهی چنین فعالیت‌هایی، از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به تشکیل صندوق‌های توسعه فناوری در معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری و هم‌چنین در وزارت نیرو، استفاده از ظرفیت این صندوق‌ها نقش مهم و اساسی را در جهت رفع موانع مالی موجود، بستر مناسبی برای کاهش ریسک فعالیت‌های تحقیقاتی و پژوهشی، بویژه در مراحل ابتدایی، ایفا می‌نماید.

### ۳-۸- تربیت و جذب نیروی انسانی متخصص مورد نیاز

عنوان اقدام: تربیت و جذب نیروی انسانی متخصص مورد نیاز

#### تشریح فعالیت‌ها

هدف از انجام این اقدام پرورش و به‌کارگیری متخصصین مورد نیاز فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت است. به منظور انجام این اقدام بایستی مطالعاتی درخصوص دو بحث اصلی نیازسنجی آموزشی و بهینه‌کاوی روش‌های جذب و تربیت نیرو صورت پذیرد.

نیازسنجی آموزشی شامل این زیرفعالیت‌ها می‌باشد:

- شناخت تخصص‌های مورد نیاز که شامل رشته‌های مورد نیاز از قبیل مهندسی الکترونیک قدرت و همچنین دروس یا دوره‌های مورد نیاز
- شناخت پتانسیل متخصصین موجود به منظور شناسایی توانایی‌های موجود در کشور و استفاده مطلوب از ایشان
- تعیین شکاف بین متخصصین موجود و مورد نیاز: این فعالیت بر اساس دو فعالیت قبل صورت می‌گیرد و میزان فاصله میان آن‌ها تعیین می‌شود تا میزان نیاز ما به تخصص‌ها مشخص شود و بتوان برای آن برنامه‌ریزی نمود.
- قسمت دوم این مطالعات، بهینه‌سازی روش‌های جذب و تربیت نیرو به منظور یافتن روش‌های جدید جذب و تربیت نیرو می‌باشد و در نهایت راهکارهای تربیت و جذب نیروی انسانی مورد نیاز تعیین گردد.
- تربیت و آموزش نیروهای انسانی مورد نیاز اقدامات شامل سه زیر فعالیت اصلی است :
  - فراهم نمودن مقدمات آموزش
  - آموزش
  - حمایت از پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد و دکتری مرتبط با موضوعات تجهیزات الکترونیک قدرت
- فراهم نمودن مقدمات آموزش شامل این فعالیت‌ها می‌باشد :
  - تطبیق سیاست‌ها و مقررات آموزشی مرتبط کشور متناسب با ویژگی‌های فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت
  - ارائه مشوق‌های مالی و قانونی به دانشگاه‌ها و مراکز آموزشی جهت برقراری دوره‌های جدید: این مکانیزم تشویقی به منظور ترغیب دانشگاه‌ها و مراکز آموزشی به همکاری در این زمینه است.
  - برگزاری سمینارهای آموزشی به منظور آشنایی بیشتر و اطلاع‌رسانی در زمینه تجهیزات الکترونیک قدرت
- تعیین و جذب منابع مورد نیاز آموزش: برای انجام فرآیند آموزش می‌بایستی منابع مورد نیاز آن تعیین و جذب گردد. این منابع شامل منابع:
  - مالی
  - انسانی

- زمانی

فعالیت آموزش که اصلی ترین قسمت این اقدام می باشد شامل موارد ذیل می شود:

- طراحی و برگزاری دوره های کوتاه مدت
- برگزاری کارگاه های آموزشی
- تدوین و ارائه دروس جدید مورد نیاز تجهیزات الکترونیک قدرت در رشته های مرتبط
- طراحی و برگزاری دوره های بلندمدت به صورت کارشناسی ارشد و دکتری در مراکز داخلی و مراکز معتبر بین المللی در رشته های مرتبط با گرایش تجهیزات الکترونیک قدرت
- طراحی دوره های ضمن خدمت یا (On-the Job Training) OJT : این دوره ها مخصوص افرادی است که در صنعت مشغول هستند ولی نیاز به آموزش دارند.
- جذب افراد برای دوره های فوق دکتری
- اعزام متخصصین به ماموریت های مطالعاتی.

بخش سوم این اقدام، حمایت از تربیت و آموزش نیروی انسانی است. از مهمترین مصادیق حمایت می توان به حمایت از پایان نامه های کارشناسی ارشد و دکتری مرتبط با موضوعات تجهیزات الکترونیک قدرت اشاره کرد. این فعالیت خود به صورت یک اقدام مستقل در سند آورده شده است، لذا در جایگاه خود توضیح داده خواهد شد.

در نهایت آخرین فعالیت اصلی این اقدام، فعالیت جذب نیروی انسانی مورد نیاز تمامی اقدامات مرتبط با تجهیزات الکترونیک قدرت می باشد این فعالیت در چهار حوزه مطرح می شود :

- جذب در مراکز تحقیقاتی
- جذب در مراکز رشد
- جذب در شرکتهای نوپای تکنولوژی (Start up)

- جذب در بخش صنعتی فعال در حوزه تجهیزات الکترونیک قدرت

### ۳-۹- حمایت از تحقیق و پژوهش بویژه پژوهش‌های نیاز محور مرتبط با

#### تجهیزات الکترونیک قدرت

عنوان اقدام: حمایت از تحقیق و پژوهش بویژه پژوهش‌های نیاز محور مرتبط با تجهیزات الکترونیک

قدرت

تشریح فعالیت‌ها

حمایت از پایان نامه‌های کارشناسی ارشد و دکتری مرتبط با تجهیزات الکترونیک قدرت به سه صورت امکان پذیر است :

الف) حمایت‌های مالی: این حمایت به عنوان اصلی‌ترین فعالیت به شمار می‌رود. این حمایت در سه حوزه صورت می‌گیرد:

- حمایت مالی از پایان نامه‌های کارشناسی ارشد به صورت کمک نقدی به دانشجو که البته در دو نوع مطالعاتی و کاربردی صورت می‌گیرد و میزان کمک به پایان نامه‌های کاربردی بیش از مطالعاتی می‌باشد.
- حمایت مالی از پایان نامه‌های دکتری به صورت کمک نقدی به دانشجو
- حمایت تشویقی از صنعتی شدن دستاوردهای پایان نامه‌ها بطوریکه در مواردی که پایان نامه کاملاً در راستای نیازهای صنعت بوده و در این بخش قابل اجرا باشد فرد، مبلغی را به عنوان تشویقی دریافت کند.

ب) پشتیبانی‌های فیزیکی: این نوع حمایت شامل دو عنوان اصلی می‌شود:

- حق استفاده از آزمایشگاه‌ها: در این مورد به دانشجویانی که پایان‌نامه‌هایی مرتبط با موضوعات مطرح شده در تجهیزات الکترونیک قدرت تعریف کرده‌اند، حق استفاده به صورت رایگان ولی در تعداد محدودی آزمایش در هر سال از آزمایشگاه‌های تجهیزات الکترونیک قدرت داده می‌شود.



• حق استفاده از کتابخانه‌های خارج از دانشگاه‌ها: در این مورد حق استفاده رایگان از کتابخانه‌های مرتبط با این موضوع به دانشجویان داده می‌شود.

ج) حمایت‌های مشاوره‌ای: این نوع حمایت به منظور رفع موانع علمی دانشجویان و کمک به ایشان در انجام پایان نامه می‌باشد که از آن به عنوان اطلاع رسانی علمی و مشاوره علمی به دانشجویان یاد شده است.

### ۳-۱۰- ایجاد سازوکارهای مختلف انگیزشی - حمایتی از شرکتهای تولیدکننده

#### تجهیزات اولویت‌دار نظیر اعطای معافیت‌های مالیاتی، اعطای وام و ...

عنوان اقدام: ایجاد سازوکارهای مختلف انگیزشی - حمایتی از شرکتهای تولیدکننده تجهیزات اولویت‌دار نظیر اعطای معافیت‌های مالیاتی، اعطای وام و ...

#### تشریح فعالیت‌ها

به منظور افزایش سرمایه‌گذاری در فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت و حضور بیشتر بنگاه‌ها و کارآفرینان در این زمینه لازم است دولت از ابزارها و سیاست‌های مختلفی که نهایتاً منجر به افزایش سود ناشی از تولید می‌شود استفاده نماید. دولت‌ها به منظور ایجاد انگیزه اقتصادی، بیشتر از سیاست‌های مختلف پولی و مالی استفاده می‌کند. کاهش نرخ بهره بانکی، معافیت‌های مالیاتی و گمرکی از جمله این سیاست‌ها هستند که سرمایه‌گذاران را ترغیب به سرمایه‌گذاری خواهد کرد. علاوه بر سیاست‌های مستقیمی که دولت می‌تواند به منظور افزایش سود اقتصادی بنگاه‌ها اتخاذ کند برخی سیاست‌های غیر مستقیم که منجر به ایجاد فضای کسب و کار بهتر می‌شوند اثر قابل توجهی بر ارتقای انگیزه فعالیت در بنگاه‌های اقتصادی دارند. چنانچه فضای اقتصادی از لحاظ شاخص‌های ریسک‌پذیری فضایی باثبات‌تر و عدم اطمینان نسبت به آینده و سیاست‌های اقتصادی پیش روی دولت کمتر باشد سرمایه‌گذاری افزایش خواهد یافت. به طور خاص در زمینه سرمایه‌گذاری‌های خطرپذیر که در آن بنگاه‌ها و کارآفرینان وارد حوزه فناوری‌های نو و تحقیقات بنیادین می‌شوند و ریسک فعالیت نسبتاً بالا است ایجاد فضای با ثبات و مطمئن ضروری به نظر می‌رسد.

از جمله برنامه‌هایی که می‌تواند منجر به ارتقاء انگیزه فعالیت در بنگاه‌های اقتصادی تولیدکننده تجهیزات الکترونیک قدرت و فناوری‌های کلیدی آن شود می‌توان به اطلاع رسانی عمومی و تخصصی از روش‌های مختلف اطلاع رسانی اشاره کرد. بنگاه‌های اقتصادی در صورتی که در معرض اطلاعات بیشتری در زمینه جوانب فنی و مزیت‌های اقتصادی فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت قرار گیرند با انگیزه بیشتری به فعالیت ادامه خواهند داد. در زمینه ساز و کارهای حمایتی می‌توان به معافیت‌های مالیاتی بنگاه‌های فعال در صنعت تجهیزات الکترونیک قدرت، اعطای وام با بهره‌های پایین، ایجاد و توسعه نهادهای مورد نیاز در صنعت، ایجاد امکان استفاده از بیمه سرمایه‌گذاری برای سرمایه‌گذاران و نیز اعطای یارانه تحقیق و پژوهش اشاره کرد.

حمایت از سرمایه‌گذاری خارجی و اتخاذ تدابیری به منظور ارتقای امنیت سرمایه‌گذاری برای سرمایه‌گذاران خارجی در فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت می‌تواند ضمن جذب سرمایه مستقیم خارجی، افزایش اشتغال، منجر به تعاملات فعال‌تر تولیدکنندگان داخلی و شرکت‌های مشابه خارجی گردد که این امر خود می‌تواند به ارتقاء انگیزه، افزایش کارایی و گسترش قابلیت‌های بنگاه‌های اقتصادی فعال در صنعت تجهیزات الکترونیک قدرت گردد.

لازم به ذکر است مجموعه ساز و کارهای مختلف انگیزشی \_ حمایتی بدون توجه به یک چهارچوب قانونی مشخص و حمایت‌کننده از این نوع حمایت‌ها به موفقیت نخواهد رسید. بنابراین بسته‌ای از قوانین و مصوبات مورد نیاز برای حمایت واقعی از بنگاه‌های اقتصادی باید به تصویب دولت و یا مجلس برسد تا زمینه ایجاد فضای مطمئن برای فعالیت و تولید ایجاد گردد.

### ۳-۱۱ - تسهیل ورود سرمایه‌گذاران خطر پذیر

عنوان اقدام: تسهیل ورود سرمایه‌گذاران خطر پذیر

#### تشریح فعالیت‌ها

موتور محرک پیشرفت‌های فناورانه، ایده‌های کاربردی خلاقانه‌ای است که در ذهن کارآفرینان، مخترعان و مبتکران شکل می‌گیرد و با پیگیری جدی آنان در قالب کسب و کاری جدید به بار می‌نشیند و مفهوم کارآفرینی آغاز می‌گردد. اما اغلب این

کارآفرینان، فارغ التحصیلان جوان و خوش فکری هستند که فاقد تجربه در سه عامل اصلی برای موفقیت در بازار رقابتی هستند. این عوامل عبارتند از: ۱- دانش و تجربه مدیریتی ۲- منابع مالی کافی ۳- بازار و مشتری که محصول حاصل از این کارآفرینی را به مصرف برساند.

بسیاری از این تلاش‌ها برای راه اندازی کسب و کار جدید، به دلیل نبود این سه عامل، با شکست مواجه می‌شود. امروزه کلید حل مشکل در دست سرمایه گذارانی است که با تکیه بر شرم فوق العاده خود و با تقبل مخاطرات قابل محاسبه و یا غیر قابل محاسبه، فعالانه با کارآفرینان همراه شده و با هدف کسب سود، نقاط ضعف آنان (تجربه مدیریتی، منابع مالی کافی و بازار) را پوشش می‌دهند. به این سرمایه گذاران، سرمایه گذاران خطرپذیر می‌گویند؛ که در کشورهای توسعه یافته به یکی از حلقه‌های اصلی نظام نوآوری فناورانه تبدیل شده است.

بنابراین یکی از روش‌های مطلوب حمایت از کارآفرینان، مخترعان، مبتکران و صاحبان ایده، مشارکت در تجاری‌سازی طرح با صاحبان طرح بوده که ضمن حفظ مالکیت فکری طرح، صاحب طرح نیز در موفقیت یا شکست آن شریک می‌گردد. در این روش، ضمن حل مشکلات اخذ وام از بانک، مشکلات و موانع پیشرفت طرح با همکاری و مشارکت شرکا برطرف خواهد شد و در نهایت سرمایه گذار خطرپذیر پس از به نتیجه رسیدن طرح، سهم شرکت خود را از طریق مکانیسمی به صاحب ایده واگذار می‌نماید.

ویژگی‌های سرمایه گذاری مخاطره پذیر:

- فرآیند سرمایه گذاری در قالب مشارکت مبتنی بر عقود اسلامی می‌باشد.
- ارزش ریالی دانش فنی طرح محاسبه و به صورت مستقیم یا غیرمستقیم در مشارکت اعمال می‌گردد.
- تیم کارآفرین و صندوق، به نسبت سهم شرکت در سود و زیان حاصل از طرح شریک خواهند بود.
- اولویت سرمایه گذاری با شرکتهای نوپا و با سرمایه اولیه کم می‌باشد.
- قبل از انجام سرمایه گذاری، استراتژی خروج و حدود زمانی خارج شدن صندوق از طرح مشخص می‌گردد.
- صندوق در طول دوره سرمایه‌گذاری به اندازه سهم خود، بر فعالیت‌های اجرائی نظارت کامل خواهد داشت.

- صندوق در طول دوره سرمایه گذاری در صورت نیاز مشاوره‌هایی در زمینه‌های گوناگون نظیر مباحث مالی، حقوقی، مدیریتی و غیره ارائه می‌دهد.
- در طول دوره سرمایه گذاری، صندوق به هیچ عنوان دانش فنی طرح را افشا نخواهد نمود.
- طرح مراجعه کننده، با روش‌های علمی مورد ارزیابی و امکان سنجی قرار می‌گیرد.

### ۳-۱۲ - حمایت از تجهیز آزمایشگاه‌های تحقیقاتی موجود و تشکیل شبکه

#### آزمایشگاهی

عنوان اقدام: حمایت از تجهیز آزمایشگاه‌های تحقیقاتی موجود و تشکیل شبکه آزمایشگاهی

#### تشریح فعالیت‌ها

به منظور توسعه فناوری الکترونیک قدرت در شبکه برق نیاز به ایجاد بسترها و مراکز تحقیقاتی برای پیاده‌سازی و توسعه ایده‌های جدید در این زمینه وجود دارد. امروزه در کشورهای توسعه یافته در بسیاری از مراکز آکادمیک و تجاری، آزمایشگاه‌های الکترونیک قدرت مجهز به پیشرفته‌ترین ادوات پیاده‌سازی، تست و ارزیابی سیستم‌های الکترونیک قدرت وجود داشته و در راستای پیشبرد صنعت الکترونیک قدرت فعالیت می‌کنند. بنابراین به منظور حضور در این عرصه و فعالیت در جهت پیشبرد این صنعت در کشور باید مراکز آزمایشگاهی مناسب تأسیس گردد.

به منظور طراحی و توسعه یک محصول در مراحل مختلف نیاز به آزمایشگاه‌های با اهداف متفاوت وجود دارد. در مرحله طراحی و ساخت نیاز به مراکز آزمایشگاهی مجهز به تجهیزاتی برای طراحی، شبیه‌سازی، ساخت نمونه، تجهیزات اندازه‌گیری و مانیتورینگ مناسب و ... وجود دارد. پس از ساخت محصول با توجه به استانداردهای موجود ملی و بین‌المللی باید محصول مورد آزمون قرار گیرد. این آزمون‌ها با توجه دستورالعمل مربوط به هر استاندارد انجام گرفته و نتایج آن مؤید تأیید یا عدم تأیید عملکرد محصول است. پس از این مرحله لازم است عملکرد محصول در شرایط میدانی مورد بررسی قرار گیرد.

بنابر تعریف، آزمایشگاه تحقیقاتی مجموعه‌ای است که امکان ایجاد شرایط کنترل شده‌ای را فراهم می‌کند تا بتوان اموری نظیر تحقیقات، آزمایش عملی و اندازه‌گیری را انجام داد. آزمایشگاه‌های تحقیقاتی بسته به ملزومات تحقیقاتی ممکن است اشکال گوناگونی به خود بگیرند.

آزمایشگاه‌های تحقیقاتی را می‌توان در دانشگاه‌ها، صنعت، نهادهای حکومتی و صنایع نظامی یافت. آزمایشگاه تحقیقاتی بسته به سایز و هدف آن ممکن است فضای کافی برای چندین پژوهشگر را فراهم کند. همچنین با اشتراک فضا، تجهیزات و پرسنل آزمایشگاه‌ها با یکدیگر می‌توان به مفهوم "آزمایشگاه باز" دست پیدا کرد.

اطلاعات کسب شده در مطالعات تطبیقی نشان دهنده آن است که کشورهای جهان اول برای دستیابی به اهداف اسناد راهبردی خود از راهبرد مشخصی استفاده می‌کنند. در این کشورها عمدتاً برای دستیابی به اهداف مد نظر، جدول زمانی تعیین شده و پروژه‌های تحقیقاتی با موضوع و دستاوردهای مورد انتظار ملموس تدوین می‌شوند. در انتهای انجام پروژه‌های انجام شده انتظار می‌رود اهداف مد نظر سند راهبردی به صورت کامل پوشش داده شده باشد. در این کشورها، برای انجام پروژه‌های تعریف شده، هر پروژه تحقیقاتی را به یک (یا مجموعه‌ای از) دانشگاه و یا آژانس تحقیقاتی اختصاص می‌دهند. پس از مشخص شدن انجام دهندگان پروژه‌های تحقیقاتی، اعتبارات لازم جهت اجرای پروژه‌ها به مجریان آنان اختصاص داده می‌شود. البته ممکن است برخی پروژه‌های تحقیقاتی به سفارش مستقل صنعت نیز به دانشگاه‌ها برسد. تخصیص اعتبارات به مجریان پروژه‌ها ممکن است به صورت مالی و یا تجهیز آزمایشگاهی باشد.

### ۳-۱۳ - حمایت از ایجاد محیط مناسب تست عملیاتی و ایجاد آزمایشگاه شبیه

#### ساز بلادرنگ طراحی، توسعه و آزمون تجهیزات الکترونیک قدرت

عنوان اقدام: حمایت از ایجاد محیط مناسب تست عملیاتی و ایجاد آزمایشگاه شبیه ساز بلادرنگ

طراحی، توسعه و آزمون تجهیزات الکترونیک قدرت

تشریح فعالیت‌ها:

آزمایشگاه های پایلوت<sup>۱</sup> بستری مناسب برای تست عملکرد تجهیزات تولیدی شرکت ها فراهم می کند به گونه ای که پیش از تولید انبوه می توان تجهیز را در آنجا مورد بررسی و آزمایش قرار داد. حضور آزمایشگاه های پایلوت هنگامی کلیدی بنظر می رسد که عدم وجود استانداردهای مشخص درباره بعضی از تجهیزات تولید شده مد نظر قرار گرفته شود. در خصوص آزمایشگاه ها یا محیط تست میدانی با توجه به تنوع تجهیزات الکترونیک قدرت باید اقدامات مختلفی صورت پذیرد. بدین منظور می توان تجهیزات را بصورت زیر دسته بندی نمود:

- تجهیزات با سطح توان و ولتاژ پایین
- تجهیزات با سطح توان و ولتاژ بالا

در خصوص تجهیزات توان پایین فراهم نمودن محیط تست میدانی برای سازنده مقذور بوده و در این بخش نیاز است که مکانیزم مدون و مشخص برای ثبت نتایج و تأیید آنها فراهم شود.

در خصوص تجهیزات با سطح توان بالا امکان تست در بسیاری موارد بویژه برای تجهیزاتی که باید در شبکه ی برق نصب کردند توسط سازنده مقذور نیست برای فراهم نمودن این امکان باید اولاً مکانیزم مشخصی برای تعیین محل تست تدوین شده و ثانیاً باید پوشش بیمه ای لازم برای جبران خسارت احتمالی طراحی می گردد.

### ۳-۱۴ - تدوین استاندارد تجهیزات الکترونیک قدرت به منظور بهبود کیفیت

#### تجهیزات وارداتی و ساخت داخل و ایجاد کمیته ای برای نظارت بر

#### استانداردها

عنوان اقدام: تدوین استاندارد تجهیزات الکترونیک قدرت به منظور بهبود کیفیت تجهیزات وارداتی و ساخت داخل و ایجاد کمیته ای برای نظارت بر استانداردها

## تشریح فعالیت‌ها

یکی از وظایف عمده شورای راهبری توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت تشکیل کمیته‌ای است تا با مطالعات مختلفی از قبیل الگوبرداری از سایر کشورهای پیشرو و همچنین مطالعه وضعیت استانداردهای موجود در کشور در زمینه تجهیزات الکترونیک قدرت استانداردهایی بومی هم برای تجهیزات وارداتی و هم تجهیزات ساخت داخل تدوین نماید.

## ۳-۱۵- هزینه و زمان اقدامات

هزینه و زمان اقدامات مورد نظر سند در جدول (۳-۱) و شکل (۳-۱) نشان داده شده است.

جدول (۳-۱): هزینه و زمان اقدامات مدیریتی توسعه فناوری‌های تجهیزات الکترونیک قدرت

مجرى	هزینه (میلیون ریال)		مدت اجرا (ماه)	اقدامات	ردیف
	تجهیزات	نیروی انسانی			
گروه مپنا، پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، صبا نیرو	۲۵۰۰۰		۲۴	طراحی و ساخت مبدل مقیاس کامل توربین بادی چند صد کیلوواتی	تعریف پروژه‌های ملی مورد حمایت دولت در راستای نیازمندی‌های کشور
گروه مپنا، پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، صبا نیرو	۳۰۰۰۰۰		۳۶	طراحی و ساخت مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین باد دو مگاواتی	
گروه مپنا، پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، صبا نیرو، بخش خصوصی		در زمان عقد قرارداد محاسبه خواهد شد		طراحی و ساخت پنج نمونه مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین بادی مگاواتی	
شرکت‌های دانش بنیان، بخش خصوصی	۲۵۰۰		۱۸	طراحی و ساخت اینورتر فتوولتائیک متصل به شبکه کوچک	
گروه مپنا، پژوهشگاه نیرو	۱۲۰۰۰۰		۳۰	طراحی و ساخت نمونه اینورتر فتوولتائیک نیروگاهی	

ردیف	اقدامات	مدت اجرا (ماه)	هزینه (میلیون ریال)		مجری
			نیروی انسانی	تجهیزات	
	طراحی و ساخت اینورتر فتوولتائیک نیروگاهی		در زمان عقد قرارداد محاسبه خواهد شد		گروه مپنا، پژوهشگاه نیرو، بخش خصوصی
	طراحی و ساخت یک نمونه SVC قابل جابجایی	۲۵	۳۰۰۰۰		پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکتهای دانش بنیان
	طراحی و ساخت دو نمونه SVC قابل جابجایی		در زمان عقد قرارداد محاسبه خواهد شد		بخش خصوصی
	طراحی و ساخت یک نمونه SVC با ظرفیت بالا		در زمان عقد قرارداد محاسبه خواهد شد		بخش خصوصی
	طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی D-STATCOM	۲۴	۳۰۰۰۰		پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکتهای دانش بنیان
	طراحی و ساخت دو نمونه صنعتی D-STATCOM		در زمان عقد قرارداد محاسبه خواهد شد		بخش خصوصی
	طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی STS	۱۸	۲۰۰۰		پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی
	طراحی و ساخت نمونه صنعتی STS		در زمان عقد قرارداد محاسبه خواهد شد		بخش خصوصی
	طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی DVR	۲۰	۵۰۰۰		پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکتهای دانش بنیان
	طراحی و ساخت نمونه صنعتی DVR		در زمان عقد قرارداد محاسبه خواهد شد		بخش خصوصی
	طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی TSC	۱۴	۱۶۰۰		پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکتهای دانش بنیان



مجرى	هزینه (میلیون ریال)		مدت اجرا (ماه)	اقدامات	ردیف
	تجهیزات	نیروی انسانی			
بخش خصوصی	در زمان عقد قرارداد محاسبه خواهد شد			طراحی و ساخت تجاری TSC	
پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکتهای دانش بنیان	۵۰۰۰۰	۲۸		طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی ذخیره ساز انرژی باطری	
پژوهشگاه نیرو، جهاد دانشگاهی، شرکتهای دانش بنیان	در زمان عقد قرارداد محاسبه خواهد شد			طراحی و ساخت نمونه صنعتی ذخیره ساز انرژی باطری	
جهاد دانشگاهی، دانشگاه علم و صنعت و سایر شرکتهای دانش بنیان مرتبط	۲۵۰۰	۱۴		طراحی و ساخت میدل پیل سوختی با توان پنج کیلووات	
بخش خصوصی	در زمان عقد قرارداد محاسبه خواهد شد			طراحی و ساخت صنعتی میدل پیل سوختی با توان پنج کیلووات	
دانشگاهها و مراکز پژوهشی	۱۵۰۰	۱۴		دستیابی به دانش فنی طراحی و تهیه نقشه‌های اجرایی SFC	
گروه مپنا، پژوهشگاه نیرو، دانشگاهها و مراکز پژوهشی	۱۵۰۰	۱۴		دستیابی به دانش فنی طراحی و تهیه نقشه‌های اجرایی سیستم تحریک	
شورای آموزش و پژوهش وزارت نیرو / شورا	-	۶۰۰		تشکیل جلسات شورا	تشکیل شورای راهبردی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت
	-	۲۰۰		تامین محل استقرار دبیرخانه شورا و تجهیز آن (سخت افزاری و نرم افزاری)	
	-	۱،۴۴۰	۳	فعالیت های اجرایی دبیرخانه	

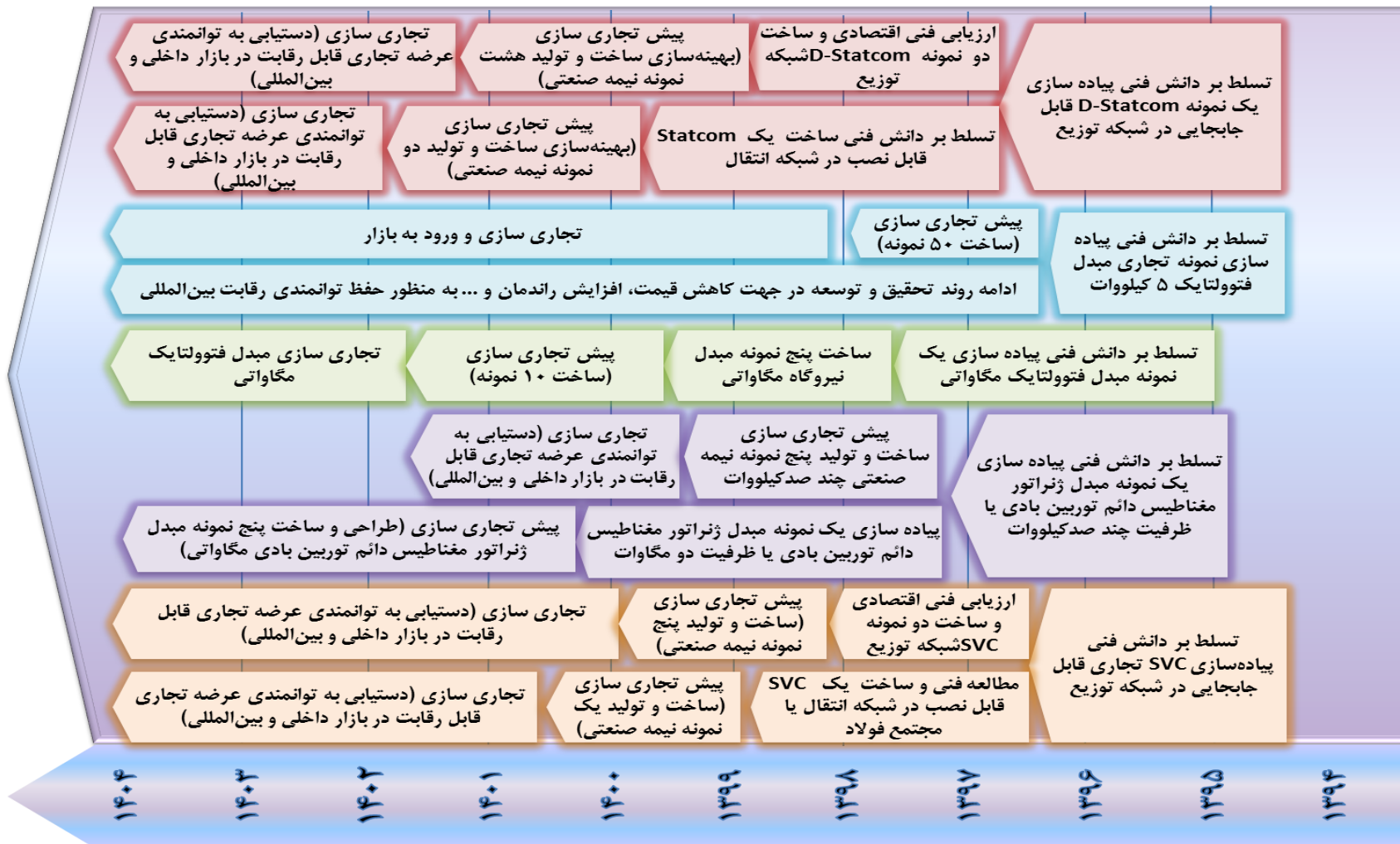
مجری	هزینه (میلیون ریال)		مدت اجرا (ماه)	اقدامات	ردیف
	تجهیزات	نیروی انسانی			
شورا راهبری	-	۶۰۰		حمایت مالی از پایان نامه های کارشناسی ارشد مطالعاتی	۳ حمایت از تحقیق و پژوهش پروژه پژوهش های نیاز محور مرتبط با تجهیزات الکترونیک قدرت
	-	۸۰۰		حمایت مالی از پایان نامه های کارشناسی ارشد کاربردی	
	-	۱،۰۰۰		حمایت مالی از پایان نامه های دکتری	
	-	۵،۰۰۰		حمایت تشویقی از صنعتی شدن نتایج پایان نامه ها در ۵ سال اول	
	-	۳،۰۰۰		حمایت تشویقی از صنعتی شدن نتایج پایان نامه ها در ۵ سال دوم	
شورای راهبری	-	۵۰۰	۱۲	تأسیس دفتر ارتباط با تشکل های علمی، صنفی و غیردولتی حامی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق	۴ کمک به ایجاد و تقویت جایگاه تشکل های علمی، صنفی و غیردولتی حامی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت
	-	۶۰۰	۶	مطالعه و شناسایی زمینه های توسعه تشکل های علمی، صنفی و غیردولتی حامی فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت و راهکارهای انگیزشی و حمایتی از آنها	

ردیف	اقدامات	مدت اجرا (ماه)	هزینه (میلیون ریال)		مجری
			نیروی انسانی	تجهیزات	
		۱۲	۲,۰۰۰	-	
			۱۲	۱,۰۰۰	
۵	تربیت و جذب نیروی انسانی متخصص مورد نیاز	۹	۹۰۰	-	شورای راهبری/پژوهشگاه نیرو
			۳,۰۰۰	-	
			۲,۰۰۰	-	
			۷۰۰	-	
۶	تدوین قوانین، مقررات و	۳	۳۰۰	-	شورای راهبری با استفاده از شرکت های

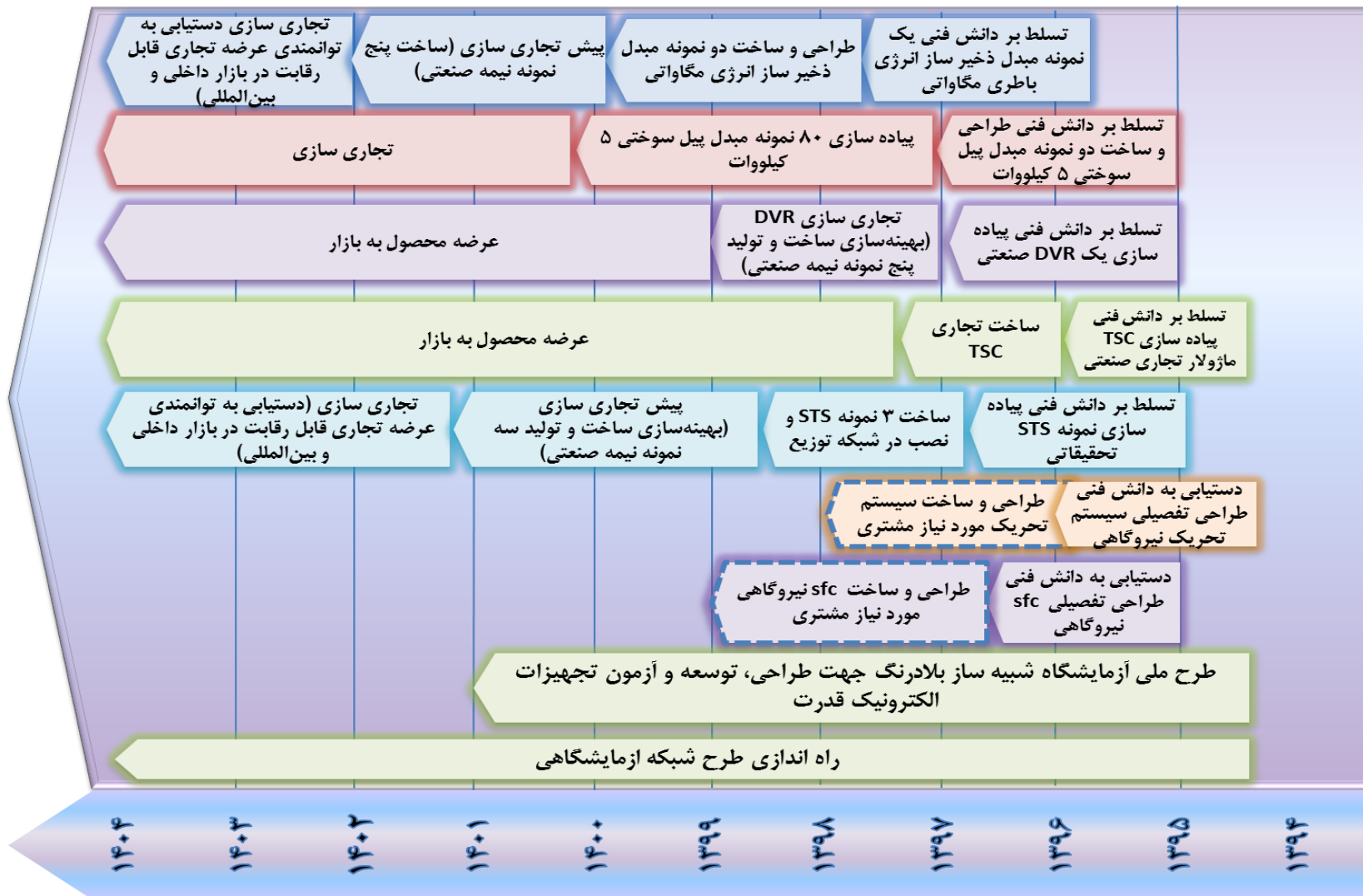
ردیف	اقدامات	مدت اجرا (ماه)	هزینه (میلیون ریال)		مجری
			نیروی انسانی	تجهیزات	
	دستورالعمل‌های مورد نیاز برای حمایت از توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت	۳	۳۰۰	-	مشاور
		۳	۳۰۰	-	
		۲	-	-	
		۲	-	-	
۷	ایجاد سازوکارهای مختلف انگیزشی - حمایتی از شرکت‌های تولیدکننده تجهیزات اولویت‌دار نظیر اعطای معافیت‌های مالیاتی، اعطای وام و ...	۴	۲۰۰	-	شورای راهبری با استفاده از شرکت‌های مشاور
		۱۲	۵۰۰	-	
		۹	۹۰۰	-	

ردیف	اقدامات	مدت اجرا (ماه)	هزینه (میلیون ریال)		مجری	
			نیروی انسانی	تجهیزات		
	روش های مختلف					
	هماهنگی و حمایت از ایجاد بازارهای داخلی و تسهیل دسترسی فعالان صنعت فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت به بازارهای بین المللی	۱۲	۶۰۰	-		
	حمایت علمی، فنی و تکنولوژیکی از بنگاه های اقتصادی فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت توسط نهادهای متولی تحقیق و توسعه	۱۲	۵،۰۰۰	-		
۸	استمرار مطالعات راهبردی مورد نیاز در خصوص فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت		۵۰۰۰	-	شورای راهبری با استفاده از شرکت های مشاور	
۹	بهره گیری از ظرفیت های مالی سایر ارگان های دولتی مرتبط (صندوق های توسعه فناوری و بودجه های تحقیق و توسعه) (تسهیل ورود سرمایه گذاران خطر پذیر)	مطالعه و بررسی انواع روش های تامین مالی	۳	۳۰۰	-	شورای راهبری با استفاده از شرکت های مشاور
		مطالعه و بررسی ظرفیت های مالی سایر ارگان های دولتی	۳	۳۰۰	-	
		مطالعات تطبیقی در زمینه مکانیزم تامین مالی سایر کشورها در زمینه توسعه تجهیزات شبکه برق	۴	۴۰۰	-	
		تدوین مکانیزم تامین منابع مالی پایدار برای	۴	۲۰۰	-	

مجری	هزینه (میلیون ریال)		مدت اجرا (ماه)	اقدامات	ردیف
	تجهیزات	نیروی انسانی			
				توسعه تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق	
	-		۳	هماهنگی و رایزنی با مراجع ذیربط	
وزارت نیرو، صنایع، دانشگاهها و کلیه مراکز تحقیقاتی کشور	۳۰۰,۰۰۰		۱۲۰	حمایت از تجهیز آزمایشگاه‌های تحقیقاتی موجود و تشکیل شبکه آزمایشگاهی	۱۰
وزارت نیرو	۵۰۰,۰۰۰		۷۲	حمایت از ایجاد محیط مناسب تست عملیاتی و ایجاد آزمایشگاه شبیه ساز بلادرنگ طراحی، توسعه و آزمون تجهیزات الکترونیک قدرت	۱۱
شورای راهبری با استفاده از شرکت‌های مشاور	-	۴۰۰	۴	مطالعه تطبیقی بررسی استانداردهای موجود در دنیا	۱۲
	-	۱۵۰	۳	مطالعه استانداردهای موجود در کشور در زمینه تجهیزات الکترونیک قدرت	
	-	۱۰۰۰	۳	تدوین استاندارد مورد نیاز در زمینه بهبود کیفیت تجهیزات وارداتی	
تدوین استاندارد تجهیزات الکترونیک قدرت به منظور بهبود کیفیت تجهیزات وارداتی و ساخت داخل و ایجاد کمیته‌ای برای نظارت بر استانداردها					



شکل (۱-۳): برنامه زمان بندی اقدامات مدیریتی توسعه فناوری های تجهیزات الکترونیک قدرت







۱۳۶

ویرایش اول، شهریور ۱۳۹۴

سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق

فاز ۵: برنامه تحلیلی و تهیه ره نگاشت

ادامه شکل (۱-۳): برنامه زمان بندی اقدامات مدیریتی توسعه فناوری های تجهیزات الکترونیک قدرت



۱۳۷

ویرایش اول، شهریور ۱۳۹۴

سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق

فاز ۵: برنامه تحلیلی و تهیه ره نگاشت

## نتیجه گیری

در این گزارش با توجه به اولویت‌های توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت و همچنین چالش‌های موجود در کشور پروژه‌هایی فنی و اقداماتی مدیریتی تعریف گردید. در هر یک از پروژه‌ها علاوه بر معرفی کلی پروژه میزان بودجه مورد نیاز و همچنین زمان انجام پروژه به همراه مجریان پیشنهادی تشریح شده است. بدین منظور در این گزارش در فصل اول ادبیات برنامه عملیاتی و ترسیم ره نگاشت برنامه عملیاتی بیان شد سپس در فصل دوم به تفصیل پروژه‌های فنی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت شرح داده شد و در فصل سوم اقدامات توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت همراه با بودجه و زمان مورد نیاز بیان گردید.

## مراجع

- [۱]. روش‌شناسی تدوین اسناد ملی فناوری‌های راهبردی، مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور. ۱۳۹۱.

## فهرست مطالب

- ۱- فصل اول: ارزیابی سیاست و همراستایی ارزیابی با اهداف و برنامه‌ها ..... ۵
- ۱-۱- مقدمه ..... ۶
- ۲-۱- ارزیابی سیاست ..... ۶
- ۳-۱- همراستایی ارزیابی با اقدامات و برنامه‌ها ..... ۸
- ۲- فصل دوم: قالب‌های ارزیابی سیاست و تحلیل تأثیرات ..... ۱۲
- ۱-۲- مقدمه ..... ۱۳
- ۲-۲- مقایسه وضعیت قبل و بعد از برنامه ..... ۱۳
- ۳-۲- مقایسه روند گذشته و وضعیت بعد برنامه ..... ۱۳
- ۴-۲- مقایسه وضعیت در دو حالت بود یا نبود برنامه ..... ۱۴
- ۵-۲- مقایسه وضعیت گروه‌های کنترل و آزمایشی قبل و بعد از اجرای برنامه ..... ۱۴
- ۳- فصل سوم: گام‌های عمومی ارزیابی سیاست و انواع روش‌های ارزیابی ..... ۱۶
- ۱-۳- مقدمه ..... ۱۷
- ۲-۳- پیمایش نوآوری ..... ۱۸
- ۳-۳- مدل‌های اقتصادسنجی: مدل‌سازی اقتصاد کلان و شبیه‌سازی ..... ۲۲
- ۳-۳-۱- شرایط استفاده از مدل‌های اقتصادسنجی کلان ..... ۲۳
- ۳-۳-۲- مراحل استفاده از مدل‌های اقتصادسنجی ..... ۲۴
- ۳-۳-۴- مدل‌های اقتصادسنجی: مدل‌های اقتصادسنجی خرد ..... ۲۶
- ۳-۳-۴-۱- شرایط استفاده از روش اقتصادسنجی خرد ..... ۲۷
- ۳-۳-۴-۲- مراحل پیاده‌سازی مدل ..... ۲۸
- ۳-۳-۴-۳- دامنه کاربرد و محدودیت‌ها ..... ۲۹
- ۳-۳-۵- مدل‌های اقتصادسنجی: اندازه‌گیری بهره‌وری ..... ۲۹

- ۳-۵-۱- روش انجام ..... ۳۰
- ۳-۵-۲- دامنه کاربرد و محدودیتها ..... ۳۱
- ۳-۶-۱- ارزیابی توسط خبرگان ..... ۳۱
- ۳-۶-۱- شرایط استفاده از خبرگان ..... ۳۲
- ۳-۶-۲- مراحل انجام روش استفاده از خبرگان ..... ۳۲
- ۳-۶-۳- داده‌های مورد نیاز ..... ۳۳
- ۳-۶-۴- دامنه کاربرد و محدودیتها ..... ۳۳
- ۳-۷- مطالعه میدانی و مطالعه موردی ..... ۳۳
- ۴- فصل چهارم: جمع‌بندی و ارائه روش پیشنهادی برای ارزیابی ..... ۳۵
- ۴-۱- مقدمه ..... ۳۶
- ۴-۲- تدوین شاخصهای ارزیابی کارایی و اثربخشی ..... ۳۶
- ۴-۳- تدوین مکانیزم ارزیابی ..... ۳۶
- ۴-۴- تدوین ساختار نظارت و به روزرسانی ..... ۳۸
- ۵- فصل پنجم: فرایند ارزیابی سند توسعه فناوری‌های الکترونیک قدرت ..... ۴۰
- ۵-۱- مقدمه ..... ۴۱
- ۵-۲- تدوین شاخص‌های عملکردی و اثربخشی ..... ۴۱
- ۵-۳- تدوین ساختار نظارت، به روزرسانی و مکانیزم ارزیابی ..... ۴۹
- ۵-۴- مکانیزم عملکرد ..... ۴۹
- نتیجه گیری ..... ۵۱
- مراجع ..... ۵۲

### فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۱): منطق ارزیابی اهداف و سیاست‌ها ..... ۹
- شکل (۲-۱): مدل منطقی ارزیابی ..... ۱۰
- شکل (۱-۲): قالب‌های تحلیل تأثیرات سیاست ..... ۱۵

## فهرست جدول‌ها

- جدول (۱-۴): ویژگی‌های روش‌های ارزیابی ..... ۳۷
- جدول (۱-۵): شاخص‌های ارزیابی اهداف کلان توسعه فناوری الکترونیک قدرت ..... ۴۲
- جدول (۲-۵): شاخص‌های ارزیابی پروژه‌های توسعه فناوری الکترونیک قدرت ..... ۴۳
- جدول (۳-۵): شاخص‌های ارزیابی اقدامات توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت ..... ۴۵



## فصل اول

ارزیابی سیاست و همراستایی

ارزیابی با اهداف و برنامه‌ها

## ۲-۱- مقدمه

تحلیل تأثیرات بخشی از حوزه بزرگتری از مطالعات سیاستی یعنی "ارزیابی سیاست"<sup>[۱]</sup> است. ارزیابی سیاست نیز همچون بسیاری از مفاهیم مربوط به مطالعات سیاستی دارای تعاریف مختلفی است که در ادامه بدان پرداخته می‌شود. در ادامه مفهوم هم‌راستایی ارزیابی با اهداف و برنامه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## ۲-۲- ارزیابی سیاست

تعاریف ارائه شده برای ارزیابی سیاست عبارت‌اند از:

- ❖ "تلاش برای درک تأثیر رفتار انسان و به‌ویژه ارزش‌یابی تأثیرات یک برنامه خاص بر جنبه‌هایی از رفتار که به‌عنوان اهداف این مداخله منظور شده است" [۱].
- ❖ "ارزیابی اثربخشی یک برنامه ملی در تحقق اهداف خود یا ارزیابی اثربخشی نسبی دو یا چند برنامه در تحقق اهداف مشترک خود" [۲].
- ❖ "ارزیابی نظام‌مند عملیات و یا نتایج یک برنامه یا سیاست در مقایسه با مجموعه‌ای از استانداردهای صریح یا ضمنی به‌عنوان راهی برای کمک به بهبود آن برنامه یا سیاست" [۳].

آنچه در همه تعاریف ارزیابی سیاست مشترک است و آنچه ارزیابی سیاست را از سایر مطالعات سیاستی متفاوت می‌سازد، تمرکز آن بر پیامدهای واقعی ناشی از اجرای سیاست یا برنامه و یا قضاوت در مورد این پیامدها بر مبنای نوعی ملاک (هنجاری) است. ارزیابی سیاست، یک فعالیت هنجاری است که به وسیله آن، آنچه هست با آنچه باید باشد مقایسه می‌شود. بنابراین، ارزیابی سیاست به معنای تعیین ارزش یک سیاست یا برنامه بر مبنای تعدادی معیار است؛ و تلاشی نظام‌مند برای

تعیین "خوبی" یا "ارزشمندی" آن‌هاست. البته باید توجه داشت که ارزیابان سیاست‌ها و اهداف از تمامی روش‌های علوم اجتماعی (و به‌ویژه روش‌های کمی) استفاده می‌کنند. با این حال، ارزیابی سیاست فاقد ساختاریافتگی است.

تقاضا برای ارزیابی سیاست، امری فراگیر است که هم در بخش عمومی و هم در بخش خصوصی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ارزیابی می‌تواند به شکل‌های مختلفی از مطالعات دانشگاهی و گزارش‌های مشاوران مدیریت گرفته تا بازنگری‌های رسمی توسط نهادهای دولتی و مدیران برنامه‌ها انجام شود. بر این اساس، منطقی است که حوزه ارزیابی سیاست بیشتر به‌عنوان یک حوزه کاربردی تلقی شود تا یک حوزه دانشگاهی که بسیاری از مؤلفان نیز به این موضوع اشاره کرده‌اند. مثلاً ویس<sup>۱</sup> به این نکته پرداخته است که جهت‌گیری ارزیابی سیاست بیشتر به سمت بهبود و اصلاح سیاست است تا تولید دانش عمومی و اگر دانشی هم به این ترتیب تولید شود غالباً مخصوص برنامه و سیاست مورد نظر است و معمولاً قابل تعمیم به سیاست‌ها و برنامه‌های مختلف نیست [۹].

هرچند ارزیابی سیاست دارای چند مفهوم محوری است، ولی از سوی دیگر موضوعی متغیر و فاقد مرزهای روشن است که می‌تواند برای افراد مختلف معانی متفاوتی داشته باشد. تحت عنوان ارزیابی سیاست چندین رویکرد مفهومی مجزا وجود دارد که از "تحلیل تأثیر" فراتر می‌روند. متأسفانه هیچ تعریفی از قلمرو و زیرشاخه‌های ارزیابی سیاست که مقبولیت عمومی داشته باشد وجود ندارد. البته برخی محققان همچون اسمیت و لیکاری<sup>۲</sup> تلاش کرده‌اند دسته‌بندی‌هایی ارائه کرده و به این موضوع نظم دهند [۹].

تحلیل تأثیرات همیشه حول سه محور انجام می‌شود: مسئله (یا مشکل)، فعالیت و نتیجه مورد نظر. مسئله عبارت است از نتیجه یا شرایطی که رضایت‌بخش نیست و انتظار می‌رود بدون دخالت از طریق یک برنامه یا سیاست عمومی کماکان نامناسب باقی بماند. فعالیت عبارت است از رویدادی که توسط انسان هدایت می‌شود و سیاست را تشکیل می‌دهد؛ یعنی اقداماتی که زیر

---

1. Weiss

2. Smith & Licari

نظر دولت برای برخورد با یک مسئله انجام می‌شوند. نتیجه مورد نظر عبارت است از متغیری که برای ارزیابی تأثیر (پیامد) یک سیاست عملاً سنجیده می‌شود [۴].

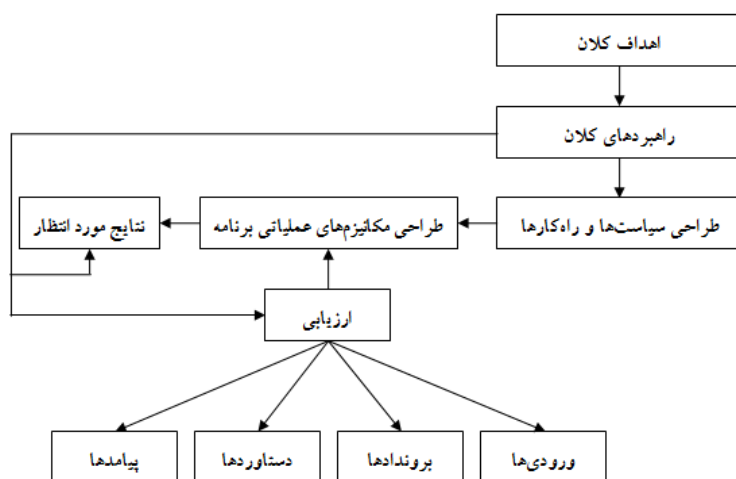
بنابراین، تحلیل تأثیرات با پاسخ نظام‌مند به این سوال که "چه کاری انجام شده است؟" سروکار دارد و این کار را با شناسایی و سنجش نتیجه مورد نظر و آزمون عملی رابطه آن با سیاست یا برنامه مورد نظر انجام می‌دهد. این موضوع از نظر تئوری ساده به نظر می‌رسد، ولی در عمل می‌تواند دشوار باشد. مثلاً تحلیل تأثیرات به شدت به نحوه انتخاب "متغیر وابسته" بستگی دارد که همان نتیجه مورد انتظار است. نتیجه مورد انتظار باید دو کارکرد کلیدی داشته باشد. اول اینکه باید جنبه‌ای از مسئله را عملیاتی سازد<sup>۱</sup> و دوم اینکه باید متغیری باشد که بتوان بین آن و برنامه / سیاست رابطه علی برقرار کرد.

یکی از مسائلی که سیاست‌گذاری عمومی به طور عام و تحلیل تأثیرات به طور خاص با آن روبه‌روست، موضوع هنجارها و ملاحظات هنجاری است. در بسیاری از موارد، اهداف سیاست‌های اتخاذ شده چندان روشن نیستند و در نتیجه، ذی‌نفعان مختلف اهداف مختلفی را به یک سیاست واحد نسبت می‌دهند. حتی ممکن است باورهای متفاوتی نسبت به روابط علی بین "وسیله" و "هدف" وجود داشته باشد و این باورهای متفاوت، معانی سیاستی متفاوتی داشته باشند. از سوی دیگر، قضاوت در مورد اینکه سیاستی موفق بوده یا شکست خورده مستلزم این است که ابتدا مشخص شود کدام اهداف سیاست و چگونه باید مورد سنجش قرار گیرند. در بسیاری از موارد، همین انتخاب به تنهایی می‌تواند نتیجه ارزیابی را تغییر دهد. مثلاً اگر در زمینه سیاست‌های آموزشی بخواهیم عملکرد آموزشی را مورد سنجش قرار داده و مشخص کنیم که آیا یک سیاست خاص به اهداف خود رسیده است یا خیر، استفاده از روش‌هایی مثل تست‌های استاندارد، نرخ فارغ‌التحصیلان و امثال این‌ها می‌توانند نتایج کاملاً متناقضی را نشان دهند [۹].

## ۲-۳- همراستایی ارزیابی با اقدامات و برنامه‌ها

### 1. Operationalize

ارزیابی هنگامی اثربخش خواهد بود که هم‌راستا و منطبق با مأموریت و اهداف برنامه انجام پذیرد. همانطور که در شکل زیر دیده می‌شود، ابتدا می‌بایست اهداف کلانی را که برنامه به دنبال آن‌هاست، استخراج نمود. سپس باید مشخص شود برنامه از چه راهبردی برای تحقق این اهداف استفاده می‌کند. در طراحی مکانیزم‌های عملیاتی یک برنامه سیاستی، مشخص می‌شود چه ورودی‌هایی به چه برون‌دادها<sup>۱</sup>، دستاوردها<sup>۲</sup> و پیامدهایی<sup>۳</sup> تبدیل می‌شوند. بنابراین تمرکز اصلی ارزیابی بر همین مؤلفه‌ها است. بازخوردهای ارزیابی هم می‌تواند به بهبود مکانیزم‌های عملیاتی منجر شود و هم اصلاح راهبردهای برنامه را به دنبال داشته باشد.



شکل (۱-۲): منطق ارزیابی اهداف و سیاست‌ها

یکی از مفاهیمی که در ادبیات سیاست‌گذاری برای رعایت ارتباط ورودی‌ها، برون‌دادها، دستاوردها و پیامدها به دفعات مورد استفاده قرار می‌گیرد "مدل منطقی"<sup>۴</sup> است. مدل منطقی نه تنها در طراحی سیاست مورد استفاده قرار می‌گیرد، بلکه می‌توان

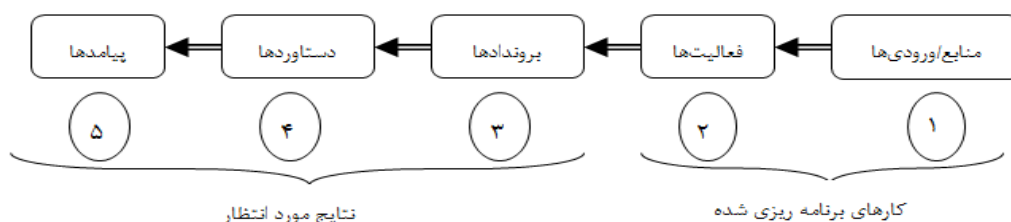
1. Outputs

2. Results

3. Outcomes

4. Logic model

از آن برای ارزیابی سیاست نیز استفاده نمود. علی‌رغم کاربردهای گسترده، این مدل بر منطقی روشن و ساده استوار است. بطور کلی، مدل منطقی روشی نظام‌مند و تصویری<sup>۱</sup> است که برای درک ارتباط میان منابعی که در برنامه مورد استفاده قرار گرفته، فعالیت‌هایی که برنامه‌ریزی شده و تغییرات و نتایجی که رسیدن به آن‌ها دنبال می‌شود، به کار می‌رود.



شکل (۲-۲): مدل منطقی ارزیابی

اغلب مدل‌های منطقی، تصویری از نحوه کار برنامه است. این مدل از کلمات و تصاویر برای تشریح توالی فعالیت‌ها و ارتباط آنها با نتایج مورد انتظار استفاده می‌کند. مؤلفه‌های اصلی یک مدل منطقی را می‌توان در دو گروه اصلی " کارهای برنامه‌ریزی شده " و " نتایج مورد انتظار " و در پنج گام متوالی شرح داد:

کارهای برنامه‌ریزی شده: به تشریح منابعی که گمان می‌رود برای اجرای برنامه نیاز هستند و فعالیت‌هایی که قصد انجام آنها وجود دارد، می‌پردازد.

❖ منابع: عبارتند از منابع انسانی، مالی، سازمانی و ارتباطی که برای انجام برنامه مورد نیاز می‌باشند. در برخی مراجع از آنها به عنوان " ورودی " نیز نام برده شده است.

❖ فعالیت‌های برنامه: عبارتند از فرآیندها، ابزارها، رخدادهای فناوری و اقداماتی که بصورت آگاهانه و در راستای نیل به نتایج و یا تغییرات مورد انتظار صورت می‌پذیرند.

نتایج مورد انتظار: عبارتند از کلیه نتایج مطلوب برنامه شامل برون داده‌ها، دستاوردها و پیامدها.

❖ برون داده‌ها: محصولات مستقیم فعالیت‌های برنامه‌اند و ممکن است شامل انواع، سطوح و اهدافی از خدمات باشند که توسط برنامه ارائه می‌شود.

❖ دستاوردها: عبارت است از تغییرات در رفتار، دانش، مهارت، وضعیت و سطح کارکرد افرادی که در برنامه مشارکت دارند. دستاوردها می‌توانند به دو گروه کوتاه‌مدت و بلندمدت تقسیم شوند. دستاوردهای کوتاه‌مدت در بازه ۱ تا ۳ سال محقق می‌شوند؛ حال آنکه دستاوردهای بلندمدت ۴ تا ۶ سال زمان نیاز دارند. "پیامدهای" دستاوردهای بلند مدت در بازه ۷ تا ۱۰ سال خود را نشان می‌دهند.

❖ پیامدها: عبارتند از خواسته‌های اساسی و یا تغییرات ناخواسته‌ای که در سازمان، جامعه یا سیستم بر اثر اجرای برنامه در مدت ۷ تا ۱۰ سال اتفاق می‌افتد [۶].

## فصل دوم:

قالب‌های ارزیابی سیاست و تحلیل

تأثیرات



### ۳-۱- مقدمه

ارزیابی نظام‌مند سیاست‌ها و تحلیل تأثیرات آن‌ها مشتمل بر مقایسه است، مقایسه‌ای به‌منظور یافتن تغییرات به‌وجود آمده در اثر برنامه‌های سیاستی. این مقایسه در حالت ایده‌آل باید به اندازه‌گیری تفاوت بین اتفاقات به‌وقوع پیوسته، با اتفاقاتی بپردازد که در صورتی اجرا نشدن برنامه‌ها پدید می‌آید. اندازه‌گیری اتفاقات به‌وقوع پیوسته در شرایط بعد از اعمال برنامه‌ها دشوار نیست. مشکل اصلی در برآورد وضعیت در صورت به‌اجرا درنیامدن برنامه‌ها و مقایسه دو وضعیت با یکدیگر است. این تفاوت باید ناظر بر اعمال برنامه‌ها باشد و نه سایر تغییراتی که به‌طور هم‌زمان در جامعه به‌وقوع پیوسته است. با توجه به اهمیت این موضوع، چهار قالب کلی برای ارزیابی سیاست و تحلیل تأثیرات در نظر می‌گیرند.

### ۳-۲- مقایسه وضعیت قبل و بعد از برنامه<sup>۱</sup>

یکی از رایج‌ترین قالب‌های تحلیل سیاست‌ها و برنامه‌ها، استفاده از نوع مقایسه قبل و بعد از اجرای برنامه است. در این قالب، وضعیت در دو نقطه یکی قبل از اجرای برنامه‌ها و دیگری بعد از اجرای آن باهم مورد مقایسه قرار می‌گیرند. گروه‌های هدف در تحلیل تأثیرات مقایسه‌ای قبل و بعد جایگاه محوری دارند. در این حالت، اگرچه فرآیند دستیابی به تأثیر سیاست‌ها کوتاه و آسان است، اما نمی‌توان به‌راحتی و با اطمینان مشخص نمود که تا چه حد نتایج از اعمال برنامه‌ها و سیاست‌ها ناشی شده‌اند و تا چه حد اثر سایر تغییرات محیطی هم‌زمان در جامعه بوده‌اند.

### ۳-۳- مقایسه روند گذشته و وضعیت بعد برنامه<sup>۲</sup>

برآورد بهتری از آنچه در اثر اجرای یک برنامه به‌وقوع پیوسته را می‌توان با مقایسه روند وضعیت گذشته در زمان حاضر (پس از اجرای برنامه‌های سیاستی) بدست آورد. سپس با مقایسه این حالت تصویر شده از گذشته با شرایط پدید آمده پس از

1. Before-after comparison  
2. Project trend line versus postprogram comparisons

اجرای واقعی برنامه‌ها می‌توان به تحلیل تأثیرات سیاست‌ها رسید. در این روش لازم است تا برای ترسیم روند وضعیت از گذشته تا به زمان اجرای سیاست‌ها، اطلاعات راجع به گروه‌های هدف در بازه‌های زمانی مختلف گردآوری شود. این قالب از حالت مقایسه قبل و بعد بهتر بوده و نتایج دقیق‌تری را فراهم می‌آورد، اما نیازمند تلاش بیشتر در فرآیند ارزیابی است.

### ۳-۴- مقایسه وضعیت در دو حالت وجود یا عدم وجود برنامه<sup>۱</sup>

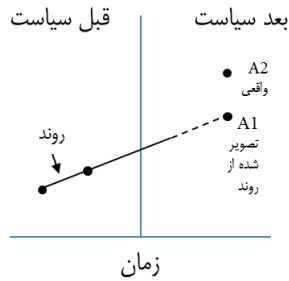
روش رایج دیگر برای ارزیابی، مقایسه میان وضعیت بخش‌هایی است که تحت تأثیر سیاست موردنظر قرار گرفته‌اند با سایر بخش‌هایی که تحت اثر نبوده‌اند. در این حالت، مقایسه تنها در زمان بعد از اجرای برنامه‌های سیاستی انجام می‌شود، اما میان دو بخش مختلف (تحت تأثیر سیاست و فارغ از آن). همچنین به منظور افزودن بر دقت این قالب، می‌توان تحلیل تأثیرات وضعیت گذشته (قبل اجرای برنامه) را در هر دو بخش مشاهده نمود و تفاوت آن‌ها را درک کرد. سپس با اجرای برنامه و مقایسه مجدد بین وضعیت دو بخش، می‌توان به روشی دریافت که چه حدی از تفاوت میان وضعیت دو بخش به دلیل اعمال برنامه سیاستی بوده و چه حدی مرتبط با تفاوت در ویژگی‌های اقتصادی-اجتماعی بخش‌های مورد مطالعه بوده است.

### ۳-۵- مقایسه وضعیت گروه‌های کنترل و آزمایشی قبل و بعد از اجرای برنامه

این قالب از تحلیل تأثیرات به‌عنوان یک روش مرسوم مشتمل بر انتخاب دو گروه تحت کنترل و آزمایشی است که از همه لحاظ به یکدیگر شبیه هستند، اما در یکی از آن‌ها (گروه آزمایشی) برنامه سیاستی اجرا شده ولی در دیگری اجرا نشده است. در این حالت، مقایسه وضعیت دو گروه بعد از اجرای سیاست در یکی از آن‌ها می‌تواند به‌طور دقیق بیان‌کننده تأثیر سیاست‌ها باشد. این قالب، دقیق‌ترین نتایج ارزیابی سیاست‌ها را در میان سایر روش‌ها به‌همراه می‌آورد.

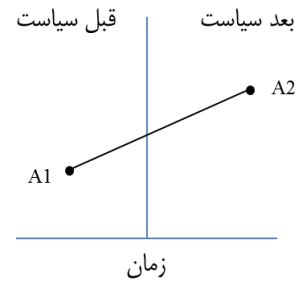
1. Comparisons between jurisdictions with and without programs

قالب ۲ - تصویر گذشته و بعد از اجرا



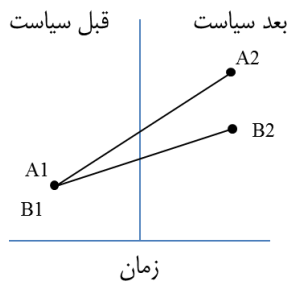
تاثیر سیاست  $A1-A2$

قالب ۱ - قبل و بعد



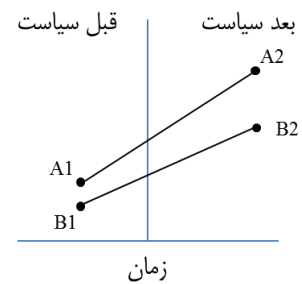
تاثیر سیاست  $A1-A2$

قالب ۴ - گروه کنترل شده و آزمایشی



تاثیر سیاست  $A$ ، فارغ از سیاست  $B$   
 و  $A$  هر دو مشابه  
 تاثیر سیاست  $A2-B2$

قالب ۳ - با و بدون اجرای سیاست



تاثیر سیاست  $A$ ، فارغ از سیاست  $B$   
 تاثیر سیاست  $(A2-A1)-(B2-B1)$

شکل (۱-۳): قالب‌های تحلیل تأثیرات سیاست

فصل سوم:

گام‌های عمومی ارزیابی سیاست و

انواع روش‌های ارزیابی

## ۴-۱- مقدمه

فارغ از نوع و روش ارزیابی و درجه پیچیدگی آن، به صورت کلی مراحل انجام یک ارزیابی را می توان به صورت زیر برشمرد:

❖ تعیین اهداف و مخاطبان (ذی نفعان ارزیابی)

❖ طراحی سؤالات و فرضیات ارزیابی

❖ مشخص کردن منابع در دسترس، زمان لازم و سطح مناسب تلاشی که می بایست صورت پذیرد

❖ انتخاب روش (های) ارزیابی و تجزیه و تحلیل

❖ انتخاب و یا طراحی مدل مناسب ارزیابی و رویکرد جمع آوری اطلاعات

❖ جمع آوری و ترکیب اطلاعات

❖ تجزیه و تحلیل و تفسیر اطلاعات

❖ تدوین گزارش ارزیابی

❖ ارائه و انتشار نتایج

در میان این گامها، انتخاب روش ارزیابی و تحلیل به عنوان محور اصلی در ارزیابی و پایش سیاستها و برنامهها قرار می گیرد. روشهای متنوعی برای ارزیابی وجود دارد که در عین داشتن مشابهتهایی، هر کدام مزایا و معایب مخصوص به خود را دارا می باشند. هر کدام از این روشها برای اهداف خاصی طراحی شده اند. به عنوان مثال برخی از آنها برای ارزیابی در مراحل اولیه یک برنامه مناسباند و برخی دیگر برای ارزیابی در مراحل انتهایی برنامه به کار می آیند. بنابراین حتی ممکن است برای یک برنامه با گذشت زمان، از روشهای متعدد ارزیابی استفاده شود.

از منظر زمانی، روشهای ارزیابی به دو دسته کلی ارزیابی پیش از پیاده سازی و ارزیابی در حین و پس از پیاده سازی تقسیم می شوند. همچنین از منظر روش تحقیق، روشهای ارزیابی را می توان به سه دسته روشهای کمی، آماری، روشهای مدل سازی و روشهای کیفی تقسیم بندی کرد. در روشهای کمی و آماری مانند پیمایش، با انجام تحلیلهای آماری بر روی دادهها و اطلاعات جمع آوری شده، ارزیابی سیاستها انجام می پذیرد. در روشهای مدل سازی مانند روشهای اقتصادسنجی، با

استفاده از توابع و مدل‌های ریاضی/اقتصادی، به ارزیابی تأثیرات سیاست‌ها پرداخته می‌شود. در روش‌های کیفی نیز مانند موردکاوی نیز مشاهدات و داده‌های کیفی مبنای قضاوت ما در مورد اثرات سیاست‌ها می‌باشد [۵].

مجموعه‌ای از روش‌های ارزیابی که می‌توانند برای تحلیل تأثیرات سیاست‌ها و برنامه‌ها در اسناد ملی فناوری مورد استفاده قرار بگیرند به قرار زیر هستند:

#### ۴-۲- پیمایش نوآوری<sup>۱</sup>

در طی سه دهه گذشته تلاش‌های زیادی جهت سنجش و ارزیابی نوآوری صورت گرفته است. سازمان توسعه همکاری‌های اقتصادی (OECD) با انتشار دستورالعمل‌های متعددی در خصوص ارزیابی‌های مرتبط با نوآوری و فناوری که اصطلاحاً به دستورالعمل‌های فراسکاتی<sup>۲</sup> معروفند (دستورالعمل فراسکاتی، دستورالعمل پنتت، دستورالعمل اسلو و غیره) تلاش کرده است تا در زمینه ارزیابی، استانداردهای بین‌المللی را ایجاد کند.

تشریح روش‌های ارزیابی و تفسیر داده‌ها در این دستورالعمل‌ها، در کنار وجود بانک‌های اطلاعات و داده‌های متنوع<sup>۳</sup> باعث شد در دهه ۹۰ کشورهای اروپایی برای ارزیابی سیاست‌ها، از پیمایشی استفاده کنند که به پیمایش نوآوری معروف شد.

روش پیمایش نوآوری در ابتدا، به‌عنوان ابزاری جهت جمع‌آوری و تفسیر داده‌ها و نه ارزیابی مورد استفاده قرار می‌گرفت. اما اخیراً محققان زیادی پیمایش نوآوری را به‌عنوان روشی برای پرداختن به تأثیرات و پیامدهای سیاست‌های تحقیق و توسعه دولتی مورد توجه قرار داده‌اند. به‌نظر می‌رسد در آینده با توجه به افزایش داده‌های جمع‌آوری‌شده پیرامون موضوعات مرتبط با نوآوری، استفاده از روش پیمایش برای ارزیابی سیاست‌های نوآوری دولتی افزایش یابد [۷].

1. Innovation survey

2. FRASCATY – Family manuals

۳. از دهه ۷۰، گروه‌های پژوهشی شروع به جمع‌آوری داده‌هایی در مورد وضعیت نوآوری در بنگاه‌ها نمودند که وجود این اطلاعات و داده‌ها یکی از عوامل طراحی دستورالعمل اسلو بوده است.

اولین پیمایش نوآوری در اروپا، در سال ۱۹۹۲ و بر اساس دستورالعمل اسلو صورت گرفت. این پیمایش‌ها مجدداً در سطح اتحادیه اروپا در سال‌های ۱۹۹۶ و ۲۰۰۰ برگزار شد. تجربه این سه پیمایش، ضمن آنکه امکان‌پذیری پیمایش نوآوری را ثابت کرد، نشان داد اینگونه پیمایش‌ها می‌تواند نتایج قابل توجهی برای سیاست‌گذاران داشته باشد.

در پیمایش نوآوری، نوآوری عبارت است از محصول یا فرایند نو و یک بنگاه در صورتی نوآور معرفی می‌شود که در یک دوره زمانی سه‌ماهه موفق به طراحی حداقل یک محصول یا فرایند نو و یا بهبود در فرایندها و محصول‌های موجود شده باشد. معیار "نو" بودن، جدید بودن در بنگاه است که لزوماً به معنای جدید بودن در بازار نمی‌باشد. اطلاعات پیمایش از طریق توزیع پرسشنامه در نمونه‌هایی از جامعه آماری جمع‌آوری می‌شود، هرچند در برخی موارد تمام بنگاه‌های بزرگ تحت پوشش پیمایش قرار می‌گیرند. مهم‌ترین موضوعاتی که در یک پیمایش نوآوری مورد بررسی قرار می‌گیرند عبارتند از:

• عوامل مؤثر بر نوآوری فناورانه

- اهداف نوآوری در بنگاه‌ها
- منابع اطلاعاتی بنگاه‌ها
- موانع نوآوری در بنگاه‌ها

• فعالیت‌ها و هزینه‌های نوآوری در بنگاه‌ها

- فعالیت‌های تحقیق و توسعه
- همکاری‌های فناورانه
- خرید و تجهیز ماشین‌آلات
- محافظت از دانش و فناوری

• ویژگی‌های بنگاه‌های نوآور

- اندازه بنگاه‌های نوآوری
- بخش اقتصادی که بنگاه‌های نوآور در آن فعالیت می‌کنند
- مالکیت بنگاه‌های نوآوری

○ ارتباط با سایر بنگاهها مؤسسات دولتی

○ سرمایه‌گذاری در دارایی‌های نامشهود

• پیامدهای نوآوری

○ فروش ناشی از محصولات نو

○ فروش ناشی از محصولاتی که نه تنها برای بنگاه بلکه در سطح بازار نیز جدید می‌باشند

○ تأثیر نوآوری بر صادرات و رقابت‌پذیری بنگاهها در سطح بین‌المللی

○ تأثیر نوآوری بر اشتغال

○ تأثیر نوآوری بر ساختار مهارتی نیروی کار

اما پیمایش نوآوری چگونه می‌تواند برای ارزیابی برنامه‌ها و سیاست‌های نوآوری مورد استفاده قرار گیرد؟ هر ارزیابی سیاست نیازمند وجود اطلاعات کافی و دقیق در مورد موضوع سیاست مورد تحلیل است. پیمایش نوآوری بخشی از اطلاعاتی که برای ارزیابی برنامه‌ها و سیاست‌های نوآوری دولت‌ها لازم است را فراهم می‌آورد. این اطلاعات می‌تواند تصویر واضحی از وضعیت نوآوری در بنگاهها و میان آنها را به نمایش بگذارد [۹].

در پیمایش نوآوری در خصوص مشارکت بنگاهها در برنامه‌های نوآوری دولتی سؤالاتی طراحی شده است. در سومین پیمایش نوآوری اتحادیه اروپا، این سؤالات در سه سطح سیاست‌های اتحادیه اروپا، سیاست‌های دولتی و سیاست‌های منطقه‌ای و محلی طراحی شده بود. در برخی پیمایش‌های نوآوری مانند پیمایش نوآوری ایتالیا، سؤالات بیشتر و دقیق‌تری در خصوص سیاست‌های نوآوری دولت طراحی شده است.

با تحلیل نتایج پیمایش نوآوری می‌توان به ارزیابی برخی سیاست‌های نوآوری دولت پرداخت. به‌عنوان مثال می‌توان فهمید چه کسانی از یارانه‌های تحقیق و توسعه دولت سود برده‌اند؟ بنگاه‌های کوچک و متوسط در مقایسه با بنگاه‌های بزرگ چه سهمی از کمک‌های دولت را دریافت کرده‌اند؟ چه بخش‌های اقتصادی از تسهیلات دولتی منتفع شده‌اند؟



مقایسه پاسخ سؤالاتی از این دست، با اهدافی که برای سیاست نوآوری در نظر گرفته شده است، ارزیابی مناسبی از سیاست ارائه می‌دهد. بایستی توجه داشت هرچند پیمایش بیشتر برای ارزیابی سیاست نوآوری مورد استفاده قرار گرفته است، اما این ابزار می‌تواند برای ارزیابی سایر سیاست‌ها و حتی سیاست‌های عمومی نیز بکار رود. در واقع پیمایش ابزاری تحلیلی است که از طریق توزیع پرسشنامه و با جمع‌آوری اطلاعات از سایر منابع در یک جامعه یا نمونه آماری و با استفاده از تحلیل‌های آماری به ارزیابی یک سیاست می‌پردازد. مراحل انجام یک پیمایش عبارتند از:

۱. طراحی مدل مفهومی پیمایش (ارتباط و تأثیر متغیرها)؛
۲. تعریف متغیرهای مدل مفهومی؛
۳. شناسایی منابع اطلاعاتی که متغیرها از طریق آن‌ها اندازه‌گیری می‌شوند؛
۴. شناسایی جامعه و یا نمونه آماری؛
۵. طراحی و توزیع پرسشنامه؛
۶. جمع‌آوری پرسشنامه و اطلاعات از سایر منابع؛
۷. تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات جمع‌آوری‌شده؛ و
۸. تفسیر نتایج و ارائه اقدام یا پیشنهاد.

پیمایش مانند هر ابزار دیگری مزایا و معایب متعددی دارد. مهم‌ترین مزایای این روش عبارتند از:

- ❖ با توجه به سهولت جمع‌آوری اطلاعات گسترده در روش پیمایش، می‌توان گستره وسیع‌تری از موضوعات را تحت پوشش ارزیابی قرار داد و از نقطه‌نظرات افراد و شرکت‌های بیشتری بهره جست.
- ❖ در پیمایش می‌توان نشانگرها و متغیرهای زیادی را جمع به ورودی‌ها، نتایج و پیامدهای یک برنامه را اندازه‌گیری و تحلیل کرد.
- ❖ در پیمایش می‌توان علاوه بر استفاده از اطلاعات پرسشنامه‌ها، از اطلاعات سایر بانک‌های داده‌ها و منابع در ارزیابی بهره جست.
- ❖ پیمایش قابلیت ترکیب با سایر روش‌ها از جمله روش‌های ریاضی و اقتصادی را دارا می‌باشد.

❖ اگر پیمایش با رویکردهای قضاوت خبرگان مانند پنل همراه شود، می‌تواند تحلیل‌های پویاتری از ارزیابی ارائه نماید.

معایب عمده روش پیمایش نیز عبارتند از:

❖ دقت اطلاعاتی که از پرسشنامه و بر اساس قضاوت ذهنی افراد جمع‌آوری می‌گردد، همواره محل تردید است.

❖ ارزیابی دقیق و درست ورودی‌ها، پیامدها و نتایج بر اساس سنجش متغیرها همواره ممکن نیست. بسیاری از پیامدها و نتایج قابل تبدیل و اندازه‌گیری از طریق متغیرها نیستند.

❖ در بسیاری مواقع، مدت‌زمانی لازم است تا سیاست و یا برنامه، تأثیر و پیامدهای خود را آشکار کند. غالباً در روش پیمایش مدت‌زمان تأثیرات برنامه در نظر گرفته نمی‌شود.

به هر حال پیمایش بهترین روش ارزیابی سیاست نیست، اما در برخی موارد، مخصوصاً در مواردی که نیاز به ارزیابی سیاست‌های کلان و در سطح وسیعی می‌باشد، این روش می‌تواند روش مناسبی به‌شمار آید.

### ۳-۴- مدل‌های اقتصادسنجی: مدل‌سازی اقتصاد کلان و شبیه‌سازی<sup>۱</sup>

مدل‌های اقتصادسنجی تلاش می‌کنند به ارزیابی پیامدها و آثار اقتصادی سیاست‌ها و برنامه‌ها بپردازند. در این نوع مدل‌ها، سیاست‌گذاران نتایج مورد انتظار گزینه‌ها و انتخاب‌های سیاستی را تحلیل و مقایسه می‌کنند. اینگونه مدل‌سازی و شبیه‌سازی بر اساس سناریوها با توجه به ماهیت پدیده‌های اقتصادی که غالباً پیچیده، غیرخطی و همراه با بازخوردهای متعدد است، بسیار مناسب می‌باشد.

با توجه به اینکه رفاه اجتماعی، هدف غالب سیاست‌ها و برنامه‌های دولت می‌باشد و وضعیت اقتصادی مهم‌ترین عامل مؤثر بر رفاه اجتماعی به‌شمار می‌رود، ارزیابی آثار اقتصادی برنامه‌های سیاستی از مهم‌ترین دغدغه‌های سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان است.

معمولاً تأثیر اسناد ملی فناوری‌های راهبردی بر متغیرهای اقتصادی مستقیم و ساده نیست، بلکه این تأثیر از طریق سایر متغیرهای واسطه و میانجی و به‌واسطه روابط علت و معلولی متعدد اعمال می‌شود. به‌عنوان مثال نمی‌توان به آسانی و بر اساس تجزیه و تحلیل‌های حاصل از پیمایش در خصوص تأثیر یک سند ملی بر متغیرهای اقتصادی نظیر اشتغال، رشد اقتصادی و یا بهره‌وری قضاوت کرد [۸].

یک مدل اقتصادسنجی کلان مجموعه‌ای از معادلات ساختاری است که بر اساس مبانی اقتصادی و برای تشریح اقتصاد و یا برخی از اجزای آن تدوین شده است. در این مدل‌ها دو دسته معادله وجود دارد: رفتاری<sup>۱</sup> و فردی<sup>۲</sup>. همچنین در این مدل‌ها، دو نوع متغیر وجود دارد: متغیرهای درون‌زا که به ساختار اقتصادی (داخلی) می‌پردازند و متغیرهای برون‌زا که ارتباطات و تأثیرات بین‌المللی را بررسی می‌کنند.

#### ۴-۳-۱- شرایط استفاده از مدل‌های اقتصادسنجی کلان

باید توجه داشت که استفاده از این مدل‌ها برای ارزیابی برنامه‌هایی بزرگ مقیاسی مناسب است که تأثیرات اقتصادی و اجتماعی کلان و در سطح بین‌المللی دارند. بنابراین استفاده از آن برای برنامه‌های کوچک با سطح تأثیر محدود توصیه نمی‌گردد.

استفاده از این روش نیازمند برخی الزامات است که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

1. Beharioural
2. Identities

❖ در دسترس بودن حجم زیادی از اطلاعات اقتصادی-اجتماعی

❖ درجه بالایی از خبرگی و تخصص

❖ زمان و هزینه کافی

علاوه بر این الزامات، روش فوق برای مواقعی که برنامه اقدامات و سیاست‌ها پیامدهای اقتصادی مشهود دارد مناسب است.

#### ۴-۳-۲- مراحل استفاده از مدل‌های اقتصادسنجی

استفاده از این روش‌ها مستلزم پیمودن ۹ گام زیر است:

۱. تعریف اهداف مدل و امکان‌پذیری سنجش آن: ابتدا باید مشخص شود آیا سیاستی که قرار است ارزیابی شود، می‌تواند بر

متغیرهای کلان اقتصادی تأثیر بگذارد یا خیر؟ به عبارتی آیا پیامدهای اقتصادی قابل ملاحظه‌ای از سیاست متصور است یا نه؟

اگر پاسخ به سوال فوق مثبت است، این تأثیر چه میزان پیش‌بینی می‌شود و آیا این تأثیر کل اقتصاد را متأثر می‌سازد و تنها بر

بخش و یا بخش‌هایی مؤثر است؟ برای اندازه‌گیری و ارزیابی این تأثیر چه متغیرهایی را می‌بایست اندازه‌گیری کرد و آیا

اندازه‌گیری این متغیرها، پاسخ‌هایی را که تحلیل‌گر به دنبال آن‌هاست، ارائه می‌دهند یا خیر؟

۲. بررسی در دسترس بودن داده‌ها: در این مرحله می‌بایست مشخص کرد چه داده‌هایی برای ارزیابی مورد نیاز است و آیا

تمام داده‌های مورد نیاز در دسترس می‌باشد یا خیر؟ همچنین در این مرحله می‌بایست نحوه مواجهه با داده‌های ناقص و یا

مخدوش را روشن نمود.

۳. طراحی مدل مفهومی: در این گام متغیرهای اساسی مدل، روابط علی و معلولی این متغیرها، ابعاد و اجزای اصلی مدل

مفهومی، مبانی زیربنایی و مطالعات تجربی صورت گرفته در این زمینه مشخص می‌شود. همچنین باید مشخص کرد آیا مدل

مفهومی طراحی شده متناسب با واقعیت وضعیت موجود می‌باشد و یا نیاز به اصلاحات و تغییرات دارد؟

۴. جمع‌آوری و تحلیل و تبدیل داده‌ها: هرچند روش‌های اقتصادسنجی نیاز به حجم عظیمی از داده‌ها دارند، اما داده‌های

خام موجود در بانک‌های داده، به ندرت در این معادلات قابل استفاده‌اند. بنابراین معمولاً به یک فرایند تبدیل بر روی داده‌های

خام نیاز است تا این داده‌ها قابلیت استفاده در مدل را داشته باشند.

۵. طراحی معادلات اقتصادسنجی مدل<sup>۱</sup>: در این مرحله معادلات اقتصادسنجی مدل تخمین زده می‌شوند. به عبارتی در این مرحله مدل نظری به مدل اقتصادسنجی تبدیل می‌شود. برای این کار ابتدا سری داده‌های معینی انتخاب می‌شوند که فرض می‌شود مقادیر متغیرهای موجود در مدل را نمایندگی می‌کنند. سپس فرض می‌گردد که متغیرهای نظری بر متغیرهایی که داده‌های انتخاب شده را ایجاد کرده‌اند، منطبق هستند، در نتیجه متغیرهای داده‌های واقعی در مدل جایگزین متغیرهای نظری می‌شوند. سپس یک جمله خطای تصادفی به معادله اضافه می‌شود و با تعریف فروضی بر روی جمله خطا، مدل آزمون می‌گردد.

۶. تست و کالیبره کردن مدل: حتی اگر با تخمین دقیقی، معادلات اقتصادسنجی طراحی شده باشند. ممکن است در عمل این معادلات به علت تأثیر متغیرهای بیرونی، نادیده گرفتن برخی پدیده‌ها و یا کیفیت نامناسب برخی داده‌ها، عملکرد ضعیفی از خود به نمایش بگذارند. در این مرحله، معادلات اقتصادسنجی مجدداً با داده‌های واقعی تنظیم می‌شوند و در صورت لزوم تغییراتی در معادلات و یا داده‌های مورد استفاده صورت می‌پذیرد. پس از این مرحله معادلات می‌توانند برای شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شرایط مختلف مورد استفاده قرار گیرند.

۷. شبیه‌سازی وضعیت پایه و تحلیل حساسیت: برای ارزیابی تأثیر سیاست‌ها بر عملکرد و وضعیت اقتصادی، بهتر است مشخص شود این عملکرد و وضعیت در صورت عدم وجود این سیاست‌ها چه حالتی پیدا می‌کند. با این اقدام، می‌توان وضعیت پایه را با فرض نبود این سیاست‌ها مدل‌سازی و طراحی کرد. فعالیت دیگری که در این مرحله انجام می‌شود، تحلیل حساسیت<sup>۲</sup> است. با تحلیل حساسیت می‌توان متوجه شد که نتایج مدل تا چه حد به تغییرات ارزش متغیرهای مدل حساس‌اند. یعنی در چه بازه‌ای ارزش هر کدام از متغیرهای مدل را می‌توان تغییر داد، بدون آنکه در نتایج مدل تغییری ایجاد شود.

---

1. Econometric estimations of equations of the model  
2. Sensitivity analysis

۸. شبیه‌سازی وضعیت در صورت اجرای سیاست‌ها: در این حالت مقادیری که برای متغیرهای برون‌زا، ابزارهای سیاستی و سایر متغیرها به‌دست آمده است وارد عمل می‌شود و تأثیرات آن‌ها بر مدل و نتایج مدل اندازه‌گیری می‌گردد.

۹. تفسیر نتایج: با مقایسه نتایج مراحل ۷ (شبیه‌سازی وضعیت پایه) و ۸ (شبیه‌سازی وضعیت در صورت اجرای سیاست‌ها) می‌توان به ارزیابی مفیدی از سیاست‌ها پرداخت.

باید توجه داشت با این روش می‌توان ارزیابی‌های پیش از پیاده‌سازی و پس از پیاده‌سازی را انجام داد. در موفق‌ترین تحلیل‌های اقتصادسنجی صورت گرفته تاکنون، حجم وسیعی از داده‌های اقتصادی مربوط به یک بازه زمانی قابل توجه (در حدود ۲۰ سال و یا حتی بیشتر از آن) جمع‌آوری و مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحلیل‌ها داده‌هایی مربوط به متغیرهای اقتصادی اجتماعی نظیر تولید ناخالص ملی، تولید ناخالص ملی بر سرمایه، رشد بهره‌وری تولید، اشتغال، نرخ واقعی دستمزدها، قیمت‌ها، نرخ بهره، نرخ برابری ارزها و داده‌هایی مرتبط با توسعه فناوری‌های راهبردی باشند هزینه‌های تحقیق و توسعه بخش دولتی و بخش خصوصی، انباشت سرمایه انسانی<sup>۱</sup>، سرریز دانش و اطلاعاتی در خصوص ابزارهای سیاستی و برنامه‌های توسعه فناوری مثل معافیت‌های مالیاتی فعالیت‌های تحقیق و توسعه و یارانه‌های این فعالیت جمع‌آوری شده است.

بهر حال در این روش مهم‌ترین ورودی، داده‌های معتبر و دقیق در یک بازه زمانی مشخص می‌باشد و بدون در اختیار داشتن این داده‌ها، روش اقتصادسنجی کارایی لازم را نخواهد داشت.

#### ۴-۴- مدل‌های اقتصادسنجی: مدل‌های اقتصادسنجی خرد<sup>۲</sup>

اقتصاد خرد به بررسی عملکرد و وضعیت واحدهای اقتصادی در یک کشور می‌پردازد. واحدها می‌توانند شرکت‌ها (به‌عنوان مثال وقتی قصد بررسی وضعیت انتقال فناوری وجود دارد) و یا حتی افراد (به‌عنوان نمونه وقتی قصد مطالعه وضعیت اشتغال

1. Human capital stock  
2. Arvanitis and Keilbach, 2002

وجود دارد) باشند. از لحاظ مبانی نظری، روش اقتصادسنجی خرد مشابه اقتصادسنجی کلان می‌باشد. تفاوت عمده این دو روش سطح تجزیه و تحلیل و نوع متغیرها و داده‌های مورد استفاده آن‌هاست.

از نظر روش‌شناسی، مدل‌های اقتصادسنجی خرد به دو دسته عمده تقسیم می‌شوند:

❖ مدل‌هایی که از داده‌های مربوط به وضعیت گذشته بنگاه‌هایی که سیاست‌های مذکور در مورد آن‌ها اعمال شده است و یا از مشوق‌ها و مزایای در نظر گرفته شده استفاده کرده‌اند بهره می‌برند و آن را با وضعیت کنونی آن‌ها مقایسه می‌کنند.

❖ مدل‌هایی که از داده‌های مربوط به وضعیت همزمان بنگاه‌هایی که سیاست مذکور در مورد آن‌ها اعمال شده است و یا از مشوق‌های در نظر گرفته شده استفاده کرده‌اند و بنگاه‌هایی که این سیاست‌ها در مورد آن‌ها اعمال نشده است و یا از این مشوق‌ها استفاده نکرده‌اند بهره‌برداری می‌کنند و ارزیابی‌ها را بر اساس مقایسه وضعیت این دو گروه از بنگاه‌ها انجام می‌دهد.

اگر از داده‌های گذشته بنگاه‌هایی که اهداف سیاست‌ها بوده‌اند استفاده گردد، باید متوجه متغیرهایی بود که خارج از سیاست‌ها، منجر به تغییر وضعیت این بنگاه‌ها از گذشته تاکنون شده‌اند. اگر از این نکته غفلت گردد، علت اصلی تغییر داده‌های گذشته تا حال، سیاست‌های طراحی شده تفسیر می‌شود، حال آنکه ممکن است در واقعیت، علل و دلایل دیگری سبب این تحولات شده باشند که آن‌ها لحاظ نشده‌اند.

همچنین اگر داده‌های مربوط به دو دسته از بنگاه‌های مشمول سیاست و بنگاه‌هایی که در دامنه تأثیر این سیاست قرار نداشته‌اند استفاده گردد، باید متوجه عوامل و دلایلی بود که خارج از سیاست‌های تدوین شده منجر به تغییر داده‌های این دو گروه بنگاه‌ها می‌شوند. اگر این نکته مورد توجه قرار نگیرد، تفاوت در داده‌های این دو گروه را ناشی از سیاست‌های طراحی شده می‌دانیم. در صورتی که ممکن است این تفاوت‌ها ناشی از سایر عوامل و دلایلی باشید که ارتباطی به این سیاست‌ها نداشته‌اند (مانند ساختار صنعت و بازار).

روش اقتصادسنجی خرد مواقعی برای استفاده مناسب است که شرایط زیر مهیا باشد:

- ❖ دلایل کافی برای تأثیر سیاستها در سطح بنگاهها و سازمانها وجود داشته باشد
- ❖ اهداف سیاستی به صورت مستقیم و یا از طریق برخی شاخصها قابل اندازه گیری باشند
- ❖ ارتباط میان تأثیر و پیامدهای سیاستی در سطح بنگاهها و سازمانها با ابزارهای طراحی شده با تئوریهای اقتصادی موجود توجیه پذیر باشد
- ❖ دادههای متغیرهای اندازه گیری برای تعداد زیادی از بنگاهها موجود باشد
- ❖ دادههای کافی از وضعیت بنگاهها قبل از پیاده سازی سیاست و یا وضعیت موجود بنگاههایی که مشمول سیاست نمی باشند وجود داشته باشد.

#### ۴-۴-۲- مراحل پیاده سازی مدل

مراحل پیاده سازی مدل های اقتصادسنجی خرد تا حد زیادی شبیه مراحل اجرای مدل های اقتصادسنجی کلان می باشد که در بخش قبل توضیح داده شده است. این مراحل به ترتیب عبارتند از:

❖ تعریف متغیرهای هدف: تعیین متغیرهایی که اهداف سیاستهای طراحی شده بوده اند. این اهداف می توانند شامل هدفهای اولیه، ثانویه و نهایی باشند. با مشخص شدن این متغیرها در واقع مدل مفهومی ارزیابی ما مشخص می شود.

❖ طراحی مدل اقتصادسنجی: مدل اقتصادسنجی بر اساس مدل مفهومی مشخص شده و بر مبنای تئوریهای اقتصادی و با در نظر گرفتن ملاحظات در خصوص امکان جمع آوری دادهها طراحی می شود.

❖ انتخاب روش اقتصادسنجی مناسب: بر اساس مدل اقتصادسنجی و دادههای جمع آوری شده، روش مناسب اقتصادسنجی انتخاب می شود.

❖ اجرای مدل اقتصادسنجی: در این مرحله بر اساس دادههای جمع آوری شده، مدل اقتصادسنجی اجرا می شود و برآوردهایی از متغیرهای مدل ارائه می شود.

❖ تفسیر نتایج: مرحله آخر نیز تفسیر نتایج اقتصادسنجی خرد است.



#### ۴-۴-۳- دامنه کاربرد و محدودیت‌ها

یکی از مهم‌ترین مزایای روش اقتصادسنجی خرد این است که تحلیل ارزیابی بر اساس رابطه علت معلولی میان متغیرهایی صورت می‌گیرد که این رابطه علت معلولی خود ریشه در تئوری‌های اقتصادی دارد. بنابراین از لحاظ نظری، روش کاملاً معتبری است.

همچنین این روش برای ارزیابی تأثیر یک سیاست، بر مجموعه بنگاه‌ها و یا سازمانی که تحت تأثیر مستقیم این سیاست قرار داشته‌اند (مثلاً بنگاه‌هایی که از مشوق‌های پیش‌بینی شده استفاده کرده‌اند) بسیار مناسب است. اما هنگامی که منظور ارزیابی، تأثیر غیرمستقیم این سیاست بر سایر بنگاه‌هایی که مشمول این سیاست نبوده‌اند (به‌عنوان مثال اثرات سرریز دانش، یا ارزیابی تأثیر سیاست بر یک بخش) این روش به‌تنهایی کافی نیست. در این مواقع می‌توان از ترکیب این روش با سایر روش‌ها مانند اقتصادسنجی کلان استفاده کرد.

مهم‌ترین ضعف مدل‌های اقتصادسنجی وابستگی شدید آن‌ها به حجم انبوهی از داده‌ها در یک بازه زمانی طولانی می‌باشد. از سوی دیگر، حجم زیاد اطلاعات، هزینه و زمان این پروژه‌ها را افزایش می‌دهد. همانگونه که نیاز به تخصص بالا از نقطه‌ضعف‌های دیگر این نوع ارزیابی است. عدم اختیار و اقتدار لازم برای دسترسی به این حجم از اطلاعات و الزام بنگاه‌ها به ارائه سایر اطلاعات مورد نیاز را نیز باید به فهرست فوق اضافه کرد.

همانطور که مشاهده می‌شود، اغلب نقطه‌ضعف‌های این روش به نحوه اجرا و مشکلات جمع‌آوری و دسترسی داده‌ها اشاره دارد. در حالیکه این روش از لحاظ تئوری روش بسیار معتبری به‌شمار می‌رود.

#### ۴-۵- مدل‌های اقتصادسنجی: اندازه‌گیری بهره‌وری

معمولاً بهره‌وری و افزایش بهره‌وری به‌عنوان یکی از اهداف مهم اغلب سیاست‌ها در نظر گرفته می‌شود. سطح تجزیه و تحلیل در ارزیابی بهره‌وری می‌تواند بهره‌وری نیروی کار، بهره‌وری یک واحد اقتصادی (سطح خرد)، بهره‌وری یک بخش صنعتی (سطح میانی) و یا بهره‌وری در یک منطقه یا کشور (سطح کلان) باشد.

مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد بهره‌وری می‌تواند یکی از مهم‌ترین دلایل اختلاف درآمد سرانه کشورهای مختلف باشد. بر همین اساس افزایش بهره‌وری به عنوان هدف نهایی اغلب اسناد ملی فناوری‌های راهبردی در نظر گرفته شده است. اسناد ملی فناوری‌های راهبردی ممکن است افزایش بهره‌وری در سطح خرد، میانی و کلان را هدف گرفته باشند. روش اندازه‌گیری بهره‌وری میزان موفقیت این سیاست‌ها در افزایش بهره‌وری را بررسی می‌کند. مهم‌ترین چالش این روش، تعدد عوامل مؤثر بر بهره‌وری است. به عبارت دیگر، شناسایی متغیرهای کنترلی مهم‌ترین مساله مدل اقتصادسنجی اندازه‌گیری بهره‌وری است. با توجه به اینکه شناسایی و اندازه‌گیری متغیرهای کنترل در سطح میانی و کلان با دشواری‌های فراوانی روبه‌رو است، این روش در سطح خرد امکان‌پذیری بالاتری دارد.

با این روش پروژه‌های زیادی در سطح خرد انجام شده است که در مهم‌ترین آن‌ها، تأثیر سیاست‌های آزادسازی بر افزایش بهره‌وری در سطح واحدهای تولیدی اندازه‌گیری شده است. برخی پروژه‌ها نیز با این روش سرریزهای فناوری میان بنگاه‌ها را اندازه‌گیری کرده‌اند.

#### ۴-۵-۱- روش انجام

- ❖ شناسایی واحدهای نمونه: برای انجام ارزیابی بهره‌وری نیاز به دو گروه نمونه از بنگاه‌ها است. گروه اول بنگاه‌هایی هستند که به نظر می‌رسد سیاست‌های طراحی شده تأثیر مستقیمی بر بهره‌وری آن‌ها داشته است و گروه دوم بنگاه‌هایی‌اند که سیاست‌های مورد ارزیابی، افزایش بهره‌وری آن‌ها را مد نظر نداشته‌اند.
- ❖ طراحی مدل اقتصادسنجی: مدل اقتصادسنجی سنجش بهره‌وری بر اساس تابع تولید طراحی می‌شود. تابع تولید، تابعی است که ارتباط میان ورودی‌ها و برونادهای یک فعالیت اقتصادی را مشخص می‌کند.
- ❖ جستجو و جمع‌آوری اطلاعات مناسب: در این مرحله می‌بایست، اطلاعات لازم از ورودی‌ها و برونادهای متناسب با مدل اقتصادسنجی جمع‌آوری شوند.
- ❖ اجرای مدل اقتصادسنجی: در این مرحله بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده، مدل اقتصادسنجی اجرا می‌گردد.
- ❖ تفسیر نتایج: بر اساس اطلاعات حاصل از اجرای مدل اقتصادسنجی، تأثیر سیاست‌ها بر افزایش بهره‌وری مورد تحلیل و ارزیابی قرار می‌گیرد.

#### ۴-۵-۲- دامنه کاربرد و محدودیت‌ها

یکی از بزرگ‌ترین محدودیت‌های این روش نحوه سنجش خروجی‌هاست. اندازه‌گیری "ارزش افزوده" کار دشواری است که محاسبه آن همواره با ابهاماتی همراه است. چالش دیگر این روش، تعدد عوامل مؤثر بر بهره‌وری است. پارامترهای متعددی بر بهره‌وری یک واحد تولیدی مؤثرند که تفکیک میزان تأثیر هر یک از آن‌ها و ارزیابی تأثیر سیاست‌ها به‌عنوان یکی از این عوامل از مسائل اصلی این روش است.

#### ۴-۶- ارزیابی توسط خبرگان<sup>۱</sup>

استفاده از پنل خبرگان<sup>۲</sup> و ارزیابی توسط اعضای جامعه علمی<sup>۳</sup> از مهم‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری است که در سال‌های اخیر برای ارزیابی سیاست مورد استفاده قرار گرفته است. ارزیابی توسط خبرگان غالباً بر اساس قضاوت جمعی از متخصصان و صاحب‌نظران صورت می‌گیرد. مبنای قضاوت، اطلاعات و برداشت‌های تجربی و شخصی و/یا تحلیل و تفسیر شواهد و اطلاعاتی است که ممکن است حاصل ارزیابی از طریق سایر روش‌ها بوده باشند. ارزیابی از طریق خبرگان هم برای ارزیابی سیاست‌ها پس از اجرا و هم برای ارزیابی سیاست‌ها پیش از اجرا مورد استفاده قرار می‌گیرد.

استفاده از روش "ارزیابی توسط اعضای جامعه علمی" برای ارزیابی پروژه‌ها قبل از اجرا به‌منظور تخصیص منابع مالی و حمایت‌ها بسیار معمول است. پنل‌های خبرگان برای ارزیابی سیاست‌ها پس از اجرا نیز بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش‌ها در مواقعی که اطلاعات و شواهد کافی وجود ندارد و ارزیابی پیامدهای اقتصادی اجتماعی برنامه‌ها و پروژه‌ها از سایر روش‌ها قابل اندازه‌گیری نیست، تصویری کلی از کیفیت و تأثیر این سیاست‌ها ارائه می‌دهد. روش پنل به‌خصوص هنگامی که

- 
1. Expert panels and peer review
  2. Expert panels
  3. Peer review

ارزیابان علاقه‌مند به بررسی جنبه‌های جدیدی از تأثیرات سیاستی هستند بسیار مؤثر است. تنوع تخصصی و ذهنیتی گروه خبرگان، منبع بزرگی از ایده‌های نویی است که می‌تواند بر کیفیت ارزیابی مؤثر واقع شود.

گروه خبرگان می‌توانند علاوه بر اظهار نظر مراجع به نتایج و پیامدهای یک سیاست، در مورد روند کلی ارزیابی و مدیریت ارزیابی نیز پیشنهادهای ارائه کنند که در ارزیابی‌های آینده از آن‌ها استفاده شود. این موضوع مزیتی است که در سایر روش‌ها کمتر به چشم می‌خورد.

#### ۴-۶-۱- شرایط استفاده از خبرگان

استفاده از نظرات خبرگان از منعطف‌ترین روش‌های ارزیابی سیاست است. اما برای استفاده از آن می‌بایست شرایطی مهیا باشد که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

اعضای جامعه علمی با دانش کافی و خبرگان مرتبط با حوزه ارزیابی در دسترس بوده و برای مشارکت در فرایند ارزیابی تمایل داشته باشند.

توقعات و سؤالات از گروه خبرگان باید در حد دانش و آگاهی آن‌ها باشد. پیش‌فرض روش‌های استفاده از نظرات خبرگان، بهره‌برداری از دانش تخصصی و انباشتی حاصل از تجربه و دانش این افراد است.

#### ۴-۶-۲- مراحل انجام روش استفاده از خبرگان

❖ مشخص شدن موضوعات مورد بحث: در روش‌های استفاده از نظرات خبرگان، قبل از هر چیزی می‌بایست موضوعاتی که خبرگان قرار است راجع به آن‌ها نظر دهند، مشخص شود. معمولاً این موضوعات توسط کارفرما (نهاد ارزیابی‌کننده) تعیین می‌شود.

❖ انتخاب رئیس پنل یا گروه خبرگان: با توجه به موضوعات مورد بحث، فردی با دانش و تجربه بالای تخصصی و مدیریتی به‌عنوان رئیس پنل انتخاب می‌گردد.

❖ انتخاب اعضای پنل یا گروه خبره: با هماهنگی و مشارکت کارفرما و رئیس پنل، اعضای خبرگان انتخاب می‌گردند.

- ❖ برنامه‌ریزی پنل: زمانبندی و نحوه اجرای فرایند ارزیابی توسط اعضا و با مشارکت کارفرما مشخص می‌شود.
- ❖ شناسایی و پشتیبانی نیازهای اطلاعاتی پنل: در این مرحله کلیه شواهد، داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای قضاوت و تصمیم‌گیری گروه خبرگان شناسایی، تهیه و در اختیار آن‌ها قرار داده می‌شود.
- ❖ اجرای ارزیابی: اعضای پنل، مدیریت رئیس پنل در خصوص موضوعات مورد بحث مطابق برنامه‌ریزی انجام‌شده به جمع‌بندی می‌رسند.

#### ۴-۶-۳- داده‌های مورد نیاز

هرچند در این روش، برخلاف روش‌های کمی که پیشتر توضیح داده شد، عملیات خاصی بر روی داده‌ها صورت نمی‌پذیرد. اما داده‌ها به‌عنوان یکی از ورودی‌های اصلی قضاوت خبرگان اهمیت زیادی دارند. داده‌ها می‌بایست دقیق و کافی بوده و ساختار آن‌ها به‌گونه‌ای باشد که خبرگان بدون نیاز به انجام عملیات پردازش بتوانند آن را تفسیر و تحلیل کنند.

#### ۴-۶-۴- دامنه کاربرد و محدودیت‌ها

روش‌های استفاده از نظرات خبرگان روش‌های منعطف و اثربخشی هستند که هم برای ارزیابی‌های پس از پیاده‌سازی و هم برای ارزیابی‌های پیش از پیاده‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

به نسبت سایر روش‌ها، این روش کم‌هزینه است. هرچند برگزاری پنل در مقایسه با ارزیابی توسط اعضای جامعه علمی هزینه‌های پشتیبانی بیشتری را می‌طلبد. در موضوعاتی که به حوزه‌های خاص و محدودی از علم و تخصص مربوط می‌شوند بهتر است از روش ارزیابی توسط اعضای جامعه علمی استفاده گردد و در حوزه‌های کلان‌تر از پنل. استفاده از ارزیابی توسط اعضای جامعه علمی برای ارزیابی و انتخاب پروژه‌های تحقیق و توسعه و حمایت از آن‌ها بسیار معمول است.

استفاده از پنل خبرگان برای ارزیابی سیاست در موضوعات مناقشه برآیند که نیاز به اجماع و توافق گروه‌های متعدد دارد، توصیه می‌شود.

#### ۴-۷- مطالعه میدانی و مطالعه موردی

در مطالعه میدانی به جای مطالعه موضوع تحت شرایط کنترل شده، به مشاهده مستقیم در شرایط واقعی پرداخته می شود. مطالعه میدانی نیازمند استفاده از طیف وسیعی از روش ها و تکنیک های مختلف است.

مطالعه موردی یکی از روش های مطالعه میدانی است که در ارزیابی سیاست مورد استفاده قرار می گیرد. در مطالعه موردی، ارزیاب به تعامل اجتماعی مستقیم با موضوع ارزیابی می پردازد. ارزیابی با این روش مستلزم استفاده از روش ها و داده های کمی و کیفی از قبیل پیمایش، تحلیل محتوا، تحلیل آماری داده های ثانویه و نهایتاً مشاهده مستقیم است. ارزیابی نهایی نوعی از استنتاج تفسیری است که بر اساس این منابع اطلاعاتی و روش های تحلیلی متعدد استخراج می شود.

مطالعه میدانی و مطالعه موردی از روش های تحقیق کیفی در علوم اجتماعی می باشند که در سال های اخیر مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است.

برای ارزیابی سیاست به روش مطالعه میدانی با مطالعه موردی، لازم است ارزیابی با بررسی و مشاهده دقیق شامل گفتگو و مصاحبه با ذی نفعان مختلف سیاست، بررسی اسناد و مدارک، تحلیل داده های کمی از پیامدها و اثرات سیاست ها و سایر روش ها به مطالعه سیاست و نتایج آن پردازد.

**فصل چهارم:**

**جمع‌بندی و ارائه روش پیشنهادی**

**برای ارزیابی**

## ۵-۱- مقدمه

همان‌طور که پیش‌تر توضیح داده شد، ارزیابی سیاست‌ها و اهداف بیش از آنکه از ماهیتی نظری برخوردار باشد، متعلق به حوزه اجرا و عملیاتی است. اجرایی بودن این حوزه، ضرورت نوآوری در روش پیشنهادی برای بخش پایش و ارزیابی اسناد ملی فناوری را کم‌رنگ می‌نماید. بنابراین، آنچه در این قسمت لازم است تا به‌عنوان روش پیشنهادی بر آن تأکید گردد، ارائه یک جمع‌بندی از روش‌ها و قالب‌های موجود ارزیابی و واگذاری تصمیم برای انتخاب روش مناسب به سیاست‌گذار و اجراکنندگان سند است.

تاکنون با مرور ادبیات صورت پذیرفته، تعریف، جایگاه، قالب‌های عمومی و گام‌های ارزیابی و تحلیل تأثیرات مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس این بررسی، پایش و ارزیابی سیاست‌ها و اهداف عبارت است از مطالعه تأثیر مجموعه‌ی هدایت‌شده‌ای از راهبردها، سیاست‌ها، اقدامات و برنامه‌ها بر وضعیت اهداف کلان و خرد و تعیین چرایی موفق بودن یا ناکام بودن دستیابی به این اهداف. بر اساس این تعریف، یکی از مهمترین نکاتی که باید در ارزیابی سیاست‌ها مورد توجه قرار بگیرد همراستایی این ارزیابی با جهت‌گیری‌های بالادستی است.

چارچوب کلی گام‌هایی که باید در مؤلفه برنامه ارزیابی و به‌روزرسانی اسناد ملی توسعه فناوری‌های راهبردی طی شود شامل ۳ مرحله اساسی است که در ادامه تشریح می‌گردد:

## ۵-۲- تدوین شاخص‌های ارزیابی کارایی و اثربخشی

در این گام، می‌بایست انواع شاخص‌های اندازه‌گیری‌کننده اهداف خرد و کلان هر یک از فناوری‌ها احصاء شوند. در این گام، می‌بایست شاخص‌های مربوط به راستی‌آزمایی ارکان جهت‌ساز همانند اهداف کلان و هم شاخص‌های مرتبط با برنامه اقدامات و سیاست‌ها مانند اهداف خرد را احصاء و بررسی نمود. نکته مهم و قابل تأمل این است که این شاخص‌ها می‌بایست هم خروجی‌ها و هم پیامدها را ارزیابی کنند؛ به عبارت دیگر هم شاخص‌های مرتبط با اثربخشی می‌بایست تدوین و ارزیابی گردند و هم شاخص‌های مرتبط با کارایی.

## ۵-۳- تدوین مکانیزم ارزیابی



روش‌های مختلفی در مرور ادبیات برای ارزیابی و تحلیل تأثیرات نام برده شد که هر کدام آن‌ها ویژگی‌ها و نقاط قوت و ضعف مربوط به خود را داشتند. سیاست‌گذار یا ارزیابی‌کننده یک سند ملی توسعه فناوری لازم است تا با توجه به شرایط خاص مرتبط با موضوع خود، از روش (های) متناسب ارزیابی (پیمایش نوآوری، مدل‌های اقتصادسنجی (کلان، خرد، بهره‌وری)، ارزیابی توسط خبرگان، مطالعات موردی و تحلیل شبکه) بهره‌گیری کند.

به‌منظور فراهم‌آوری بستر تصمیم‌سازی برای سیاست‌گذاران، می‌توان جدولی مقایسه‌ای از روش‌های مختلف ارزیابی ارائه نمود. در جدول (۴-۱) با ارائه خلاصه‌ای از ویژگی‌های هر روش از ابعاد مبنای روش، نقاط ضعف و قوت، جنس داده‌های موردنیاز و شرایط استفاده، سیاست‌گذاران را در انتخاب متناسب‌ترین روش با موضوع سند راهبردی کمک می‌کند.

جدول (۵-۱): ویژگی‌های روش‌های ارزیابی

روش	مبنای نظری	ضعف	قوت	نوع داده‌ها	شرایط استفاده
پیمایش نوآوری	جمع‌آوری و تحلیل گسترده‌ی وسیعی از داده‌ها مبتنی بر نظرات خبرگان	وجود خطر جانبدارانه بودن نظرات افراد متخصص - عدم در نظرگیری فاصله زمانی تأثیر سیاست‌ها در ارزیابی	برخورداری از نظرات افراد متخصص و در محوریت قرار دادن موضوع نوآوری	کمی - کیفی	ارزیابی سیاست‌های کلان که اثرگذاری بر شاخص‌های ملی نوآوری دارند
اقتصادسنجی - کلان	معادلات ساختاری بر اساس مبانی اقتصاد و برای توضیح روابط علی معلولی میان اجزا	دشواری در جمع‌آوری حجم زیادی از اطلاعات اقتصادی - اجتماعی معتبر و دقیق در یک بازه زمانی مشخص - زمان و هزینه بالا	دقت بالا و ارائه تحلیل‌ها و نتایجی مبتنی بر منطق ریاضی	کمی	ارزیابی تأثیر سیاست‌های کلان بر فاکتورهای رفاه اقتصادی کشور
اقتصادسنجی - خرد	بررسی عملکرد و وضعیت واحدهای اقتصادی بر مبنای معادلات ساختاری	عدم توانایی در در نظرگیری در تأثیرات غیرمستقیم سیاست‌ها مانند اثرات سرریز دانش - وابستگی شدید آن‌ها به حجم انبوهی از داده‌ها در یک بازه زمانی طولانی -	دقت بالا و ارائه تحلیل‌ها و نتایجی مبتنی بر منطق ریاضی	کمی	ارزیابی تأثیر سیاست‌ها بر مجموعه بنگاه‌ها و یا سازمان (سطح خرد)
اقتصادسنجی - بهره‌وری	بررسی بهره‌وری واحدهای اقتصادی بر مبنای روش‌های اقتصادسنجی	دشواری در حوزه سنجش خروجی (ارزش افزوده) - تعدد عوامل مؤثر بر بهره‌وری	دقت بالا و ارائه تحلیل‌ها و نتایجی مبتنی بر منطق ریاضی	کمی	بررسی تأثیر سیاست‌ها در سطح خرد

روش	مبنای نظری	ضعف	قوت	نوع داده‌ها	شرایط استفاده
گروه کنترل	جمع‌آوری اطلاعات بر مبنای نظرات خبرگان و تحلیل آن‌ها بر اساس روش‌های آماری		تفکیک اثرات سیاستی از سایر عوامل تأثیرگذار بر شاخص‌های رشد بنگاه‌ها	کمی	ارزیابی کارایی و اثربخشی سیاست‌ها در سطح خرد
تحلیل هزینه-فایده	بررسی اثرات مثبت و منفی اجتماعی-اقتصادی ناشی از اعمال سیاست‌ها با استفاده از روش‌های کمی‌سازی	دشواری در محاسبه هزینه‌ها و فایده‌ها در زمانی آینده (عدم قطعیت بالا)	همه‌جانبه بودن: پوشش کامل هزینه‌ها و فایده‌های مشهود و نامحسوس، در افق زمانی حال و آینده و در گروه‌های هدف	کمی-کیفی	ارزیابی تعداد محدودی پروژه‌های بزرگ و نه تعداد زیادی پروژه کوچک
ارزیابی متوسط خبرگان	جمع‌بندی نظرات متخصصین	کم‌هزینه بودن	دقت کمتر در مقایسه با سایر روش‌ها	کیفی	شرایطی که اطلاعات و داده‌های کافی برای تحلیل-های کمی وجود ندارد - در شرایط و که اختلاف‌نظر بر سر آن‌ها زیاد است
مطالعات موردی	پیمایش، تحلیل محتوا، تحلیل آماری و مشاهده مستقیم شرایط واقعی و نتیجه‌گیری بر اساس آن	برخورداری از طیف گسترده‌ای از ورودی‌های داده مشتمل بر مشاهده مستقیم	پرهزینه بودن و زمان بر بودن	کمی-کیفی	در شرایطی که ارزیاب به تعامل اجتماعی مستقیم با موضوع ارزیابی
بهینه‌گزینی ناموفق	یادگیری از مقایسه عملکرد یک واحد با نمونه‌های موفق و ناموفق	بهره‌گیری از تجارب موفق و ناموفق سایر کشورها (واحد‌ها) در طراحی سیاست‌ها	نادیده گرفتن تمام جنبه‌های اثرات سیاست - خطر ناهمخوانی مکانی زمانی از مطالعات تطبیقی	کیفی	یادگیری‌های حاصله می‌بایست به‌عنوان یک ورودی در طراحی و یا ارزیابی سیاست مدنظر سیاست‌گذاران مورد استفاده قرار گیرد

بر مبنای این جدول، سیاست‌گذار می‌تواند نیازهای مسئله خود را با ویژگی‌های بیان شده برای هر روش تطبیق داده و مکانیزم و یا روش مناسب ارزیابی را برگزیند. با توجه به اینکه روش ارزیابی توسط خبرگان نسبت به سایر روش‌ها دقیق‌تر و کم‌هزینه‌تر می‌باشد، در این سند از این روش برای ارزیابی اهداف کلان و خرد با توجه به شاخص‌های تعیین شده استفاده می‌شود.

#### ۵-۴- تدوین ساختار نظارت و به‌روزرسانی

پس از تدوین شاخص‌های ارزیابی و تدوین مکانیزم ارزیابی، می‌بایست ساختار نظارت و به‌روزرسانی سند تعیین گردد. عموماً هر سند ملی توسعه فناوری می‌بایست هر چند سال یکبار، مورد بازنگری قرار گرفته و بررسی مجدد شود. این موضوع به

دلیل این است که هم خود فناوری در حال تغییر و تحول است، هم شرایط محیطی آن فناوری اعم از محیط اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و فرهنگی آن فناوری در حال تغییر است و هم توانمندی شرکت‌ها و بنگاه‌های داخلی تغییر نموده و متناسب با این تغییرات هم ارکان جهت‌ساز، هم برنامه اقدامات و سیاست‌ها و برنامه عملیاتی می‌بایست بازنگری، اصلاح و تکمیل گردد.

با توجه به موارد فوق، می‌بایست ساختاری متشکل از تمامی ذی‌نفعان در زمینه توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت، اعم از سازمان‌ها و ارگان‌های دولتی، دانشگاهیان و پژوهشگران و متخصصین و همچنین صاحبان صنایع و بنگاه‌های خصوصی تأثیرگذار وظیفه ارزیابی و به روزرسانی را بر عهده داشته باشد. این ارزیابی و به روزرسانی هم می‌تواند موردی و مقطعی بنا به ضرورت بوده و اهداف تعیین شده برای هر یک از فناوری‌ها را بازنگری کند و هم می‌تواند به طور منظم هر ۳ یا ۵ سال یکبار به منظور بازنگری و اصلاح این اهداف رخ دهد. با توجه به اینکه اهداف تعیین شده در نقشه راه هر یک از فناوری‌ها از نظر زمانی با یکدیگر تفاوت دارند، در نتیجه در این سند ارزیابی به صورت موردی برای هر یک از این فناوری‌ها انجام خواهد شد

[۹].

## فصل پنجم:

فرایند ارزیابی سند توسعه

فناوری‌های الکترونیک قدرت

## ۶-۱- مقدمه

مکانیزمی که در این سند برای ارزیابی تحقق اهداف کلان، پروژه‌های فنی و اقدامات مدیریتی در نظر گرفته شده است شامل مراحل اصلی زیر می‌باشد:

- ❖ تدوین شاخص‌های عملکردی و اثربخشی
- ❖ شناسایی منابع اطلاعاتی برای اندازه‌گیری شاخص‌ها
- ❖ جمع‌آوری اطلاعات و مقایسه با معیارهای کمی تعیین شده
- ❖ تفسیر نتایج و ارائه پیشنهاد

مرحله اول از مکانیزم ارزیابی سند که شامل تدوین شاخص‌های عملکردی و اثربخشی می‌باشد قبل از اجرایی شدن سند صورت می‌پذیرد. در این مرحله برای اهداف کلان، پروژه‌های فنی و اقدامات مدیریتی هر یک از فناوری‌ها تعدادی شاخص تعریف شده است. پس از آغاز اجرایی شدن سند و تشکیل شورای راهبری سند، منابع اطلاعاتی که می‌توان میزان شاخص‌ها را با کمک آن‌ها تعیین کرد، شناسایی شده و طی دوره‌های زمانی مشخص مقادیر شاخص‌ها اندازه‌گیری شده و نتایج حاصل از آن مورد ارزیابی قرار گرفته و در صورت لزوم بازنگری‌های لازم صورت می‌پذیرد. در ادامه شاخص‌های مورد نیاز جهت به کارگیری فناوری‌های تجهیزات الکترونیک قدرت و نحوه دستیابی به آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۶-۲- تدوین شاخص‌های عملکردی و اثربخشی

شاخص، استاندارد است که دستیابی به آن نشان‌دهنده نیل به مقصد می‌باشد. جزئیات شاخص‌ها تعیین‌کننده طرز اندازه‌گیری دامنه دستیابی به اهداف عینی در زمان‌های مختلف می‌باشد. اندازه‌گیری‌ها می‌توانند کمی، کیفی و یا رفتاری باشند. شاخص‌ها همان ابزار نظارت بر پیشرفت سطوح راهبردی هستند که ناظر بر طبق آن‌ها میزان تحقق آن سطح را اندازه‌گیری می‌نماید. از همین‌رو شاخص‌ها می‌باید ابعاد مختلف سطوح راهبردی را مورد توجه قرار دهند به شکلی که پیشرفت امور بر اساس شاخص‌ها تضمین‌کننده تحقق کامل اقدامات گردد.

با توجه به موارد مطرح شده، در این بخش شاخص‌ها در سطوح اهداف کلان، پروژه‌های فنی و اقدامات مدیریتی طراحی شده‌اند. در ادامه شاخص‌های تعیین شده برای بررسی تحقق اهداف کلان، پروژه‌های فنی و اقدامات مدیریتی برای هر یک از فناوری‌ها در جداول زیر آورده شده‌اند.

#### جدول (۶-۱): شاخص‌های ارزیابی اهداف کلان توسعه فناوری الکترونیک قدرت

شاخص	اهداف کلان
آمار تولیدات داخلی و حجم واردات کشور در حوزه تجهیزات الکترونیک قدرت و تعداد تجهیزات دارای استاندارد ساخت کشور	دستیابی به جایگاه نخست مصرف در بازار داخلی با قابلیت رقابتی بین‌المللی
نسبت بهره‌برداری از تجهیزات بومی داخلی به کل تجهیزات داخلی در مقایسه با کشورهای منطقه در حوزه‌های اولویت‌دار	پیشتازی در طراحی، تولید و بهره‌برداری از تجهیزات تولید شده بومی در میان کشورهای منطقه
آمار گمرک کشور	دستیابی به سهمی از بازارهای بین‌المللی به ویژه بازارهای منطقه
ساخت ۵۰ نمونه آزمایشگاهی نیمه صنعتی	برخورداری مراکز آموزشی و پژوهشی کشور از دانش روز دنیا در زمینه فناوری‌های جدید و نوظهور با رویکرد ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی

## جدول (۶-۲): شاخص های ارزیابی پروژه های توسعه فناوری الکترونیک قدرت

نام طرح	افق اجرای طرح	اهداف	شاخص
پیاده سازی یک SVC تجاری قابل جابجایی در شبکه توزیع	۱۳۹۷	طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی SVC قابل جابجایی با ظرفیت ۱۲ MVAR	ساخت تجهیز و بهره برداری از آن بمدت سه ماه
پیاده سازی یک نمونه D-Statcom قابل جابجایی در شبکه توزیع	۱۳۹۷	طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی D-STATCOM با ظرفیت $\pm 2$ MVAR	ساخت تجهیز و بهره برداری از آن بمدت سه ماه
پیاده سازی یک TSC ماژولار تجاری صنعتی	۱۳۹۶	دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت TSC صنعتی	وجود حداقل یک واحد تولیدی با محصول TSC در کشور
پیاده سازی یک نمونه مبدل ژنراتور مغناطیس دائم توربین بادی	۱۳۹۸	طراحی و ساخت مبدل الکترونیک قدرت مقیاس کامل توربین بادی مبتنی بر ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم ۲۵۰ کیلوواتی	ساخت تجهیز و بهره برداری از آن بمدت شش ماه
پیاده سازی یک نمونه مبدل فتوولتائیک مگاواتی	۱۳۹۸	طراحی و ساخت اینورتر فتوولتائیک نیروگاهی یک مگاواتی نیمه صنعتی	ساخت تجهیز و بهره برداری از آن بمدت شش ماه
پیاده سازی یک نمونه ذخیره ساز انرژی باتری مگاواتی	۱۳۹۸	طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی ذخیره ساز انرژی باتری به ظرفیت دو مگاوات ساعت	ساخت تجهیز و بهره برداری از آن بمدت شش ماه
پیاده سازی یک DVR صنعتی	۱۳۹۹	طراحی و ساخت DVR به ظرفیت ۳۰۰ کیلو ولت آمپر و ولتاژ ۴۰۰ ولت	ساخت تجهیز و بهره برداری از آن بمدت سه ماه
پیاده سازی یک نمونه STS تحقیقاتی	۱۳۹۷	طراحی و ساخت نمونه نیمه صنعتی STS با ولتاژ ۴۰۰ ولت و ۴۰۰ آمپر	ساخت تجهیز و بهره برداری از آن بمدت سه ماه

نام طرح	افق اجرای طرح	اهداف	شاخص
دانش فنی طراحی و ساخت SFC نیروگاهی	۱۳۹۷	دانش فنی طراحی و تهیه نقشه‌های اجرایی SFC در کاربرد نیروگاه گازی و تلمبه ذخیره‌ای	گزارشات طراحی شامل طراحی بیسیک، طراحی جزئیات و مدارک/نقشه های فنی برای یک نمونه
دانش فنی طراحی و ساخت سیستم تحریک نیروگاهی	۱۳۹۸	دانش فنی طراحی و تهیه نقشه‌های اجرایی سیستم تحریک در کاربرد نیروگاه گازی و آبی	گزارشات طراحی شامل طراحی بیسیک، طراحی جزئیات و مدارک/نقشه های فنی برای یک نمونه
طرح ملی آزمایشگاه شبیه ساز بلادرنگ طراحی، توسعه و آزمون تجهیزات الکترونیک قدرت	۱۴۰۰	فراهم نمودن آزمایشگاهی جهت تست کلیه تجهیزات الکترونیک قدرت تا ظرفیت ۵ مگاوات آمپر	انجام تست تجهیز به ظرفیت ۲ تا ۵ مگاوات آمپر در این آزمایشگاه
حمایت از تجهیز آزمایشگاه‌های تحقیقاتی موجود و تشکیل شبکه آزمایشگاهی	۱۴۰۴	ایجاد شبکه آزمایشگاهی جهت تحقیق و توسعه در زمینه الکترونیک قدرت بشکلی که برای کلیه محققین این حوزه در سراسر کشور تجهیزات زیر قابل دسترس باشد.	نظرسنجی از محققین کشور در این خصوص



جدول (۳-۶): شاخص های ارزیابی اقدامات توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت

شاخص	بازه زمانی <sup>۲</sup> (سال)	مدت اجرا <sup>۱</sup> (ماه)	اقدامات
به تفصیل در جدول (۵-۲) بیان شده است.			تعریف پروژه های ملی مورد حمایت دولت در راستای نیازمندی های کشور
برگزاری حداقل ۶ جلسه در هر سال	۱۰		تشکیل جلسات شورا
-	۱		تامین محل استقرار دبیرخانه شورا و تجهیز آن (سخت افزاری و نرم افزاری)
-	۱۰		فعالیت های اجرایی دبیرخانه
حمایت مالی از ۱۰ پایان نامه با در نظر گرفتن استانداردهای مورد قبول شورای راهبری	۱۰		حمایت مالی از پایان نامه های کارشناسی ارشد مطالعاتی
حمایت مالی از ۲۰ پایان نامه با در نظر گرفتن استانداردهای مورد قبول شورای راهبری	۱۰		حمایت مالی از پایان نامه های کارشناسی ارشد کاربردی
حمایت مالی از ۳۰ پایان نامه با در نظر گرفتن استانداردهای مورد قبول شورای راهبری	۱۰		حمایت مالی از پایان نامه های دکتری
			تشکیل شورای راهبری توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت
			حمایت از تحقیق و پژوهش بویژه پژوهش های نیاز محور مرتبط با تجهیزات الکترونیک قدرت

۱. زمانی که لازم است هر یک از اقدامات به صورت پیوسته در یک سال انجام گیرد.

۲. بازه زمانی که هر یک از اقدامات می بایست در آن زمان انجام گیرد و امکان دارد به صورت مقطعی انجام گیرد.

شاخص	بازه زمانی <sup>۲</sup> (سال)	مدت اجرا <sup>۱</sup> (ماه)	اقدامات
حمایت مالی از ۴ پایان نامه با در نظر گرفتن استانداردهای مورد قبول شورای راهبری	۵		حمایت تشویقی از صنعتی شدن نتایج پایان نامه ها در ۵ سال اول
حمایت مالی از ۸ پایان نامه با در نظر گرفتن استانداردهای مورد قبول شورای راهبری	۵		حمایت تشویقی از صنعتی شدن نتایج پایان نامه ها در ۵ سال دوم
راه اندازی یک انجمن صنفی در زمینه تولیدکنندگان و تامین کنندگان قطعات و تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق	۱	۱۲	تأسیس دفتر ارتباط با تشکل های علمی، صنفی و غیردولتی حامی توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق
انجام ۲ مطالعه با مشخصات ذکر شده	۱	۶	مطالعه و شناسایی زمینه های توسعه تشکل های علمی، صنفی و غیردولتی حامی فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت و راهکارهای انگیزشی و حمایتی از آنها
ایجاد یک بانک اطلاعاتی مناسب با مشخصات ذکر شده با توجه به استانداردهای شورا	۱۰	۱۲	ایجاد و توسعه شبکه اطلاع رسانی به تشکل های فعال به منظور ارائه آخرین اخبار و تحولات و تصمیمات اخذ شده در حوزه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق
-	۱۰	۱۲	ارائه خدمات علمی به تشکل های فعال و زمینه سازی برای برقراری تبادل علمی و فنی بین آنها و سایر تشکل های داخل و خارج کشور
تدوین دو گزارش مطابق با مشخصات ذکر شده	۱	۹	انجام مطالعات شامل نیازسنجی آموزشی و بهینه کاوی روش های جذب و تربیت نیرو به منظور یافتن روش های جدید جذب و تربیت نیرو
برگزاری شش سمینار	۵		برگزاری سمینارهای آموزشی
برگزاری ۵ کارگاه آموزشی در پنج سال	۵		برگزاری کارگاه های آموزشی

تربیت و جذب نیروی انسانی متخصص مورد نیاز

شاخص	بازه زمانی <sup>۲</sup> (سال)	مدت اجرا <sup>۱</sup> (ماه)	اقدامات	
برگزاری ۱۰ دوره ضمن خدمت در پنج سال	۵		طراحی دوره های ضمن خدمت یا On-the Job Training	
تدوین یک گزارش مطابق با مشخصات ذکر شده	۱	۳	مطالعه و بررسی سطح فنی تولید کشور و پتانسیل موجود	تدوین قوانین، مقررات و دستورالعمل های مورد نیاز برای حمایت از توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت
تدوین یک گزارش مطابق با مشخصات ذکر شده	۱	۳	مطالعه تطبیقی در زمینه مکانیزم حمایت سایر کشورها	
تدوین یک گزارش مطابق با مشخصات ذکر شده	۱	۳	تدوین قوانین و مقررات حمایت از تولید داخل با زمان بندی مشخص	
-	۱	۲	هماهنگی و ابلاغ به تمامی نهادهای مرتبط	
تدوین ۱ گزارش با مشخصات ذکر شده	۱	۴	مطالعه و بررسی نحوه استفاده از سازوکارهای مختلف انگیزشی - حمایتی از بنگاه های تولیدکننده تجهیزات الکترونیک قدرت	ایجاد سازوکارهای مختلف انگیزشی - حمایتی از شرکتهای تولیدکننده تجهیزات اولویت دار نظیر اعطای معافیت های مالیاتی، اعطای وام و ...
راه اندازی یک پایگاه اطلاع رسانی و برگزاری نمایشگاه تخصصی هر دو سال یکبار	۵	۱۲	اطلاع رسانی عمومی و تخصصی از طریق بولتن، پایگاه اطلاع رسانی و نمایشگاه های تخصصی در جهت معرفی مزیت ها و جنبه های فنی و اقتصادی فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت	
تدوین دو گزارش در زمینه پیشنهاد مجموعه ای از قوانین مورد نیاز با مشخصات ذکر شده	۱	۹	تدوین و پیشنهاد مجموعه ای از قوانین، آئین نامه ها و مصوبات لازم در جهت حمایت از فن آوری تجهیزات الکترونیک قدرت و ارتقاء تحقیق و توسعه و تجاری سازی آن از روش های مختلف	
تدوین ۲ گزارش با مشخصات ذکر شده	۵	۱۲	هماهنگی و حمایت از ایجاد بازارهای داخلی و تسهیل دسترسی فعالان صنعت فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت به بازارهای بین المللی	
حمایت علمی و فنی از ۱۰ بنگاه با مشخصات ذکر شده	۵	۱۲	حمایت علمی، فنی و تکنولوژیکی از بنگاه های اقتصادی فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت توسط نهادهای متولی تحقیق و توسعه	

شاخص	بازه زمانی <sup>۲</sup> (سال)	مدت اجرا <sup>۱</sup> (ماه)	اقدامات
هر دو سال یک مطالعه به همراه ۶ گزارش	۱۰		استمرار مطالعات راهبردی مورد نیاز در خصوص فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت
تدوین ۱ گزارش با مشخصات ذکر شده	۱	۳	مطالعه و بررسی انواع روش‌های تامین مالی
تدوین ۱ گزارش با مشخصات ذکر شده	۱	۳	مطالعه و بررسی ظرفیت‌های مالی سایر ارگان‌های دولتی
تدوین دو گزارش با مشخصات ذکر شده	۱	۴	مطالعات تطبیقی در زمینه مکانیزم تامین مالی سایر کشورها در زمینه توسعه تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق
تدوین ۱ گزارش با مشخصات ذکر شده	۱	۴	تدوین مکانیزم تامین منابع مالی پایدار برای توسعه تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق
-	۱	۳	هماهنگی و رایزنی با مراجع ذیربط
به تفصیل در جدول (۵-۲) بیان شده است.			حمایت از تجهیز آزمایشگاه‌های تحقیقاتی موجود و تشکیل شبکه آزمایشگاهی
به تفصیل در جدول (۵-۲) بیان شده است.			حمایت از ایجاد محیط مناسب تست عملیاتی و ایجاد آزمایشگاه شبیه ساز بلادرنگ طراحی، توسعه و آزمون تجهیزات الکترونیک قدرت

بهره‌گیری از ظرفیت‌های مالی سایر ارگان‌های دولتی مرتبط (صندوق‌های توسعه فناوری و بودجه‌های تحقیق و توسعه) (تسهیل ورود سرمایه‌گذاران خطر پذیر)

### ۳-۶- تدوین ساختار نظارت، به روزرسانی و مکانیزم ارزیابی

همانطور که اشاره شد، به منظور تحقق اهداف سند لازم است ساز و کاری اندیشیده شده و ساختار نظارتی برای آن تعیین گردد. وزارت نیرو وظیفه سیاستگذاری کلان، هماهنگی و نظارت کلان بر اجرای این سند را برعهده دارد. شورای راهبری توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت بر نحوه اجرای این سند نظارت می‌کند و بازنگری‌های لازم در سند و گزارش کلان مربوطه را در فواصل زمانی مشخص ارائه خواهد نمود. این شورا با ایجاد ساز و کارهای لازم و استفاده از نهادهای مختلف، ضمن انجام تصمیم‌گیری‌های لازم، وظیفه نظارت بر تحقق اهداف سند و ارزیابی پیشرفت کار را برعهده دارد. از جمله وظایف اصلی این شورا می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

❖ سیاست‌گذاری اجرایی، راهبری، هماهنگی و ایجاد ارتباطات بین دستگاهی لازم برای توسعه فناوری تجهیزات

الکترونیک قدرت در کشور

❖ نظارت و پیگیری اجرای دقیق و کامل مفاد سند

❖ پایش شاخص‌های عملکردی و اثربخشی

### ۴-۶- مکانیزم عملکرد

با توجه به وظایف مطرح شده برای این شورا، می‌بایست مکانیزمی اندیشیده شود که به عنوان چارچوبی برای انجام فعالیت‌های ارزیابی در نظر گرفته شود. همانطور که اشاره شد، از جمله وظایف اصلی شورای راهبری توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت نظارت و پیگیری اجرای دقیق و کامل مفاد سند و پایش شاخص‌های عملکردی و اثربخشی می‌باشد. لذا اعضای شورا جهت انجام وظایف در نظر گرفته شده می‌بایست جلسات منظم ماهانه برگزار کرده و در فاصله بین جلسات از طریق همکاری و اخذ آمار و گزارش‌ها از دستگاه‌های متولی حوزه‌های مرتبط، شاخص‌های تعیین شده را ارزیابی کرده و پس از نهایی‌سازی و تلفیق آنها گزارش آن را در دوره‌های زمانی ۶ ماهه به وزارت نیرو اعلام نماید.

اعضای شورا موظفند طبق نتایج حاصل از ارزیابی شاخص‌ها، اقدامات لازم را جهت اطمینان از تحقق سند در افق ۱۰ ساله، اتخاذ کنند. شورای راهبری سند در صورت نیاز به اصلاح ساختارها و ساز و کارهای نهادی ذیربط، از طریق مراجع ذیصلاح گردش کار را انجام خواهد داد.

همچنین شورا موظف است به رصد فناوری‌های مرتبط و در حال توسعه در این حوزه بپردازد و گزارش آن را طی دوره‌های زمانی ۲ ساله ارائه نماید. با توجه به روند تحولات و نیز وضعیت پیشرفت سند، لازم است سند طی دوره‌های ۲ ساله مورد بازبینی و تجدیدنظر قرار گیرد.

وضعیت پیشرفت بر اساس شاخص‌های اهداف کلان، پروژه‌های فنی و اقدامات مدیریتی مشخص می‌شود. در صورتی که پس از گذشت ۳ سال از آغاز اجرای سند، میزان تحقق هر یک از شاخص‌های در نظر گرفته شده تا آن مقطع زمانی به طور میانگین کمتر از ۳۰ درصد باشد، شورای راهبری سند باید نسبت به توقف اجرا اقدام نماید و تصمیمات لازم را اتخاذ کند. در صورتی که میزان تحقق شاخص‌ها کمتر از ۷۰ درصد باشد بایستی سند از سوی شورای راهبری مورد بازنگری و اصلاح قرار گیرد. همچنین در صورت تحقق بیش از ۷۰ درصد شاخص‌های مذکور، شورای راهبری می‌تواند با بررسی گلوگاه‌ها و موانع موجود بر سر راه تحقق کامل هر یک از اقدامات و برنامه‌ها نسبت به رفع آنها و ادامه اجرای سند اقدام نماید.

## نتیجه گیری

مرحله ششم این سند به عنوان آخرین مرحله از طرح "تدوین سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری‌های تجهیزات الکترونیک قدرت در شبکه برق" به تدوین برنامه ارزیابی و به روزرسانی این سند پرداخته است. در این مرحله مشخص شد که چه افرادی در چه ساختاری و بر اساس چه شاخص‌ها و معیارهایی باید به ارزیابی پیشرفت اجرای سند در طول بازه زمانی تعریف شده بپردازند. برای این کار ابتدا شاخص‌هایی در سطح اهداف کلان، پروژه‌های فنی و اقدامات مدیریتی تعریف شد. سپس ساختار نظارت، به روزرسانی و ارزیابی سند مشخص شد.

در نهایت تعیین گردید که شورای راهبری توسعه فناوری تجهیزات الکترونیک قدرت در بازه‌های زمانی ۶ ماهه به پیگیری و ارزیابی اجرای سند بر اساس شاخص‌های تعریف شده بپردازد و گزارش آن را به وزارت نیرو ارائه کند. همچنین مقرر شد این شورا با توجه به وضعیت پیشرفت سند نسبت به بازنگری آن اقدام نماید.

## مراجع

- 1-Haveman, Robert. 1987. Policy Evaluation Research after Twenty Years. Policy Studies Journal 16: 191–218.
- 2-Wholey, Joseph S., et al. 1970. Federal Evaluation Policy. Washington, DC: The Urban Institute.
- 3-Weiss, Carol H. 1998. Evaluation. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- 4-Mohr, Lawrence. 1995. Impact Analysis for Program Evaluation. 2nd ed. Thousand Oaks, CA: Sage.
- 5-Polt and Rojo, 2002, evaluation methodologies. chapter in RTD evaluation toolbox. IPTS technical report series, EUR 20382 EN.
- 6-Kellogg, W. K., 2004. Logic model development guide. Michigan: WK Kellogg Foundation
- 7-Licht and Sirilli, 2002, innovation survey, chapter in RTD evaluation toolbox, IPTS technical report series, EUR 20382 EN.
- 8-Capron, H., & Cincera, M. 2000. Technological performance. In The National Innovation System of Belgium (pp. 175-198). Physica-Verlag HD.

۹-روش شناسی تدوین اسناد ملی فناوری‌های راهبردی، مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور ۱۳۹۱.