

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سند راهبردی و نقشه‌ی راه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق. روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه‌ی راه‌کارهای کاهش آن‌ها

مدیر پروژه: دکتر محمد علی جعفری صحنه‌سرایبی

گروه پژوهشی سازه‌های انتقال نیرو

راهبر: معاونت فناوری

ناشر: پژوهشگاه نیرو

کارفرما: شرکت توانیر

سفارش‌دهنده: وزارت نیرو

اعضای محترم کمیته راهبری تدوین سند:

✦ دکتر نعمت حسنی

✦ دکتر وحید شاه‌حسینی

✦ دکتر هاشم علی‌پور

✦ دکتر نصرت‌الله فلاح

✦ دکتر محمدعلی لطف‌اللهی یقین

✦ دکتر رضا کرمی محمدی



نوشتار حاضر، گزارش انجام مرحله اول از پروژه تدوین سند راهبردی "تدوین سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه راهکارهای کاهش آنها" می‌باشد. پروژه مذکور به عنوان اولین گام اجرایی از طرح کلان و راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، در گروه سازه‌های انتقال و توزیع تعریف شده است. این گزارش، حاوی فعالیت‌های مختلف صورت گرفته در راستای انجام مرحله اول (تدوین مبانی سند توسعه فناوری پایش سلامت سازه‌ها) پروژه می‌باشد. فعالیت‌های مذکور شامل معرفی و بررسی فناوری پایش سلامت سازه‌ها از منظرهای مختلف و وضعیت و جایگاه آن در صنایع مختلف در دنیا و ایران، تعیین و تبیین ابعاد و محدوده مطالعات سند و مشخصه‌ها و ویژگی‌های اساسی فناوری مورد نظر می‌باشند.

مدیر پروژه

محمد علی جعفری صحنه سرایی

فهرست مطالب

۱-مقدمه.....	۱
۱-۱- معرفی کلی فناوری پایش سلامت سازه‌ها.....	۶
۱-۲- پیشینه پایش سلامت در سازه‌ها.....	۱۳
۱-۳- پیشینه و انگیزه‌های پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق.....	۱۹
۱-۳-۱- پایش سلامت سازه در نیروگاه‌های هسته‌ای.....	۱۹
۱-۳-۲- پایش سلامت سازه در نیروگاه‌های برق آبی (سدها).....	۲۲
۱-۳-۳- پایش سلامت سازه در توربین‌های بادی.....	۲۵
۱-۳-۴- پایش سلامت سازه در دکل‌های انتقال و توزیع برق.....	۲۶
۱-۴- وضعیت و جایگاه فناوری پایش سلامت سازه‌ها در جهان.....	۲۹
۱-۴-۱- فعالیت‌های تحقیقاتی.....	۲۹
۱-۴-۱-۱- شبکه‌ها و مؤسسات علمی و تحقیقاتی.....	۳۲
۱-۴-۱-۲- دانشگاه‌ها و مراکز آموزشی.....	۳۳
۱-۴-۱-۳- کنفرانس‌ها و کارگاه‌های تخصصی.....	۳۴
۱-۴-۱-۴- ژورنال‌ها و مجلات علمی.....	۳۶
۱-۴-۲- فعالیت‌های اجرایی.....	۳۷
۱-۴-۲-۱- استانداردهای مرتبط با پایش سلامت سازه‌ها در دنیا.....	۳۷
۱-۴-۲-۲- شرکت‌های مرتبط با پایش سلامت سازه‌ها در دنیا.....	۳۸
۱-۴-۲-۳- نمونه‌هایی از پروژه‌های اجرا شده در دنیا.....	۳۹
۱-۴-۲-۴- نمونه‌هایی از پروژه‌های اجرا شده در سازه‌های صنعت برق.....	۴۳
۱-۴-۲-۴-۱- نمونه برنامه‌های استراتژیک پایش سلامت سازه‌ها در دنیا.....	۴۹



- ۱-۴-۲-۵- تأمین بودجه تحقیقات در زمینه پایش سلامت سازه‌ها ۵۲
- ۱-۵- وضعیت و جایگاه فناوری پایش سلامت سازه‌ها در ایران ۵۳
- ۱-۵-۱- فعالیت‌های تحقیقاتی ۵۳
- ۱-۵-۱-۱- دانشگاه‌ها و مؤسسات علمی ۵۳
- ۱-۵-۲- فعالیت‌های اجرایی ۵۴
- ۲- توجیه ضرورت توسعه فناوری پایش سلامت سازه‌ها در صنعت برق ۵۶
- ۲-۱- توجیه‌پذیری فنی ۵۶
- ۲-۲- توجیه‌پذیری اقتصادی ۶۱
- ۲-۲-۱- توجیه اقتصادی پایش سلامت سازه در نیروگاه‌های هسته‌ای ۶۴
- ۲-۲-۲- توجیه اقتصادی پایش سلامت سازه در توربین‌های بادی ۶۴
- ۲-۲-۳- توجیه اقتصادی پایش سلامت سازه در دکل‌های انتقال برق ۶۷
- ۲-۳- توجیه‌پذیری سیاسی اجتماعی ۶۸
- ۲-۴- توجیه‌پذیری زیست محیطی ۶۹
- ۲-۵- توجیه‌پذیری قانونی ۷۰
- ۳- تبیین ابعاد موضوع و محدوده مطالعات ۸۱
- ۳-۱- تبیین سطح تحلیل ۸۱
- ۳-۲- تعیین افق زمانی برنامه‌ریزی ۸۲
- ۳-۳- مرزبندی فنی ۸۳
- ۳-۳-۱- سازه‌های بخش تولید برق ۸۳
- ۳-۳-۲- سازه‌های بخش انتقال برق ۸۵
- ۳-۳-۳- سازه‌های بخش توزیع برق ۸۵



- ۴-تبیین مشخصه های فناوری پایش سلامت سازه‌ها..... ۸۶
- ۴-۱-طبقه‌بندی فناوری پایش سلامت سازه‌ها از منظر ماهیت..... ۸۶
- ۴-۱-۱-سابقه فناوری پایش سلامت سازه‌ها..... ۸۶
- ۴-۱-۲-پیچیدگی فناوری پایش سلامت سازه‌ها..... ۸۷
- ۴-۱-۳-تناسب فناوری پایش سلامت سازه‌ها..... ۹۰
- ۴-۱-۴-حوزه استفاده (کاربرد) فناوری پایش سلامت سازه‌ها..... ۹۵
- ۴-۱-۵-موقعیت راهبردی فناوری پایش سلامت سازه‌ها..... ۹۶
- ۴-۲-طبقه‌بندی فناوری پایش سلامت سازه‌ها از منظر چرخه عمر..... ۹۷
- ۴-۲-۱-چرخه عمر فناوری..... ۹۷
- ۴-۲-۲-چرخه عمر محصول- بازار..... ۱۰۴
- ۵-جمع بندی و نتیجه‌گیری..... ۱۰۷
- ۶-مراجع..... ۱۰۹

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: فرو ریختن پل I-35 در میناپولیس، مینسوتا، ایالات متحده آمریکا ۱۶
- شکل ۲-۱: نمای شماتیک شبکه سنسورهای فیبر نوری نصب شده در مقطع عرضی سد وزنی ۲۴
- شکل ۳-۱: نمای شماتیک شبکه سنسورهای فیبر نوری نصب شده در مقطع عرضی سد قوسی بتنی ۲۵
- شکل ۴-۱: سیستم پایش پایه های تلسکوپی توزیع و انتقال برق ۲۹
- شکل ۵-۱: میزان مقالات منتشر شده در زمینه پایش سلامت سازه‌ها در دنیا ۳۰
- شکل ۶-۱: ۱۰ کشور اول دنیا در انتشار مقالات مرتبط با پایش سلامت سازه‌ها ۳۱
- شکل ۷-۱: روند رشد انتشار مقالات مرتبط با پایش سلامت سازه‌ها در کشورهای مختلف ۳۱
- شکل ۸-۱: نمایی از سد وزنی PLAVINU HES ۴۴
- شکل ۹-۱: نمایی از سد قوسی EMOSSON ۴۵
- شکل ۱۰-۱: نمایی از سد قوسی LUZZONE ۴۵
- شکل ۱۱-۱: توربین‌های بادی تجهیز شده با سنسورهای وایرلس، NEG MICON (A) و VESTAS (B) (در کشور آلمان) ۴۶
- شکل ۱۲-۱: ساختار سیستم SHM برای توربین بادی ۵۰۰ کیلووات ۴۷
- شکل ۱۳-۱: سنسور شتاب سنج نصب شده بر دکل انتقال برق [۴۹] ۴۸
- شکل ۱۴-۱: سنسور شتاب سنج نصب شده بر دکل انتقال برق (تایوان) ۴۹
- شکل ۱۵-۱: برج میلاد تهران ۵۶
- شکل ۱-۲: فواید توسعه عملکرد و نوسازی سیستم با استفاده از تکنولوژی‌های پایش سلامت سازه ۶۱
- شکل ۲-۲: آنالیز هزینه-سود استفاده از سنسور به منظور پایش سلامت توربین بادی ۶۷
- شکل ۳-۲: آنالیز حساسیت نقطه سر به سر به قیمت سیستم سنسورها ۶۷
- شکل ۱-۴: مقدمه استاندارد پایش سلامت سازه‌ها در چین ۹۵



- شکل ۲-۴: ارتباط چرخه عمر فناوری با چرخه عمر زیر فناوری‌ها..... ۹۸
- شکل ۳-۴: معیار تنوع مدل‌های موجود فناوری در تخمین چرخه عمر..... ۹۹
- شکل ۴-۴: معیار نوع بهبود در تعیین چرخه عمر فناوری..... ۱۰۰
- شکل ۵-۴: معیار نوع پیروزی در صنعت در تعیین چرخه عمر فناوری..... ۱۰۱
- شکل ۶-۴: درآمد بازار سنسورهای فیبر نوری و پیش‌بینی آن در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ میلادی..... ۱۰۵



فهرست جداول

- جدول ۱-۱: رویکردهای مختلف تفسیری از عنوان سند پایش سلامت سازه ۴
- جدول ۲-۱: برنامه کلی زمانی و هزینه برای تحقیقات آزمایشگاهی پیاده‌سازی سیستم پایش آنلاین در اجزای سازه‌ای رآکتورهای نیروگاه هسته‌ای ۲۲
- جدول ۱-۴: وضعیت رشد تکنولوژی تشخیص (D) و پیش‌بینی (P) خرابی در اجزای تولید برق ۱۰۲
- جدول ۲-۴: وضعیت رشد تکنولوژی تشخیص (D) و پیش‌بینی (P) خرابی در اجزای نیروگاه‌های هسته‌ای ۱۰۳

۱- مقدمه

فرآیند شناسایی، تشخیص و پیش‌بینی خرابی مربوط به سازه‌ها و زیر ساخت‌های هوا فضا، عمران و مهندسی مکانیک با عنوان کلی پایش سلامت سازه یا به اختصار، SHM^۱ معرفی می‌شود. هدف این فرآیند، شناسایی خرابی در سیستم‌های سازه‌ای و مکانیکی است. بنابراین تعریف خرابی محدود به تغییرات ایجاد شده در مشخصه‌های ماده یا مشخصه‌های هندسی این سیستم‌ها است که می‌تواند تأثیر نامطلوبی بر میزان کارایی فعلی و آتی این سیستم‌ها داشته باشد. این فرآیند شامل پایش یک سازه یا سیستم مکانیکی در طول زمان با استفاده از اندازه‌گیری‌های دوره‌ای منظم، بدست آوردن مشخصه‌های حساس به خرابی از این اندازه‌گیری‌ها و تجزیه و تحلیل آماری این مشخصه‌ها برای تعیین وضعیت فعلی سلامت سیستم است. بعبارت دیگر، پایش سلامت در واقع همان ارزیابی وضع موجود بصورت پیوسته در زمان است که با استفاده از ابزارها و تکنولوژی‌های مدرن صورت گرفته و وقوع خرابی‌ها را در سریعترین زمان ممکن به اطلاع می‌رساند.

هدف از انجام طرح حاضر، کسب دانش فنی به همراه تعیین ملزومات و نیازمندی‌های فنی و تکنیکی و سخت‌افزاری و نرم‌افزاری جهت نصب و بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق؛ با هدف پیش‌بینی و تشخیص آسیب و ارائه راهکارهای جلوگیری یا کاهش آسیب می‌باشد. با توجه به اینکه فناوری پایش سلامت سازه‌ها دارای کاربردهای وسیع در حوزه‌های مختلف مهندسی سازه (از مرحله طراحی و ساخت تا نگهداری و تعمیر) بوده و از طرف دیگر، نیاز به حوزه‌های مختلفی از دانش علمی و فنی، تخصص و فناوری دارد، وجود برنامه‌ای جامع برای هماهنگ‌سازی و جهت‌دهی فعالیت‌های مورد نیاز ذینفعان مختلف و افزایش کارایی و اثربخشی آنها، ضروری می‌باشد. بدین منظور در گام نخست از اجرای این طرح، به تدوین سند راهبردی و نقشه راه فناوری پایش سلامت سازه‌ها پرداخته می‌شود. سند راهبردی، مجموعه‌ای از چشم‌انداز، اهداف، سیاست‌ها، راهبردها، اقدامات و

¹ - Structural Health Monitoring

برنامه‌های ساختار یافته‌ای است که به دنبال توسعه فناوری با مداخله هوشمندانه دولت بوده و با پشتیبانی از نوآوری، آینده مطلوب از توسعه فناوری و مسیر رسیدن به آن را در کشور مشخص می‌کند.

وجود یک سند راهبردی و نقشه راه جامع سبب هدایت صحیح فعالیت‌ها و سرمایه مورد نیاز برای توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق و نیل به اهداف آن خواهد شد.

از جمله موارد مهم که لازم است در مراحل ابتدایی سند مشخص گردد، تعریف دقیق مرز و محدوده سند می‌باشد. تعیین تعاریف و مفاهیم اصلی در ابتدا، کار مهمی است که موجب روشن گشتن و وضوح مسیر حرکت در مراحل بعدی سند می‌گردد. در این طرح نیز با توجه به عنوان تعریف شده برای آن، "تدوین سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه راهکارهای کاهش آنها" و وجود تفسیرهای گوناگون از خروجی حاصل از تدوین این سند، لزوم تدقیق مرز تعریف سند در ابتدای کار ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین در ادامه جهت یکپارچگی برداشت‌ها، تفسیرهای متفاوت از عنوان سند و همچنین خروجی مورد نظر در صورت تدوین سند با توجه به هر کدام از این عناوین ذکر می‌گردند. تفاسیر ممکن از عنوان سند، می‌تواند شامل موارد ذیل باشد:

↪ سند راهبردی ساخت و بهره‌برداری تجهیزات و فناوری‌های پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

↪ سند راهبردی دانش فنی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

↪ سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

↪ سند راهبردی مدیریت سیستم پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

جهت شناسایی و درک بیشتر هریک از تفاسیر فوق از عنوان سند، خروجی‌های مورد انتظار در هر کدام مورد بررسی قرار گرفته و در ادامه، تفسیر مورد نظر در این سند عنوان گردیده است:

۱. سند راهبردی ساخت و بهره‌برداری تجهیزات و فناوری‌های پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق:

در تدوین این سند، هدف، دستیابی به یک برنامه جامع جهت شناسایی تجهیزات پایش سلامت مناسب برای انواع سازه‌های برق و نحوه چگونگی ساخت و بهره‌برداری از این تجهیزات می‌باشد. خروجی‌های متصور حاصل از تدوین این سند با این عنوان می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

- درخت فناوری ساخت و بهره‌برداری تجهیزات پایش سلامت
- اولویت‌بندی تجهیزات
- ارزیابی توانمندی ساخت و بهره‌برداری تجهیزات
- مدل اکتساب ساخت و بهره‌برداری تجهیزات
- تدوین برنامه عملیاتی جهت ساخت و بهره‌برداری تجهیزات

۲. سند راهبردی دانش فنی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق:

در تدوین این سند، هدف، کسب دانش فنی به همراه تعیین ملزومات و نیازمندی‌های فنی و تکنیکی و سخت‌افزاری و نرم‌افزاری جهت نصب و بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق می‌باشد. خروجی سند با این عنوان، می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

- درخت فناوری دانش فنی پایش سلامت در سازه‌های برق
- اولویت‌بندی دانش فنی پایش سلامت در سازه‌های برق
- ارزیابی توانمندی دانش فنی پایش سلامت در سازه‌های برق
- مدل اکتساب دانش فنی و پایش سلامت در سازه‌های برق
- تدوین برنامه عملیاتی دانش فنی پایش سلامت در سازه‌های برق

۳. سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

در تدوین سند با این عنوان، پایش سلامت در سازه‌های برق به عنوان یک بخش دیده می‌شود. خروجی سند با این عنوان، می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

- شناسایی حوزه‌های اصلی در بحث پایش سلامت با استفاده از ترسیم زنجیره ارزش

- شناسایی حوزه‌های با اولویت
- تدوین اهداف و استراتژی‌ها در حوزه‌های با اولویت از پایش سلامت
- تدوین برنامه عملیاتی جهت تحقق اهداف در حوزه‌های با اولویت

۴. سند راهبردی مدیریت سیستم پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

در تدوین سند با این عنوان، پایش سلامت در سازه‌های برق از لحاظ ساختاری مورد بررسی قرار می‌گیرد. در واقع در این سند به این سوال پاسخ داده می‌شود که در رابطه با پایش سلامت در سازه‌های برق چه سازمان یا نهادی چه فعالیتی را با چه فرایندی انجام می‌دهد. به طور مثال، خروجی سند با این عنوان، می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

- تعیین نقش‌های اصلی در حوزه پایش سلامت در سازه‌های برق
- تقسیم نقش‌ها در حوزه پایش سلامت در سازه‌های برق
- بازمهندسی ساختارها در حوزه پایش سلامت در سازه‌های برق

موارد اشاره شده در رابطه با عناوین سند و خروجی‌های مورد انتظار آن، به طور خلاصه در جدول زیر نیز ارائه شده‌اند:

جدول ۱-۱: رویکردهای مختلف تفسیری از عنوان سند پایش سلامت سازه

ردیف	نام سند	خروجی‌ها
۱	سند راهبردی ساخت و بهره‌برداری تجهیزات و فناوری‌های پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق	درخت فناوری ساخت و بهره‌برداری تجهیزات پایش سلامت
		اولویت بندی تجهیزات کلیدی
		ارزیابی توانمندی ساخت و بهره‌برداری تجهیزات
		مدل اکتساب دانش فنی ساخت و بهره‌برداری تجهیزات کلیدی
۲	سند راهبردی دانش فنی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق	تدوین برنامه عملیاتی جهت ساخت و بهره‌برداری تجهیزات
		درخت فناوری دانش فنی پایش سلامت در سازه‌های برق
		اولویت‌بندی دانش فنی پایش سلامت در سازه‌های برق
		ارزیابی توانمندی دانش فنی پایش سلامت در سازه‌های برق
		مدل اکتساب دانش فنی و پایش سلامت در سازه‌های برق
		تدوین برنامه عملیاتی دانش فنی پایش سلامت در سازه‌های برق

ردیف	نام سند	خروجی‌ها
۳	سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق	شناسایی حوزه‌های اصلی در بحث پایش سلامت با استفاده از ترسیم زنجیره ارزش
		شناسایی حوزه‌های با اولویت
		تدوین برنامه عملیاتی جهت تحقق اهداف در حوزه‌های با اولویت
۴	سند راهبردی مدیریت سیستم پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق	تعیین نقش‌های اصلی در حوزه پایش سلامت در سازه‌های برق
		تقسیم نقش‌ها در حوزه پایش سلامت در سازه‌های برق
		بازمهندسی ساختارها در حوزه پایش سلامت در سازه‌های برق

شایان ذکر است که در این سند، مفهوم مورد اشاره در بند دوم از جدول فوق مورد نظر می‌باشد. عبارت دیگر در این سند، به دنبال توسعه فناوری پایش سلامت سازه‌ها و راهکارهای کاهش خسارات سازه‌ای در صنعت برق کشور، در حوزه دانش علمی و فنی مورد نیاز و نحوه بکارگیری و استفاده عملی از دانش مورد نظر بصورت ساختاریافته و استاندارد شده، در سازه‌های موجود در صنعت برق می‌باشیم.

بدیهی است که پیاده‌سازی و اجرای موفقیت‌آمیز سیستم پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق علاوه بر دانش فنی مورد نظر در این سند، نیازمند بسترسازی و ایجاد زیرساخت‌های مورد نیاز در سایر حوزه‌ها، بخصوص در ارتباط با فرهنگ سازی استفاده از این سیستم در صنعت برق و ایجاد ساختارهای مدیریتی و سازمانی در رده‌های مختلف وزارت نیرو و یا بالاتر می‌باشد. علاوه بر اینها باید کنشگران و متولیان اجرای سیستم در صنعت برق در بخش‌های مختلف از قبیل ارائه دهندگان خدمات پایش سلامت، بهره‌برداران سیستم، تأمین‌کنندگان مالی و مسئولین الزام‌کننده نیز مشخص شده و نقش هر یک در فرآیند اجرای سیستم در صنعت برق بررسی و تبیین گردد. این موارد عمدتاً موضوع بند چهارم از جدول ۱-۱ بوده و باید بطور مفصل در یک طرح سیاست پژوهی مورد نظر قرار گیرد. مع الوصف بدلیل اهمیت موضوع مربوطه، در این سند نیز تا حدودی به مسائل مطرح شده پرداخته خواهد شد.

اولین مرحله از روند تدوین اسناد راهبردی ملی، تعیین مبانی سند می‌باشد که مقدمات اصلی لازم برای تدوین اسناد ملی را ارائه می‌دهد. مبانی سند به تشریح ویژگی‌های ذاتی فناوری مورد بررسی، نظام فنی و اجتماعی توسعه دهنده فناوری و چهارچوب‌های ذهنی سیاستگذاران مرتبط با توسعه فناوری می‌پردازد. این بخش به سیاستگذاران کمک می‌کند که از وضعیت موجود شناخت حاصل کرده و با قطعیت بالاتری در مورد سایر بخش‌های سند (ارکان جهت ساز و خرد) تصمیم‌گیری نمایند. [۱] در ادامه این بخش، مؤلفه‌ها و اجزای اصلی مبانی سند پایش سلامت سازه‌ها تشریح و ارائه شده است.

۱-۱- معرفی کلی فناوری پایش سلامت سازه‌ها

پس از ساخته شدن زیرساخت‌های اصلی و حیاتی کشورها در صنایع مختلف (از جمله صنعت برق)، مهمترین چالش پیش روی بهره‌برداران و مدیران و صاحبان این صنایع، حفظ و نگهداری آنها در شرایط مطلوب کارکرد و سرویس‌دهی آنها می‌باشد. این مسئله بطور کلی در راستای حفظ و مدیریت دارائی‌ها^۱ مطرح می‌شود. پی‌آمدهای حاصل از اخلال یا قطع کارکرد صنایع می‌تواند طیف گسترده‌ای از خسارات اقتصادی، انسانی، سیاسی، اجتماعی و زیست محیطی (از گستره محلی تا ملی) را در برگیرد. قطع کارکرد صنایع می‌تواند علل و منشأهای گوناگونی داشته باشد که یکی از مهمترین علل آن، وقوع انواع خرابی‌ها و آسیب‌های فنی در بخش‌های مختلف صنایع (تجهیزات، سازه‌ها، بخش‌های نرم‌افزاری و ...) می‌باشد. وقوع خرابی در ساختمان‌ها، پل‌ها، سکوهای نفتی و بطور کلی تمام سیستم‌های سازه‌ای در طول عمر سازه امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. با ظهور و ورود سازه‌های جدید که دارای تکنولوژی‌های پیشرفته می‌باشند و با هزینه‌های هنگفتی احداث گردیده اند، بحث بررسی کارایی و عملکرد آنها نیز وارد شاخه‌های مهندسی گردیده و همواره اطمینان از عملکرد بی نقص سازه‌هایی با اهمیت بالا مانند سازه‌هایی با ارزش تاریخی و یا ساختمان‌های حیاتی دغدغه ذینفعان بوده است. تاکنون نمونه‌های بسیاری از انواع خرابی‌ها در

¹ - Asset Management

سازه‌های مختلف مهندسی به ثبت رسیده که در پی وقوع آنها، خسارات جانی و مالی فراوانی به بار آمده است. بیشتر چنین خرابی‌ها را می‌توان با بررسی‌های اولیه از وضعیت موجود سازه‌ها اصلاح و ترمیم نمود و بدین ترتیب از گسترش خرابی در سازه‌ها و فروریختن ساختمان‌ها و خسارتهای مالی جلوگیری کرد. این موضوع در مناطق زلزله خیز که خرابی‌های موضعی در المان‌های سازه‌ها می‌توانند منشاء خرابی‌های کلی باشند اهمیت موضوع پایش سلامتی سازه‌ها را دوچندان می‌نماید. بنابراین تعیین خرابی در سیستم‌های سازه‌ای و تعلقات آن برای پایش سلامت سازه‌ها و افزایش ایمنی و اطمینان از وضعیت موجود سازه‌ها امری مهم و ضروری است. اگر خرابی در سیستم‌های سازه‌ای به طریقی قابل شناسایی باشد می‌توان با تعمیر یا تعویض المان‌های آسیب دیده از ایجاد خرابی‌های کلی در سازه جلوگیری نمود. در نتیجه سیستم‌های شناسایی و تعیین خرابی می‌توانند نقش بسیار مهمی را در ایمن سازی و بهسازی سازه‌ها و جلوگیری از بوجود آمدن خسارات مالی و جانی ناشی از فروریختن سازه‌ها ایفا نمایند.

بر این اساس، تدوین و اجرای استراتژی نگهداری و تعمیرات (نت) در صنایع مختلف مطرح گردیده و در بخش‌های مختلف صنعت برق نیز (بخصوص در مورد تجهیزات) مورد استفاده قرار گرفته است. مبحث نگهداری و تعمیرات شامل روش‌ها و فناوری‌های بسیار متنوعی بوده و در طول زمان، پیشرفت‌های قابل توجهی داشته است. استراتژی‌ها و دیدگاه‌های موجود در صنایع درباره نگهداری و تعمیرات (نت)، روند پرافت و خیزی را در قرن اخیر طی کرده و دگرگونی‌های زیادی در این عرصه بوجود آمده است. به طور خلاصه باید گفت دیدگاه موجود در زمینه نگهداری و تعمیرات (نت) از یک نگرش منفعل^۱ در اوائل قرن ۲۰ به یک نگرش پیش اقدام^۲ در آغاز قرن ۲۱ مبدل شده است. بسیاری از این تغییرات در ۴۰ سال اخیر (از دهه ۷۰ میلادی) ایجاد شده‌اند.

امروزه یکی از مؤثرترین و کارآمدترین استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات در صنایع، نگهداری پیش اقدام (در مقابل نگرش سنتی تعمیر بعد از شکست^۳) می‌باشد. این استراتژی مبتنی بر انجام فعالیت‌های تعمیر و نگهداری

¹ - Reactive

² - Proactive

³ - Run to Failure

قبل از وقوع شکست‌های کارکردی در اجزا بوده (بعبارت دیگر بر اساس مثل قدیمی علاج واقعه قبل از وقوع) و سبب جلوگیری از قطع کارکرد صنعت و جلوگیری از پی آمدهای زیان بار آن می‌شود. تجربیات بسیار زیاد و مطالعات گسترده در صنایع مختلف، مزایا و کارآیی این استراتژی را، بخصوص در مورد کاهش قابل توجه زیان‌های اقتصادی ناشی از خرابی‌ها و قطع کارکرد اجزاء، به اثبات رسانده؛ بطوریکه این استراتژی اکنون کاملاً مورد پذیرش صنایع مختلف قرار گرفته و جا افتاده است.

رویکردهای مختلفی برای اجرای برنامه نگهداری و تعمیرات در دهه‌های گذشته ارائه شده است. نگهداری و تعمیرات (نت) پیش اقدام با استفاده از دو رویکرد اصلی انجام می‌شود که شامل نت پیشگیرانه^۱ و نت پیشگویانه^۲ می‌باشند. در نت پیشگیرانه، نگهداری از تجهیزات در پریودهای زمانی خاص و براساس زمانبندی مشخص صورت می‌گیرد. بعبارت دیگر، روش نگهداری و تعمیر پیشگیرانه بر این اصل استوار است که پیش از آنکه دستگاه به مرحله خرابی برسد، عملیات تعمیر بر اساس برنامه زمان‌بندی به اجرا در آید. این روش بسته به نوع دستگاه به صورت تقویمی یا ساعت کارکردی قابل اجرا است. به این رویکرد، نگهداری بر اساس زمان^۳ (TBM) نیز اطلاق می‌شود. در نت پیشگویانه، اجرای فعالیت‌های نگهداری و تعمیر تجهیزات با توجه به شرایط آنها صورت می‌گیرد. بعبارت دیگر، در این روش در بازه‌های زمانی معین تعدادی از پارامترهای تجهیزات که می‌توانند نشان‌دهنده وضعیت غیر عادی آن باشند، رصد و اندازه‌گیری شده و براساس داده‌های حاصل، نیاز به اقدام برای تعمیر و یا تعویض قطعات و تجهیزات، تشخیص داده شده و براساس آن، تصمیم‌گیری در خصوص اقدامات مورد نیاز صورت می‌گیرد. به این رویکرد، نگهداری براساس شرایط^۴ (CBM) نیز گفته می‌شود.

مهمترین اشکال نت پیشگیرانه (TBM) این است که مبتنی بر نیاز واقعی نبوده و بنابراین، ممکن است که فعالیت‌های نت بیهوده (بدون وقوع خرابی جزئی) انجام گرفته که باعث اتلاف هزینه می‌گردد و یا اینکه فعالیتی در

¹ - Preventive

² - Predictive

³ - Time Based Maintenance

⁴ - Condition Based Maintenance

مواقع مورد نیاز (وقوع خرابی جزئی) بدلیل عدم تخمین زمان مناسب آن، انجام نشده و منجر به خسارت شود. در روش پیشگویانه (CBM) این کاستی مهم وجود نداشته و بنابراین، به لحاظ اقتصادی به میزان قابل توجهی به صرفه‌تر است. نت پیشگویانه در حال حاضر، پیشرفته‌ترین و کارآمدترین رویکرد نت به لحاظ فنی و اقتصادی می‌باشد.

در نت پیشگویانه (CBM) روش‌های مختلفی برای رصد خرابی‌های جزئی در اجزای مختلف وجود دارد که طیف وسیعی از روش‌های ساده (بازرسی با حواس انسان) تا روش‌های پیچیده‌تر شامل انجام ارزیابی‌های غیرمخرب^۱ (NDE) و یا تکنیک‌های پایش وضعیت^۲ (CM) را در بر می‌گیرد. پایش وضعیت بر این باور استوار است که اغلب خرابی‌های ماشین‌آلات و تجهیزات صنعتی، پس از رسیدن به یک مرحله مشخص، نشانه‌هایی از خود بروز می‌دهند که می‌توان این نشانه‌ها را به صورت ارتعاشات، صدا، امواج آلتراسونیک، ذرات فرسایشی، دما و... بطور پیوسته تشخیص داده و وقوع خرابی را پیش‌بینی کرد. لذا می‌توان قبل از رسیدن خرابی به مراحل بحرانی، با برنامه‌ریزی فعالیت تعمیراتی و اجرای آن، پیشرفت خرابی را متوقف ساخت. ارزیابی‌های غیر مخرب نیز اساساً مانند پایش وضعیت می‌باشند، با این تفاوت که بصورت پیوسته انجام نشده و در بازه‌های زمانی مشخصی با استفاده از نیروهای متخصص و ابزارهای خاص، به جستجوی خرابی‌های موضعی و جزئی در تجهیزات، پرداخته می‌شود.

پایش وضعیت (CM) بطور خاص در مورد تجهیزات و ماشین‌آلات اطلاق می‌گردد. تکنیک مشابه پایش وضعیت در مورد سازه‌ها، پایش سلامت سازه (SHM^۳) نام دارد که موضوع اصلی این سند می‌باشد. بعبارت دیگر، فناوری پایش سلامت سازه (SHM) ابزاری جهت تشخیص وجود خرابی‌های جزئی در سازه با هدف اجرای استراتژی نگهداری و تعمیرات پیشگویانه مبتنی بر شرایط (CBM) بوده و نقشی همانند پایش وضعیت تجهیزات را، در مورد سازه‌ها ایفا می‌نماید.

¹ - Non Destructive Evaluation

² - Condition Monitoring

³ - Structural Health Monitoring

فناوری پایش یا نظارت بر سلامت سازه (SHM) به صورت یک سیستم تشخیص و پیش‌بینی آسیب است که بخشی از سیستم مدیریت نگهداری سازه بوده و به واسطه آن متخصصان قادر خواهند بود بهره‌برداری و نگهداری از سازه را در یک مسیر صحیح و ایمن هدایت کنند. هدف این استراتژی، شناسایی خرابی در سیستم‌های سازه‌ای و مکانیکی است. خرابی، تغییرات ایجاد شده در مشخصه‌های ماده یا مشخصه‌های هندسی این سیستم‌ها است که می‌تواند تأثیر نامطلوبی بر میزان کارایی فعلی و آتی این سیستم‌ها داشته باشد. این فرآیند شامل پایش یک سازه یا سیستم مکانیکی در طول زمان با استفاده از اندازه‌گیری‌های دوره‌ای منظم، بدست آوردن مشخصه‌های حساس به خرابی از این اندازه‌گیری‌ها و تجزیه و تحلیل آماری این مشخصه‌ها برای تعیین وضعیت فعلی سلامت سیستم است. به عبارت دیگر، پایش سلامت در واقع همان ارزیابی وضع موجود بصورت پیوسته در زمان است که با استفاده از ابزارها و تکنولوژی‌های مدرن صورت گرفته و وقوع خرابی‌ها را در سریع‌ترین زمان ممکن به اطلاع می‌رساند. همانند هر مسئله‌ی مهندسی دیگری، دستیابی به داده‌های قابل اطمینان همواره اولین و اساسی‌ترین گام به سوی پیدا کردن راه‌حل است. نظارت و بررسی سازه‌ها، به دستیابی به داده‌های کمی درباره آنها و تصمیم‌گیری درباره سلامت و سرنوشت آنها کمک می‌کند. اما روش‌های مورد استفاده برای نظارت بر سازه‌ها بسیار متنوع است. نظارت بر پل‌ها معمولاً در بازرسی‌های دوره‌ای به صورت چشمی است در حالی که سدها و نیروگاه‌های هسته‌ای بسیار مجهز هستند و بطور پیوسته مورد نظارت و بازرسی قرار می‌گیرند.

انسان‌ها همواره از روش‌های پایش سلامت در زندگی روزمره خود استفاده می‌کنند. به عنوان مثال صدای غیرعادی موتور در ماشین نسبت به حالت معمول نشانه آن است که موتور باید تعمیر شود. این نوع مقایسه بین نشانه‌های سلامت و ناسالم بودن اساس بسیاری از تکنیک‌های پایش سلامت (SHM) است.

در حال حاضر بیشتر فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات سیستم‌های سازه‌ای و مکانیکی به روش مبتنی بر زمان انجام می‌شود. پایش سلامت سازه یا SHM فناوری است که این امکان را می‌دهد تا فلسفه‌های نگهداری و تعمیرات فعلی که مبتنی بر زمان است به فلسفه‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر شرایط کارکرد که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه‌تر است، توسعه یابد.

با توجه به مطالب عنوان شده، بطور خلاصه می‌توان پایش سلامت سازه را بصورت زیر تعریف نمود:

پایش سلامت سازه (SHM) بطور کلی عبارتست از مشاهده رفتار و شرایط کارکرد سازه بطور پیوسته و به هنگام در طول عمر آن، با استفاده از اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری پارامترهای مرتبط با شرایط کارکرد سازه. وظیفه اصلی سیستم پایش سلامت، شناسایی و تشخیص وقوع خرابی و اعلام آن می‌باشد. در این سند، سازه‌های موجود در بخش‌های سه گانه صنعت برق (تولید، انتقال و توزیع) مورد نظر می‌باشند. فهرست کلی سازه‌های مذکور به شرح ذیل می‌باشد:

سازه‌های بخش تولید برق:

سازه‌های بخش تولید برق شامل موارد زیر می‌باشند:

۱. نیروگاه‌های حرارتی (سیکل بخار، سیکل گازی، سیکل ترکیبی)

- سازه برج خنک کن
- سازه دودکش
- سازه نگهدارنده بویلر
- سازه‌ها یا فونداسیون‌های نگهدارنده تجهیزات اصلی (توربین و ژنراتور)
- سیستم لوله‌ها (پایپینگ) و اتصالات آنها
- مخازن ذخیره سوخت
- سایر سازه‌ها

۲. نیروگاه‌های هسته‌ای

- سازه‌های مربوط به رآکتور (مخزن فشار، پوسته‌های محافظ بتنی)
- سازه‌های ساختمانی و کنترلی
- مخازن ذخیره سوخت
- سازه‌های نگهدارنده تجهیزات

- سایر سازه‌ها

۳. نیروگاه‌های برق آبی

- سدهای بتنی

- سدهای خاکی

۴. نیروگاه‌های بادی

- پره‌های توربین‌های بادی

- برج توربین‌های بادی

- فونداسیون توربین‌های بادی

۵. سایر نیروگاه‌های نوین (انرژی‌های نو)

- نیروگاه‌های خوشیدی

- نیروگاه‌های زمین گرمایی

سازه‌های بخش انتقال برق:

سازه‌های بخش انتقال برق شامل موارد زیر می‌باشند:

۱. خطوط انتقال برق هوایی

- دکل‌های انتقال برق

- مقره‌ها

- هادی‌های انتقال (پایش خیز هادی‌ها)

۲. خطوط انتقال برق زیرزمینی

- گالری‌های بتنی

- اتصالات و منهول‌ها

۳. پست‌های انتقال

- ساختمان‌های کنترل
- گنتری
- سازه‌ها، فونداسیون‌ها و مهارهای نگهدارنده تجهیزات پست
- اجزای غیرسازه ای (مانند مقره‌ها، پوشینگها، CT و ...)
- سازه‌های حفاظتی (حصار محوطه)

سازه‌های بخش توزیع برق:

سازه‌های بخش توزیع برق شامل موارد زیر می‌باشند:

۱. خطوط توزیع برق هوایی
 - پایه‌های توزیع برق
 - پست‌های توزیع برق
 - پست‌های هوایی
 - پست‌های زمینی و زیرزمینی

۱-۲- پیشینه پایش سلامت در سازه‌ها

پایش سلامت سازه به لحاظ مفهومی روش جدیدی نیست. از زمان‌های باستان مهندسان، معماران و صنعتگران، بسیار مشتاق مشاهده رفتار سازه‌های ساخته شده برای کشف هر نشانه‌ای از زوال سازه و گسترش دانش خود و بهبود طراحی سازه‌های آینده بودند. معماران زمان باستان الگوهای ترک خوردگی را در سنگ‌ها و پل‌های بنایی مشاهده و ثبت می‌کردند. دهانه‌های بزرگتر و قوس‌های لاغرتر ساخته می‌شدند و گاهی در حین ساخت و یا بعد از مدت کوتاهی تخریب می‌شدند. این شکست‌ها و آنالیز آنها منجر به بینش جدید و پیشرفته طراحی سازه‌ها در آینده شد. این تلاش مداوم برای بهبود سازه‌ها که با حس کنجکاوی مهندسان هدایت می‌شد به لحاظ اقتصادی ملاحظات و مشکلاتی را در برداشت. پل‌ها و ساختمان‌ها باید دهانه‌های بیشتری را پوشش می‌دادند تا نسل جدید روابط

اقتصادی و حمل و نقل سریع مردم و کالا را پدید آوردند و در عین حال باید ارزان تر و با دوام بیشتری ساخته می‌شدند.

گمان می‌رود از زمانی که انسان به استفاده از ابزار روی آورده است، تشخیص آسیب و یا خطا که با استفاده از تغییرات پاسخ سیستم دینامیکی تعیین می‌شود، به صورت کمی با استفاده از تکنیک‌های صوتی و یا ارتعاشی صورت می‌گرفته است. یکی از اولین موارد استفاده از SHM تست ضربه بوده است که برای تشخیص ترک در چرخ‌های راه آهن در قرن ۱۸ انجام می‌شده است.

در سی سال گذشته، افزایش قابل توجهی در تعداد مطالعاتی که اقدام به تکامل SHM از روش‌های کمی اولیه به روش‌های حساس تر و قابل اندازه‌گیری تر برای تشخیص آسیب کرده‌اند، صورت گرفته است. در طول این زمان SHM به نقطه‌ای رسیده است که از یک موضوع تحقیقاتی به کاربرد واقعی در بسیاری از سیستم‌های سازه‌ای تبدیل شده است. اهمیت و توجه گسترده و رو به رشد این تکنولوژی با توجه به اختصاص کنفرانس سالانه و دو سالانه که بطور مشخص در ۱۵ سال اخیر بر این موضوع متمرکز شده‌اند، مشخص است.

ماشین آلات چرخشی نقطه انتقال SHM از یک موضوع تحقیقاتی به کاربرد واقعی بوده‌اند. هنگامیکه به ماشین آلات چرخشی (دوار) اشاره می‌شود، SHM (نظارت بر سلامت سازه) به نظارت بر اساس عملکرد سازه مربوط می‌شود. نظارت بر اساس عملکرد یا وضعیت، تا حدودی با روش‌های خام و کیفی مانند نگهداشتن پیچ گوشتی در ماشین آلات خانگی و گوش دادن به تغییرات سیگنال‌های صوتی و یا احساس تغییر در پاسخ لرزه‌ای پیچ گوشتی آغاز شد (Mitchell 2007). روش‌های نظارت به نقطه‌ای رسیده‌اند که اندازه‌گیری‌ها توسط سیستم‌های گیرنده مدرن صورت می‌گیرد اما تفسیر کیفی نشانه‌های ارتعاشی (فرکانس و تا حد کمتری زمان) هنوز هم با روش‌های اولیه‌ی بررسی داده‌ها صورت می‌گیرد. مطالعات و تحقیقات زیادی درباره این روش‌ها شامل نمودارهای شکست مختلف ماشین آلات نسبت به ویژگی دینامیکی خاص اندازه‌گیری شده، در مراجع ارائه شده‌اند. به عنوان مثال انحراف چرخ دنده می‌تواند منجر به درگیری بیشتر چرخ دنده‌ها شود که اثراتی بر فرکانس چرخش شفت خواهد داشت. بطور کلی رویکرد اتخاذ شده در این مورد با در نظر گرفتن تشخیص آسیب کیفی بر اساس آزمایش‌ای

مرحله به مرحله، جهت اندازه‌گیری تغییرات در فرکانس اجزاء صورت گرفته است که نهایتاً می‌تواند منجر به تغییرات سرعت شفت شود.

جامعه مهندسين عمران از اوایل ۱۹۸۰ مطالعه بر روی ارزیابی آسیب‌های پل‌ها بر پایه ارتعاشات را آغاز کرده است. اندازه فیزیکی این سازه‌ها چالش‌های بسیاری را برای SHM ایجاد کرده است.

نیازها در کشورهای آسیایی، کمپانی‌هایی را که ساخت پل‌ها را انجام می‌دهند، موظف به ارزیابی دوره‌ای سلامت سازه‌ها کرده است که خود منجر به تحقیقات و توسعه‌های تجاری سیستم‌های نظارت لرزه‌ای پل‌ها شده است. به عنوان مثال می‌توان به پل Tsingma در هنگ کنگ اشاره کرد که در آن بیش از ۱۰۰۰ کانال دریافت داده‌ها قرار دارد. در ایالت متحده آمریکا ارزیابی شدید خرابی پل‌ها از ۱۹۵۰ نشان داد که مهندسان باید در برابر این خرابی‌ها عکس‌العملی نشان داده و برای جلوگیری از آنها اقداماتی صورت گیرد. اصلاحات طراحی پل‌ها و تغییرات برنامه بازرسی، اغلب تنها در مورد خرابی و آسیب‌های شدید صورت می‌گیرد. فرو ریختن پل Tacoma در بیش از نیم قرن پیش مثال کلاسیکی از این حالت است زیرا که منجر به بازرسی و اصلاحات پل‌های معلق دیگر شد. معرفی گسترده یک برنامه سیستماتیک بازرسی بطور مستقیم در مورد فروپاشی آنها در سراسر کشور ایالت متحده آمریکا در ۱۹۶۷ در غرب ویرجینیا صورت گرفت. اصلاحات طراحی برای پاسخ لرزه‌ای پل‌ها در نتیجه‌ی آسیب‌های وارد بر این سازه‌ها در زلزله‌ی ۱۹۷۱ سان‌فرانسیسکو، صورت گرفت.

امروزه، بطور کلی پل‌ها در ایالت متحده رتبه‌بندی شده‌اند و توسط دولت فدرال به صورت دو سالانه با استفاده از تکنیک‌های بازرسی بصری نظارت و کنترل می‌شوند. این پروسه آهسته است و بخش‌هایی از پل برای چنین بازرسی‌هایی غیر قابل دسترسی هستند. این احتمال وجود دارد که آسیب در بازرسی‌ها مشخص نشود و یا ترک‌ها در اعضای باربر در فواصل بازرسی رشد کرده و به مرحله بحرانی برسند. شایع‌ترین این چنین خرابی‌ها فرو ریختن پل I-35 در میناپولیس در تابستان 2007 بود. (شکل زیر)



شکل ۱-۱: فرو ریختن پل I-35 در میناپولیس، مینسوتا، ایالات متحده آمریکا

علاوه بر این مکانیزم تجمعی آسیب بصورت تدریجی می‌تواند منجر به آسیب‌های ناگهانی در پل شود. همچنین برخوردها نیز می‌توانند منجر به فرو ریختن پل شود. به عنوان مثال پل راه آهن AMTRAK در جنوب شرقی ایالت متحده در ۱۹۹۳ بر اثر برخورد قایق به پایه پل فرو ریخت. بیش از ۱۳٪ آسیب‌های شناسایی شده در پل‌ها از سال ۱۹۵۰ به برخورد نسبت داده شده است.

بر اساس این نگرانی‌ها روش‌های پیوسته و کمی‌ای برای نظارت بر آسیب پل‌ها به منظور تقویت و یا جایگزینی روش‌های بازرسی فعلی مورد مطالعه قرار گرفته است. علاوه بر این، استفاده از سیستم فعال تشخیص آسیب ممکن است در بعضی موارد مناسب باشد. به عنوان مثال چنین سیستمی می‌تواند آسیب‌های قابل ملاحظه ناگهانی وارد بر سازه پل ناشی از برخورد را تشخیص دهد و سیستم کنترل ترافیک را برای بستن پل هدایت کند. از اواخر ۱۹۹۰ سیستم‌های تجاری برای نظارت بر سلامت پل‌ها موجود بوده است اما در بیشتر موارد آنها حداقل ابزار را، بدون قدرت تفکیک مکان برای تشخیص شروع زودرس آسیب محلی فراهم می‌کنند. نهایتاً بر اساس اهمیت رو به رشد

تکنولوژی SHM (پایش سلامت سازه) در سازه‌های پل‌ها سازمان حمل و نقل ایالت متحده، مرکزی را برای اعتبار سنجی روش‌های غیر مخرب بازرسی پل‌ها ایجاد کرده است.

در طول دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ میلادی، صنعت نفت تلاش‌های قابل توجهی جهت ایجاد روش‌های تشخیص خرابی مبتنی بر ارتعاش برای سکوه‌های نفتی دریایی انجام داده است. این مسأله‌ی تشخیص خرابی اصولاً متفاوت از روش تشخیص خرابی ماشین آلات چرخشی است، به این دلیل که موقعیت خرابی نامعلوم است و دسترسی به بخش اعظم این ساختار برای اندازه‌گیری به آسانی میسر نیست. روش متداولی که جهت رفع این مشکلات، توسط صنعت نفت اتخاذ شده است شامل شبیه سازی حالت‌های خرابی محتمل با مدل‌های عددی، بررسی تغییرات فرکانس رزونانسی که توسط تغییرات شبیه سازی شده ایجاد می‌شود و ایجاد ارتباط این تغییرات با دیتای حاصل از اندازه‌گیری بر روی سکوه‌های نفتی دریایی می‌باشد. تعدادی از مشکلاتی که در این راستا وجود داشت شامل مشکلات اندازه‌گیری ناشی از نویز ماشین‌آلات سکوها، بکار بردن صحیح تجهیزات اندازه‌گیری در شرایط محیطی نامطلوب، تغییر میزان ذخایر و ناتوانی حرکت موج برای ایجاد حالت‌های ارتعاشی شدیدتر بود. این مسائل مانع پذیرش این تکنولوژی شد و تلاش‌های بیشتر جهت توسعه‌ی این تکنولوژی برای سکوه‌های نفتی دریایی در اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰ بی‌نتیجه رها شد.

در اواخر دهه‌ی ۱۹۷۰ و اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰ انجمن هوافضا شروع به تحقیق و بررسی در خصوص استفاده از روش تشخیص خطای مبتنی بر ارتعاش و توسعه‌ی شاتل فضایی کرد. سیستم نظارت و بازیابی مودال شاتل (SMIS^۱) به منظور تشخیص فرسودگی اجزائی همچون سطوح کنترل، پانل‌های بدنه‌ی هواپیما و سطوح بالابر ایجاد شد. این سطوح دارای پوششی از یک سیستم حفاظتی حرارتی هستند که آن‌ها را غیر قابل دسترس می‌سازد و بنابراین، برای روش‌های بررسی و آزمون‌های غیر مخرب محلی معمول قابل استفاده نیستند. SMIS در تعیین محل قطعات آسیب دیده که با سیستم حفاظتی حرارتی پوشانده شده، موفق بوده است. از سال ۱۹۸۷ تست‌های SMIS به صورت دوره‌ای بر روی تمامی مدارگردها انجام می‌شود. کاربردهای ایستگاه فضایی سبب توسعه‌ی

روش‌های تجربی/تحلیلی مربوط به شناسایی خرابی عناصر خرابی ناشی از زباله‌های فضایی شده است. این رویکردها مبتنی بر ایجاد همبستگی بین مدل‌های تحلیلی ساختار سالم با مشخصه‌های مودال اندازه‌گیری شده مربوط به ساختارهای سالم و معیوب است. تغییر در شاخص‌های سختی حاصل از ارزیابی دو مدل برای پیدا کردن و تعیین میزان خرابی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از اواسط دهه ۱۹۹۰ با ایجاد مخزن سوخت کامپوزیت برای وسایل پرتاب، زمینه‌ی مطالعات تشخیص خرابی مربوط به مواد کامپوزیت نیز فراهم شد.

SHM در سازه‌های بزرگ مانند پل‌ها برای سال‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است اما این کاربرد در بیشتر موارد از فاز تحقیقاتی فراتر نرفته است زیرا اندازه فیزیکی این سازه‌ها چالش‌های بسیاری را برای SHM ایجاد کرده است. در این مورد انگیزه اولیه استفاده از این سیستم جلوگیری از کاهش عمر سازه و ایمنی است. مطالعات استفاده از این سیستم در پل‌ها از سال ۱۹۸۰ آغاز شده است.

سیستم SHM در مورد ساختمان‌های بلند مرتبه و آسمان خراش‌ها از اهمیت بیشتری نسبت به ساختمان‌های کوتاه‌تر برخوردار است زیرا آسیب‌های این نوع سازه‌ها خطرات جانی، مالی و اقتصادی قابل توجهی برای جوامع در پی دارد. این سازه‌ها متشکل از اجزا متعددی در تعداد زیاد همانند ستون‌ها، تیرها، دال‌ها و... هستند. بنابراین روش‌های SHM برای هریک از این اجزا بصورت جداگانه ارائه شده است و در نهایت استراتژی SHM برای نظارت بر کل ساختمان با در نظر گرفتن سیستم سنسورهای کاهش یافته و محدود شده به اجزاء بحرانی و حساس‌تر سیستم مانند ستون‌ها و هسته‌ها مخصوصاً در طبقات پایین‌تر و تیرهای تحت بارهای دینامیکی و استاتیکی بزرگتر شکل می‌گیرد. در این موارد ترکیبی از نظارت استاتیکی و دینامیکی سازه توصیه شده است.

همچنین بناهای تاریخی نیز با توجه به نقش مهمی که در تاریخ جامعه دارند و به دلیل سن سازه، زیبایی‌های معماری، دلایل مذهبی و وقایع تاریخی مورد توجه هستند، از جمله مواردی هستند که اجرای سیستم SHM در آنها اهمیت ویژه‌ای دارد. در این موارد نیز آسیب سازه می‌تواند منجر به از دست رفتن کل سازه شود که علاوه بر مسائل ایمنی و اقتصادی می‌تواند آسیب‌های برگشت ناپذیری بر فرهنگ و تاریخ جوامع نیز بگذارد. استراتژی کلی

برای نظارت بر بناهای تاریخی وجود ندارد زیرا این سازه‌ها می‌توانند از هر نوعی: ساختمان، کلیسا، مسجد، پل، موزه، تونل و نظایر آنها باشد. اما می‌توان از سیستم‌های SHM موجود در هر نوع برای نظارت بر آنها استفاده کرد. فرآیند پایش سلامت همچنین در سازه‌های مورد استفاده در صنایع مختلف نظیر خطوط لوله نفت و گاز، سازه‌های نیروگاهی، توربین‌های بادی و ... نیز بکار گرفته شده است.

۱-۳- پیشینه و انگیزه‌های پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

بدلیل نیاز حیاتی بخش‌های مختلف جوامع به انرژی برق، صنعت برق در کلیه کشورها دارای اهمیت استراتژیک بوده و قطع یا اختلال در خدمت‌رسانی آن (بخصوص در بخش‌های تولید و انتقال که دارای مقیاس تأثیرگذاری بزرگی هستند) می‌تواند منجر به پی آمدهای وخیم اقتصادی، اجتماعی و سیاسی گردد. از این‌رو حفظ اجزای مختلف شبکه برق در شرایط کارکرد خود، دارای اهمیت قابل ملاحظه‌ای می‌باشد. مبحث پایش سلامت در سازه‌ها کاملاً در راستای هدف فوق است. در مورد تجهیزات شبکه برق (مانند توربین‌ها، ژنراتورها، پاپینگ، ترانس‌ها و ...) روند پایش سلامت که از آن در ادبیات فنی به پایش وضعیت (CM)^۱ تعبیر می‌گردد، متداول بوده و استفاده می‌شود. اما در مورد سازه‌های موجود در بخش‌های مختلف صنعت برق، بحث پایش سلامت مانند سازه‌های موجود در سایر بخش‌های صنعتی و کاربردی، نسبتاً جوان بوده و بیشتر در حوزه‌های تحقیقاتی به آن پرداخته شده است. در میان انواع سازه‌های موجود در صنعت برق، سدها (نیروگاه‌های برق آبی)، توربین‌های بادی و نیروگاه‌های هسته‌ای از بخش تولید و دکل‌های انتقال برق از بخش انتقال، بیشترین حجم فعالیت‌های تحقیقاتی و اجرایی در زمینه پایش سلامت در دنیا را به خود اختصاص داده‌اند که در ادامه این بخش، نمایی از وضعیت و فعالیت‌های انجام شده در این خصوص، ارائه شده است.

۱-۳-۱- پایش سلامت سازه در نیروگاه‌های هسته‌ای

^۱ - Condition Monitoring

نیروگاه‌های هسته‌ای یکی از منابع مهم تولید برق در بسیاری از کشورهای جهان می‌باشند که بدلیل هزینه‌های بالای احداث و بهره‌برداری و همچنین پتانسیل بالای خطرزایی آنها برای محیط زیست (به لحاظ آلودگی‌های رادیواکتیو) از حساسیت بالایی برخوردار می‌باشند. در حدود ۴۴۰ نیروگاه هسته‌ای در دنیا مر حال تولید انرژی می‌باشند که در این میان، ۱۰۴ عدد در آمریکا هستند. عمر متوسط این نیروگاه‌ها حدود ۲۰ سال است و عمر مفید بهره‌برداری آنها نیز حدود ۳۰ الی ۴۰ سال بوده و تلاش می‌شود تا به ۴۰ الی ۶۰ سال افزایش یابد. برای اطمینان از صحت عملکرد و حفظ پیوستگی کارکرد این نیروگاه‌ها، دستورالعمل‌های سخت‌گیرانه‌ای در دنیا تدوین شده و لازم‌الاجرا می‌باشند که عمده آنها توسط مؤسساتی نظیر آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA) و انجمن مهندسی مکانیک آمریکا (ASME) تهیه شده‌اند. بخش اعظم دستورالعمل‌های بهره‌برداری و نگهداری از نیروگاه‌های هسته‌ای شامل انواع روش‌های بازرسی و ارزیابی‌های غیرمخرب (NDE^۱) می‌باشد. در آمریکا در حدود ۶۰ الی ۷۰ درصد هزینه کلی تولید انرژی از نیروگاه‌های هسته‌ای، شامل هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری می‌شود. این هزینه‌ها در سایر کشورهای دنیا دارای پیچیدگی و پراکندگی بیشتری می‌باشد. [۳۲] و [۳۳]

در سال‌های اخیر بنا به دلایل بسیاری از جمله نیاز به افزایش قابلیت اطمینان عملکرد نیروگاه، وجود خطاهای انسانی در ارزیابی مشکلات، عدم دسترسی مناسب به همه اجزا جهت بازرسی و ارزیابی، نیاز به قطع کارکرد هنگام عملیات بازرسی و ارزیابی، افزایش عمر مفید بهره‌برداری، رشد هزینه‌های بازرسی و نگهداری و وقوع مشکلات پیش‌بینی نشده با افزایش عمر نیروگاه، عدم انطباق مناسب و خطی میان دوره‌های بازرسی با روند رشد آسیب‌ها و موارد نظیر، تمایل به استفاده از روش‌های مدرن و سیستماتیک ارزیابی وضعیت اجزای مختلف نیروگاه به جای روش‌های موجود ارزیابی‌های غیرمخرب (NDE)، ایجاد شده و در حال گسترش است. در این میان، در نظر است که استفاده از روش‌های مختلف پایش سلامت آنلاین و پیش‌بینی خرابی‌ها به تدریج، جایگزین روش‌های سنتی و متداول ارزیابی‌های غیرمخرب شوند. این موضوع بخصوص در مورد نسل‌های جدیدتر نیروگاه‌های هسته‌ای حائز اهمیت بیشتری است. نیروگاه‌های جدیدتر با هدف بازدهی بیشتر و هزینه نگهداری کمتر و نیاز کمتر به قطع

^۱ - Non Destructive Evaluation

سرویس‌دهی در هنگام بازرسی‌ها و تعمیرات دوره ای، طراحی و ساخته می‌شوند. لزوم کارکرد این نیروگاه‌ها در دماهای بالاتر (نسبت به موارد موجود) و استفاده از مصالح نوین در آنها، موجب افزایش احتمال بروز انواع خرابی و زوال‌های^۱ جدید و ناشناخته در اجزای آنها شده و ضرورت استفاده از سامانه‌های مدرن تشخیص^۲ و پیش‌بینی^۳ خرابی که مبتنی بر تکنولوژی‌های پایش آنلاین باشند را روشن می‌سازد. بر این اساس و با توجه به ناکافی بودن دستورالعمل‌های موجود در زمینه بازرسی و نگهداری نیروگاه‌های متعارف برای نسل‌های جدید، تلاش‌های وسیعی در آمریکا برای جایگزینی روش‌های پایش آنلاین در بخش‌های مختلف (تجهیزات، سازه‌ها و ...) با روش‌های متداول NDE صورت گرفته است. بررسی‌های انجام شده، نشان دهنده مزایای قابل توجه این جایگزینی، شامل افزایش کلی ایمنی، افزایش عمر مفید بهره‌برداری، کاهش قطع سرویس‌های ناگهانی و پیش‌بینی نشده، کاهش هزینه‌های نگهداری و بازرسی و بطور کلی بهبود اقتصاد نیروگاه، امکان برنامه‌ریزی بهینه برای تعمیرات، عدم نیاز به قطع سرویس‌دهی حین بازرسی‌های دوره‌ای، افزایش کلی آگاهی و تسلط مداوم اپراتورها نسبت به بخش‌های مختلف نیروگاه، می‌باشد. [۳۲ و ۳۳]

هم اکنون در آمریکا، حرکت از رویکرد بازرسی دوره‌ای به پایش آنلاین در سازه‌ها و تجهیزات موجود در نیروگاه‌های هسته‌ای بخصوص در مورد نسل‌های جدید آغاز شده و در حال پیشرفت و گسترش در حوزه‌های تحقیقاتی و اجرایی است. تحقق این حرکت نیازمند تحقق مواردی از قبیل پیشرفت در تکنولوژی سنسورها، درک بهتر در مورد نحوه انجام اندازه‌گیری‌ها در اجزای نیروگاه، پیشرفت در جمع‌آوری و پردازش داده‌ها، تدوین روش‌ها و الگوریتم‌های ارزیابی و تشخیص و پیش‌بینی خرابی و فرسودگی در اجزای مختلف می‌باشد. [۳۲] و [۳۵]

استفاده از سیستم پایش آنلاین در بخش‌هایی از نیروگاه‌های هسته‌ای (شامل سازه رآکتور)، بصورت محدود و پایلوت و با کارکرد عمدتاً تحقیقاتی، در برخی از کشورها در دنیا (مانند آمریکا، انگلستان، ایتالیا، کانادا و ژاپن)

¹ - Degradation

² - Diagnosis

³ - Prognosis

صورت گرفته که نمونه‌هایی از آنها در مراجع [۳۵] و [۳۷] ارائه شده‌اند. در گزارش مرجع [۳۶] نیز برنامه تحقیقاتی دپارتمان انرژی آمریکا (DOE) برای اجرا و استفاده از سیستم آنلاین پایش سلامت در بخش‌های سازه‌ای رآکتور Savannah River Site تا سال ۲۰۱۶ (در یک دوره ۵ ساله)، ارائه شده است. سرمایه‌گذاری انجام شده برای انجام تحقیقات مذکور در دوره ۵ ساله (۲۰۱۱ الی ۲۰۱۶) مطابق جدول زیر حدوداً برابر ۲۷ میلیون دلار می‌باشد.

جدول ۱-۲: برنامه کلی زمانی و هزینه برای تحقیقات آزمایشگاهی پیاده‌سازی سیستم پایش آنلاین در اجزای سازه‌ای رآکتورهای

نیروگاه هسته‌ای [۳۶]

	FY12 \$K	FY13 \$K	FY14 \$K	FY15 \$K	FY16 \$K
Communication and Documents	1700	1300	700	800	650
Design, Construct and Operate Full-Scale Test Bed	2000	2000	500	500	500
Subsurface Resistivity System	1000	1000	500	500	1000
R&D Program for New Sensors	500	1500	1500	500	0
Deploy Structural Sensors in Caps and Above Grade	0	500	1000	1000	500
Deploy Physical & Chemical Sensors Below Grade	0	0	2000	1500	500
Cap Recommendations to ACP Engineering	200	500	500	0	0

آژانس بین‌المللی انرژی اتمی در سندی که در سال ۲۰۰۷ منتشر کرده، لزوم اعمال سیستم نگهداری بر اساس شرایط (CBM) در نیروگاه‌های هسته‌ای را عنوان نموده و استراتژی‌های مورد نیاز برای نیل به این هدف را ارائه نموده که در میان آنها، پایش وضعیت آنلاین (CM) برای تجهیزات و پایش سلامت آنلاین (SHM) برای سازه‌ها نیز مشاهده می‌گردد. [۵۰]

۱-۳-۲ - پایش سلامت سازه در نیروگاه‌های برق آبی (سدها)

سدها از جمله زیر ساخت‌های مهم عمرانی هستند که اهمیت ویژه‌ای دارند زیرا شکست این سازه‌ها می‌تواند عواقب بسیاری از جمله خسارت مالی و جانی، جنبه‌های اجتماعی و اقتصادی و آسیب‌های اکولوژیک در پی داشته باشد. بنابراین برای نظارت بر سدها در بیشتر کشورها آیین‌نامه‌هایی ارائه شده است. سدها سازه‌هایی هستند که هم اکنون به خوبی نظارت و پایش می‌شوند. برای نظارت بر سدها در بیشتر کشورها آیین‌نامه‌هایی ارائه شده است

که با در نظر گرفتن عواقبی که شکست سد می‌تواند داشته باشد از جمله خسارت مالی و جانی، جنبه‌های اجتماعی و اقتصادی و آسیب‌های اکولوژیک، این موضوع قابل درک است.

پایش سلامت آنلاین در سدها زیرمجموعه برنامه بزرگتری است که در حالت کلی، سیستم ایمنی سد^۱ نام دارد. سیستم ایمنی سد مشتمل بر گزاره‌های متعددی نظیر بازرسی و ارزیابی‌های ایمنی جهت تعیین وضعیت سلامت و ایمنی سد و اعلام هشدار در شرایط اضطراری می‌باشد. اولین دستورالعمل ملی در زمینه بازرسی سدها در سال ۱۹۷۲ به دنبال خرابی سد Buffalo Creek در آمریکا که منجر به مرگ ۱۲۵ نفر شد، تدوین گردید. در سال‌های ۱۹۷۸ الی ۱۹۸۰ پس از خرابی سدهای Teton در سال ۱۹۷۶ (با یک میلیون دلار زیان مالی و مرگ ۱۴ نفر) و Kelly Bames در سال ۱۹۷۷ (با مرگ ۳۹ نفر) دستورالعمل‌ها و راهنماهای ایمنی سدها بازنگری و تکمیل شدند. پس از آن نیز به مرور با پیشرفت روش‌های بازرسی و پایش، برنامه‌ها و دستورالعمل‌های ایمنی سدها تکمیل و به روز شده و تحت قالب کلی برنامه ملی ایمنی سد^۲ مورد بهره‌برداری و اجرا قرار گرفتند. برنامه‌های ایمنی سدها در سایر کشورهای جهان نیز به همین ترتیب تدوین شده و اجرا می‌گردند. در ایران نیز مبحث ایمنی سدها تحت عنوان راهنمای ارزیابی ایمنی و اقدامات اضطراری در سدها و سازه‌های وابسته توسط معاونت آبفای وزارت نیرو تهیه و تدوین شده است. در راهنمای مذکور، نکات و الزاماتی در خصوص پایش سدها با استفاده از ابزارهای اندازه‌گیری ارائه شده است. البته عنوان پایش سد در راهنمای مذکور بیشتر ناظر به ارزیابی‌های غیرمخرب (NDE) بوده و اندازه‌گیری‌های پیوسته و آنلاین پارامترها، بصورت مجزا عنوان نشده است.

پایش سد علاوه بر بازرسی‌های چشمی دوره‌ای، با استفاده از ابزارهای مختلفی نظیر GPS، لرزه نگارها و سنسورهای مختلف کرنش و تغییرمکان صورت می‌گیرد. استراتژی‌های نظارت سدها در طول قرن بیستم عمدتاً بر اساس استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری معمولی توسعه یافته بودند. بنابراین استراتژی‌های نظارت براساس استفاده از تکنولوژی‌های فیبر نوری مشابه حالات سنتی آنها است. سنسورهای فیبرنوری می‌توانند جایگزین سنسورهای

¹ - Dam Safety System

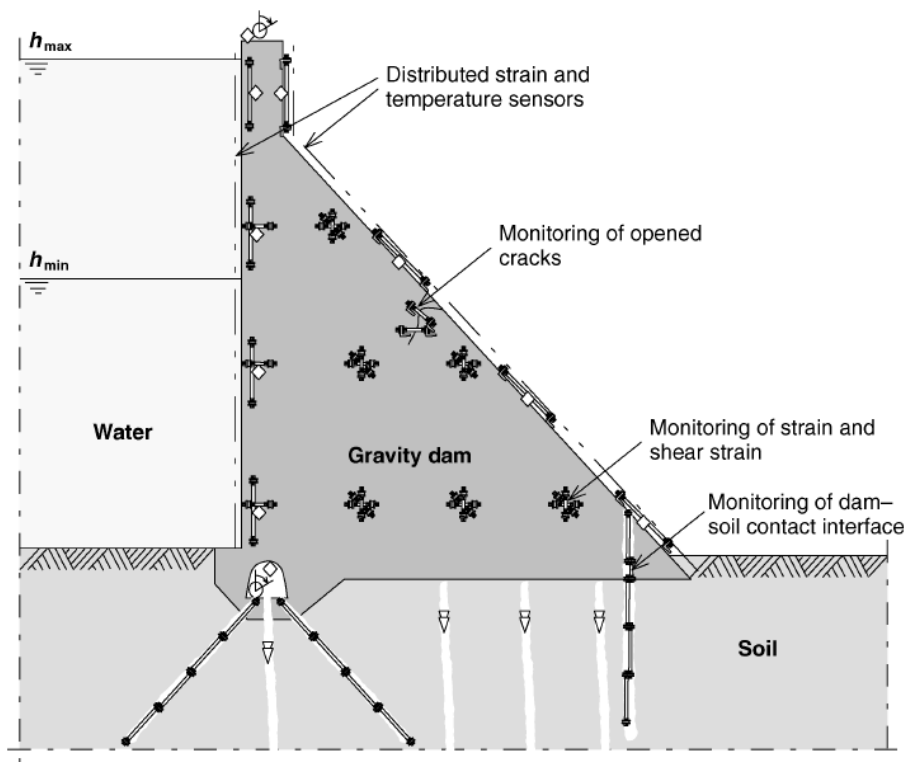
² - National Dam Safety Program

گسسته قدیمی شوند. که مزایایی از جمله عدم حساسیت به شرایط سخت زیست محیطی (خوردگی، رطوبت، میدان‌های الکترومغناطیس و ...) دقت، ثبات و عملکرد دراز مدت را در پی خواهد داشت.

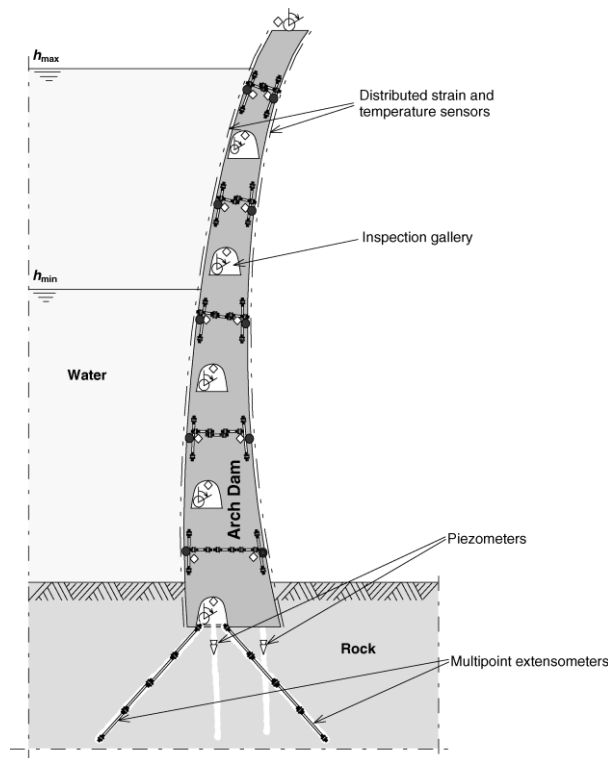
از آنجایی که سدها سازه‌های بزرگی هستند استفاده از تکنولوژی‌های گسترده فیبر نوری امکانات جدیدی را برای نظارت بر کرنش، دما و نشست فراهم می‌کند. یک سنسور توزیع شده اجازه نظارت بر محدوده بزرگی را می‌دهد که با استفاده از سنسورهای قدیمی ممکن نبوده است. علاوه بر این تکنولوژی توزیع سنسورها (فیبر نوری) نظارت کلی سدها و اعضای سازه‌ای سد را فراهم می‌سازد.

به لحاظ ساختاری سدها به سه دسته تقسیم می‌شوند: سد قوسی، سدهای وزنی و دایک‌ها، امروزه تکنولوژی‌های فیبر نوری را نمی‌توان بطور کامل جایگزین تکنولوژی‌های معمولی کرد.

مقطعی از سدهای نمونه به همراه سنسورهای نصب شده بر آن در اشکال زیر نشان داده شده‌اند. [۲]



شکل ۱-۲: نمای شماتیک شبکه سنسورهای فیبر نوری نصب شده در مقطع عرضی سد وزنی



شکل ۱-۳: نمای شماتیک شبکه سنسورهای فیبر نوری نصب شده در مقطع عرضی سد قوسی بتنی

۱-۳-۳ - پایش سلامت سازه در توربین‌های بادی

انرژی باد به عنوان نوعی از انرژی‌های امن، ارزان و پاک، یکی از منابع انرژی‌های نو است که به سرعت در حال رشد است. طبق اعلام انجمن جهانی انرژی باد، سیستم‌های انرژی بادی امروزه برای تولید برق در ۸۳ کشور جهان استفاده می‌شوند که ۵۲ کشور از آنها ظرفیت کلی تولید نیرو را در سال ۲۰۱۰ افزایش داده‌اند. بطور کلی ظرفیت جهانی تولید برق با این روش به پتانسیلی حدود ۱۹۶۶۳۰ MW در سال ۲۰۱۰ رسیده است و تخمین زده شده که در سال ۲۰۱۵ این ظرفیت به ۶۰۰۰۰۰ MW و در سال ۲۰۲۰ به ۱۵۰۰۰۰۰ MW برسد.

ملاحظات کلیدی هنگام نصب توربین‌های بادی، در دسترس بودن، قابل اطمینان بودن و مفید بودن آنهاست. اصلی‌ترین انگیزه نصب سیستم‌های SHM اطمینان از سلامت بلند مدت و عملکرد موثر توربین‌های بادی است. به هر دو این اهداف می‌توان با نظارت سیستماتیک بر شرایط اعضای سازه‌ای و یا اجزاء مکانیکی با در نظر گرفتن پتانسیل خرابی‌ها و آسیب‌ها دست یافت. امروزه استفاده از سیستم SHM در مورد توربین‌های بادی در بسیاری از

کشورهای صنعتی رواج دارد و کاربردی عملی و تجاری پیدا کرده است. البته شایان ذکر است که فعالیت‌های تحقیقاتی نیز در دانشگاه‌ها و موسسات معتبر مربوطه در جهت تکمیل و به روز کردن سیستم‌های تجاری SHM و استفاده از تکنولوژی‌های جدید همگام با کاربرد تجاری صورت می‌گیرد. سیستم پایش سلامت سازه در توربین‌های بادی برای اجرایی نظیر پره‌ها، برج و فونداسیون مورد نظر می‌باشد که در این میان، پره‌ها دارای اهمیت بیشتری بوده و سهم بیشتری از فعالیت‌های تحقیقاتی و اجرایی را به خود تخصیص داده است.

با پیشرفت تکنولوژی ساخت سنسورها مخصوصاً سنسورهای فیبر نوری پیش‌بینی می‌شود که در آینده نزدیک تکنولوژی استفاده از این سنسورها تکنولوژی اصلی برای سیستم‌های SHM شود. در سایه پیشرفت‌های صنعت ارتباطات که از اجزاء جایگزین استفاده می‌کنند، قیمت این سیستم‌ها رو به کاهش است. از طرفی با پیشرفت سیستم‌ها و نرم‌افزارهای آنالیز و پردازش داده‌ها سیستم‌های SHM همواره در جهت پیشرفت و دقت بیشتر هستند. تکنولوژی‌های نوین همانند نانو تکنولوژی نیز کم‌کم جایگاه خود را در این صنعت بدست آورده‌اند.

محققان دانشگاه دیویس کالیفرنیا (UC Davis)، پروفسور Ken Loh و Valeria la Saponara، با استفاده از خواص منحصر به فرد از نانو لوله‌های کربنی پوشش قوی و چند منظوره‌ای را ساخته‌اند که می‌توان آن را بر روی هر سطحی اسپری کرد و تغییرات بوجود آمده در سازه را نظارت کرد. از این سنسورها برای نظارت بر سازه‌های با اهمیت نظیر پل‌ها و توربین‌های بادی استفاده می‌شود. این تکنولوژی در ابتدا به صورت پوشش لایه لایه بر سازه اجرا می‌شد. با توسعه آن امکان اجرای آن به صورت اسپری بر روی سطوح فراهم شد. این پوشش حساس به کرنش است به این صورت که اگر کشیده و یا فشرده شود مشخصات الکتریکی آن بسته به اینکه چه مقدار تغییر شکل رخ می‌دهد تغییر می‌کند. نانو لوله‌های کربنی بر روی سطح مورد نظر پاشیده می‌شود و الکترودها به اطراف مرزهای پوشش متصل می‌شوند. هدف کلی این پژوهش استخراج روش پایش سلامت سازه SHM و پیش‌بینی شکست‌ها، است که در سازه‌های توربین بادی (پره و برج توربین) کاربرد دارد. همچنین این سیستم این امکان را فراهم می‌آورد که به اپراتور هشدار اولیه‌ای پیش از شکست سازه‌ای داده شود. [۳۸] الی [۴۵]

فعالیت اصلی سیستم انتقال و توزیع برق (T&D) رساندن انرژی از تولیدکننده (ژنراتور) به مصرف‌کننده است. خطوط هوایی انتقال و توزیع، دکل‌های نگهدارنده آنها، مقره‌ها و سایر اجزاء خط تشکیل یک سیستم پیچیده و گسترده را می‌دهند که در برابر انواع خرابی‌ها آسیب‌پذیر است. سناریوهای متداول خرابی در اجزای خطوط انتقال شامل ترک در فونداسیون‌ها، شکست مقره‌ها، خرابی پرچ‌ها و پیچ‌ها، فروریزش دکل‌ها و موارد نظیر می‌باشند که عمدتاً موجب ایجاد قطع برق و خاموشی محدود^۱ یا گسترده^۲ می‌گردند. عوامل متعددی در وقوع خرابی در خطوط انتقال مؤثرند که می‌توان به خرابی‌های زمین، صائقه، سیل، زلزله، ارتعاشات حاصل از باد (آتولین و گالوپینگ)، یخ زدگی، فرسودگی^۳ (با توجه به اینکه بسیاری از دکل‌های انتقال در مدت زمانی بیش از عمر طرح خود بهره‌برداری می‌شوند) و عوامل انسانی (نقائص اجرایی، حملات خرابکارانه، دزدی اجزای خط و ...) اشاره نمود. علاوه بر خسارات مالی مستقیم حاصل از خرابی اجزای خطوط، وقوع خاموشی‌های حاصل از آن نیز می‌تواند منجر به خسارات سنگین اقتصادی (و سیاسی و اجتماعی در صورت وقوع خاموشی‌های گسترده) گردد.

بدلیل گستردگی مکانی خطوط انتقال و احتمال صعوبت دسترسی به برخی از قسمت‌های آن بدلیل شرایط نامساعد محیطی، بازرسی کلیه دکل‌های خطوط انتقال بصورت مستمر و با روش‌های سنتی ارزیابی، کاری بسیار مشکل و حتی غیر ممکن است. بر این اساس، امروزه مبحث پایش سلامت و استفاده از ابزارهای پایش آنلاین در دکل‌های انتقال برای تشخیص و پیش‌بینی وقوع برخی از خرابی‌ها و ارائه هشدارهای لازم جهت ممانعت از وقوع خاموشی و قطع برق، مطرح شده و فعالیت‌های تحقیقاتی قابل توجهی در دنیا در این راستا صورت گرفته است.

پایش سلامت سازه در مورد خطوط و دکل‌های انتقال برق تا کنون، منحصر به حوزه تحقیقات بوده و فعالیت اجرایی قابل توجهی در این زمینه مشاهده نشده است. عمده متدهای پایش سلامت بررسی شده تا کنون در دکل‌های برق مبتنی بر ارتعاشات و یا شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشند. با استفاده از تکنیک‌های پایش سلامت،

¹ - Outage

² - Blackout

³ - aging

می‌توان خرابی‌هایی مانند عبور خیز خط از حد مجاز، شل شدن یا جدایی پیچ‌ها، ترک‌های ناشی از خستگی یا عوامل دیگر، آسیب‌های انسانی نظیر دزدی اجزاء خط و آلودگی مقره‌ها در خطوط انتقال را تشخیص داد. از طرف دیگر، مبحث تعیین عمر باقیمانده خطوط انتقال با استفاده از تکنولوژی پایش سلامت نیز مطرح بوده و در مرحله اثبات مفهومی^۱ می‌باشد. مرور نسبتاً کاملی از فعالیتهای تحقیقاتی^۲ در حوزه پایش سلامت خطوط هوایی انتقال در مرجع [۴۷] ارائه شده است. بر اساس بررسی انجام شده، فعالیتهای تحقیقاتی در این حوزه از دهه ۱۹۹۰ میلادی بطور پراکنده آغاز شده و در سال‌های پس از ۲۰۰۰ میلادی سرعت بیشتری گرفته است. بیشترین حجم تحقیقات انجام و منتشر شده (حدود ۷۰ درصد) نیز مربوط به سال‌های ۲۰۱۰ تاکنون است که نشان دهنده تازگی و نو بودن مبحث پایش آنلاین سلامت در خطوط انتقال برق می‌باشد. همچنین روش‌ها و تکنیک‌های نوینی برای پایش سلامت در خطوط و دکل‌های انتقال برق با استفاده از سنسورهای فیبر نوری FBG^۳ ارائه شده است. [۴۷]

علاوه بر دکل‌های انتقال، فعالیتهای تحقیقاتی برای پایش سلامت در پایه‌های توزیع برق نیز در دنیا صورت گرفته که نمونه ای از آن در مرجع [۴۸] ارائه شده است. در نمونه مورد نظر، سیستم پایش سلامت برای تشخیص آنلاین و از راه دور دزدی اجزاء پایه توزیع، پیشنهاد و بصورت آزمایشگاهی بررسی شده است. (شکل زیر) [۴۸]

¹ - Proof-of-Concept

² - The State of the Art

³ - Fiber Bragg Grating



شکل ۱-۴: سیستم پایش پایه‌های تلسکوپی توزیع و انتقال برق

۱-۴-۱- وضعیت و جایگاه فناوری پایش سلامت سازه‌ها در جهان

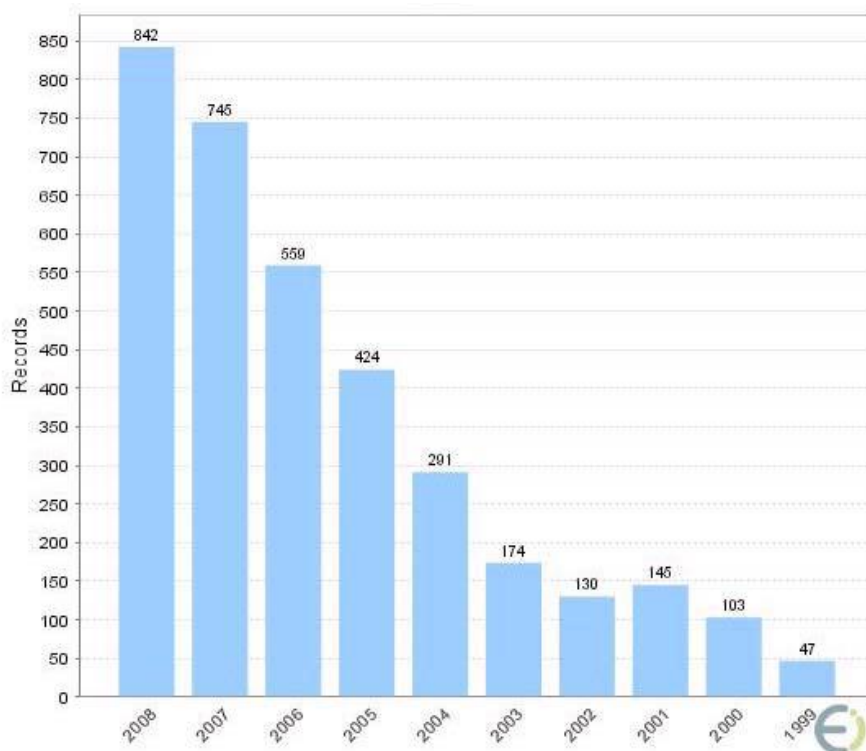
در این بخش، سعی شده تا نمایی از وضعیت پایش سلامت انواع سازه‌ها در حوزه‌های تحقیقاتی و اجرایی در بخش‌های مختلف شامل صنعت برق، به همراه کنشگران عمده درگیر در این موضوع در کشورهای مختلف دنیا ترسیم و ارائه گردد.

۱-۴-۱-۱- فعالیت‌های تحقیقاتی

امروزه پایش سلامت سازه‌ها در بسیاری از کشورهای دنیا نقش مهمی پیدا کرده است. سیستم‌های پایش سلامت هم در سازه‌های قدیمی و ساخته شده و هم در سازه‌های جدید نصب می‌شوند تا علاوه بر مدیریت نگهداری و تشخیص خرابی، اطلاعات ذیقیمتی از وضعیت کارکرد و عملکرد سازه بصورت آنلاین در اختیار محققین قرار دهند. در این میان، بخش‌های تحقیقاتی در توسعه و ارائه الگوریتم‌ها و روش‌های جدید و کاربردی پایش سلامت، توسعه و ارتقاء سیستم‌های اندازه‌گیری و سنسورها، توسعه تجهیزات و نرم‌افزارهای کاربردی، یکپارچه سازی و تدوین استانداردها و ... نقش مهمی را ایفا می‌نمایند. امروزه حجم قابل توجهی از فعالیت‌های مرتبط با پایش

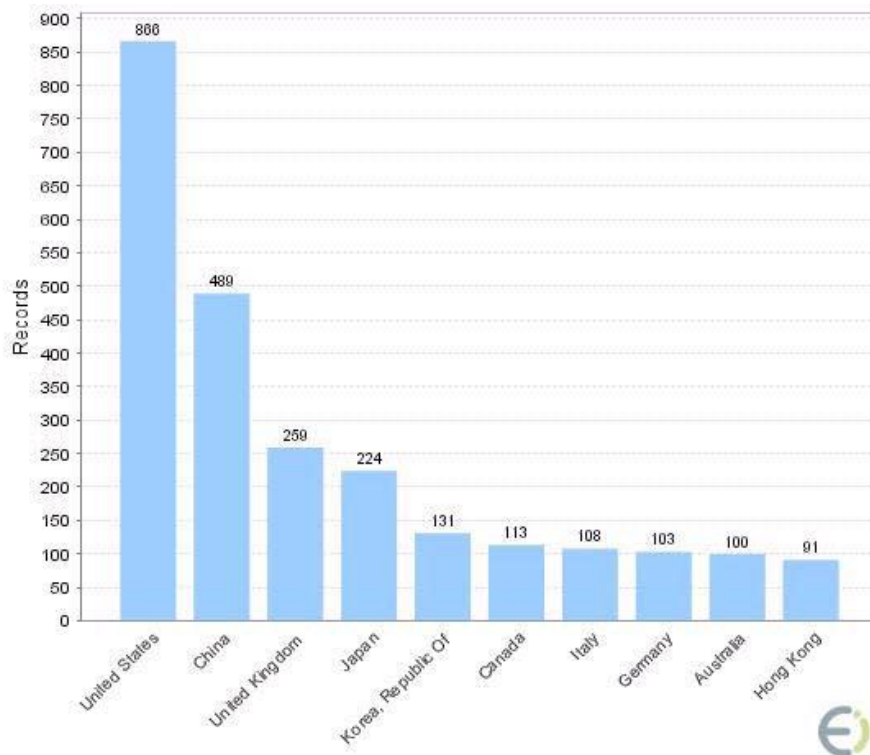
سلامت سازه‌ها در دنیا، مربوط به بخش‌های تحقیقاتی بوده و از نتایج و خروجی‌های پروژه‌های اجرایی نیز، در بخش تحقیقات استفاده می‌شود.

بنابر نتایج جستجویی که در مرجع [۳۰] ارائه شده، میزان مقالات منتشر شده در دنیا (بر اساس جستجو در پایگاه داده Elsevier) در سال‌های مختلف از ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۸ بصورت شکل زیر می‌باشد. نمودار فوق نشان دهنده رشد قابل توجه فعالیت‌های تحقیقاتی در این زمینه در دنیا طی سال‌های مذکور می‌باشد.



شکل ۱-۵: میزان مقالات منتشر شده در زمینه پایش سلامت سازه‌ها در دنیا

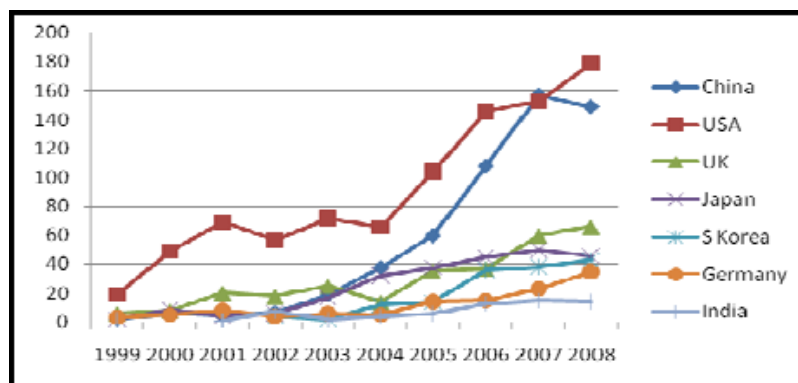
همچنین میزان سهم کشورهای مختلف دنیا در فعالیت‌های تحقیقاتی و تولید علم در این زمینه نیز در شکل زیر ارائه شده است. بر این اساس مشخص است که رتبه اول تولید علم (با معیار انتشار مقاله) در زمینه پایش سلامت سازه متعلق به کشور آمریکا بوده و کشورهای چین و انگلستان در رده‌های دوم و سوم قرار دارند.



شکل ۱-۶: ۱۰ کشور اول دنیا در انتشار مقالات مرتبط با پایش سلامت سازه‌ها

شکل زیر روند رشد انتشار مقاله در زمینه پایش سلامت سازه‌ها را طی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۸ را در

کشورهای مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۱-۷: روند رشد انتشار مقالات مرتبط با پایش سلامت سازه‌ها در کشورهای مختلف

۱-۴-۱-۱- شبکه‌ها و مؤسسات علمی و تحقیقاتی

مؤسسات تحقیقاتی بسیاری در دنیا مشغول به فعالیت در زمینه مدیریت و تولید علوم و تکنولوژی‌های مربوط به پایش سلامت سازه‌ها هستند.

یکی از مهمترین مؤسسات بین‌المللی فعال در زمینه پایش سلامت سازه‌ها، مؤسسه ISHM^۱ است که بصورت غیرانتفاعی فعالیت می‌کند. [۱۶] هدف این مؤسسه، ایجاد توسعه و پیشرفت در درک و کاربرد فرایند پایش سلامت در سازه‌ها و ایجاد ارتباط میان محققین و فعالان و به اشتراک گذاری دانش فنی در زمینه‌های مرتبط (از طریق نشر ژورنال تخصصی و برپایی کنفرانس‌ها و کارگاه‌ها) می‌باشد. مرکز اصلی این مؤسسه در دانشگاه مانیتوبا در کانادا بوده و دارای اعضای علمی از دانشگاه‌ها و مؤسسات تحقیقاتی از سراسر دنیا و نیز شعبه‌ای در ایران (در دانشگاه صنعتی امیرکبیر) می‌باشد.

یکی از مراکز تحقیقاتی در آمریکا، تیم تحقیقاتی CoE SHM می‌باشد که متشکل از افرادی از اعضای هیئت علمی دانشکده‌های مهندسی علم مواد، هوافضا، عمران، مکانیک و برق دانشگاه Penn State آمریکا می‌باشد. این مرکز در سال ۲۰۰۷ از طرف Ben Franklin Technology Partners تأمین اعتبار شد. چشم‌انداز این مرکز تحقیقاتی گردآوری و هماهنگی بین افراد فعال در زمینه پایش سلامت سازه‌ها در صنعت، محیط آکادمیک و دولت به منظور پیشرفت و توسعه در تحقیقات و تکنولوژی پایش سلامت می‌باشد. از مأموریت‌های این مرکز توسعه SHM به منظور افزایش امنیت عمومی، کاهش هزینه تعمیر و نگهداری، افزایش آمادگی و همچنین فراهم نمودن بستری برای تبادل تحقیقات و تکنولوژی بین محیط آکادمی، صنعت و دولت می‌باشد، [۵۱].

یکی دیگر از مؤسسات مرتبط با پایش سلامت سازه‌ها که فعالترین شبکه در این زمینه در اروپا است، شبکه‌ای موسوم به SAMCO^۲ می‌باشد. [۱۷] شبکه SAMCO در خلال سال‌های ۲۰۰۱ الی ۲۰۰۶ به مرور تشکیل و تکمیل شده و اکنون دارای حدود ۸۵ عضو از ۲۵ کشور مختلف جهان بوده و با ISHM^۱ نیز مرتبط است. این

^۱ - International Society for Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure.

^۲ - Structural Assessment, Monitoring and Control.

شبکه ارتباط میان شرکت‌های ساخت و ساز، مدیران و مالکان سازه‌ها، خبرگان صنعت پایش، مؤسسات تحقیقاتی، مقامات محلی و دولت‌ها و سایر بخش‌های مرتبط با پایش سلامت سازه‌ها را در کل اروپا برقرار می‌کند. این شبکه، تبادل و انتقال دانش فنی و تکنولوژی در زمینه ارزیابی، پایش و کنترل هوشمند سازه‌ها را پشتیبانی می‌کند. فعالیت‌های غالب این شبکه در مورد پایش سازه‌های پل‌ها، ساختمان‌ها، نیروگاه‌ها و ساختمان‌های صنعتی تحت شرایط محیطی مختلف بوده و تمامی کنشگران مرتبط از محققین و خبرگان تا استفاده‌کنندگان نهایی و مالکان را پوشش می‌دهد. این شبکه در زمینه مدیریت تکنولوژی و تهیه برنامه‌های استراتژیک پایش سلامت سازه‌ها نیز فعال است. همچنین این شبکه برنامه‌های دوره‌ای در راستای ارائه آموزش و انتقال دانش به بخش‌های مختلف مرتبط با پایش سلامت را ارائه می‌دهد.

یک شبکه بین‌المللی دیگر در زمینه پایش سلامت سازه‌ها که در سال ۲۰۰۷ بصورت یک پروژه مشترک (کنرسیوم) با هدف ارائه نوآوری‌ها در پایش سلامت (بخصوص در تکنولوژی‌های اندازه‌گیری و سنسورها) در انگلستان ایجاد گردید، شبکه موسوم به CEASA^۱ می‌باشد.

مؤسسات علمی گوناگونی نیز در مناطق مختلف دنیا به فعالیت در زمینه تحقیق و توسعه سیستم‌های پایش سلامت و ارزیابی و بازرسی سلامت سازه‌ها (ارزیابی‌های غیرمخرب) مشغول می‌باشند که به عنوان نمونه‌هایی در اروپا می‌توان به مؤسسات علمی EMPA در سوئیس، BAM در آلمان، LCPC در فرانسه اشاره نمود.

۱-۴-۱-۲- دانشگاه‌ها و مراکز آموزشی

حجم قابل توجهی از مطالعات و فعالیت‌های تحقیقاتی در زمینه پایش سلامت سازه‌ها در دنیا، در دانشگاه‌ها و مؤسسات وابسته به آنها انجام می‌شود. یکی از مهمترین و فعالترین مراکز تحقیقاتی دانشگاهی در این زمینه در اروپا، مرکز پایش سازه SFB 477 در دانشگاه Braunschweig در آلمان است. [۱۸] در این مرکز تحقیقاتی روش‌ها و متدهای نوین برای پایش سلامت و ارزیابی کارکرد انواع سازه‌های مهندسی بررسی و تدوین می‌گردد. این مرکز دارای دانشمندانی در زمینه‌های مختلف علمی نظیر مهندسی سازه و سیویل، نقشه برداری، مهندسی مکانیک،

مهندسی برق و مهندسی شیمی می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی کلان در این مرکز شامل چهار دسته روش‌ها و راهبردها، مدل‌های سازگار پایش، سیستم‌های اندازه‌گیری و تست‌های عملی روی سازه‌ها می‌باشند.

یکی دیگر از مراکز مهم تحقیقاتی در زمینه پایش سلامت سازه‌ها در مرکز مهندسی ارتعاشات^۲ دانشگاه شفیلد انگلستان قرار دارد. [۱۹] این مرکز بطور خاص بر روی پایش سلامت پل‌ها (بخصوص پل‌های معلق) فعالیت کرده و با نصب ابزارهای اندازه‌گیری روی پل‌ها و استفاده از سیستم‌های نوین پایش و فناوری اطلاعات (نظیر Data Mining)، به تولید و ارائه دانش و اطلاعات در این زمینه می‌پردازد.

در مورد پایش سلامت پل‌های کابلی پیاده رو، فعالیت‌های تحقیقاتی در دانشگاه پلی تکنیک تورین در ایتالیا انجام می‌شود. همچنین دانشگاه جنوا در ایتالیا نیز فعالیت‌های تحقیقاتی خاص در مورد سازه‌های دریایی و بندرگاه‌ها انجام می‌دهد. در مورد این سازه‌ها، تأثیر موج‌ها بر پایداری آنها با استفاده از سیستم‌های مبتنی بر GPS مورد پایش و بررسی قرار می‌گیرد.

در اسکاندیناوی نیز فعالیت‌های تحقیقاتی در مورد پایش سلامت سازه‌ها (بطور خاص در مورد پل‌ها) در دانشگاه‌هایی نظیر انستیتو تکنولوژی سلطنتی در استکهلم سوئد^۳، دانشگاه فنی دانمارک^۴ و دانشگاه فنی لولیا^۵ در سوئد انجام می‌گیرد.

۱-۴-۱- کنفرانس‌ها و کارگاه‌های تخصصی

شبکه‌های ارتباطی، مؤسسات تحقیقاتی و دانشگاه‌ها با برگزاری دوره‌ای کنفرانس‌ها و کارگاه‌های تخصصی، دستاوردها و یافته‌های خود را معرفی و ارائه می‌نمایند. کنفرانس‌های متعددی در دنیا با موضوع پایش سلامت سازه‌ها برگزار می‌گردد که نمونه‌هایی از مهمترین آنها به شرح زیر می‌باشند:

¹ - Consortium of Excellence in Advanced Sensors and their Applications.

² - Vibration Engineering Section

³ - Royal Institute of Technology (KTH)

⁴ - Denmark Technical University

⁵ - Lulea University of Technology

- ↔ European Workshop on Structural Health Monitoring (EWSHM) کارگاه دوسالانه که در سال ۲۰۰۲ در فرانسه شروع به کار نمود و تا کنون ادامه دارد. در این کارگاه موضوعاتی نظیر تشخیص خرابی، پردازش سیگنال‌ها، توسعه سنسورها، تکنیک‌های آنالیز داده‌ها، مطالعات آزمایشگاهی و ... مطرح می‌شود.
- ↔ European Conference on Non-destructive Testing (ECNDT) کنفرانس چهار سالانه که در سال ۱۹۷۸ در آلمان شروع به کار نمود و در زمینه‌های ارزیابی‌های غیرمخرب و پایش سلامت سازه‌ها و تکنیک‌های مختلف آنها فعالیت می‌کند.
- ↔ نشست‌های تخصصی سالانه توسط انجمن آلمانی تحلیل آزمایشگاهی تنش (GESA)^۱ که در زمینه ابزارها و تکنولوژی‌های اندازه‌گیری تنش‌ها بصورت آزمایشگاهی برگزار می‌شود.
- ↔ کنفرانس‌های سالانه CSHM که در نقاط مختلف دنیا توسط شبکه ISHMII در موضوعات مختلف پایش سلامت سازه‌ها برگزار می‌گردد.^۲
- ↔ World Conference on Structural Contron and Monitoring (WCSCM) کنفرانس جهانی در زمینه‌های مختلف مرتبط با کنترل هوشمند و پایش سلامت سازه‌ها که در اروپا برگزار می‌گردد.
- ↔ Annual Symposium on Smart Structures and Materials کنفرانس سالانه که از سال ۱۹۹۷ در آمریکا آغاز شده و توسط مؤسسه SPIE^۳ برگزار می‌گردد.
- ↔ the International Workshop on Structural Health Monitoring has کارگاه دوسالانه که از سال ۱۹۹۷ در دانشگاه استنفورد آمریکا آغاز شده است.
- ↔ European Conferences on Smart Structures & Materials کنفرانس دوسالانه اروپایی که از سال ۱۹۹۲ آغاز شده است.

¹ - German Association for Experimental Stress Analysis.

² - International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructures

³ - Society of Optical Engineering

↔ World Conference on Structural Control کنفرانس جهانی در زمینه پایش سلامت، تشخیص خرابی

و کنترل هوشمند سازه‌ها، از سال ۱۹۹۸ آغاز شده و هر چهار سال یکبار برگزار می‌شود.

↔ International Congress on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management

(COMADEM) کنفرانس سالانه بین‌المللی که توسط مؤسسه^۱ MPET برگزار شده و به موضوعاتی نظیر

تکنولوژی سنسورها، مکانیزم‌های خرابی، پایش سلامت، تکنولوژی‌های پیش‌بینی خرابی، ارزیابی‌های

غیرمحرّب و موارد مشابه می‌پردازد.

↔ the First International Workshop on Structural Health Monitoring of Innovative Structures

که در سال ۲۰۰۲ در مانیتوبای کانادا توسط مؤسسه^۲ ISIS آغاز گردید.

۱-۴-۱- ژورنال‌ها و مجلات علمی

ژورنال‌ها و مجلات علمی متعددی در دنیا وجود دارند که بطور خاص نتایج حاصل از تحقیقات محققین در

زمینه پایش سلامت و کنترل هوشمند سازه‌ها را، منتشر می‌نمایند. فهرستی از مهمترین ژورنال‌های تخصصی پایش

سلامت سازه‌ها به شرح زیر می‌باشد:

- Journal of Civil Structural Health Monitoring (JCSHM) (<http://www.ishmii.org/jcshm>)
- Structural Health Monitoring - An International Journal (<http://shm.sagepub.com/>)
- Structural Control and Health Monitoring
- Structural Durability and Health Monitoring
- Journal of Intelligent Material Systems and Structures
- The Smart Materials and Structures Journal
- (<http://www.iop.org/Journals/sm>)
- Shock and Vibration Digest
- Mechanical Systems and Signal Processing (<http://www.academicpress.com/mssp>)
- ASME Journal of Vibration and Acoustics
- (www.asme.org)

¹ - Society for Machinery Failure Prevention Technology

² - Intelligent Sensing for Innovative Structures

- Earthquake Engineering and Structural Dynamics
- (<http://www.interscience.wiley.com>)
- Sound and Vibration
- (<http://www.sandvmag.com>)
- P/PM Technology
- (<http://www.ppmtech.com>)
- Test Engineering & Management
- An International Journal of Structural Health Monitoring

علاوه بر موارد فوق، در ژورنال‌های عمومی مرتبط با مهندسی پل، دینامیک سازه‌ها، کنترل سازه‌ها و ... نیز بعضاً مقالاتی در زمینه‌های مرتبط با پایش سلامت، تشخیص خرابی، شناسایی سیستم‌ها و ... منتشر می‌گردند.

۱-۴-۲ - فعالیت‌های اجرایی

همانطور که در بخش‌های قبل عنوان شد، نمونه‌های بسیاری از انواع سازه‌ها در دنیا را می‌توان یافت که در آنها از سیستم‌های پایش سلامت در سطوح مختلف و با مقاصد و اهداف گوناگون استفاده شده باشد. بدلیل جوان بودن نسبی تکنولوژی پایش سلامت در دنیا، در اغلب موارد عملی اجرا شده در سازه‌های مختلف، اهداف تحقیقاتی نیز مورد نظر بوده است. بدلیل تنوع روش‌ها و رویکردهای پایش از یک طرف و منحصر بفرد بودن هر نوع سازه از لحاظ رفتار و مودهای خرابی از سوی دیگر، فرآیند پایش سلامت برای هر تیپ سازه یک پروژه منحصر بفرد با مشخصات و ویژگی‌های خاص خود است. بعبارت دیگر ارائه یک بسته مشخص و فیکس به عنوان پایش سلامت که برای انواع سازه‌ها استفاده شود، ممکن نبوده و هر تیپ سازه ای دارای راه حل و فرآیند پایش سلامت مختص خود می‌باشد.

استانداردهای مرتبط با پایش سلامت سازه‌ها در دنیا

یکی از مسائل و مشکلات کلیدی و اصلی بر سر راه اجرایی شدن و رواج استفاده از سیستم پایش سلامت در سازه‌ها، فقدان استانداردها و راهنماهای جامع و قابل استفاده برای جامعه مهندسی در این زمینه، می‌باشد. همانطور که در بخش‌های قبل عنوان گردید، جزئیات فرآیند پایش سلامت برای هر سازه بخصوص، منحصر بفرد بوده و تنها

برای همان سازه قابل استفاده است. بدین دلیل، استاندارد کردن این فرآیند برای تیپ‌های سازه‌ای مختلف دارای چالش‌های متعددی بوده و نمی‌توان روند استاندارد با جزئیات کامل برای تمام سازه‌ها تدوین نمود. با این وجود تلاش‌هایی در زمینه استاندارد کردن فرآیند پایش سلامت سازه‌ها در دنیا صورت گرفته و منجر به تدوین راهنماها و استانداردهایی شده که عموماً به مسائل کلی در این زمینه پرداخته‌اند. نمونه‌هایی از این استانداردها در بخش ۲-۳-۱-۳ این گزارش ارائه شده‌اند.

۱-۲-۴-۱- شرکت‌های مرتبط با پایش سلامت سازه‌ها در دنیا

تعداد بیشماری از شرکت‌ها و کمپانی‌های مهندسی در دنیا وجود دارند که در زمینه ارائه خدمات پایش سلامت سازه‌ها فعالیت می‌کنند. برخی از شرکت‌های مذکور کل فرآیند پایش سلامت را (از طراحی تا تفسیر داده‌ها) برای سازه مورد نظر بصورت کامل ارائه نموده و برخی دیگر، خدمات مربوط به بخش‌هایی از فرآیند پایش سلامت (مثلاً ارائه و نصب سیستم‌های اندازه‌گیری پاسخ‌ها) را شامل می‌شوند.

به عنوان نمونه دو شرکت بزرگ در اروپا که خدمات پایش سلامت را بصورت کامل برای انواع سازه‌ها ارائه می‌کنند، شرکت‌های COWI A/S در دانمارک [۲۰] و FUTURTEC در فنلاند [۲۱] می‌باشند.

یکی از شرکت‌های بسیار معروف و معتبر در زمینه پایش سلامت که بطور خاص در زمینه ارائه ابزارهای اندازه‌گیری (سنسورها به همراه متعلقاتشان) در کل دنیا فعال است، شرکت SMARTEC SA [۲۲] در سوئیس می‌باشد که تکنولوژی سنسورهای گسترده فیبر نوری را ارائه می‌کند. این شرکت همچنین در بسیاری از پروژه‌های تحقیقاتی انجام شده در دنیا در زمینه پایش سلامت سازه‌ها همکاری داشته و گسترش شبکه کارکرد آن در حدود ۲۰ کشور را شامل می‌شود.

شرکت دیگری که در زمینه تکنولوژی سنسورهای فیبرنوری در صنایع هوافضا، نفت، معدن و عمران فعال است،

شرکت بلژیکی FOS&S می‌باشد که دارای شعباتی در بلژیک و هنگ کنگ می‌باشد. [۲۳]

همچنین شرکت‌های GESO در آلمان و Omnisens SA در سوئیس نیز در زمینه ارائه تکنولوژی‌های

اندازه‌گیری و سنسورهای فیبر نوری دما و کرنش در صنعت و سازه‌ها فعالیت می‌کنند. [۲۴ و ۲۵]

شرکت‌های بزرگ در سطح بین‌المللی وجود دارند که به طور تخصصی در حوزه SHM و کاربرد آن در توربین‌های بادی فعالیت می‌کنند. به عنوان نمونه‌ای از این شرکت‌ها می‌توان به RE Power Systems اشاره نمود. تکنولوژی در سطح جهانی با کارایی بالا، همراه با مجموعه گسترده‌ای از توربین‌های بادی تحت نظارت در محدوده قدرت ۱/۸ الی ۶/۵ مگاوات، RE power را به یکی از برندهای بین‌المللی در این سیستم تبدیل کرده است. یکی از شعارهای این شرکت ارائه سیستم‌های اقتصادی و موثر برای نظارت بر سلامت است که از قابل اطمینان بودن توربین بادی در عمر آن اطمینان حاصل می‌کنند. سیستم^۱ SCADA این شرکت مدیریت ابتدا تا انتهای توربین‌های بادی را فراهم می‌کند. همچنین این کمپانی با استفاده از سیستم SCADA خود نظارت پیوسته و کنترل پهنه‌های بادی را تضمین می‌کند. برای کسب اطلاعات بیشتر می‌توان به سایت RE power (www.repower.de) مراجعه کرد.

۱-۴-۲-۲- نمونه‌هایی از پروژه‌های اجرا شده در دنیا

همانطور که در بخش‌های قبل عنوان شد، سازه‌های قابل توجهی در دنیا وجود دارند که در آنها سیستم پایش سلامت در سطوح مختلف و با اهداف مختلف نصب شده و مورد استفاده قرار گرفته است. تقریباً می‌توان گفت که در تمامی سازه‌های مذکور، اهداف تحقیقاتی نیز در استفاده از سیستم پایش سلامت مورد نظر بوده است. مجدداً یادآور می‌شود که نصب و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت در هر سازه خاص، یک پروژه منحصر بفرد می‌باشد. در میان انواع سازه‌هایی که در دنیا مورد پایش قرار گرفته اند، پل‌ها دارای بیشترین فراوانی می‌باشند. در ادامه نمونه‌هایی از شاخص‌ترین سازه‌هایی در دنیا که سیستم پایش سلامت در آنها نصب و استفاده شده، به تفکیک کشورهای مختلف معرفی و ارائه شده است:

آمریکا:

- I40 Bridge
- Huey B. Long Bridge

¹ Supervisory Control and Data Acquisition system

- Asset Management of the Burlington County Bridge Commission Toll Bridges

ژاپن:

- Annex of Shimizu Institute of Technology
- Hyaku-Nen Kan
- Kamikazue Viaduct
- Wind Tunnel Testing Laboratory

چین:

- Ting Kau Bridge
- Tsing Ma Bridge

آلمان:

- ESK551 Bridge
- Herrenbrücke Bridge
- Highway Bridge BW91
- Lehrter Bahnhof
- Putlitz Bridge
- Westend Bridge
- Zittau Viaduct

انگلستان:

- Huntingdon Railway Viaduct

کانادا:

- Beddington Trail Bridge
- Brookside Cemetery
- Confederation Bridge
- Esplanade Riel Pedestrian Bridge
- Golden Boy Statue
- Hall's Harbour Wharf
- Magog Bridge

- Portage Creek Bridge
- Taylor Bridge

فرانسه:

- Roberval Bridge
- Saint-Jean Bridge

دانمارک:

- Øresund Bridge
- Skovdiget Bridge Columns
- Skovdiget Bridge Superstructure

اتریش:

- Europabrücke
- Floridotower Highrise Building
- Heugasse Railway Bridge
- Melkbridge M6
- Porr Bridge
- Seismic Vulnerability of Hospitals
- St. Marx Bridge
- Talübergang Haag Bridge
- Warth Bridge

ایتالیا:

- Holy Shroud Chapel
- Steelquake Structure
- Time Variability & Viscous Equivalent Damping-Historical Masonry Structures

مجارستان:

- Széchenyi Bridge

سوئد:

- Årsta Railway Bridge
- Källösund Bridge
- Øresund Bridge
- Svinesund Bridge

سوئیس:

- Bridge BE 109/21
- Bridge Z24
- Oberriet Bridge
- Versoix Bridge

اسپانیا:

- Titulcia Steel Bridge

هندوستان:

- Signature Bridge SHM

روسیه:

- Bolshoj Moskvoretsky Bridge

سنگاپور:

- Pasir Panjang Semi Expressway
- Pioneer Bridge
- Punggol EC26 Block 166A
- Republic Plaza
- Tuas Second Link

تایوان:

- Taichung Bridge

تایلند:

- Rama IX Bridge

ترکیه:

- The Fatih Sultan Mehmet Bridge

موناکو:

- Condamine Floating Dock

عربستان سعودی:

پروژه‌ای به منظور پایش سلامت سازه مسجدالحرام در شهر مکه عربستان سعودی در دست اقدام است. برای پایش سلامت فونداسیون و ستون‌های بتنی آن تا کنون بیش از ۶۰۰ سنسور به سازه متصل شده است.

۱-۴-۲-۱- نمونه هایی از پروژه های اجرا شده در سازه‌های صنعت برق

پروژه‌های فوق‌الذکر در مورد سازه‌های مختلف بطور کلی (و عمدتاً در مورد پل‌ها) می‌باشند. بطور خاص در مورد

سازه‌های موجود در صنعت برق، می‌توان به پروژه‌های زیر اشاره نمود:

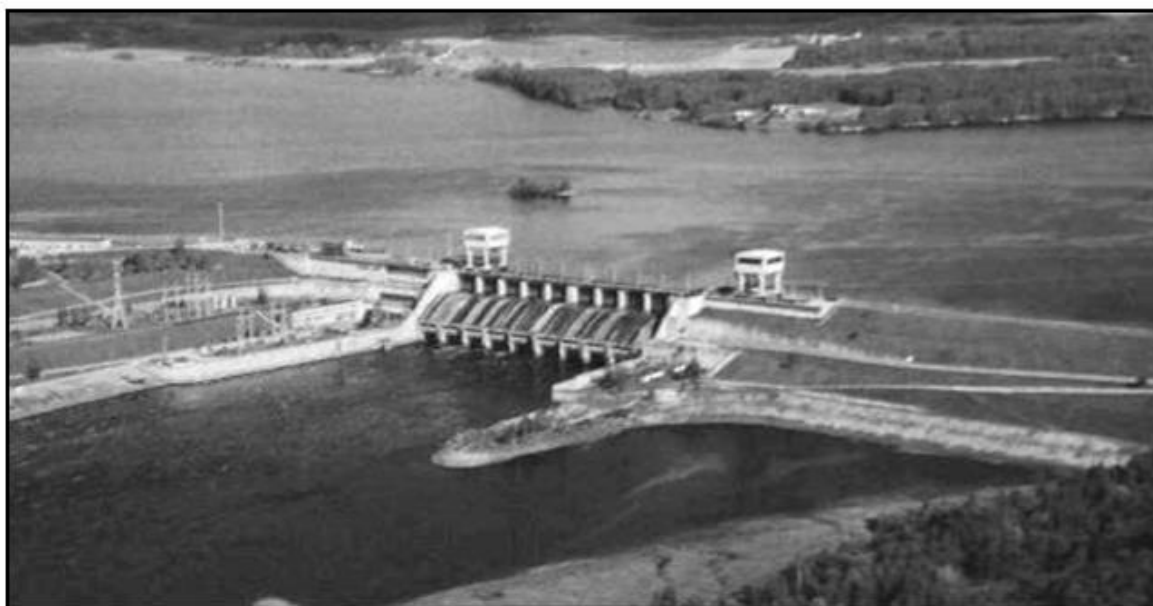
نیروگاه‌های هسته‌ای:

برنامه تحقیقاتی دپارتمان انرژی آمریکا (DOE) برای اجرا و استفاده از سیستم آنلاین پایش سلامت در

بخش‌های سازه ای رآکتور Savannah River Site تا سال ۲۰۱۶. [۳۶]

نیروگاه‌های برق آبی (سدها):

سد وزنی Pelavinu hes که سدی متعلق به مجموعه‌ای از سه ایستگاه بسیار مهم برق آبی رودخانه Daugava، و به لحاظ ظرفیت، بزرگترین نیروگاه آبی در لتونی است و سومین سطح برق آبی آبشار Daugava محسوب می‌شود. به منظور افزایش ایمنی و بهبود فعالیت‌های مدیریتی تصمیم گرفته شد تا بر کل درزهای اجرایی بلوک‌های سد و کرنش متوسط در دستک بتنی نزدیک به درزها، با استفاده از سنسورهای گسترده فیبر نوری پایش شود. [۲]



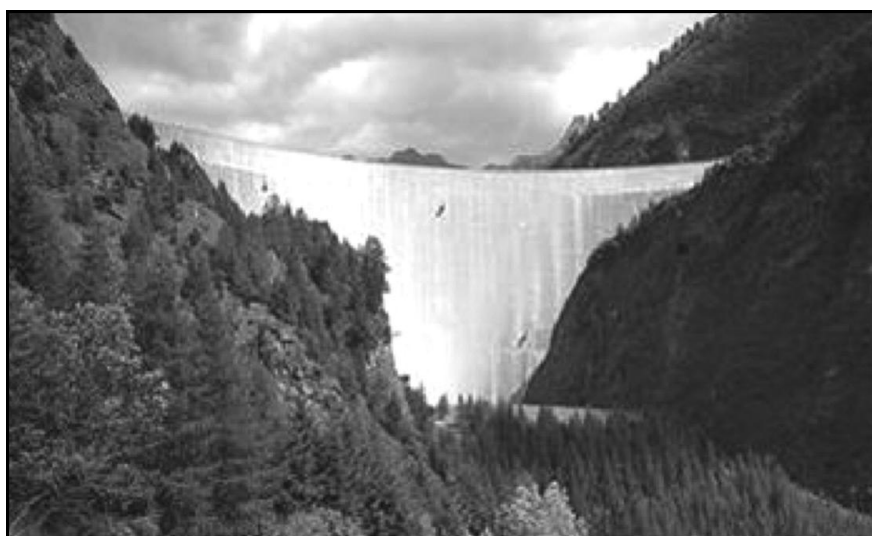
شکل ۱-۸: نمایی از سد وزنی pelavinu hes

از نمونه‌های دیگر استفاده از سیستم پایش سلامت در سدها می‌توان به پایش دما و کرنش‌ها در سدهای قوسی Emosson و Luzzone در کشور سوئیس اشاره نمود. (اشکال زیر) در این سدها، پارامترهایی نظیر کرنش و دما با استفاده از سنسورهای فیبر نوری اندازه‌گیری شده و بر اساس آنها، سازه مورد مراقبت قرار گرفته است.

[۲]



شکل ۱-۹: نمایی از سد قوسی Emosson



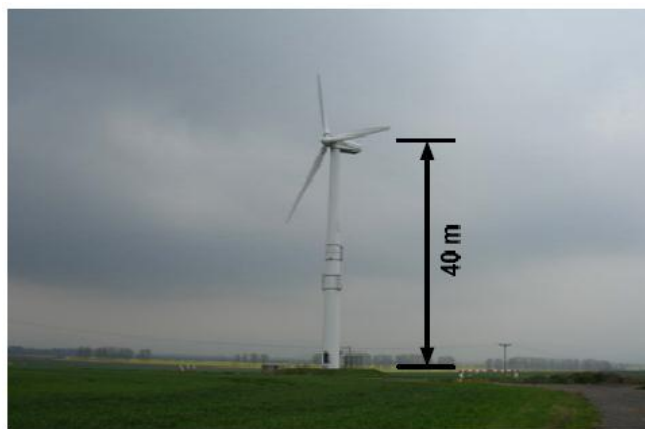
شکل ۱-۱۰: نمایی از سد قوسی Luzzone

نیروگاه‌های بادی (توربین‌های بادی):

در نمونه‌ای که شرکت Strain Stall Monitoring برای نظارت بر توربین‌های بادی دریایی در چهار منطقه از محدوده بادگیر اطراف خط ساحلی انگلیس انجام داده است برای نظارت بر عمر خستگی سازه‌های توربین بادی دو روش استفاده شده است. در اولین روش از کرنش سنجهای نصب شده در مکان‌های محتمل خستگی استفاده

شده و داده‌های ضبط شده با استفاده از الگوریتم rainflow counting آنالیز می‌شوند تا سیکل‌های تنش با استفاده از منحنی‌های S-N در طراحی خستگی تعیین شوند. داده‌های ارزیابی با استفاده از قانون Miner برای محاسبه آسیب و تخمین عمر خستگی سازه ترکیب می‌شوند. در روش دوم از تکنولوژی Strain Stall Crackfirst استفاده شده است.

به عنوان نمونه ای دیگر، می‌توان دو سازه برج توربین بادی را که در مرجع [۴۲] به آنها اشاره شده است، ذکر کرد. سازه اول توربین ۴۰ متری ۲۵۰ کیلوواتی NEG-Micon و دیگری توربین ۷۸ متری ۲ مگاواتی Vestas که هر دو در کشور آلمان قرار دارند (شکل زیر). هر دو این توربین‌ها دارای برج فولادی هستند که به فونداسیون بتنی پیچ شده‌اند. در این توربین‌ها از سنسورهای بیسیم (وایرلس) استفاده شده است و علت اصلی ذکر شده در مرجع برای استفاده از سنسورهای وایرلس قیمت نسبتاً پایین و سهولت نصب این نوع از سنسورها است که استفاده از آنها را برای نظارت بر سازه‌های بزرگ رواج داده است.



(a)

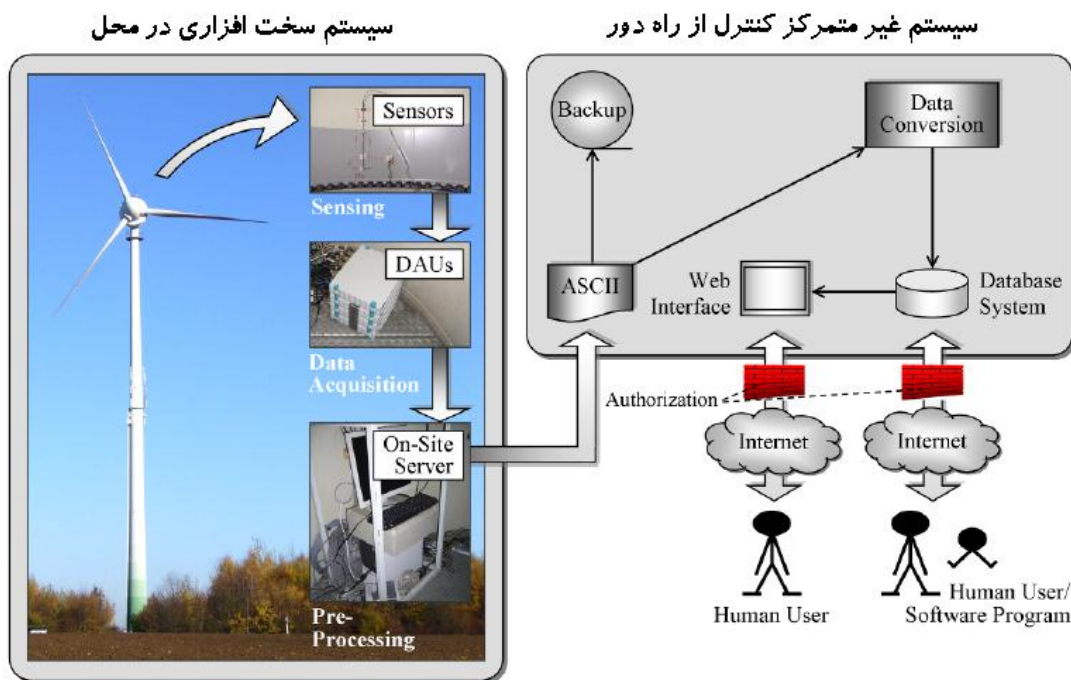


(b)

شکل ۱-۱۱: توربین‌های بادی تجهیز شده با سنسورهای وایرلس، (a) NEG Micon و (b) Vestas (در کشور آلمان)

در مطالعه‌ای تحقیقاتی دیگری که توسط موسسه مطالعاتی آلمان در دانشگاه Ruhr بوخوم حمایت شده است، سیستم SHM غیرمتمرکز همزمانی بر روی توربین بادی ۵۰۰ Kw در آلمان طراحی، اجرا و نصب شده است.

(شکل زیر)



شکل ۱-۱۲: ساختار سیستم SHM برای توربین بادی ۵۰۰ کیلووات

دکل‌های انتقال و پایه‌های توزیع برق:

در دکل‌های انتقال برق، فعالیت‌های انجام شده در مورد پایش سلامت سازه، عمدتاً ماهیت تحقیقاتی دارند. پروژه‌های اجرا شده نیز عمدتاً با اهداف تحقیقاتی انجام شده‌اند. در مرجع [۴۹] گزارش یک پروژه تحقیقاتی آزمایشی (بصورت پایلوت) در مورد نصب یک سیستم پایش سلامت در یک پست انتقال نیرو به همراه سه عدد از دکل‌های انتقال اطرافش در سن دیگویی آمریکا، ارائه شده است. پروژه مذکور در قالب برنامه عمومی تحقیقات انرژی (PIER)^۱ در کمیسیون انرژی کالیفرنیا انجام شده است. اهداف اصلی سیستم پایش آنلاین در این پست، شناسایی نفوذ خارجی (برای دزدی یا خرابکاری) به فضای پست و خطرات حاصل از عوامل محیطی منطقه

^۱ - Public Interest Energy Research Program

(شامل آتش سوزی) معرفی شده‌اند. سیستم پایش استفاده شده بصورت شبکه ای از ۸۹ سنسور بی سیم شامل ژئوفون، مغناطیس‌سنج^۱، شتاب‌سنج، دماسنج و آشکارساز مادون قرمز می‌باشد.



شکل ۱-۱۳: سنسور شتاب‌سنج نصب شده بر دکل انتقال برق [۴۹]

در کشور تایوان نیز پروژه‌هایی با اهداف تحقیقاتی در زمینه پایش سلامت دکل‌های انتقال، توسط دانشگاه ملی تایوان انجام شده است.

¹ - Magnetometer



شکل ۱-۱۴: سنسور شتاب سنج نصب شده بر دکل انتقال برق (تایوان)

علاوه بر دکل‌های انتقال، فعالیت‌های تحقیقاتی برای پایش سلامت در پایه‌های توزیع برق نیز در دنیا صورت گرفته که نمونه‌ای از آن در مرجع [۴۸] ارائه شده است. در نمونه مورد نظر، سیستم پایش سلامت برای تشخیص آنلاین و از راه دور دزدی اجزاء پایه توزیع، پیشنهاد و بصورت آزمایشگاهی بررسی شده است.

۱-۴-۲-۳- نمونه برنامه‌های استراتژیک پایش سلامت سازه‌ها در دنیا

در سال ۲۰۰۵ گروهی ۴۵ نفری از متخصصین بحث پایش سلامت سازه‌ها، تحت حمایت NSF^۱ آمریکا و NSFC^۲ چین به منظور تنظیم کردن نقشه تحقیقات ده ساله به هدف سرعت بخشیدن به پیشرفت تکنولوژی پایش سلامت، کار تحقیقاتی مشترکی را آغاز کرده‌اند. هدف این گروه مشخص کردن استراتژی تکنولوژی پایش سلامت می‌باشد. تحقیقات این گروه روی انواع مختلف سازه‌ها شامل پل‌ها، سازه‌های بلند مرتبه، سکوها و دریایی و شریان‌های حیاتی انجام شده است. تمرکز اصلی این گروه، علاوه بر پایش سلامت سازه‌های متداول بر روی

¹ - National Science Foundation

² - National Science Foundation of China

سیستم‌های حیاتی از قبیل خطوط انتقال انرژی (الکتریسیته، گاز و نفت)، خطوط انتقال آب و فاضلاب و همچنین سیستم‌های ارتباطی می‌باشد، [۵۲ و ۵۳]. هدف اصلی این گروه مشترک آمریکایی-چینی، فرمول‌بندی برنامه تحقیقات در زمینه‌ی نوع‌آوری‌های پایش سامت سازه‌ها می‌باشد. در [۵۳] چشم‌اندازهای فنی و برنامه‌ای این گروه مشخص شده‌است و برنامه‌ای جامع برای شتاب بخشیدن به پیشرفت پایش سلامت سازه‌های پر اهمیت عمرانی که در معرض خطرات زلزله و باد هستند، تدوین شده‌است. به این ترتیب، به دانشجویان و محققین در ارتباط با پایش سلامت آموزش داده می‌شود و کلاس‌های آموزشی در این زمینه برگزار می‌شود. همچنین، آن قسمت از صنعت و دولت را که به بحث پایش سلامت مربوط می‌شود به منظور پیشرفت در این زمینه درگیر می‌کنند. بر خلاف تحقیقات گذشته که غالباً به تکنولوژی پایش سلامت برای سازه‌هایی از قبیل ساختمان‌ها و پل‌ها می‌پرداختند، در این گروه تحقیقاتی آمریکایی-چینی بیشتر تحقیقات مربوط به توسعه و کاربردی کردن سنسورهای پیشرفته و همچنین مانیتورینگ سیستم‌های پر اهمیت از قبیل خطوط انتقال انرژی برق، گاز و نفت و همچنین سیستم‌های ارتباطی می‌شود، [۵۳].

شبکه SAMCO^۱، متشکل از تعدادی از نماینده‌های اروپایی در زمینه‌ی مانیتورینگ، ارزیابی و کنترل سازه‌ها می‌باشد. یکی از مأموریت‌های اصلی این گروه تدوین استراتژی تحقیقات در این زمینه می‌باشد به طوریکه نقشه راه و اولویت‌های تعریف شده به عنوان مرجعی برای تحقیقات آینده به کار روند. نقشه استراتژیکی در سال ۲۰۰۶ توسط SAMCO تدوین شده است، که چشم‌انداز آن برای سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ می‌باشد، [۵۷]. در این اسناد چشم‌انداز آینده به صورت زیر تعریف می‌شود:

↪ استفاده از سیستم‌های هوشمند جاسازی شده که قابل رویت نیستند ولی برای کاربر بسیار کاربردی می‌باشند،

↪ به کارگیری سیستم‌هایی که کارهای عادی و روتین کاربر را انجام می‌دهند،

¹ - The European Network for Structural Assessment Monitoring and Control

↔ متدولوژی‌های تشخیص خرابی که امکان ارزیابی سریع هر سازه پس از رویدادای غیر طبیعی را می‌دهد،

↔ داشتن اطلاعاتی در مورد مدیریت چرخه عمر هر سازه به منظور توانایی در برنامه‌ریزی،

↔ افزایش راحتی و امنیت کاربر در حالیکه هزینه‌های کاربر کاهش می‌یابد،

↔ تدوین کدها و استانداردهای کاربردی.

در بسیاری از برنامه‌های استراتژیک کشورهای مختلف در توسعه صنایع گوناگون، بحث پایش سلامت به عنوان یک مساله پراهمیت مطرح می‌باشد. به عنوان مثال نقشه‌راهی برای تحقیقات در زیر ساخت شبکه‌های ارتباطی آینده در اروپا (reFINE^۱) توسط سازمان تکنولوژی ساخت اروپا (ECTP^۲) در سال ۲۰۱۳ در افقی تا سال ۲۰۳۰ تدوین شده است و به تحقیقات در ارتباط با توسعه و نوآوری در زیر ساخت شبکه حمل و نقل می‌پردازد. در این برنامه، پایش سلامت سازه‌ها به منظور بهینه کردن هزینه نگهداری، افزایش طول عمر و کاهش خرابی‌ها، اهمیت بسیاری دارد، [۵۴].

همچنین، در برنامه استراتژیکی که در سال ۲۰۱۴ برای پیشرفت تکنولوژی استفاده از انرژی باد در اروپا توسط سازمان انرژی باد اروپا (EWEA^۳) برای افقی تا سال ۲۰۳۰ نوشته شده است، تحقیقات در جهت توسعه پایش سلامت سازه‌های مرتبط با این نوع انرژی به عنوان قسمتی از طرح توسعه انرژی در نظر گرفته شده است، [۵۵].

انرژی حاصل از باد داخل دریا^۴ نقش بسیار مهمی در تأمین انرژی پاک و تجدیدپذیر در آمریکا ایفا می‌کند. اما از آنجا که هزینه تعمیر و نگهداری این نوع توربین‌ها بسیار بالا می‌باشد، به برنامه‌ی جامعی جهت پایش سلامت این سازه‌ها نیاز است. به این منظور در سال ۲۰۱۲ نقشه راهی برای مدیریت پایش سلامت و تشخیص خرابی توربین‌های بادی داخل دریا توسط Sandia National Laboratories تحت نظر اداره امنیت هسته‌ای ملی وزارت

¹ - Research for Future Infrastructure Networks in Europe

² - The European Construction Technology Platform

³ - The European Wind Energy Association

⁴ - Offshore wind energy

انرژی آمریکا^۱ تدوین شده است. در این برنامه استراتژیک تأکید شده است که یک سیستم پایش سلامت موفق قادر خواهد بود بسیاری از هزینه‌های غیر ضروری و خارج از برنامه‌ی نگهداری را حذف کند و یا کاهش دهد، [۵۶].

۱-۴-۲-۴- تأمین بودجه تحقیقات در زمینه پایش سلامت سازه‌ها

آمریکا:

در کشور آمریکا وزارت دفاع و حمل و نقل و وزارت انرژی علاوه بر اینکه درون سازمان به تحقیق و توسعه تکنولوژی پایش سلامت می‌پردازند، اعتبارات مالی را نیز برای تحقیق برون سازمانی در این زمینه در صنعت و دانشگاه‌ها فراهم می‌کنند. بیشتر اعتبارات برون سازمانی این وزارت‌خانه‌ها به تحقیقات هدفمند صنعت اختصاص می‌یابد و غالب بودجه تحقیقات آکادمیک و دانشگاهی تکنولوژی پایش سلامت در آمریکا از طریق NSF^۲ تأمین می‌شود، [۵۳].

چین:

در کشور چین، آکادمی مهندسی چین (CEA^۳) تحقیقات درون سازمانی را در زمینه پایش سلامت انجام می‌دهد. در سال‌های اخیر پروژه‌های زیادی در ارتباط با پایش سلامت بسیاری از سازه‌ها و همچنین توسعه سازه‌های هوشمند تحت حمایت وزارت علم و تکنولوژی چین (MOST^۴) انجام گرفته‌است. همچنین وزارت ارتباطات (MOC^۵) حمایت بسیاری از تحقیق و توسعه پایش سلامت سازه‌ها و پل‌ها و تونل‌های هوشمند انجام داده است. بسیاری از بودجه تحقیقاتی مرتبط با توسعه و پیشرفت تکنولوژی پایش سلامت سازه‌ها در دانشگاه‌ها در چین توسط NSFC^۶ تأمین می‌شود، [۵۳].

¹- The U.S. Department of Energy's National Nuclear Security Administration

²- National Science Foundation

³- China Engineering Academy

⁴- Ministry of Science and Technology

⁵- Ministry of Communication

⁶- National Science Foundation of China

۱-۵- وضعیت و جایگاه فناوری پایش سلامت سازه‌ها در ایران

پایش سلامت سازه‌ها در ایران موضوع نسبتاً جدیدی بوده و فعالیت‌های انجام شده در این زمینه عمدتاً محدود به پروژه‌های تحقیقاتی نظری و در مواردی آزمایشی در دانشگاه‌ها می‌باشند. همانند سایر کشورها، در ایران نیز سیستم پایش سلامت در مورد پل‌ها بیشتر از سایر انواع سازه‌ها مطرح شده و مورد استفاده قرار گرفته است.

۱-۵-۱- فعالیت‌های تحقیقاتی

همانطور که قبلاً عنوان شد، عمده فعالیت‌های مرتبط با پایش سلامت سازه‌ها در ایران از نوع فعالیت‌های تحقیقاتی است. این فعالیت‌ها عمدتاً زمینه‌های نظری شامل توسعه روش‌ها و الگوریتم‌های ریاضی برای شناخت ویژگی‌های سازه‌ها و خرابی‌های آنها بر اساس پاسخهای اندازه‌گیری شده، بهینه‌سازی تعداد و موقعیت سنسورها در سازه، شناسایی سازه‌ها و تشخیص خرابی بر اساس ویژگی‌های ارتعاشی سازه‌ها و موارد نظیر این‌ها را در بر می‌گیرد. سازه‌های گوناگونی نظیر انواع پل‌ها، سدها، ساختمان‌ها، تأسیسات صنعتی و شریان‌های حیاتی (خطوط لوله نفت و گاز مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در مورد سازه‌های صنعت برق، مطالعات محدودی در مورد پایش سلامت دکل‌های خرابی (مشابه با دکل‌های انتقال برق) در دانشگاه تبریز انجام شده است. در مورد سدها، تحقیقات و مطالعات نسبتاً قابل توجهی در زمینه پایش سلامت سازه در کشور انجام شده است.

بدلیل هزینه‌های بالای تهیه و نصب سیستم‌های پایش، اغلب مطالعات انجام شده در این زمینه بصورت نظری بوده و در برخی موارد نیز کارهای آزمایشی محدودی صورت گرفته است. در داخل کشور ژورنال یا کنفرانسی که بطور خاص در زمینه پایش سلامت سازه‌ها فعال باشد وجود نداشته و نتایج تحقیقات انجام شد در این زمینه در خارج از کشور و یا در منابع عمومی مهندسی عمران در داخل کشور منتشر می‌گردند.

۱-۵-۱-۱- دانشگاه‌ها و مؤسسات علمی

فعالیت‌های تحقیقاتی در مورد پایش سلامت سازه‌ها در دانشکده‌های عمران اغلب دانشگاه‌های معتبر کشور انجام می‌گیرد. در این مورد بطور خاص می‌توان به دانشگاه‌های صنعتی شریف، صنعتی امیرکبیر، صنعتی خواجه

نصیرالدین طوسی، علم و صنعت ایران، دانشگاه تهران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، دانشگاه صنعتی سهند، دانشگاه تبریز، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشگاه سمنان، دانشگاه گیلان، دانشگاه شهید چمران اهواز دانشگاه پیام نور، دانشگاه آزاد اسلامی و ... اشاره نمود.

همچنین انجمن کنترل هوشمند سلامت سازه‌ها در ایران^۱ که شعبه مؤسسه بین‌المللی ISHMII می‌باشد نیز در دانشگاه صنعتی امیرکبیر تأسیس شده و در صدد توسعه فعالیت در زمینه پایش سلامت و کنترل هوشمند سازه‌ها در سطح بین‌المللی می‌باشد. ارتباط با این انجمن و سایر انجمن‌های بین‌المللی که در بخش‌های قبلی گزارش معرفی شدند، برای پیاده سازی سیستم پایش سلامت سازه‌ها در صنعت برق کشور مفید و ضروری بوده و در مراحل بعدی تدوین سند مورد بررسی و لحاظ قرار خواهد گرفت.

۱-۵-۲- فعالیت‌های اجرایی

با توجه به اینکه مبحث پایش سلامت سازه‌ها در ایران بسیار جوان بوده و عمری کمتر از یک دهه دارد، فعالیت‌های اجرایی قابل ملاحظه‌ای در این زمینه در داخل کشور (بجز موارد خاص) مشاهده نشده است.

شرکت‌های محدودی در داخل کشور در این زمینه فعال می‌باشند که می‌توان به شرکت‌های رسیس افزار [۲۶] و شرکت مهندسی هوشمند حسگر پیشرو [۲۷] اشاره نمود. تعداد محدودی شرکت تولید کننده سنسور و تجهیزات اندازه‌گیری در داخل کشور فعال می‌باشند. شرکت‌های دیگر نیز وجود دارند که عمدتاً وارد کننده تجهیزات اندازه‌گیری برای مصارف کلی در صنایع مختلف می‌باشند.

در میان سازمان‌هایی که در ایران به نوعی با مبحث پایش سلامت سازه‌ها مرتبط می‌باشند می‌توان وزارت نیرو (عمدتاً در بخش سدها)، وزارت نفت، وزارت راه و شهرسازی و شهرداری‌ها را نام برد. همچنین در میان سازه‌هایی در داخل کشور که سیستم پایش سلامت در آنها اجرا شده می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

↳ برج میلاد تهران

¹ - Iran Society for Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure (IRAN - SHMII)

↔ برخی سازه‌های موجود در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی (بخصوص در پروژه پارس جنوبی)

↔ بخش‌هایی از خطوط لوله نفت و گاز

↔ تعدادی از پل‌های درون شهری (تحت نظارت شهرداری تهران)

↔ تعدادی از پل‌های برون شهری (تحت نظارت وزارت راه و شهرسازی)

↔ برخی از سدها و سازه‌های هیدرولیکی و آبی

سیستم پایش سلامت برج میلاد تهران که توسط شرکت رسیس افزار نصب و راه‌اندازی شده، شامل ۱۶ عدد شتاب‌سنج، ۱۶ عدد سنسور جابجایی و کرنش‌سنج، ۴ عدد سنسور انحراف‌سنج و ۳ عدد سنسور بادسنج می‌باشد. تمام سنسورها از نوع فیبرنوری و دارای عدم حساسیت نسبت به میدان‌های الکترومغناطیسی می‌باشند. قرائت داده‌ها توسط سنسورها بطور همزمان و هماهنگ و با فرکانس ۰/۱ هرتز صورت می‌گیرد. داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌ها توسط نرم‌افزارهای خاص پردازش شده و برای پایش آنلاین وضعیت و عملکرد سازه تحت شرایط عادی و فوق‌العاده (طوفان، زلزله و ...) و تشخیص اشکالات احتمالی استفاده می‌شوند.

در مورد سازه‌های موجود در بخش‌های مختلف صنعت برق (بجز سدها)، تا کنون فعالیت اجرایی خاصی در مورد

پایش سلامت آنلاین آنها در کشور مشاهده نشده است.



شکل ۱-۱۵: برج میلاد تهران

۲- توجیه ضرورت توسعه فناوری پایش سلامت سازه‌ها در صنعت برق

در این بخش، توجیه‌پذیری توسعه فناوری پایش سلامت سازه‌ها در صنعت برق مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، با مطالعه و شناسایی محیط پیرامون فناوری و عوامل و بخش‌های اثرگذار بر آن در صنعت برق، میزان نیاز صنعت به فناوری مورد نظر، تحلیل و بررسی می‌گردد. در بررسی توجیه‌پذیری توسعه فناوری، افق زمانی بلندمدت مورد نظر قرار می‌گیرد. تحلیل توجیه‌پذیری توسعه فناوری در این بخش، بر اساس بررسی ابعاد مختلف فنی، اقتصادی، سیاسی و اجتماعی، زیست محیطی و قانونی صورت گرفته و ارائه شده است.

۲-۱- توجیه‌پذیری فنی

همانطور که در بخش قبل عنوان گردید، وقوع انواع خرابی‌ها در اجزای مختلف صنایع و پی‌آمدها و خسارات اقتصادی، انسانی و ... حاصل از آنها، سبب ایجاد و تکامل فرآیند کلی نگهداری و تعمیرات شده است. بخش‌های مختلف صنعت برق نیز از این قاعده مستثنی نبوده و وقوع انواع خرابی‌ها و خسارات در قسمت‌های مختلف آنها، محتمل و متداول می‌باشد. بدلیل ویژگی خاص صنعت برق که وظیفه و نقش تأمین انرژی برای بسیاری از فعالیت‌ها و صنایع دیگر را عهده دار است، حفظ کارکرد و جلوگیری از توقف خدمت رسانی آن (نسبت به سایر صنایع) بسیار ضروری و حیاتی است. زیرا توقف خدمت رسانی صنعت برق از خاموشی‌های کوچک^۱ تا گسترده^۲، علاوه بر خسارات مستقیم و غیرمستقیم که بر خود آن صنعت وارد می‌کند، منجر به ایجاد وقفه و خسارت در سایر صنایع و بخش‌های کشور نیز شده و پتانسیل اعمال خسارات گسترده اقتصادی، سیاسی و اجتماعی را تا سطح ملی نیز، دارا می‌باشد.

در این سند بطور خاص، خرابی‌های سازه‌های موجود در بخش‌های مختلف صنعت برق (تولید، انتقال و توزیع) مورد نظر می‌باشد. خرابی‌های ایجاد شده در سازه‌ها علاوه بر خسارات مستقیم ناشی از تخریب‌ها و غیر مستقیم ناشی از توقف خدمت رسانی، می‌تواند منجر به زیان‌های انسانی و صدمات جانی نیز گردد. بر این اساس و با توجه به پی‌آمدهای خرابی‌ها و خسارات سازه‌ای، ضرورت ایجاد و اعمال سیستم نگهداری و تعمیرات (نت) برای سازه‌ها در صنعت برق، کمتر از نت تجهیزات (که در اغلب موارد موجود است) نمی‌باشد.

سازه‌های صنعت برق به لحاظ شرایط کارکرد خود جزء سازه‌های خاص و در معرض شرایط محیطی و کاری خاص می‌باشند که احتمال وقوع خرابی‌های پیش‌بینی نشده را در مورد آنها (نسبت به سایر سازه‌ها) افزایش می‌دهد.

از مهمترین عوامل ایجاد خرابی‌های پیش‌بینی نشده در این سازه‌ها موارد زیر را می‌توان ذکر نمود:

^۱ - Outage

^۲ - Blackout

- سازه‌های موجود در انواع نیروگاه‌های تولید برق عمدتاً در معرض ارتعاش، رطوبت، حرارت یا موارد نظیر اینها می‌باشند. از اینرو آسیب‌هایی نظیر خوردگی، خستگی، ترک، شل شدن اتصالات و ... در اجزای سازه ای و فونداسیونهای آنها محتمل بوده که در صورت پیشرفت، می‌توانند منجر به خرابی گسترده و فروپاشی^۱ کلی سازه شوند.
 - مشخصات و ویژگی‌های مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی مصالح و اجزای سازه ای مانند بتن و فولاد در طول زمان دچار تغییرات و زوال شده (به این پدیده، فرسودگی^۲ نیز اطلاق می‌شود) که در نتیجه آن، وقوع خرابی و آسیب در آنها بسیار محتمل خواهد بود.
 - سازه‌های انتقال برق (دکل‌ها) نیز در معرض انواع شرایط محیطی مخرب بوده و وقوع خسارات مذکور (بخصوص خوردگی و شکست یا شل شدگی پیچهای اتصالات) در مورد اینها نیز محتمل است.
 - عوامل انسانی (نظیر دزدی و خرابکاری) نیز یکی از دلایل مهم و شایع وقوع خسارات در دکل‌های انتقال برق می‌باشد.
 - از دیگر عوامل وقوع آسیب و خرابی در این سازه‌ها می‌توان به آسیبهای ایجاد شده در حین فرآیند حمل و نقل و نصب آنها در محل اشاره نمود.
- نمونه‌های مختلف خرابی و فروپاشی در سازه‌های مختلف صنعت برق کشور در گذشته نیز واقع گردیده است. نمونه‌هایی از این خسارات در گزارشهای مراحل بعدی پروژه ارائه خواهند گردید که از آنها می‌توان جهت اولویت بندی اهمیت سازه‌های صنعت برق برای اجرای سیستم پایش سلامت استفاده نمود.
- بسیاری از خرابی‌های مورد اشاره در سازه‌های صنعت برق، با اجرای یک برنامه مناسب نگهداری، پیش از رسیدن به مراحل بحرانی قابل تشخیص می‌باشند. بدین ترتیب می‌توان از وقوع خسارات گسترده ناشی از فروپاشی و خرابی کلی سازه‌ها جلوگیری نمود.

¹ - Collapse

² - Aging

جهت جلوگیری از وقوع خرابی‌ها در سازه‌های صنعت برق، نیاز به برنامه‌ریزی و اجرای سیستم نگهداری و تعمیرات (نت) پیش اقدام وجود دارد. این سیستم نگهداری نیازمند وجود یک سیستم پایش جهت جستجو و تشخیص خرابی‌های جزئی و اقدام جهت رفع آنها می‌باشد. سیستم‌های پایش و تشخیص خرابی می‌توانند شامل سیستم‌های ساده نظیر بازرسی چشمی تا سیستم‌های پیچیده تر نظیر ارزیابی‌های غیر مخرب (NDE) یا سیستم‌های پایش سلامت آنلاین (SHM) باشند.

بنا به دلایل فنی متعدد، سیستم‌های پایش سلامت (SHM) به سایر سیستم‌های تشخیص خرابی (بازرسی و ارزیابی‌های دوره‌ای غیرمخرب) ارجحیت دارند که عمده ترین دلایل آن به شرح ذیل می‌باشند:

↪ در مورد برخی از سازه‌های صنعت برق (بخصوص در نیروگاه‌ها) انجام بازرسی‌ها یا ارزیابی‌های NDE نیاز به توقف کار تجهیزات و قطع موقت فرآیند تولید برق دارد. این موضوع بخصوص در مورد سازه‌های با عمر بیشتر که تعداد بازدیدها و ارزیابی‌های بیشتری را نیاز دارند، به لحاظ فنی و اقتصادی مناسب نیست. در صورت نصب سیستم پایش سلامت آنلاین، جستجو و تشخیص خرابی‌ها بدون توقف کارکرد تجهیزات و برآیند تولید، قابل انجام است.

↪ در مورد برخی از سازه‌های صنعت برق، بدلیل عدم دسترسی به همه نقاط اجزای سازه به دلایل مختلف، انجام بازرسی و ارزیابی‌های NDE بصورت دوره ای، بسیار مشکل و حتی غیر ممکن است. در مورد دکل‌های انتقال به دلیل تعداد نسبتاً زیاد و استقرار برخی از آنها در مناطق صعب العبور نیز، انجام بازرسی‌های دوره ای نسبتاً مشکل و پرهزینه است. در این شرایط، نصب سیستم پایش سلامت (که یک بار انجام می‌شود) در تعدادی از نقاط سازه، این مشکلات را مرتفع می‌سازد.

↪ انجام بازرسی و ارزیابی‌های دوره ای (NDE) ممکن است بیهوده بوده (خرابی موجود نباشد) و یا اینکه به موقع نباشد؛ (خرابی کلی در بین دو ارزیابی متوالی ایجاد شود) که در هر دو حالت نامطلوب می‌باشد. در صورت استفاده از سیستم پایش سلامت آنلاین (SHM) این مشکلات وجود نخواهند داشت و آسیب‌های جزئی به موقع رصد شده و قبل از وقوع خرابی کلی و رسیدن به شرایط بحرانی، رفع می‌شود.

گردند. بعبارت دیگر استفاده از سیستم پایش سلامت، امکان پیاده‌سازی سیستم نگهداری بر اساس

شرایط (CBM) را به جای سیستم نگهداری مبتنی بر زمان (TBM) فراهم می‌کند.

↪ استفاده از سیستم پایش سلامت آنلاین جهت تشخیص خرابی‌های جزئی، دارای قابلیت اطمینان

بیشتر و خطای انسانی کمتری نسبت به بازرسی و ارزیابی‌های دوره ای می‌باشد.

البته این نکته شایان ذکر است که با وجود برتری فنی بالقوه SHM بر NDE، بدلیل عدم توسعه فنی و تکنیکی

آن بصورت منسجم و با قابلیت اطمینان بالا، در حال حاضر نمیتوان بطور کامل NDE را کنار نهاد و بکارگیری

روشهای مختلف NDE در تشخیص آسیبها و نگهداری سازه‌ها، تا زمانیکه سیستمهای SHM تجاری با قابلیت

بالای اطمینان کارکرد توسعه و ارائه نشوند، مورد نیاز می‌باشند.

همانطور که در فصل قبل عنوان شد، آژانس بین‌المللی انرژی اتمی در سندی که در سال ۲۰۰۷ منتشر کرده،

لزوم اعمال سیستم نگهداری بر اساس شرایط (CBM) در نیروگاه‌های هسته‌ای را عنوان نموده و استراتژی‌های

مورد نیاز برای نیل به این هدف را ارائه نموده که در میان آنها، پایش وضعیت آنلاین (CM) برای تجهیزات و پایش

سلامت آنلاین (SHM) برای سازه‌ها نیز مشاهده می‌گردد. [۵۰] این امر بیانگر مزایای سیستم نگهداری مذکور

نسبت به روش‌های سنتی نگهداری و تعمیرات می‌باشد.

سایر مزایای فنی بالقوه سیستم SHM در شکل ۱-۲ نشان داده شده است و در زیر توضیحاتی در مورد آنها ذکر

شده است:

↪ کاهش ریسک برای اپراتورها و سیستم‌های سازه‌ای به دلیل ارزیابی دقیق‌تر سلامت سیستم پایش از

بهره‌برداری.

↪ بهینه‌سازی عملکرد از طریق کنترل‌های پیش‌بینی شده.

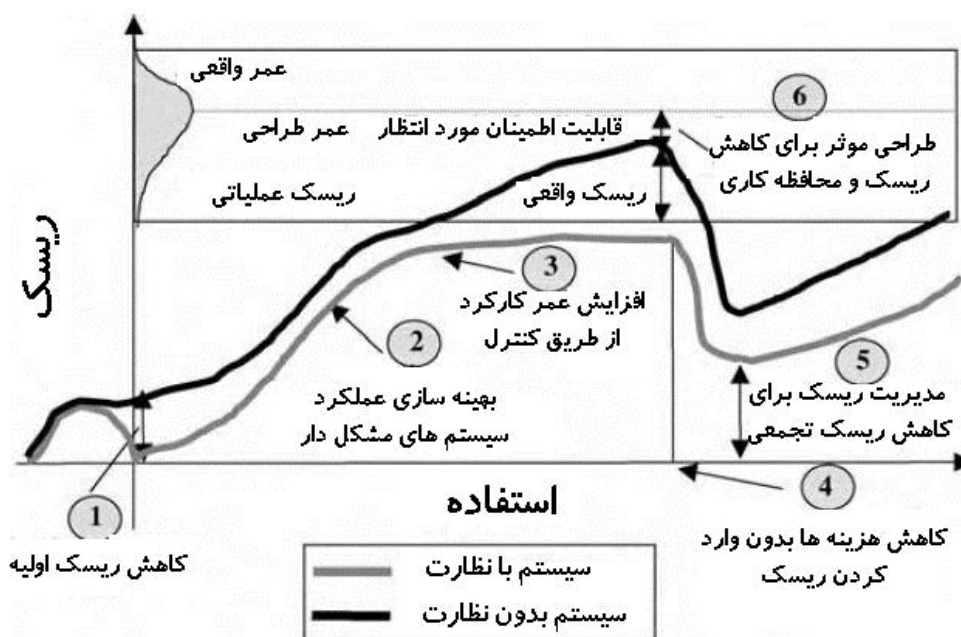
↪ کاهش ریسک از طریق افزایش عمر کارکرد و کنترل‌هایی بر پایه استفاده از اطلاعات مانیتورینگ

سلامت سازه

↪ کاهش هزینه سرویس و نگهداری سیستم‌های سازه‌ای و قطعات مورد نیاز براساس جداول نگهداری که براساس شرایط سازه تنظیم شده‌اند. افزایش قابلیت دسترسی به دلیل تخمین دقیق عمر باقیمانده و خارج از دسترس بودن سیستم تنها در زمان‌های تعمیر.

↪ ریسک تجمعی کمتر برای ثابت نگه داشتن قدرت و آمادگی سیستم سازه‌ای بعد از انجام فعالیت‌های نگهداری.

↪ کاهش محافظه کاری در طراحی از طریق تعیین آنلاین عملکرد آینده در کل سیستم. روش‌های طراحی سنتی فرضیات محافظه کارانه ای درباره عمر کل اجزا سیستم داشته‌اند.



شکل ۲-۱: فواید توسعه عملکرد و نوسازی سیستم با استفاده از تکنولوژی‌های پایش سلامت سازه

بر اساس موارد فوق‌الذکر، استقرار و بکارگیری سیستم پایش سلامت آنلاین در سازه‌های صنعت برق، دارای

توجیه فنی قابل قبولتری نسبت به سایر روش‌های تشخیص و جستجوی خرابی می‌باشد.

۲-۲- توجیه‌پذیری اقتصادی

علاوه بر مزایای فنی، استفاده از سیستم‌های پایش آنلاین در تشخیص آسیب‌های تجهیزات و سازه‌ها دارای مزایای اقتصادی نیز می‌باشد. بطوریکه می‌توان اذعان نمود که انگیزه اصلی استفاده از سیستم‌های پایش آنلاین و جایگزینی آنها با سیستم‌های سنتی تشخیص آسیب (مانند بازرسی و NDE)، کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات بوده و به عبارت دیگر، انگیزه‌های اقتصادی بوده است.

از جمله مزایای سازه‌های با سیستم SHM هزینه نگهداری ثابت و قابل اعتماد آنها به جای افزایش هزینه‌های نگهداری و کاهش قابلیت اعتماد در سازه‌های کلاسیک بدون سیستم SHM است. البته هزینه‌های بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات اساسی هر سیستم باید در هزینه کلی سیستم SHM (توسعه، استقرار و نگهداری) لحاظ شود تا نرخ مثبت بازگشت سرمایه تأمین شود. باز هم با در نظر گرفتن این موارد مسئله اقتصادی از قویترین جذابیت‌های سیستم SHM برای سازه‌های پیشرفته و کلیدی عمرانی، مکانیکی و علوم هوایی است.

بیان توجیه اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت سازه‌های صنعت برق، در دو بخش صورت می‌گیرد. ابتدا ضرورت وجود و بکارگیری سیستم برنامه‌ریزی شده نگهداری و تعمیر برای سازه‌ها در مقایسه با انجام تعمیر پس از وقوع خرابی به لحاظ اقتصادی بررسی شده و پس از آن، توجیه اقتصادی سیستم پایش آنلاین سلامت در مقایسه با سایر سیستم‌های تشخیص خرابی ارائه خواهد گردید.

همانطور که در قسمت‌های قبلی عنوان گردید، در عمده بخش‌های موجود در صنعت برق (به‌خصوص در بخش‌های تولید و انتقال)، وقوع خرابی‌های سازه‌ای محتمل بوده و در گذشته نیز اتفاق افتاده است. خسارات اقتصادی ناشی از خرابی سازه‌ها شامل خسارات مستقیم (در اثر تخریب سازه‌ها و تجهیزات مرتبط با آنها) و خسارات غیرمستقیم (عمدتاً ناشی از توقف فرآیند تولید یا تحویل برق و وقوع خاموشی) می‌باشند. بسته به نوع سازه و نوع و میزان خرابی، خسارت اقتصادی ناشی از خرابی سازه‌ها می‌تواند طیف گسترده‌ای از کم (محدوده تأثیر محلی) تا بسیار زیاد (محدوده تأثیر ملی) را در بر گیرد. از طرف دیگر از دیدگاه کلانتر، توقف خدمت رسانی صنعت برق علاوه بر خسارات اقتصادی داخل صنعت، منجر به خسارات اقتصادی در سایر بخش‌ها و صنایع کشور که برای فعالیت خود نیازمند برق می‌باشند نیز، خواهد شد.

همانطور که در بخش‌های قبلی نیز ذکر شد، می‌توان با برنامه‌ریزی و استقرار یک سیستم نگهداری مناسب، بسیاری از آسیب‌های سازه‌ها و تجهیزات را در مراحل اولیه تشخیص داده و با رفع آنها، از وقوع خرابی‌های گسترده‌تر بعدی، جلوگیری نمود. این مطلب در واقع همان استراتژی قدیمی علاج واقعه قبل از وقوع و یا پیشگیری قبل از درمان می‌باشد. بررسی‌های انجام شده در مناطق مختلف دنیا، نشان دهنده این است که استفاده از سیستم نگهداری مناسب، علاوه بر اینکه از وقوع خرابی‌های پیش‌بینی نشده جلوگیری نموده و باعث افزایش عمر مفید سیستم می‌شود؛ صرفه اقتصادی قابل ملاحظه‌ای نیز خواهد داشت. بعبارت دیگر، هزینه‌های نگهداری و تعمیرات پیش اقدام سازه‌ها و تجهیزات، در برابر خسارات اقتصادی حاصل از خرابی‌های آنها، در اغلب موارد بسیار ناچیز می‌باشند.

بررسی‌های انجام شده نشان داده است که در صنایع مختلف، هزینه‌های نگهداری و تعمیرات تجهیزات می‌تواند در حدود ۱۵ الی ۶۰ درصد قیمت نهایی محصول باشد. در مورد سازه‌ها با توجه به اینکه نرخ خرابی‌های آنها نسبتاً کمتر از تجهیزات است، هزینه‌های نگهداری کمتر می‌باشد. هزینه‌های نگهداری عمدتاً شامل هزینه‌های نیروی انسانی مورد نیاز، مواد و اجزای مصرفی، بازرسی و تشخیص عیوب و آسیب‌ها، توقف موقت فعالیت، خدمات پیمانکاری و ... می‌باشند. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهند که بخش‌هایی از این هزینه‌های نگهداری (که تا حدود ۳۰ درصد هم می‌رسند) غیرضروری بوده و قابل حذف می‌باشند. به عنوان نمونه با استفاده از سیستم‌های پایش آنلاین می‌توان هزینه‌های ناشی از توقف فعالیت (که بطور متوسط در حدود ۶۵ درصد هزینه نگهداری و تعمیرات می‌باشد)، بخشی از هزینه‌های نیروی انسانی، بازرسی، ارزیابی‌های NDE و موارد اینچنینی را حذف نمود یا کاهش داد.

در ارتباط با مزایای اقتصادی پایش وضعیت آنلاین در مقایسه با روش‌های سنتی (بازرسی یا NDE) در مورد تجهیزات، بررسی‌های مختلفی انجام شده است. در یک مطالعه در مجتمع پتروشیمی رازی، میزان صرفه جویی سالانه ناشی از جایگزینی سیستم نگهداری و تعمیرات پیشگویانه (CBM) مبتنی بر پایش وضعیت آنلاین بجای نت پیشگیرانه (بازرسی و تعمیرات دوره‌ای)، در حدود ۱۴ میلیارد ریال عنوان شده است. [۵۸] بر اساس برآوردهای

جهانی، با اجرای برنامه‌های پایش وضعیت در تجهیزات، هزینه‌های نگهداری و تعمیرات بطور متوسط تا ۲۵ درصد کاهش خواهد یافت و این در حالی است که صرفه جویی‌های ناشی از پیشگیری از کاهش یا توقف تولید تا دو برابر این میزان خواهد بود که در این برآورد در نظر گرفته نشده است. [۵۹] یک مؤسسه تحقیقاتی در زمینه انرژی الکتریکی در یک طرح مطالعاتی، هزینه نگهداری و تعمیرات نیروگاه‌های تولید برق را در آمریکای شمالی بررسی کرد. این بررسی تحقیقاتی نشان داد که در صورت استفاده از روش نگهداری عکس‌العملی، هزینه نگهداری و تعمیر به ازای تولید یک اسب بخار انرژی الکتریکی برابر با ۱۸ دلار خواهد بود. در صورت استفاده از نگهداری پیشگیرانه، این هزینه به ۱۳ دلار برای هر اسب بخار کاهش می‌یابد و استفاده از نگهداری پیش‌بینانه تنها ۹ دلار برای هر اسب بخار تولیدی هزینه دارد. [۵۹]

در ادامه این بخش، نتایج مطالعات موردی که در ارتباط با مزایای اقتصادی کاربرد سیستم پایش سلامت در برخی از سازه‌های صنعت برق انجام شده به اختصار ارائه شده‌اند.

۲-۲-۱- توجیه اقتصادی پایش سلامت سازه در نیروگاه‌های هسته‌ای

آنالیزهای هزینه-فایده انجام شده در مورد نیروگاه‌های هسته‌ای در آمریکا نشان دهنده اقتصادی بودن جایگزینی سیستم‌های پایش آنلاین در بخش‌های تجهیزاتی و سازه‌ای نیروگاه، به جای سیستم‌های سنتی NDE می‌باشند. با استفاده از پایش آنلاین نیاز به بازرسی‌ها و تعمیرات دوره‌ای کاهش می‌یابد و زمان از کار افتادگی و خاموشی نیروگاه بسیار کم می‌شود. بنابر یک مطالعه اقتصادی، استفاده از تکنولوژی پایش سلامت آنلاین در تمام اجزای کلیدی نیروگاه بطور متوسط منجر به کاهش هزینه‌ای در حدود یک میلیارد دلار در سال خواهد گردید. [۳۳]، [۳۴] و [۳۵]

۲-۲-۲- توجیه اقتصادی پایش سلامت سازه در توربین‌های بادی

از آنجا که توربین‌ها معمولاً در نواحی دور افتاده قرار دارند. هیچ توجیه امنیتی جانی برای پیاده‌سازی یک سیستم SHM برای آنها وجود ندارد. انگیزه پیاده‌سازی سیستم SHM برای توربین‌های بادی صرفاً اقتصادی است.

اقتصاد توربین بادی می‌تواند به مقوله‌های سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه نصب، درآمد حاصل از فروش برق و هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری شکسته شود. می‌توانیم فرض کنیم که سرمایه‌گذاری اولیه در حدود ۱ تا ۱/۵ میلیون دلار در هر مگاوات است. علاوه بر این در حال حاضر هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری تقریباً ۱/۵ الی ۳ درصد هزینه سرمایه‌گذاری اولیه است. اگر توربین ۵ مگاواتی را در نظر بگیریم هزینه اولیه در حدود ۵ تا ۷/۵ میلیون دلار برای هر توربین و هزینه بهره‌برداری و نگهداری سالیانه با در نظر گرفتن میزان ۰.۲٪، حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ هزار دلار در سال برای هر توربین است. انتظار می‌رود که تعمیرات عمده توربین، هزینه‌ای حدود ۱۵ الی ۲۰ درصد سرمایه‌گذاری اولیه داشته باشد و برای حدود ۲۰ سال مورد نیاز است. برای این مثال هزینه مربوطه با در نظر گرفتن عدد ۲۰ درصد حدود ۱ تا ۱/۵ میلیون دلار خواهد شد.

در حال حاضر تکنسین‌ها توربین‌ها را برای تعیین تعمیر و نگهداری‌های لازم بازرسی می‌کنند. در حالت ایده آل سیستم SHM جایگزین و یا باعث تقویت روش‌های بازرسی می‌شود تا هزینه‌های تعمیر و نگهداری سالانه را به حداقل برساند و تنها تعمیرات اساسی هنگامی انجام شود که شرایط توربین نیاز به آنها را دیکته می‌کند. هزینه‌هایی که در بالا برای بهره‌برداری و نگهداری تعریف شده‌اند و همچنین محدودیت‌های تعمیرات اساسی باید در هزینه کلی سیستم SHM (توسعه، استقرار و نگهداری) دیده شود تا نرخ مثبت بازگشت سرمایه تأمین شود. اگر سیستم SHM یکسان روی توربین‌های مختلف نصب شده باشد می‌توان هزینه توسعه را بین توربین‌های متعدد تقسیم کرد. علاوه بر این، این ارزیابی محدودیت‌هایی را بر عمر بهره‌برداری مورد نیاز سیستم SHM وارد می‌کند.

در سال ۲۰۰۲ در کشور دانمارک، تحقیقاتی بر روی پایش سلامت سازه‌های توربین بادی درون دریا انجام گرفته است. هدف از این تحقیق بررسی راه‌های تشخیص خرابی (محل و نوع خرابی) و تخمین اثر خرابی روی عمر باقیمانده توربین بادی است. در این تحقیق بررسی جامعی روی موانع تکنیکی و اقتصادی در جهت رسیدن به این هدف انجام شده است. از نظر اقتصادی، آنالیز هزینه-سود برای استفاده از سنسورها به منظور پایش سلامت و همچنین تخمین قیمت برای سیستم پایش سلامت سازه‌ی توربین بادی انجام گرفته است. آنالیز هزینه-سود انجام گرفته در این پروژه نشان می‌دهد که استفاده از سنسورهای کار گذاشته شده درون پره‌های توربین بادی به منظور

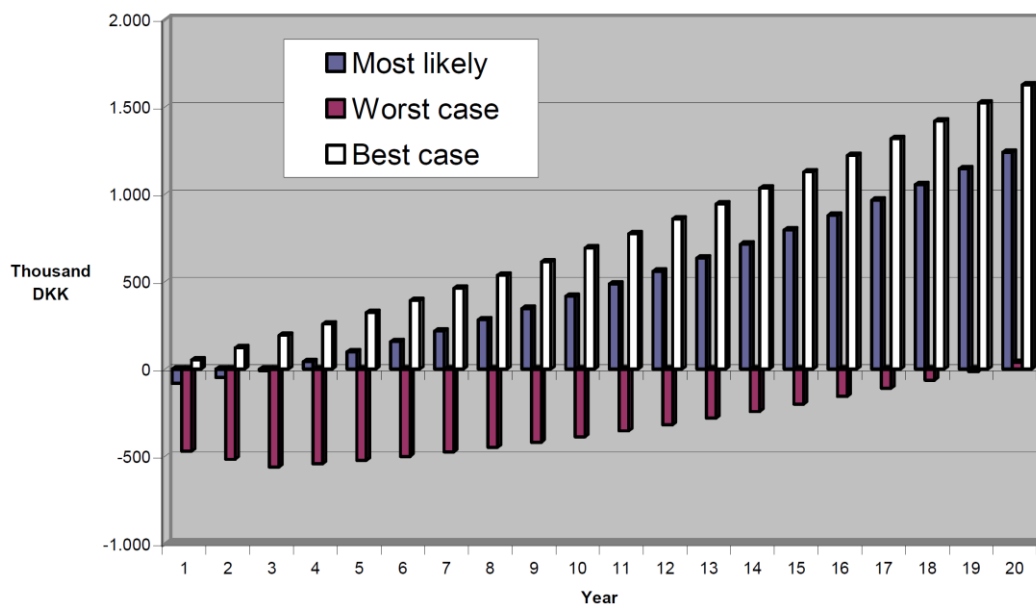
پایش سلامت سازه، از نظر اقتصادی کاملاً عملی و مقرون به صرفه می‌باشد. در این تحقیق کل هزینه عملیاتی یک توربین سه پره‌ای ۲ مگاوات برای حالتی که پایش سلامت انجام نگیرد و حالتی که سیستم پایش سلامت استفاده شود، با هم مقایسه شده‌اند. تفاوت هزینه‌ها در طول عمر سازه، نشان دهنده نسبت هزینه به سود استفاده از سنسورها برای پایش سلامت سازه می‌باشد. آنالیز هزینه برای سه سناریو محتملترین^۱، بدترین^۲ و بهترین^۳ حالت استفاده از سنسور انجام شده است. برای محتملترین حالت نقطه‌ی سر به سر^۴ هزینه‌ها تقریباً سه سال بعد از نصب سنسور اتفاق می‌افتد. به این دلیل که، هزینه خرابی‌های محتمل در سال‌های اولیه بیشتر است و همچنین استفاده از سنسورها، هزینه اولیه را بالا می‌برند. در بهترین حالت، هزینه اضافی خیلی کم در نظر گرفته می‌شود و در نتیجه صرفه اقتصادی از همان ماه‌های شروع استفاده از سنسورها اتفاق می‌افتد. در بدترین حالت، سیستم سنسورها بسیار گران است اما ریسک خرابی‌ها را کاهش نمی‌دهد. در ضمن تعداد زیاد تعمیرات غیر ضروری، نقطه سر به سر را تا ۱۹ سال افزایش می‌دهد، (شکل ۲-۲). در این تحقیق آنالیز حساسیت نیز انجام گرفته است و حساسیت نقطه سر به سر به هزینه سیستم سنسورها در شکل ۲-۳ نشان داده شده است، [۶۰ و ۶۱].

¹ - Most Likely

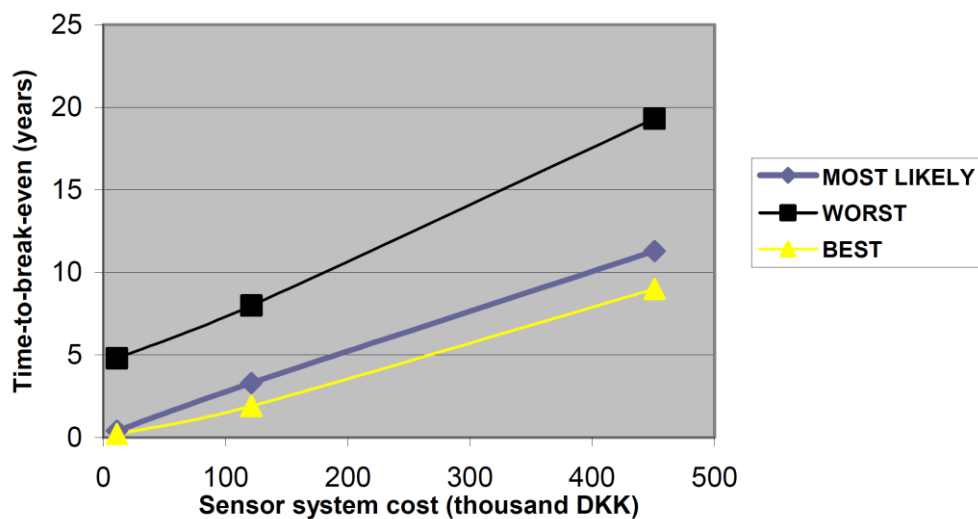
² - Worse Case

³ - Best Case

⁴ - Time to Brake Event



شکل ۲-۲: آنالیز هزینه-سود استفاده از سنسور به منظور پایش سلامت توربین بادی



شکل ۳-۲: آنالیز حساسیت نقطه سر به سر به قیمت سیستم سنسورها

۲-۲-۳- توجیه اقتصادی پایش سلامت سازه در دکل‌های انتقال برق

در مورد پست‌ها و دکل‌های انتقال برق، مطالعه تحقیقاتی انجام شده در آمریکا (بصورت پایلوت) در زمینه استفاده از سیستم پایش سلامت آنلاین با هدف شناسایی نفوذ خارجی به محوطه پست (برای دزدی یا خرابکاری) و

خطرات حاصل از عوامل محیطی منطقه (شامل آتش سوزی)، نشان دهنده اقتصادی بودن استفاده از سیستم مذکور بجای سایر گزینه‌های حفاظت از پست در برابر خطرات مورد نظر می‌باشد. [۴۹]

دو دلیل عمده برای توجیه استفاده از سیستم پایش سلامت آنلاین در خطوط انتقال، شامل کاهش هزینه‌های نگهداری خط بواسطه حذف بازرسی‌های دوره‌ای غیر ضروری و افزایش قابلیت اطمینان هشدار و اعلام مخاطرات؛ و افزایش قابلیت انتقال بار از خط موجود بدون افزایش سازه‌ها و تجهیزات (با پایش و کنترل پارامترهای محدود کننده انتقال بار)، می‌باشند. [۴۷] ارزیابی اقتصادی تقریبی که در مرجع [۴۶] ارائه شده، نشان دهنده این است که هزینه‌های نصب سیستم پایش به میزان کافی در دکل‌های انتقال در مقابل خسارات حاصل از خاموشی‌هایی که با این سیستم قابل جلوگیری هستند، ناچیز بوده و بنابراین استفاده از سیستم‌های پایش آنلاین کاملاً اقتصادی است. [۴۶] و [۴۷]

۲-۳- توجیه‌پذیری سیاسی اجتماعی

همانطور که در بخش‌های قبل عنوان گردید، قطع خدمت رسانی صنعت برق به هر دلیل (شامل وقوع خرابی در سازه‌ها) دارای پی آمدهای گوناگونی در سطوح مختلف تأثیر بر جامعه است. پی آمدهای اجتماعی قطع برق نظیر توقف و اخلال در فعالیت‌های جاری و روزمره افراد و گروه‌ها، منجر به بروز ناهنجاری و نارضایتی در جامعه می‌گردد. همچنین گسترش قطع برق در ابعاد بزرگ استانی یا ملی (بلاک اوت) می‌تواند دارای پی آمدهای زیان بار سیاسی نیز باشد. بر این اساس، قطع خدمت رسانی شبکه برق می‌تواند منجر به ایجاد یا تشدید شرایط بحرانی در بخش‌های مختلف جامعه گردد. از این منظر، کلیه اقداماتی که در راستای حفظ پیوستگی کارکرد شبکه برق بوده و به تداوم خدمت رسانی آن کمک نماید (از جمله سیستم پایش سلامت سازه‌ها)، می‌تواند در زمره اقدامات پیشگیرانه مدیریت بحران و همچنین، پدافند غیرعامل لحاظ و توجیه گردد.

از طرف دیگر، در راستای مقاصد کلان صنعت برق در افق ۱۴۰۴ که ایران را سرآمد کشورهای منطقه در ارائه برق پاک و پایا و مطمئن در نظر می‌گیرد، و همچنین اراده کلی صنعت برق برای صادرات برق به کشورهای

همسایه بطور مطمئن و پایدار، جلوگیری و یا به حداقل رساندن اختلالات و قطع سرویس دهی صنعت برق بدلیل وقوع انواع خرابی‌ها، از اهمیت زیادی برخوردار است. توسعه صادرات برق ایران به سایر کشورها با حفظ کیفیت و پایایی مناسب و قابل قبول، می‌تواند منجر به افزایش قدرت اقتصادی و به تبع آن قدرت سیاسی کشور شده و جایگاه آنرا در عرصه بین‌المللی و منطقه ای تقویت نماید. از آنجا که فناوری پایش سلامت سازه‌ها بطور کلی در راستای افزایش قابلیت اطمینان تولید برق و رساندن آن به مصرف کننده بوده و احتمال قطع سرویس دهی شبکه برق در اثر خرابی‌های سازه ای را کاهش می‌دهد، سبب کاهش پی آمدهای اجتماعی و سیاسی ناشی از قطع برق شده و از این لحاظ، توجیه پذیر خواهد بود.

از دیدگاهی دیگر، بخش‌هایی از صنعت برق (بخصوص در بخش تولید) ممکن است به سبب تحریم‌های اعمالی از سوی کشورهای صنعتی دچار مشکلاتی در زمینه بهره‌برداری و نگهداری از تجهیزات شوند. استفاده از سیستم پایش سلامت می‌تواند منجر به افزایش عمر مفید و بهره‌برداری بهینه از امکانات و تجهیزات موجود و نیاز کمتر به قطعات وارداتی و کاهش مسائل مربوط به آن در صنعت برق کشور، گردد.

۲-۴- توجیه پذیری زیست محیطی

وقوع خرابی در برخی از انواع سازه‌ها می‌تواند مستقیماً دارای پی آمدهای زیست محیطی نیز بوده و سبب ایجاد یا انتشار انواع آلودگی‌ها در محیط زیست گردد. در مورد سازه‌های صنعت برق می‌توان پوسته محافظ رآکتور در نیروگاه‌های هسته‌ای و یا مخازن سوخت در نیروگاه‌های حرارتی را نام برد که خرابی آنها می‌تواند سبب انتشار مواد آلاینده رادیواکتیو یا شیمیایی شده و دارای پی آمدهای زیان بار زیست محیطی باشد. همچنین خرابی‌های سازه ای در اجزای نیروگاه‌ها ممکن است منجر به حوادث ثانویه نظیر آتش سوزی یا انفجار شود که علاوه بر سایر پی آمدها و خسارات حاصله، منجر به آلودگی زیست محیطی نیز خواهند شد. بر این اساس، هر سیستمی که در راستای جلوگیری یا کاهش آسیب‌های سازه ای عمل کند (شامل سیستم پایش سلامت)، بطور غیرمستقیم در حفاظت از محیط زیست نیز نقش خواهد داشت.

۲-۵- توجیه‌پذیری قانونی

توجیه‌پذیری قانونی توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، بر اساس بررسی و مطالعه اسناد ملی بالادستی صورت می‌گیرد. این بررسی با هدف تعیین میزان مطابقت، تأثیرپذیری و همراستایی کلی توسعه فناوری پایش سلامت سازه‌های صنعت برق، با اهداف و سیاست‌های کلان کشور انجام می‌گیرد. در این راستا می‌توان به اسناد بالادستی به شرح زیر اشاره نمود:

الف) قانون برنامه پنج ساله پنجم توسعه کشور

در مجموعه برنامه پنج ساله پنجم توسعه جمهوری اسلامی ایران مصوب اسفند سال ۱۳۸۹ هجری شمسی، موارد زیر در ارتباط با توسعه علم و فناوری در کشور و صنعت برق مورد توجه قرار گرفته است:

↪ حمایت مالی از پژوهش‌های تقاضا محور مشترک با دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی، پژوهشی و

فناوری و حوزه‌های علمی در موارد ناظر به حل مشکلات موجود کشور.

↪ حمایت‌های قانونی لازم در راستای تشویق طرف‌های خارجی قراردادهای 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.

↪ حمایت مالی از ایجاد و توسعه بورس ایده و بازار فناوری به منظور استفاده از ظرفیت‌های علمی در

جهت پاسخگویی به نیاز بخش‌های صنعت، کشاورزی و خدمات.

↪ حمایت مالی از پایان نامه‌ها و رساله‌های دانشجویی در راستای ارتقاء بهره‌وری و حل مشکلات کشور.

↪ به منظور زمینه‌سازی برای تربیت نیروی انسانی متخصص و متعهد، دانش‌مدار، خلاق و کارآفرین،

منطبق با نیازهای نهضت نرم‌افزاری، با هدف توسعه کمی و کیفی دولت مجاز است هزینه سرانه تربیت

نیروی انسانی متخصص مورد تقاضای کشور بر اساس هزینه‌های آموزشی و هزینه‌های خدمات

پژوهشی، تحقیقاتی و فناوری مورد حمایت را در چهارچوب بودجه‌ریزی عملیاتی برای هر دانشگاه و مؤسسه آموزشی، تحقیقاتی و فناوری دولتی محاسبه و به طور سالانه تأمین کند.

↔ دولت مکلف است به منظور گسترش شایستگی حرفه ای از طریق افزایش دانش و مهارت با نگرش به

انجام کار واقعی در محیط، اصلاح هرم تحصیلی نیروی کار و ارتقاء و توانمندسازی سرمایه‌های انسانی،

کاهش فاصله سطح شایستگی نیروی کار کشور با سطح استاندارد جهانی و ایجاد فرصت‌های جدید

شغلی و حرفه ای برای جوانان و ارتقاء جایگاه آموزش‌های فنی و حرفه‌ای برای نظام آموزش فنی و

حرفه ای و علمی – کاربردی کشور اعم از رسمی، غیر رسمی و سازمان نیافته، ظرف یکسال از تاریخ

تصویب این قانون در محورهای زیر سازوکارهای لازم را تهیه و با پیش‌بینی الزامات مناسب اجراء کند:

- فراهم سازی ارتقاء مهارت در کشور از طریق اعطاء تسهیلات مالی با نرخ ترجیحی و تأمین

فضاهای فیزیکی و کالبدی با شرایط سهل و زمینه سازی حضور فعال و مؤثر بخش غیر دولتی

در توسعه آموزشهای رسمی و غیر رسمی مهارتی و علمی – کاربردی کشور.

- هماهنگی در سیاست‌گذاری و مدیریت در برنامه‌ریزی آموزش‌های فنی و حرفه‌ای کشور به

عنوان یک نظام منسجم و پویا متناسب با نیاز کشور.

- نیازسنجی و برآورد نیروی انسانی کاردانی مورد نیاز و صدور مجوز لازم و حمایت به منظور

تأسیس و توسعه مراکز آموزش دوره های کاردانی در بخش خصوصی و تعاونی و ایجاد

ظرفیت‌های مورد نیاز تا سال چهارم برنامه.

↔ به منظور تنوع در عرضه انرژی کشور، بهینه‌سازی تولید و افزایش راندمان نیروگاه‌ها، کاهش اتلاف و

توسعه تولید همزمان برق و حرارت، شرکت توانیر و شرکت‌های وابسته و تابعه وزارت نیرو موظفند:

- وزارت نیرو مجاز است در طول برنامه نسبت به افزایش توان تولیدی برق تا بیست و پنج هزار

مگاوات از طریق سرمایه‌گذاری بخش‌های عمومی، تعاونی و خصوصی اعم از داخلی و خارجی و یا

منابع داخلی شرکت‌های تابعه و یا به صورت روش‌های متداول سرمایه‌گذاری از جمله ساخت، بهره‌برداری و تصرف و ساخت، بهره‌برداری و انتقال اقدام نماید.

- به منظور اعمال صرفه جویی، 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 اجازه داده می‌شود بر اساس دستورالعملی که حداکثر تا پایان سال اول برنامه به تصویب شورای اقتصاد می‌رسد نسبت به اعمال مشوق‌های مالی جهت رعایت الگوی مصرف و بهینه‌سازی مصرف انرژی، تولید محصولات کم مصرف و با استاندارد بالا اقدام نمایند. منابع مالی مورد نیاز اجرای این ماده از محل وجوه حاصل از اجرای قانون هدفمند کردن یارانه‌ها، منابع داخلی شرکت‌های تابعه وزارتخانه‌های نفت، نیرو و صنایع و معادن و یا فروش نیروگاه‌ها و سایر دارایی‌ها از جمله اموال منقول و غیر منقول، سهام و سهم‌الشرکه وزارت نیرو و سایر شرکت‌های تابعه و وابسته و بنگاه‌ها در قالب بودجه سنواتی تأمین می‌شود.

↪ طرح جامع صیانت از نیروگاه‌های هسته‌ای توسط سازمان انرژی اتمی با همکاری وزارت کشور، وزارت امور خارجه، معاونت و سایر دستگاه‌های ذیربط حداکثر تا پایان سال اول برنامه تهیه و به تصویب هیئت وزیران می‌رسد.

↪ الزامات، مقررات و مصوبات نظام ایمنی هسته‌ای کشور که توسط مرکز نظام ایمنی سازمان انرژی اتمی ایران در زمینه فناوری هسته‌ای و پرتوی ابلاغ می‌شود، برای کلیه دستگاه‌های اجرایی و اشخاص حقیقی و حقوقی غیردولتی مرتبط، لازم‌الاجراء است.

↪ به منظور ایجاد زیرساخت‌های تولید تجهیزات نیروگاه‌های بادی و خورشیدی و توسعه کاربرد انرژی‌های پاک و افزایش سهم تولید این نوع انرژی‌ها در سبد تولید انرژی کشور، دولت مجاز است با

حمایت از بخش‌های خصوصی و تعاونی از طریق وجوه اداره شده و یارانه سود تسهیلات، زمینه تولید تا پنج هزار مگاوات انرژی بادی و خورشیدی در طول برنامه متناسب با تحقق تولید را فراهم سازد.

ب) سند چشم‌انداز ۱۴۰۴ کشور

در سند چشم‌انداز ۲۰ ساله جمهوری اسلامی ایران که در آذر سال ۱۳۸۲ هجری شمسی ابلاغ شد، در راستای چشم‌انداز افق، به موارد زیر اشاره شده که می‌تواند به توسعه فناوری پایش سلامت سازه‌ها در حوزه دانش فنی مورد نیاز، مربوط باشد:

↳ سازماندهی و بسیج امکانات و ظرفیت‌های کشور در جهت افزایش سهم کشور در تولیدات علمی جهان از طریق:

- تقویت نهضت نرم‌افزاری و ترویج پژوهش
- کسب فناوری، به ویژه فناوری‌های نو شامل: ریزفناوری و فناوری‌های زیستی، زیست محیطی، هوافضا و هسته‌ای.
- حفاظت از محیط زیست و احیای منابع طبیعی

پ) سند چشم‌انداز و برنامه راهبردی بلندمدت وزارت نیرو

طی سال‌های اخیر طرح تدوین این سند در دستور کار این وزارتخانه قرار گرفته است. تحقق آرمان و اهداف سند چشم‌انداز جمهوری اسلامی ایران، انسجام‌بخشی به برنامه‌ها و فعالیت‌ها و مستندسازی نگاه به افق‌های دور دست صنعت آب و برق از اهداف تدوین این سند به شمار می‌روند. اسناد خروجی این طرح به عنوان سند بالادستی مجموعه اجزای وزارت نیرو در نظر گرفته شده و با توجه به ابلاغ توسط وزیر محترم نیرو مبنای کلیه سیاست‌گذاری‌ها، برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های صنعت آب و برق قرار می‌گیرد.

مجموعه حاضر برنامه راهبردی وزارت نیرو در افق ۱۴۰۴ را مشخص نموده و مشتمل بر اسناد مأموریت، چشم‌انداز، ارزش‌ها و راهبردهای وزارت نیرو و بخش‌های پنجگانه‌ی «آب و آبفا»، «برق و انرژی»، «آموزش، پژوهش و فناوری» و «پشتیبانی صنعت آب و برق» است. این مجموعه نتیجه مشارکت ارزشمند حدود ۲۸۰ نفر

از مدیران، صاحب نظران، خبرگان و کارشناسان ارشد صنعت آب و برق در قالب انجام فعالیت‌های پشتیبانی و حضور فعال در جلسات کمیته‌های تخصصی، کمیته راهبری و هماهنگی و شورای عالی طرح است. این اسناد با شناخت فرصت‌ها و تهدیدهای در پیشروی صنعت آب و برق به دست آمده و افق حرکتی آینده‌ی وزارت نیرو را تعیین نموده و نگاه بلندمدت را در تمامی سطوح این وزارتخانه نهادینه می‌نمایند.

مطابق این سند، بخش‌هایی از مأموریت وزارت نیرو که می‌تواند با توسعه فناوری پایش سلامت سازه‌ها مرتبط گردد، به شرح زیر می‌باشد:

↪ وزارت نیرو با بهره‌گیری از آخرین دستاوردهای علمی، پژوهشی و روش‌های پیشرفته مدیریت و همچنین توسعه فناوری‌های نوین سازگار با محیط‌زیست، علاوه بر توسعه و ارتقای بهره‌وری و کیفیت ارائه خدمات در سطح ملی، بازار صنعت آب و برق کشور را به سطح جهانی، به ویژه کشورهای منطقه گسترش می‌دهد.

↪ وزارت نیرو رشد پایدار بخش آب و برق کشور را با ایجاد تعادل بین منابع و مصارف، ارتقای بهره‌وری و مشارکت منابع انسانی به عنوان ارزشمندترین سرمایه محقق می‌سازد.

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

↪ وزارت نیرو در بخش آموزش، پژوهش و فناوری عهده‌دار ارتقای دانش و مهارت‌های منابع انسانی، توسعه پژوهش و فناوری، افزایش آگاهی‌های عمومی و خلاقیت و نوآوری در راستای تأمین نیازهای صنعت آب و برق است.

↪ بخش آموزش، پژوهش و فناوری با سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی، سازماندهی، هدایت، نظارت و تکیه بر منابع انسانی توانمند و متعهد به عنوان اصلی‌ترین سرمایه و با توسعه و به‌کارگیری روش‌های نوین در فعالیت‌های علمی، نظام مدیریت دانش و تعامل شبکه‌ای با نهادهای فعال در صنعت آب و برق، به‌ویژه در حوزه‌های فنی، مدیریتی و اقتصادی، در راستای توسعه پایدار اقدام می‌نماید.

↪ بخش پشتیبانی صنعت آب و برق با بهره‌گیری از دانش و فناوری‌های روز دنیا عهده‌دار مدیریت تأمین و توسعه بازار کالاها، تجهیزات، خدمات مشاوره‌ای و پیمانکاری در این صنعت می‌باشد.

در این راستا، راهبردهای وزارت نیرو در بخش‌های مختلف تدوین و ارائه شده که از میان آنها، می‌توان به بندهای زیر که به نوعی مرتبط با توسعه فناوری پایش سلامت سازه‌ها می‌باشند، اشاره نمود:

۷-۲- افزایش بهره‌وری تولید برق و ارتقاء بازده نیروگاه‌ها

۷-۴- ارتقاء توانمندی در تولید برق از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر

۷-۵- سازگاری زیست‌محیطی و ارتقاء ایمنی در فعالیت‌های صنعت برق

۱۰-۲- گسترش پژوهش‌های کاربردی و توسعه‌ای و ارتقاء سطح تحقیق و توسعه

۱۰-۷- شناسایی فناوری‌های نوین و انتقال و بومی‌سازی فناوری‌های دارای مزیت نسبی

۱۰-۸- ارتقاء نظام آموزش‌های عمومی، تخصصی و مدیریتی

۱۰-۹- توسعه شبکه خبرگان، نخبگان و متخصصین

۱۱-۱- ظرفیت‌سازی، آموزش و توسعه توانمندی‌های منابع انسانی

در بخش برق و انرژی:

۵-۳- شناسایی، انتقال و بومی‌سازی فناوری‌های نوین و سازگار با محیط‌زیست

۵-۴- افزایش سطح تعامل بخش برق و انرژی با مراکز علمی و تحقیقاتی داخلی و خارجی توانمند و

نهادینه‌سازی آن

۷-۴- استفاده از فناوری نوین و تجهیزات با راندمان بالا

۷-۵- مدیریت بهینه بهره‌برداری از نیروگاه‌های برق‌آبی و افزایش هماهنگی آنها با تولید نیروگاه‌های حرارتی

۸-۳- ارتقاء و توسعه نظام یادگیری فردی و سازمانی، با رویکرد مستندسازی و انتقال دانش و تجارب صنعت

برق و استقرار و توسعه نظام مدیریت دانش

۸-۴- ارتقاء و توسعه نظام جذب، توانمندسازی و نگهداشت منابع انسانی متناسب با اهداف صنعت برق

۹-۱- تمرکز بر تحقیق و پژوهش و بومی‌سازی فناوری در فعالیت‌های مربوط به تولید برق از انرژی

خورشیدی و بادی در کشور

در بخش آموزش، پژوهش و فناوری:

ح) استقرار و ارتقاء نهاد و نظام سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی و راهبری مؤثر آموزش، پژوهش و فناوری صنعت

آب و برق و ایفای نقش مؤثر در مراجع مرتبط

۸- به‌هنگام‌سازی آموزش‌های مرتبط با فناوری‌های جدید

۱۸- توسعه شبکه خبرگان، نخبگان و متخصصین (حقیقی و حقوقی)

در بخش پشتیبانی صنعت آب و برق:

۱۰- حمایت از انتقال و بومی‌سازی فناوری‌های نو مورد نیاز و به‌کارگیری فناوری‌های دارای مزیت نسبی بالا

در حوزه مدیریت بحران و پدافند غیرعامل:

نهادینه‌سازی و اجرای اصول و ضوابط پدافند غیرعامل و مدیریت بحران در صنعت آب و برق به منظور افزایش

بازدارندگی، تداوم ارائه خدمات در شرایط اضطراری، کاهش آسیب‌پذیری و ارتقاء پایداری در کلیه تأسیسات و

فرآیندهای صنعت با تأکید بر:

↪ شناسایی و طبقه‌بندی تأسیسات و فرآیندهای حیاتی، حساس و مهم و آسیب‌پذیر و تدوین و اجرای

برنامه‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت

↪ انجام پژوهش‌های مورد نیاز در جهت دستیابی به راهکارهای جدید کم‌هزینه، مؤثر و عملیاتی در

عرصه پدافند غیرعامل

ت) مجموعه مقاصد و اهداف فناوریانه کلان در صنعت برق کشور

مجموعه مقاصد و اهداف فناوریانه کلان در صنعت برق کشور در افق زمانی ۱۴۰۴ هجری شمسی، طی نامه شماره ۹۱/۴۷۵۵۸/۳۰/۱۰۰ مورخ ۱۳۹۱/۱۲/۲۰ وزیر نیرو (با موضوع ابلاغ مقاصد و اهداف فناوریانه صنعت برق) ابلاغ گردیده است. بر اساس سند مذکور، استقرار و بکارگیری سیستم پایش سلامت آنلاین در سازه‌های صنعت برق را می‌توان در راستای هدف فناوریانه افزایش امنیت انرژی (پدافندی-فنی و قابلیت اطمینان) جهت تحقق مقصد کلان سرآمد کشورهای منطقه در عرضه برق پاک، مطمئن، پایا با کیفیت مناسب از مجموعه مقاصد و اهداف فناوریانه کلان ابلاغ شده صنعت برق منظور نمود.

ث) سیاست‌های کلی ابلاغی توسط مقام معظم رهبری در بخش پدافند غیر عامل

سیاست‌های کلی نظام در ارتباط با ایجاد و توسعه پدافند غیر عامل در بخش‌های مختلف کشور در اسفند ۱۳۸۹ تهیه و ابلاغ شدند. توسعه فناوری پایش سلامت سازه‌ها در صنعت برق را می‌توان در راستای بندهای زیر از سیاست‌های مذکور منظور نمود:

↪ بند ۱: تأکید بر پدافند غیرعامل که عبارت است از مجموعه اقدامات غیرمسلحانه که موجب افزایش بازدارندگی، کاهش آسیب پذیری، تداوم فعالیت‌های ضروری، ارتقاء پایداری ملی و تسهیل مدیریت بحران در مقابل تهدیدات و اقدامات نظامی دشمن می‌گردد.

↪ بند ۴: تهیه و اجرای طرح‌های پدافند غیرعامل (با رعایت اصل هزینه - فایده) در مورد مراکز، اماکن و تاسیسات حائز اهمیت (نظامی و غیرنظامی) موجود و در دست اجراء براساس اولویت‌بندی و امکانات حداکثر تا پایان برنامه ششم و تامین اعتبار مورد نیاز.

↪ بند ۱۰: حمایت لازم از توسعه فناوری و صنایع مرتبط مورد نیاز کشور در پدافند غیرعامل با تأکید بر طراحی و تولید داخلی.

ج) سیاست‌های کلی تولید ملی، حمایت از کار و سرمایه ایرانی

سیاست‌های کلی تولید ملی، حمایت از کار و سرمایه ایرانی در اسفند ماه ۱۳۹۱ هجری شمسی توسط مقام معظم رهبری ابلاغ گردیدند. بندهای زیر از سیاست‌های کلی مذکور را میتوان به توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق مرتبط دانست:

↪ بند ۱: بالا بردن قدرت رقابت و افزایش بهره‌وری عوامل تولید با:

- کاهش هزینه‌ها و بهبود کیفیت تولید

- بهینه‌سازی تعامل عوامل تولید

↪ بند ۲: هدایت و تقویت تحقیق و توسعه و نوآوری‌ها و زیربنای آنها و بهره‌گیری از آنها، با هدف:

- ارتقاء کیفی و افزایش کمی تولید ملی

- بالا بردن درجه ساخت داخل تا محصول نهایی

چ) سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی ابلاغی مقام معظم رهبری

با هدف تأمین رشد پویا و بهبود شاخص‌های مقاومت اقتصادی و دستیابی به اهداف سند چشم‌انداز بیست‌ساله، سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی با رویکردی جهادی، انعطاف‌پذیر، فرصت‌ساز، مولد، درون‌زا، پیشرو و برون‌گرا، در بهمن سال ۱۳۹۲ هجری شمسی توسط مقام معظم رهبری ابلاغ گردید.

در جلسه شورای عالی اقتصاد ۹ تیر ۱۳۹۳ در خصوص برنامه‌های وزارت نیرو برای تحقق اقتصاد مقاومتی، اعلام شد که بندهای ۳، ۸ و ۹ از سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی مربوط به وزارت نیرو است. برخی اهداف و سیاست‌های این وزارتخانه برای تحقق بخشیدن به این سیاست‌ها در حوزه برق که در این جلسه اعلام شد و می‌تواند با ضرورت توسعه فناوری پایش سلامت سازه‌های صنعت برق ارتباط داشته باشد بدین شرح است:

↪ افزایش بهره‌وری برق در کلیه مراحل زنجیره تولید تا مصرف

↪ توسعه زیرساخت‌های تولید و انتقال برق و تلاش برای تأمین ملزومات تبدیل کشور به قطب تأمین و

تبادل برق منطقه

↪ پایداری و بهبود کیفیت و کمیت خدمات آب و برق در بخش‌های مختلف مصرف

ح) سند "اولویت‌های تحقیقاتی و فناوری مصوب کمیسیون‌های تخصصی وزارت علوم، تحقیقات و

فناوری "مصوبه‌ی سال ۱۳۹۰"

شورای عالی علوم، تحقیقات و فناوری در راستای انجام وظایف قانونی و با هدف بهره‌گیری حداکثری از توان علمی و دانش تخصصی صاحب‌نظران و خبرگان دانشگاهی و دستگاه‌های اجرایی کشور در حوزه‌های مختلف، اقدام به تشکیل ۱۱ کمیسیون تخصصی در زمینه‌های موضوعی نموده است که هر کدام از آنها بر اساس وظایف قانونی شورا در حوزه تخصصی مرتبط فعالیت می‌کنند. کمیسیون‌های تخصصی شورای عالی با بررسی و مطالعه حوزه‌های تخصصی مربوطه اولویت‌های تحقیقاتی و فناوری و طرح‌های کلان ملی را تعیین کرده‌اند. با توجه به اسناد قانونی مذکور (جزء ۱ بند م ماده ۲۲۴ قانون برنامه پنجم توسعه، جزء الف بند ۱۰۸ قانون بودجه سال ۱۳۹۰ کشور) اولویت‌های تحقیقاتی و فناوری کمیسیون‌های تخصصی مربوطه، برای استفاده دستگاه‌های مشمول اسناد قانونی مذکور، در این سند ارائه شده است.

مطابق اولویت‌های کمیسیون تخصصی انرژی، بند ۹، بایستی "فناوری‌های نوین و کارای شبکه‌های انتقال و توزیع برق" در دستور کار قرار گیرد که می‌توان بر این اساس، توسعه فناوری پایش سلامت سازه‌ها را که در راستای نگهداری بهینه شبکه برق است، توجیه نمود.

علاوه بر آن در جدول سایر اولویت‌های تحقیقاتی کشور در این سند، بایستی اولویت‌های زیر در دستور کار قرار گیرند:

↩ "استفاده از فناوری‌های جدید و انتقال تکنولوژی"

↩ "دستیابی به روش‌ها و فناوری‌های نوین جهانی (انتقال فناوری و دانش فنی به کشور) و همگام سازی با

روند سریع پیشرفت جهانی"

↩ "به‌روزرسانی آموزش‌های مرتبط با فناوری‌های جدید"

↩ "انتقال فناوری و دانش فنی به کشور در عرصه‌هایی که هنوز نیاز به ورود فناوری خارجی می‌باشد"

↩ "ارتقا و انتقال دانش فنی در بخش طراحی و مهندسی"

بر اساس این اولویت‌ها، توسعه فناوری پایش سلامت سازه‌ها در صنعت برق، از آن‌جا که هم با موضوعیت انتقال دانش در این حوزه ارتباط مستقیم دارد و در عین حال دانش فنی و فناوری مربوط به بهره‌برداری و نگهداری از سازه‌های شبکه برق را ارتقاء خواهد بخشید توجیه قانونی خواهد داشت.

خ) مبحث ۲۲ مقررات ملی ساختمانی ایران

مبحث ۲۲ مقررات ملی ساختمانی ایران با عنوان "مراقبت و نگهداری از ساختمان‌ها" توسط کمیته تدوین مقررات ملی ساختمانی ایران در وزارت راه و شهرسازی تهیه شده و ویرایش نخست آن در سال ۱۳۹۲ ابلاغ گردیده است. در مقدمه این مبحث عنوان شده که "ساختمان یک سرمایه ملی است و عدم کنترل‌های لازم پس از ساخت آن، خسارت‌های جبران‌ناپذیری بر اقتصاد هر کشور بر جای می‌گذارد. اجزای ساختمان شامل بخش‌های مختلف معماری، سازه، تأسیسات برقی و تأسیسات مکانیکی در طول عمر مفید خود، بر اثر عوامل ناشی از شرایط جوی و خطرات طبیعی مانند زلزله، سیل و طوفان، قصور در نگهداری، بهره‌برداری نامناسب، عدم کنترل و بازرسی‌های ادواری از شرایط بهره‌برداری تأسیسات برقی و مکانیکی و پایداری قطعات نما و سایر اجزای الحاقی ساختمان، عدم کنترل شرایط پی، خاک زیر شالوده و دیوارهای بناهایی که در مجاورت ساختمانهای در حال ساخت یا تجدید بنا هستند، ممکن است دچار فرسودگی زودرس و از دست دادن عملکرد صحیح خود از نظر ایمنی و بهداشت شوند. از اینرو برای نگهداری از ساختمان و اجزای آن نیاز به تدوین و ترویج ضوابط و مقرراتی است تا بر اساس آن، اشخاص ذیصلاحی که در این مبحث تعیین شده‌اند، بتوانند عملکرد صحیح ساختمان را در طول عمر مفید آن کنترل نموده و در صورت نیاز اقدام به تعمیر یا تقویت اجزای آسیب دیده نمایند."

حوزه مورد نظر در مبحث مذکور، ساختمانهای متعارف شهری بوده و رویکرد مورد نظر برای نگهداری ساختمان‌ها نیز، بازرسیهای دوره‌ای و ارزیابی غیر مخرب است که توسط شهرداری‌ها انجام می‌پذیرد. بدیهی است که با توجه به ضرورت تشخیص داده شده برای مراقبت و نگهداری از ساختمانهای متعارف و عمومی که منجر به تدوین و ابلاغ مبحث ۲۲ شده، ضرورت پرداختن به مبحث نگهداری از سازه‌های خاص صنعت

برق که به مراتب دارای اهمیت بالاتری بوده و خسارات آنها دارای پی آمدها و تبعات زیان بارتری است، بیش از پیش آشکار می‌گردد.

با توجه و بررسی اسناد و مقررات مذکور در این بخش مشخص می‌گردد که مبحث پایش سلامت سازه‌ها بطور مستقیم در اسناد بالادستی مورد اشاره قرار نگرفته و عمدتاً به مبحث کلان تر نگهداری و تعمیرات بطور غیرمستقیم یا مستقیم پرداخته شده است. از طرف دیگر می‌توان اظهار نمود که فناوری پایش سلامت سازه‌ها (و کاربرد آن در صنعت برق) مغایرت و تعارضی با هیچیک از اسناد و مقررات بالادستی و سیاستهای کلان کشور ندارد. بر این اساس ضرورت پرداختن به مبحث نگهداری و تعمیرات سازه‌ها (بخصوص در سازه‌های با اهمیت مانند صنعت برق) با استفاده از رویکردهای نوین فناورانه که قادر به انجام این مهم بصورت بهینه باشند، روشن می‌گردد.

۳- تبیین ابعاد موضوع و محدوده مطالعات

در این بخش سعی شده تا ابعاد موضوع و محدوده مطالعات مرتبط با فناوری پایش سلامت سازه‌ها که شامل سطح تحلیل، افق زمانی برنامه‌ریزی و مرزبندی نظام اجتماعی-فنی است؛ بررسی و ارائه گردد. سطح تحلیل مشخص می‌کند که اندازه مجاز حوزه اثر و سطح تأثیرگذاری فناوری بر محیط (از نظر جغرافیا و حوزه تخصصی) چقدر است. افق زمانی برنامه‌ریزی معین کننده بازه زمانی مورد انتظار برای رسیدن به چشم‌انداز و تحقق اهداف توسعه فناوری است. مرزبندی نظام اجتماعی-فنی هم باعث می‌شود تا سیستم از محیط اطراف خود جدا شده و تحلیل از قابلیت کنترل بالاتری در ارائه نتایج برخوردار باشد. نتایج این بخش از مطالعات دارای اهمیت قابل توجهی بوده و بر خروجی مؤلفه‌های دیگر سند تأثیرگذار است. [۱]

۳-۱- تبیین سطح تحلیل

سطح تحلیل از نظر جغرافیا به سه رده منطقه ای، ملی و فراملی تقسیم می‌گردد. سطح منطقه‌ای به تصمیم‌گیری در مورد زیربخش‌های ملی با پتانسیل از لحاظ ایجاد کسب و کارهای دانش بنیان می‌پردازد. (مانند

خوشه‌های صنعتی و قطب‌های فناورانه) سطح ملی بیانگر تصمیمات دولتها در توسعه اقتصادی مرتبط بخش‌ها و فناوری‌های موجود در یک کشور است. سطح فراملی نیز بیانگر همکاری‌های بین‌المللی در برنامه‌ریزی برای توسعه محصولات و فناوری‌ها است. مشخص شدن سطح تحلیل از لحاظ محدوده جغرافیایی در تعیین اندازه مرزهای سیستم تحت مطالعه و انتخاب نوع ابزارهای سیاست‌گذاری و تدوین راهبرد، مؤثر خواهد بود. [۱]

از آنجا که گستره و توزیع جغرافیایی سازه‌های مهم موجود در شبکه برق (بطور خاص نیروگاه‌های پایه‌ای و شبکه انتقال برق) در کل کشور بوده و منحصر به مکانهای خاص استانی نمی‌باشد، در ارتباط با فناوری پایش سلامت سازه‌ها در این سند، سطح جغرافیایی ملی مورد نظر می‌باشد.

از منظر دیگر، سطح تحلیل می‌تواند به دو دسته بخشی و فناورانه نیز تقسیم شود. سطح بخشی به تعیین سیاست و تدوین راهبرد در حوزه یک صنعت خاص (مشمول بر فناوری‌های آن) می‌پردازد. سطح فناورانه نیز یک فناوری خاص را هدف مطالعه قرار می‌دهد که که امکان استفاده از آن در چندین بخش یا صنعت مختلف نیز وجود دارد. [۱] بر این اساس، با توجه به اینکه فناوری پایش سلامت سازه‌ها در حوزه‌ها و بخش‌های مختلفی از صنعت قابل استفاده است (البته جزئیات این فناوری در هر بخش صنعتی دارای ویژگی‌های خاص همان بخش می‌باشد) می‌توان آنرا در سطح فناورانه مورد بررسی قرار داد. بعبارت دیگر، فناوری مورد نظر بصورت مجموعه به هم پیوسته‌ای از تعدادی علم و فناوری که برای تحقق اهداف خاصی در سازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، دیده می‌شود. شایان ذکر است که در این سند، کاربرد فناوری پایش سلامت سازه، تنها در مورد سازه‌های موجود در بخش‌های مختلف صنعت برق کشور (مذکور در بخش مرزبندی فنی این گزارش) مورد نظر می‌باشد.

۳-۲- تعیین افق زمانی برنامه‌ریزی

ماهیت اسناد راهبردی با در نظر گیری افق‌های برنامه‌ریزی فراتر از زمان حال برای اقدامات و فعالیت‌ها معنی پیدا می‌کند. [۱] بطور معمول افق‌های برنامه‌ریزی برای اکتساب و توسعه فناوری‌ها با توجه به وضعیت فعلی آنها و نگاه به آینده، به نحوی انتخاب می‌گردند که احتمال وقوع تغییرات شدید و ماهیتی فناوری در محدوده زمانی مورد

نظر، حداقل ممکن باشد. با توجه به مطالعات انجام شده در زمینه پایش سلامت سازه‌ها در دنیا و ایران که در بخش قبلی ارائه گردید، مشخص شد که این فناوری و کاربرد آن در بخش سازه، در دنیا نسبتاً جوان بوده و فعالیت‌های عمده مرتبط با آن در بخش‌های علمی و تحقیقاتی صورت می‌گیرد. بنابراین احتمال وقوع تغییرات شدید در این فناوری و کاربردهای آن در آینده (در افق میان مدت) کم می‌باشد.

بر اساس بررسی اسناد بالادستی کشور شامل سند چشم‌انداز جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۰۴، مجموعه برنامه پنجساله پنجم توسعه، سند راهبردی وزارت نیرو و سند نقشه جامع علمی کشور، و با استناد به اسناد فوق، افق برنامه‌ریزی مورد نظر در ارتباط با توسعه فناوری پایش سلامت سازه‌ها در صنعت برق کشور، افق میان مدت ۱۰ ساله (۱۴۰۴ هجری شمسی) در نظر گرفته می‌شود.

با توجه به پتانسیل‌های موجود در بخش‌های تحقیقاتی و صنعتی دانش بنیان کشور، انتظار می‌رود که اهداف کلی مورد نظر در این طرح که اکتساب دانش فنی و توان بکارگیری سیستم پایش سلامت بصورت ساختار یافته و قابل اطمینان در صنعت برق می‌باشد، در افق زمانی مورد نظر امکان پذیر باشد. شایان ذکر است که افق زمانی تعیین شده، در مراحل بعدی تدوین سند (تدوین چشم‌انداز، اهداف و سیاست‌های کلان و ...) نیز مورد بازبینی و بروزرسانی قرار خواهد گرفت.

۳-۳- مرزبندی فنی

منظور از مرزبندی فنی، تعیین کلیه انواع سازه‌هایی است که در بحث پایش سلامت در این سند، مورد نظر قرار دارند. همانطور که در بخش‌های قبلی این گزارش نیز ذکر گردید، سازه‌های مورد نظر در این سند، کلیه سازه‌های موجود در بخش‌های سه گانه صنعت برق کشور (تولید، انتقال و توزیع) می‌باشند. در مراحل بعدی سند، سازه‌های مورد اشاره در این بخش جهت انجام فعالیت‌های مورد نظر، بر اساس معیارهای مناسب اولویت‌بندی خواهند شد. فهرست جزئی‌تر سازه‌های مورد نظر در این سند به شرح ذیل می‌باشد:

۳-۳-۱- سازه‌های بخش تولید برق

سازه‌های بخش تولید برق شامل موارد زیر می‌باشند:

۶. نیروگاه‌های حرارتی (سیکل بخار، سیکل گازی، سیکل ترکیبی)

↔ سازه برج خنک کن

↔ سازه دودکش

↔ سازه نگهدارنده بویلر

↔ سازه‌ها یا فونداسیون‌های نگهدارنده تجهیزات اصلی (توربین و ژنراتور)

↔ سیستم لوله‌ها (پایپینگ) و اتصالات آنها

↔ مخازن ذخیره سوخت

↔ سایر سازه‌ها

۷. نیروگاه‌های هسته‌ای

↔ سازه‌های مربوط به رآکتور (مخزن فشار، پوسته‌های محافظ بتنی)

↔ سازه‌های ساختمانی و کنترلی

↔ مخازن ذخیره سوخت

↔ سازه‌های نگهدارنده تجهیزات

↔ سایر سازه‌ها

۸. نیروگاه‌های برق آبی

↔ سدهای بتنی

↔ سدهای خاکی

۹. نیروگاه‌های بادی

↔ پره‌های توربین‌های بادی

↔ برج توربین‌های بادی

↔ فونداسیون توربین‌های بادی

۱۰. سایر نیروگاه‌های نوین (انرژی‌های نو)

↔ نیروگاه‌های خوشیدی

↔ نیروگاه‌های زمین گرمایی

سازه‌های بخش انتقال برق

سازه‌های بخش انتقال برق شامل موارد زیر می‌باشند:

۴. خطوط انتقال برق هوایی

↔ دکل‌های انتقال برق

↔ مقره‌ها

↔ هادی‌های انتقال (پایش خیز هادی‌ها)

۵. خطوط انتقال برق زیرزمینی

↔ گالری‌های بتنی

↔ اتصالات و منهول‌ها

۶. پست‌های انتقال

↔ ساختمان‌های کنترل

↔ گنتری

↔ سازه‌ها، فونداسیون‌ها و مهارهای نگهدارنده تجهیزات پست

↔ سازه‌های حفاظتی (حصار محوطه)

۳-۲- سازه‌های بخش توزیع برق

سازه‌های بخش توزیع برق شامل موارد زیر می‌باشند:

۳. خطوط توزیع برق هوایی

↳ پایه‌های توزیع برق

۴. پست‌های توزیع برق

↳ پست‌های هوایی

↳ پست‌های زمینی و زیرزمینی

۴- تبیین مشخصه‌های فناوری پایش سلامت سازه‌ها

تبیین مشخصه‌های فناوری در واقع ارائه تصویری از خصوصیات و ویژگی‌های فناوری راهبردی مورد مطالعه به سیاستگذاران و تحلیلگران می‌باشد. این کار با بررسی و مشخص نمودن جایگاه فناوری از ابعاد ماهیت، چرخه عمر و پارادایم فناورانه انجام می‌شود. آگاهی از مشخصه‌های فناوری بر نوع تصمیم‌گیری در مراحل بعدی تدوین سند اثرگذار خواهد بود. در ادامه این بخش، جایگاه فناوری پایش سلامت سازه‌ها در کشور، از ابعاد مختلف بررسی و مشخص شده است. [۱]

۴-۱- طبقه‌بندی فناوری پایش سلامت سازه‌ها از منظر ماهیت

از منظر ماهیت کاربردی، فناوری‌ها را می‌توان براساس سابقه فناوری، پیچیدگی فناوری، تناسب فناوری، حوزه استفاده فناوری و موقعیت راهبردی فناوری طبقه‌بندی نمود. بر این اساس، طبقه‌بندی فناوری پایش سلامت سازه‌ها در ایران با توجه به پنج عامل فوق بصورت زیر خواهد بود:

۴-۱-۱- سابقه فناوری پایش سلامت سازه‌ها

از نظر سابقه حضور، فناوری‌ها به دودسته فناوری‌های جدید و فناوری‌های موجود تقسیم می‌شوند. جدید و موجود بودن فناوری نه بر اساس نوظهور بودن بلکه بر اساس شکل‌گیری بازار آن در مرز بنگاهی، بخشی یا ملی تعیین می‌شود. فناوری‌هایی که بازار آنها شکل گرفته باشد جزء فناوری‌های موجود قلمداد می‌شوند. [۱]

با توجه به مطالب ارائه شده در بخش اول این گزارش، بدیهی است که فناوری پایش سلامت سازه‌ها در حالت کلی دارای بازار مشخصی در کشور نیست. البته اجزایی از این فناوری (مانند ابزارهای اندازه‌گیری و پردازش داده‌ها) در حوزه‌های دیگر صنایع دارای بازار مخصوص به خود می‌باشند ولیکن آنجایی که به بحث پایش سلامت سازه‌ها مربوط می‌شود، بازاری بطور مشخص یافت نمی‌شود. عمده فعالیت‌های انجام شده در این زمینه در کشور در حوزه تحقیقات دانشگاهی بوده و نمونه‌های معدودی نیز بصورت پراکنده در برخی سازه‌ها اجرا شده‌اند. بر این اساس می‌توان فناوری پایش سلامت سازه‌ها در کشور را بطور کلی در رده فناوری‌های جدید ملحوظ نمود.

۴-۱-۲- پیچیدگی فناوری پایش سلامت سازه‌ها

از نظر پیچیدگی، فناوری‌ها به دودسته ساده و پیشرفته تقسیم می‌شوند. ویژگی‌های عمده فناوری‌های پیشرفته شامل پیچیدگی زیاد، علم محوری، چرخه عمر کوتاه، سهم بالای فناوری در قیمت تمام شده کالا و خدمات و هزینه بالای تحقیق و توسعه می‌باشند. وضعیت پیچیدگی فناوری پایش سلامت سازه‌ها بر اساس هر یک از پارامترهای مذکور، به شرح زیر می‌باشد:

۱. پیچیدگی زیاد: SHM زمینه نوظهوری از مهندسی است که واژگان و اصطلاحات گسترده‌ای دارد. بنابراین دوره‌های آموزشی تخصصی در این زمینه در دانشگاه‌ها و مؤسسات معتبر در سرتاسر جهان برگزار می‌شود. معمولاً پیش نیازهایی از دانش که برای متقاضیان این دوره‌ها مطرح می‌شود شامل: دانش عمومی مهندسی سازه، جبر خطی و مکانیک، گذراندن دوره‌های آموزشی ریاضیات و دینامیک در سطح لیسانس که در رشته‌های مهندسی عمران، مکانیک و یا هوافضا ارائه می‌شود، است. همچنین این دوره‌ها شامل تمامی مباحث و یا برخی از مباحث تئوری SHM از جمله ارزیابی عملیاتی، سنسورها، مباحث آماری، ویژگی‌های حساس به آسیب، روش‌های آماری دسته بندی و نرمالایز کردن داده‌ها، طراحی سیستم SHM و کاربردها و اجرای کامپیوتری و اصول نرم‌افزارهای این تکنولوژی هستند. عبارت دیگر، فناوری پایش سلامت سازه از

ترکیب چند زمینه علمی پدید آمده و چند رشته ای^۱ می‌باشد. از مهمترین رشته های علمی مرتبط با پایش سلامت در سازه‌ها، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

↔ ریاضیات (آمار و احتمالات)

↔ مهندسی برق و کامپیوتر (پردازش سیگنال‌ها، سیستم‌های سخت‌افزاری گردآوری، ذخیره‌سازی، انتقال و بازیابی داده‌ها، سنسورها و ابزار دقیق، اندازه‌گیری و ...)

↔ انفورماتیک و علوم ارتباطات و اطلاعات (پردازش داده‌ها، استخراج اطلاعات از داده‌ها و ...)

↔ مهندسی عمران (مدلسازی و تحلیل اجزاء محدود، دینامیک سازه‌ها و ارتعاشات، انتشار امواج، آنالیز معکوس و شناسایی سیستم، آنالیز و مکانیک خرابی، بهینه سازی، الگوریتم‌های ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی و ...)

بر اساس این پارامتر می‌توان فناوری پایش سلامت سازه‌ها را یک فناوری پیشرفته در نظر گرفت.

۲. علم محوری: با توجه به پارامتر قبل، سهم عمده ای از فناوری پایش سلامت سازه‌ها مربوط به دانش علمی در رشته‌ها و زمینه‌های مختلف است. هرچند که در بخش‌های سخت‌افزاری نظیر سنسورهای اندازه‌گیری و تجهیزات وابسته به آن، دانش‌های فنی و تکنیکی نیز نقش قابل توجهی دارند. با توجه به جمیع جهات، اگر سیستم پایش سلامت سازه را متشکل از سه حوزه کلی طراحی سیستم پایش، اکتساب داده‌ها (اندازه‌گیری پارامترها، گردآوری، انتقال، ذخیره‌سازی و پردازش داده‌ها) و تشخیص (یا پیش‌بینی) مشکلات و خرابی‌ها در نظر بگیریم؛ دو حوزه اول و سوم آن بیشتر مبتنی بر دانش علمی می‌باشند. بر این اساس می‌توان گفت که سهم دانش علمی در این فناوری بیشتر از دانش فنی و تجربی بوده و فناوری، علم محور می‌باشد. بنابراین بر اساس این پارامتر می‌توان فناوری پایش سلامت سازه‌ها را یک فناوری پیشرفته در نظر گرفت.

¹ - multidisciplinary

۳. چرخه عمر کوتاه: معمولاً فناوری‌های پیشرفته دارای طول عمر کوتاهتری نسبت به فناوری‌های ساده بوده و سرعت منسوخ شدن و جایگزینی آنها با فناوری‌های پیشرفته نوظهور، بیشتر از فناوری‌های ساده است. از میان سه حوزه کلی پایش سلامت سازه که در بخش قبل عنوان شد، حوزه‌های طراحی و تشخیص و پیش‌بینی خرابی‌ها که بیشتر مبتنی بر دانش علمی می‌باشند، طول عمر کوتاهی نداشته و روش‌ها و الگوریتم‌های تدوین شده برای آنها (بسته به سطح و هدف مورد نظر پایش) تا مدت نسبتاً زیادی مورد استفاده قرار می‌گیرند. البته انجام تحقیقات به منظور تدوین الگوریتم‌های جدیدتر و کارآتر نیز صورت می‌گیرد ولی روش‌های کلاسیک و نسبتاً قدیمی تر بطور کامل کنار گذاشته نشده‌اند. از طرف دیگر، در حوزه اکتساب داده‌ها که شامل تکنولوژی‌های اندازه‌گیری و پردازش داده‌ها است نیز، طول عمر کوتاهی مشاهده نمی‌شود. به عنوان نمونه در مورد سنسورهای اندازه‌گیری و تجهیزات جنبی آنها که بیشترین حجم و سرعت پیشرفت و تحول را در اجزای فناوری پایش سلامت دارند، با وجود ظهور و چیرگی تکنولوژی فیبر نوری، هنوز هم از سنسورهای مکانیکی و الکتریکی قدیمی تر استفاده می‌شود. تکنولوژی سنسورهای فیبر نوری نیز که در حدود ۲۰ سال است که معرفی شده، همچنان به لحاظ بازار استفاده، در حال رشد می‌باشد. البته در این حوزه نیز فناوری‌های نوظهور نظیر MEMS و NEMS و سنسورهای بی سیم نیز معرفی شده‌اند ولی تکنولوژی‌های قبلی از رده خارج نشده‌اند. بر این اساس بطور کلی می‌توان گفت که فناوری پایش سلامت در سازه‌ها دارای طول عمر کوتاه نبوده و از این جهت، فناوری پیشرفته‌ای محسوب نمی‌شود.

۴. سهم بالای فناوری در قیمت تمام شده کالا و خدمات: قیمت تمام شده یک محصول/خدمت از مجموع ارزش ورودی‌های مصرف شده (مواد، انرژی، سرمایه و...) و هزینه صرف شده برای تبدیل ورودی‌ها به خروجی‌ها (با استفاده از فناوری) می‌باشد. در مورد محصولات/خدمات تولید شده با فناوری‌های پیشرفته، نسبت هزینه ورودی‌ها به هزینه تبدیل ناچیز بوده و سهم و ارزش ورودی‌ها در قیمت نهایی محصول نسبتاً پایین است. به عبارت دیگر عمده قیمت محصول ناشی از فناوری بکار رفته در آن می‌باشد. انطباق این پارامتر با فناوری پایش سلامت سازه‌ها مشکل بوده و متأثر از نحوه نگرش به آن می‌باشد. اگر فناوری پایش

سلامت بصورت کلی را به صورت یک جزء از خدمات نگهداری و تعمیر سازه‌ها منظور کنیم، با توجه به هزینه مورد نیاز برای تجهیزات، نیروی انسانی متخصص و دانش فنی، سهم عمده هزینه تمام شده خدمات نگهداری سازه را به خود اختصاص خواهد داد. از این رو بر اساس این پارامتر، می‌توان فناوری پایش سلامت را یک فناوری پیشرفته منظور نمود.

۵. **هزینه بالای تحقیق و توسعه:** فناوری‌های پیشرفته بدلیل بین رشته ای بودن و پیچیدگی، سرمایه‌گذاری بیشتری را در مرحله تحقیق و توسعه طلب می‌کنند. در مورد فناوری پایش سلامت سازه‌ها نیز با توجه به وجود چند رشته مرتبط و پیچیدگی‌های حاصل از آن، هزینه‌های تحقیقات نسبتاً بالایی برای اجرایی شدن آن مورد نیاز است. علاوه بر آن، نیاز به انجام مطالعات آزمایشگاهی و پایلوت برای تحقیق و توسعه و صحت‌سنجی روش‌های پایش سلامت سازه‌ها، هزینه‌های تحقیق و توسعه را بالاتر می‌برد. بر این اساس می‌توان فناوری پایش سلامت در سازه‌ها را یک فناوری پیشرفته در نظر گرفت.

با توجه به مطالب مذکور در این بخش، از میان پنج پارامتر مورد بررسی برای تعیین پیچیدگی فناوری پایش سلامت در سازه‌ها، چهار پارامتر، پیشرفته بودن و یک پارامتر، ساده بودن فناوری را نتیجه می‌دهند.

۴-۱-۳ - تناسب فناوری پایش سلامت سازه‌ها

فناوری مناسب به فناوری‌هایی اطلاق می‌شود که بیشترین سازگاری را با نیازهای شناسایی شده از یک سو و منابع موجود از سوی دیگر داشته باشند. بنابراین فناوری مناسب الزاماً فناوری پیشرفته یا نوظهور نیست. بلکه فناوری مناسب باید با زیرساخت‌های لازم و نیروی انسانی موجود تناسب داشته باشد تا بتواند به نحو مؤثری در کشور مورد استفاده قرار گیرد. [۱]

بر اساس مباحث ارائه شده در بخش‌های قبلی این گزارش می‌توان ادعا نمود که فناوری پایش سلامت پاسخگوی نیازهای موجود در این زمینه (مدیریت نگهداری سازه‌ها بطور مؤثر و بهینه) می‌باشد. از طرف دیگر،

حداقل زیر ساخت‌های مورد نیاز برای استفاده از این فناوری در سازه‌ها (و بطور خاص در سازه‌های صنعت برق) نیز در کشور موجود می‌باشند. زیرساخت‌های مذکور شامل تجهیزات اندازه‌گیری و کار بر روی داده‌ها (انواع سنسورها، واحدهای جمع‌آوری و پردازش داده‌ها و ...)، زیرساخت‌های انتقال داده‌ها بصورت با سیم (کابل‌ها و ...) و بی سیم (اینترنت و سایر تجهیزات انتقال بی سیم داده‌ها) و حوزه‌های دانش فنی و علمی مربوط، می‌باشند. شایان ذکر است که در حال حاضر، شبکه اینترنت در غالب مناطق کشور برای انتقال داده‌های مورد نیاز در پایش سلامت (با حجم و سرعت بالا) مناسب نبوده و لیکن انتظار می‌رود با پیشرفت‌های آن حوزه در آینده، بتوان به زیرساخت مناسب در افق زمانی مورد نظر دست یافت. از طرف دیگر برای مدیریت متمرکز و تجمیع داده‌های حاصل از پایش سلامت سازه‌ها در مراکز خاص و مشخص، نیاز به زیرساخت پهنای باند شبکه در کشور وجود دارد. در صورت فقدان چنین زیرساختی، پایش سلامت سازه‌ها الزاماً باید بصورت جداگانه و بدون ارتباط با سازه‌های دیگر صورت گیرد.

در مورد سایر تجهیزات مورد اشاره نیز، علیرغم عدم توان ساخت در داخل کشور، امکان وارد کردن آنها بدون مشکل خاص، وجود داشته و هم اکنون شرکت‌های متعددی در کشور برای مصارف مختلف صنعتی و علمی، وارد کننده تجهیزات مذکور می‌باشند. بدین ترتیب می‌توان فناوری پایش سلامت سازه‌ها را بطور کلی یک **فناوری مناسب** منظور نمود که قابلیت بکارگیری آن در کشور به لحاظ وجود زیرساخت‌های مورد نیاز، وجود دارد. البته بدلیل وجود پیش نیازهای علمی سطح بالا، به منظور تأمین نیروی انسانی مورد نیاز بخش‌های مختلف آن، برنامه خاص آموزشی در سطح کشور مورد نیاز می‌باشد.

شایان ذکر است که پیش از اجرایی شدن استفاده از فناوری پایش سلامت در حوزه صنعت برق، به منظور حفظ یکپارچگی نسبی در مراحل مختلف بکارگیری سیستم و جلوگیری از اعمال سلايق و به حداقل رساندن سهم قضاوت مهندسی، نیاز به تدوین استانداردهای مناسب که حاوی حداقل الزامات و مقررات فنی مورد نیاز در زمینه‌های مرتبط باشد، وجود خواهد داشت. این مهم در دنیا نیز در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته و مؤسسات مختلف در دنیا، تلاشهایی در راستای تدوین استانداردهای مورد نیاز پایش سلامت سازه‌ها صورت داده‌اند. نمونه‌هایی از استانداردهای پایش سلامت در دنیا به شرح ذیل می‌باشند:

مؤسسه بین‌المللی ISHMII پنج راهنما را که توسط مؤسسات مختلف در دنیا به شرح ذیل تدوین شده‌اند، برای

استفاده در پایش سلامت سازه‌ها پیشنهاد نموده است: [۳۱]

- Intelligent Sensing for Innovative Structures (ISIS), 2001- Focused on SHM overview



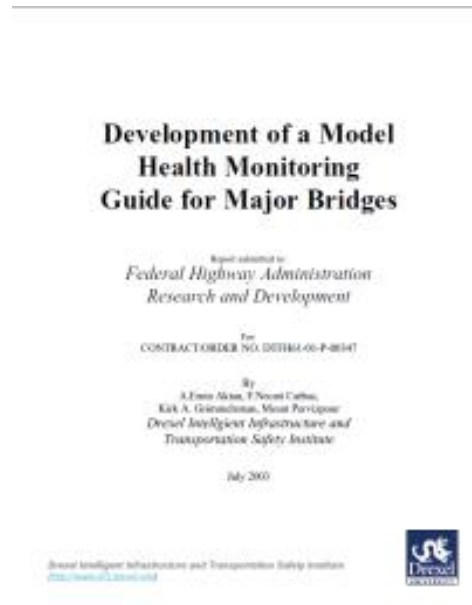
- Monitoring and Safety Evaluation of Existing Concrete Structures: State-of-the-Art Report (Fib), 2002- Focused on measurements



- International Organization for Standardization (ISO), 2002- Focused on Vibration monitoring



- Federal Highway Administration (FHWA), 2002- Focused on Road bridges



- Structural Assessment, Monitoring and Control (SAMCO), 2006- Focused on SHM



همچنین می‌توان به استاندارد طراحی تدوین شده برای پایش سلامت سازه‌ها که در کشور چین توسط مؤسسه
China Association for Engineering Construction Standardization طی مدت سه سال تدوین و در سال

۲۰۱۳ جهت استفاده ارائه شده اشاره نمود. استاندارد مذکور در هفت فصل و دو پیوست شامل محتوای کلیات و تعاریف، انتخاب و جانمایی سنسورها، گردآوری و پردازش داده‌ها، انتقال، ذخیره‌سازی و مدیریت داده‌ها و در نهایت، ارزیابی و تشخیص وضعیت سازه، ارائه شده است. [۳۱]



شکل ۴-۱: مقدمه استاندارد پایش سلامت سازه‌ها در چین

۴-۱-۴ - حوزه استفاده (کاربرد) فناوری پایش سلامت سازه‌ها

از لحاظ حوزه کاربرد، فناوری‌ها به دودسته فناوری‌های محصول و فناوری‌های فرآیند تقسیم می‌شوند. فناوری‌های محصول عبارتند از فناوری‌هایی که در ترکیب کالا یا خدمات بکار گرفته می‌شوند و فناوری‌های فرآیند، فناوری‌هایی هستند که در فرآیند تولید یک محصول یا خدمت بکار برده می‌شوند. [۱]

همانطور که در بخش‌های قبلی عنوان شد، فناوری پایش سلامت سازه‌ها در حال حاضر بصورت یک بسته محصولی مشخص و جامع وجود نداشته و برای هر سازه بصورت یک پروژه منحصر بفرد، طراحی، نصب و اجرا شده و مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. در اغلب حالات برای یک سازه خاص و منحصر بفرد، سیستم پایش سلامت بصورت یک بسته کامل، طراحی و نصب شده و مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. از طرف دیگر پایش سلامت سازه‌ها را می‌توان بصورت یک فرآیند نیز دید که روی سازه‌ها پیاده‌سازی و اجرا می‌گردد. با در نظر گرفتن جمیع جهات و ویژگی‌های سیستم پایش سلامت، می‌توان گفت که مجموعه سیستم پایش سلامت به فناوری فرآیند نزدیکتر می‌باشد.

۴-۱-۵- موقعیت راهبردی فناوری پایش سلامت سازه‌ها

بر حسب موقعیت راهبردی، فناوری‌ها را می‌توان به دو دسته فناوری‌های کلیدی یا راهبردی در مقابل فناوری‌های متعارف یا معمولی تقسیم نمود. فناوری‌های کلیدی به فناوری‌هایی اطلاق می‌شود که در تحقق اهداف راهبردی نقش کلیدی ایفا نمایند. فناوری‌های متعارف یا معمولی عبارتند از فناوری‌هایی که تسلط بر آنها ارزش زیادی ندارد. به عبارت دیگر امکان بهره‌گیری از توان موجود در خارج از مرزهای بنگاهی، بخشی یا ملی برای انجام عملیات مرتبط با فناوری‌های مذکور وجود دارد و مناسب است تا این عملیات را به خارج واگذار نمود. از منظرهای دیگر می‌توان موقعیت راهبردی فناوری‌ها را در رده‌های حیاتی، پایه و خارجی طبقه‌بندی نمود. [۱]

همانطور که در بخش‌های قبلی این گزارش عنوان گردید، بدلیل اهمیت قابل توجه شبکه برق در تأمین انرژی مورد نیاز بخش‌های مختلف کشور، و همچنین نقش و کارکرد اجزای مختلف شبکه برق (شامل انواع سازه‌های موجود در حوزه‌های تولید، انتقال و توزیع برق) در آن؛ حفظ پیوستگی کارکرد شبکه و برقرسانی مستمر آن به مصرف‌کنندگان، از اولویت‌ها و اهداف اصلی و راهبردی وزارت نیرو در بخش برق می‌باشد. از منظر دیگر با توجه به اهمیت استراتژیک سازه‌های موجود در بخش‌های مختلف صنعت برق (بخصوص تولید و انتقال) به لحاظ اینکه وقوع خرابی در آنها ممکن است سبب اخلاص در کارکرد شبکه و بروز خسارات جبران ناپذیری تا حد ملی نیز گردد،

دستیابی به فناوری پایش سلامت و تسلط بر اجزای کلیدی آن، در حوزه صنعت برق لازم بوده و مناسب نیست که کل اجزای فناوری (به‌خصوص بخش‌های مربوط به تفسیر اطلاعات و تشخیص و پیش‌بینی خرابی‌ها به لحاظ مسائل امنیتی) از خارج از کشور تأمین گردد. بر این اساس می‌توان فناوری پایش سلامت سازه‌های صنعت برق را که کارکرد اصلی آن، مدیریت بهینه نگهداری سازه‌های مذکور با هدف شناسایی و پیش‌آگاهی خرابی‌های محتمل در آنها بوده و در راستای حفظ پیوستگی کارکرد شبکه است را در رده فناوری‌های راهبردی منظور نمود.

۴-۲- طبقه‌بندی فناوری پایش سلامت سازه‌ها از منظر چرخه عمر

فناوری‌ها دارای ویژگی‌های عملکردی و نوع تعاملات با بازار متغیر در طول زمان هستند. این تغییر در طول زمان در قالب طبقه‌بندی فناوری در طول چرخه عمر به نمایش گذاشته می‌شود، [۱].

از دو منظر چرخه عمر را می‌توان طبقه‌بندی کرد. چرخه عمر فناوری که به معنی تغییر ویژگی‌های عملکردی فناوری و رسیدن به بلوغ فنی در طول زمان برای آن فناوری می‌باشد. همچنین، چرخه عمر محصول - بازار که تغییر حجم ارائه فناوری در بازار بر حسب زمان را نشان می‌دهد.

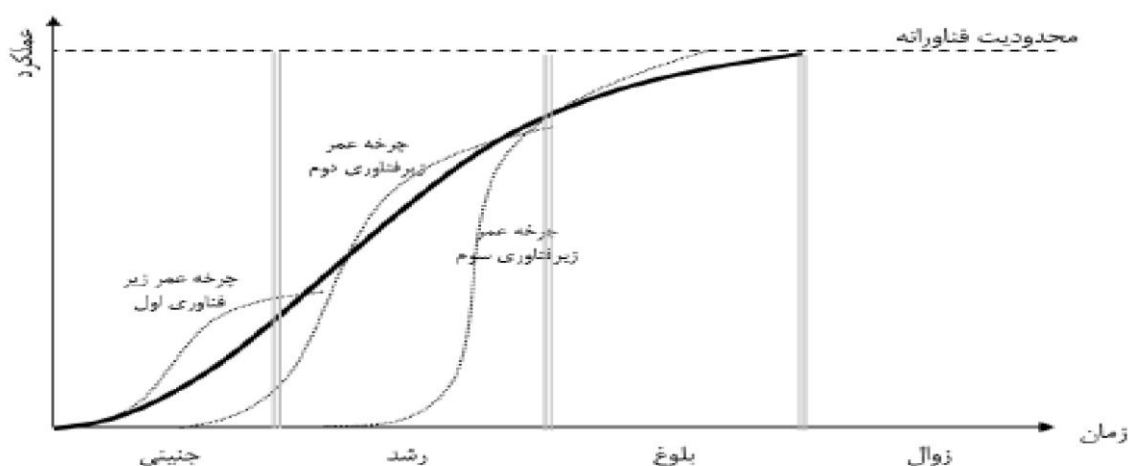
۴-۲-۱- چرخه عمر فناوری

فناوری‌ها دارای ویژگی‌های عملکردی و نوع تعاملات با بازار متغیر در طول زمان هستند. این تغییر در طول زمان را باید در قالب طبقه‌بندی فناوری در طول مراحل چرخه عمر به نمایش گذاشت. تغییر ویژگی‌های عملکردی فناوری و رسیدن به بلوغ فنی در طول زمان بیان‌کننده چرخه عمر فناوری است.

چرخه عمر فناوری، مفهومی است که نحوه بهبود یک فناوری را در طول زمان نشان می‌دهد. به عبارت دیگر محل قرارگیری یک فناوری در چرخه عمر، متأثر از منحنی‌های چرخه عمر فناوری‌های وابسته به آن می‌باشد. از آنجا که فناوری‌های پیچیده غالباً از فناوری‌های دیگری در سطوح پایین‌تر تشکیل شده‌اند، چرخه عمر آنها نیز مرکب از چرخه عمر اجزای تشکیل‌دهنده آن است. این منحنی دارای چهار مرحله جنینی، رشد، بلوغ و زوال است.

زمانی که یک فناوری به محدودیت طبیعی خودش برسد، جایی برای بهبود نداشته و به سمت زوال و جایگزینی با فناوری‌های دیگر حرکت می‌کند. بنابراین لازم است تا فناوری‌هایی برای توسعه انتخاب شوند که در مرحله زوال خود قرار نداشته باشند. برنامه‌ریزی برای توسعه قطعات موجود در مرحله زوال منجر به هدررفت سرمایه‌گذاری‌های صورت گرفته و از دست دادن رقابت پذیری می‌گردد.

در این بخش، چرخه عمر فناوری پایش سلامت سازه‌ها با دو رویکرد نگرش به اجزای فناوری (زیرفناوری‌ها) و نگرش به کل فناوری، بررسی و ارائه شده است.



شکل ۴-۲: ارتباط چرخه عمر فناوری با چرخه عمر زیر فناوری‌ها

با رویکرد نگرش به اجزای فناوری، با استفاده از سه معیار تنوع مدل‌های موجود فناوری، نوع بهبودهای صورت گرفته، و نوع چیرگی موجود در صنعت، می‌توان به صورت کیفی جایگاه هر فناوری را در چرخه عمر معین نمود.

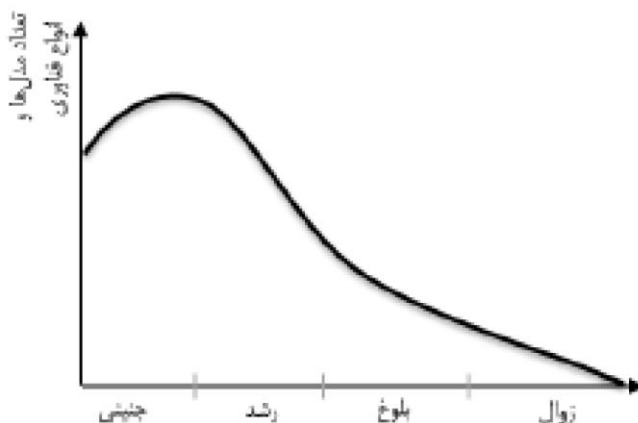
↔ تنوع مدل‌های موجود فناوری: همانطور که پیشتر نیز اشاره شد، زیر فناوری‌های مورد نیاز در فناوری

پایش سلامت از جمله سنسورهای مورد استفاده و نحوه جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزارهای قدرتمند، موضوع بسیاری از پروژه‌های تحقیقاتی در زمینه پایش سلامت سازه‌ها می‌باشد.

به این ترتیب، طی سال‌های اخیر با توسعه فناوری نانو و پیشرفت در ساخت سیستم‌های میکرو و نانو

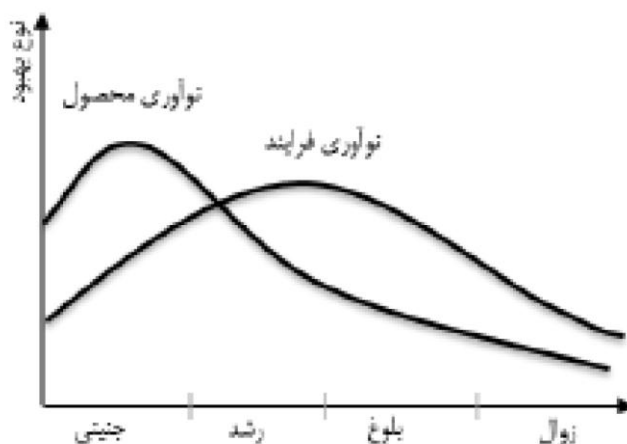
الکترومکانیکی، تنوع زیادی در سنسورها ایجاد شده است. همانطور که از شکل زیر مشخص است،

تنوع مدل‌های فناوری می‌تواند شاخصی برای تعیین چرخه عمر محسوب شود. با توجه به مطالب گفته شده، به نظر می‌رسد که فناوری پایش سلامت از منظر تنوع مدل‌ها در مرحله رشد چرخه عمر قرار دارد.



شکل ۳-۴: معیار تنوع مدل‌های موجود فناوری در تخمین چرخه عمر

نوع بهبود: در فناوری پایش سلامت سازه‌ها، علاوه بر اینکه زیر فناوری‌هایی از جمله تکنولوژی سنسورهای مورد استفاده، پیشرفت زیادی داشته‌است، نحوه‌ی به کار گیری این سنسورها و نحوه بهینه کردن تعداد آنها در سازه به منظور کاهش هزینه‌های اقتصادی، مورد تحقیق بسیاری قرار گرفته است و به این ترتیب روند رو به رشد اقتصادی کردن این فناوری در کشورهای پیشرفته مشاهده می‌شود. ورود تعداد بیشتری از شرکت‌های مرتبط با این فناوری در صنعت و پایش سلامت طیف وسیعتری از سازه‌ها طی سال‌های اخیر نشان دهنده مرحله رشد این فناوری در کشورهای پیشرفته می‌باشد. هرچند که در کشور ایران، این فناوری هم از نظر نوآوری در محصول و هم از نظر نوآوری فرایند در مرحله جنینی قرار دارد.



شکل ۴-۴: معیار نوع بهبود در تعیین چرخه عمر فناوری

↔ نوع چیرگی در صنعت: بیشترین تحقیقاتی که در مورد فناوری پایش سلامت طی ۲۰ سال اخیر انجام گرفته است، پیشرفت تجهیزات مورد استفاده و انواع سنسورهای به کار گرفته شده در این صنعت به منظور افزایش دقت اندازه‌گیری و افزایش قابلیت اطمینان بوده است. با پیشرفت در صنعت ساخت و ورود سنسورهایی با به کارگیری فناوری نانو، هزینه ساخت این تجهیزات رو به کاهش می‌باشد. همچنین مطالعات زیادی در ارتباط با بهینه کردن تعداد سنسورهای مورد استفاده و کاهش هزینه پایش سلامت انجام شده است. به این ترتیب طی سال‌های اخیر پایش سلامت برای طیف وسیعتری از سازه‌های پر اهمیت در سراسر دنیا انجام شده است. به نظر می‌رسد، از آنجا که بررسی امکان تولید انبوه سنسورها و اقتصادی کردن فناوری پایش سلامت موضوع بحث مطالعات جدید می‌باشد، از منظر چیرگی در صنعت، فناوری پایش سلامت در کشورهای صنعتی در مرحله ابتدایی رشد در چرخه عمر باشد.



شکل ۴-۵: معیار نوع چیرگی در صنعت در تعیین چرخه عمر فناوری

مباحث فوق با تأکید بیشتر بر روی یک جزء سیستم پایش سلامت سازه‌ها (سنسورها) ارائه گردید. در ادامه این بخش، فناوری پایش سلامت سازه را بصورت کلی در نظر می‌گیریم. همانطور که در بخش‌های قبل عنوان گردید، سیستم پایش سلامت سازه‌ها در سطوح مختلفی به لحاظ هدف پایش و پیچیدگی ناشی از آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. بطور کلی می‌توان دو سطح کلی را در پایش سلامت سازه‌ها مورد نظر قرار داد که عبارت از تشخیص آسیب^۱ و پیش‌بینی آسیب^۱ می‌باشند. همانطور که از نام این دو سطح مشخص است، تشخیص خرابی مربوط به مشخص نمودن وجود خرابی (وجود، محل و مقدار) در سازه و پیش‌بینی خرابی مربوط به تخمین وضعیت خرابی سازه در آینده و تخمین عمر باقیمانده سازه می‌باشند. بطور کلی سطح پیش‌بینی خرابی بالاتر از تشخیص بوده و به لحاظ علمی پیشرفته‌تر و پیچیده‌تر از سطح تشخیص می‌باشد. با توجه به متفاوت بودن پیچیدگی علمی و فنی در دو سطح مذکور، چرخه عمر آنها نیز متفاوت بوده و بطور جداگانه بررسی و ارائه می‌گردد.

وضعیت رشد تکنولوژی‌های مربوط به پایش آنلاین در اجزای مختلف سیستم‌های تولید برق (نیروگاه) در مرجع [۳۲] ارائه شده و در جدول زیر نقل شده است. در جدول زیر وضعیت رشد و میزان دسترسی به روش‌های تشخیص و پیش‌بینی خرابی‌ها و خسارات در تجهیزات و سازه‌های تولید برق مشخص شده است. بر اساس جدول زیر،

¹ - Damage Diagnosis

تکنولوژی‌های تشخیص خرابی در مورد سازه‌های فلزی در دسترس و قابل استفاده بوده و تکنولوژی‌های پیش‌بینی خرابی بطور کلی و تکنولوژی‌های تشخیص خرابی در مورد سازه‌های کامپوزیت، در حال توسعه می‌باشند.

جدول ۴-۱: وضعیت رشد تکنولوژی تشخیص (D) و پیش‌بینی (P) خرابی در اجزای تولید برق [۳۳]

Diagnostic/Prognostic Technology for:	AP ^a	A ^b	I ^c	NO ^d
Basic Machinery (motors, pumps, generators, etc.)	D		P	
Complex Machinery (Helicopter Gearboxes, etc.)		D	P	
Metal Structures	D		P	
Composite Structures			D&P	
Electronic Power Supplies (Low Power)		D	P	
Avionics and Controls Electronics	D		P	
Medium Power Electronics (Radar, etc.)		D		P
High Power Electronics (Electric Propulsion, etc.)				D&P

^a AP = Technology currently available and proven effective.

^b A = Technology currently available, but V&V not completed.

^c I = Technology in process, but not completely ready for V&V.

^d NO = No significant technology development in place.

وضعیت رشد تکنولوژی‌های مرتبط با نگهداری و بهره‌برداری از بخش‌های مختلف نیروگاه‌های هسته‌ای (تا نسل سوم) در جدول زیر به نقل از [۳۴] ارائه شده است. بر این اساس، تکنولوژی‌های تشخیص خرابی مبتنی بر پایش آنلاین در سازه‌های مربوط به رآکتور (مخزن فشار، بلوک رآکتور، پوسته‌های محافظ بتنی، ژنراتور بخار و ...) و سازه‌های خارج از رآکتور (سازه‌های عمرانی و محوطه، مخزن ذخیره و انتقال سوخت، انواع مخازن هوایی، سازه‌های نگهدارنده و ...) بطور کلی موجود بوده و باید برای این سازه‌ها، اختصاصی شود. همچنین تکنولوژی‌های پیش‌بینی خرابی در مورد سازه‌های مذکور، موجود نبوده و در مرحله تحقیق و توسعه (R&D) می‌باشد.

جدول ۴-۲: وضعیت رشد تکنولوژی تشخیص (D) و پیش‌بینی (P) خرابی در اجزای نیروگاه‌های هسته‌ای [۳۴]

Component / System type (Representative items)	M	OFL ISI	OFL CM	OFL D	OFL P	ONL D	ONL P	Remarks / (references)
a) Reactor Structure: Reactor Pressure Vessel, <i>Coolant Channels</i> , Reactor block, Reactor vault and its lining, Shielding structures, Steam Generator, and associated fittings and penetration and nozzles, and, Ventilation plenum and ducts etc.	***	****	***	***	****	***	**	The life prediction for Candu / PHWRs coolant channels (pressure tube; IAEA, 1998; Dharmaraju, 2008; Chatterjee, 2012)
b) Non-Reactor Structure: <i>Containment</i> and civil structures, Fuel Transfer and Storage block, Overhead tanks and reservoirs, Airlocks, Structural support, RB Dampers, Bridges and jetties, guide and support etc	****	****	****	***	***	***	**	Structural health prediction in R&D stages. (Andonov, 2011; Coble, 2012).
c) Mechanical Components: <i>Pumps & Turbines, Piping, Valves, Heat Exchangers (Shell and Tube and plate type, Fueling Machine, Fans and Dampers, Hydraulic drives and systems, Strainers and Filters, Bearings, Diesel Generators, Compressors, Cranes, Travelling water screens, etc</i>	****	****	****	****	**	***	***	State of the art is available on on-line diagnostics. Prognostics in R&D stages. (Heng A, 2009; Samal, 2010; Coble, 2012)
d) Electrical Power System: Electrical buses and cables, HV Transformers, Motors, Breakers and Isolators, Power Relays, Motor Generator / alternator Sets, Battery banks etc.	****	***	***	***	***	**	**	CM for rotating machines. (Heng, 2009)
e) Power Electronics systems: <i>Un-interrupted Power Supplies, Convertors, Invertors and rectifiers etc.</i>	***	**	**	**	**	**	*	R&D work on Capacitor, IGBT reported. (Yin, 2008; Smith, 2009; Ye, et al., 2006)
f) Micro-electronic Systems: <i>Digital Cards, ICs, PLCs and FPGAs, interconnects and Control Cables, Control Connectors etc.</i>	****	***	****	***	**	****	**	Prognostics in R&D stages (Pecht, 2008)
g) Process Instrumentation: Electrical and Pneumatic <i>transmitters, Level, Pressure and Flow gauges, RTDs and Thermocouples, Impulse tubing, Control Valve telemetry, Solenoids, pH, Conductivity meters.</i>	****	****	****	***	**	****	**	Smart sensors and periodic calibrations. (Hashemian, IAEA-CN-164-7S05)
h) Nuclear instruments: <i>Fission Counters, Ion Chambers, etc.</i>	****	****	****	***	**	****	**	Often saturation characteristics indicate remaining useful life.

Note: The characterization of the metrics has been done considering the 'representative items' identified in column with 'bold and italics'.
 Legends: M: Monitoring, CM: Condition Monitoring, D: Diagnostics, P: Prognosis, OFL: Off-line, ONL: Online, ISI: In-service-Inspection;
 *****: Technology Available for NPPs; ****: Technology Available further qualifications are required for specific applications;
 ***: Technology in R&D domain, feasibility demonstrated; *: Work initiated; x: No work reported in literature.
 IMPORTANT: The items shown in table provide an overview and do not claim, in any way, to provide specifics/guidelines.

بر اساس جداول فوق بطور کلی می‌توان گفت که فناوری پایش سلامت سازه برای سازه‌های بخش تولید برق در سطح تشخیص آسیب، در دنیا موجود و در دسترس بوده و در مواردی نیاز به بررسی و صلاحیت‌سنجی^۱ دارد. همچنین مشخص است که فناوری پایش سلامت در سطح پیش‌بینی آسیب در مرحله تحقیق و توسعه (R&D) می‌باشد. بنابراین نتیجه حاصله بطور کلی این است که فناوری پایش سلامت سازه‌ها در سطح تشخیص آسیب در مرحله رشد و در سطح پیش‌بینی آسیب در مرحله جنینی و ابتدای رشد خود قرار دارد. در مورد بخش انتقال برق نیز مطابق مطالب ارائه شده در بخش فعالیت‌های مربوط به صنعت برق در این گزارش، بطور کلی فناوری پایش سلامت آنالیز سازه‌های انتقال، در مرحله تحقیق و توسعه بوده و در مرحله جنینی و ابتدایی رشد قرار دارد.

¹ -Qualification

با توجه به عقب بودن توسعه فناوری پایش سلامت در ایران نسبت به دنیا، بطور کلی می‌توان گفت که فناوری پایش سلامت سازه‌ها در حوزه صنعت برق در ایران، در مرحله ابتدایی رشد برای سطح تشخیص آسیب و مرحله جنینی برای سطح پیش‌بینی آسیب قرار دارد.

۴-۲-۲- چرخه عمر محصول - بازار

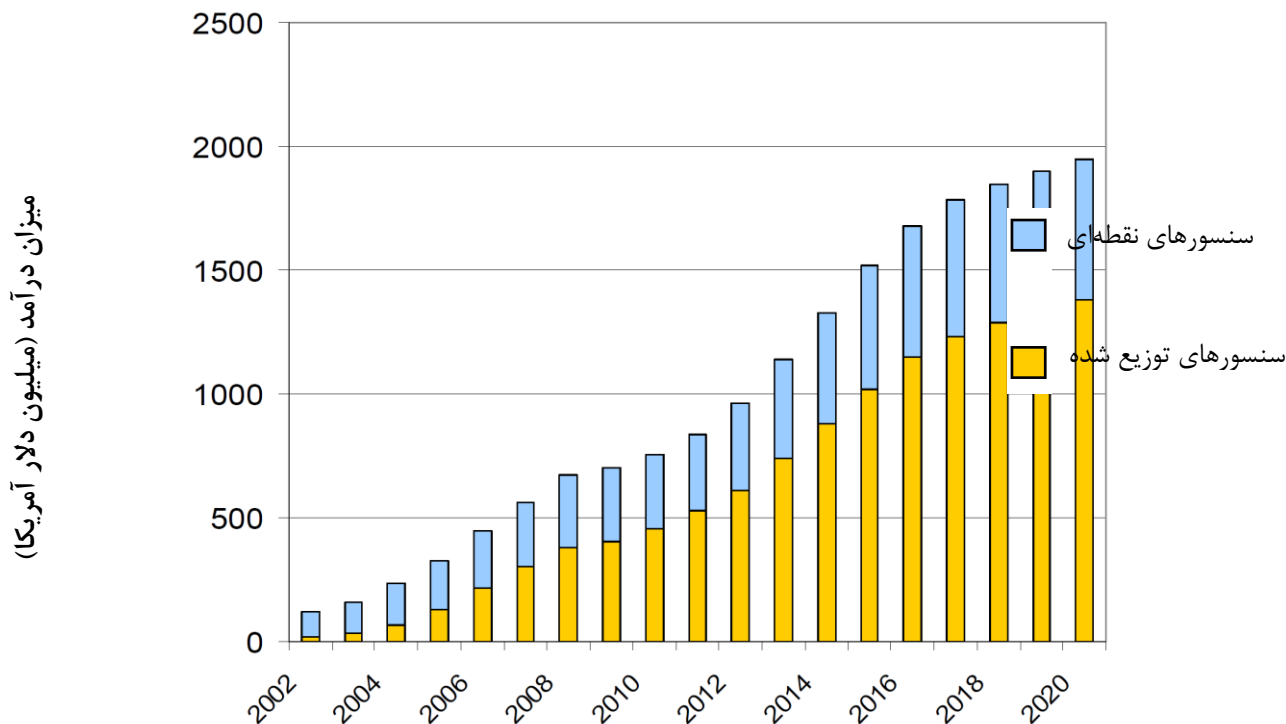
به منظور کاهش ریسک و افزایش موفقیت یک فناوری لازم است که چرخه عمر محصول - بازار به عنوان ابزار مفهومی برای تحلیل رفتار فروش فناوری مورد بررسی قرار بگیرد. بسیاری از محققین از چرخه عمر محصول - بازار به عنوان ابزاری برای شناسایی راهبردها و سیاست‌های ورود به بازار یا تولید یک کالا بهره گرفته‌اند. طبق پارامترهایی که در ادامه بررسی می‌شوند، می‌توان جایگاه پایش سلامت سازه‌ها را در بین مراحل چرخه عمر (معرفی، رشد، بلوغ و زوال) تعیین کرد.

↪ ساختار بازار: نشان‌دهنده تولید کنندگان محصول می‌باشد. همانطور که پیش از این نیز اشاره شد، هرچند که فروش وسایل جانبی از قبیل سنسورهای مورد نیاز پایش سلامت سازه، بازاری محدود در کشور ما دارد، شرکتی که به منظور پایش سلامت سازه‌ها مشغول به فعالیت باشد به طور مشخص در ایران فعالیت ندارد. سنسورهای موجود نیز به دلیل اینکه وارد می‌شوند و انحصاری هستند، دارای قیمت بالایی می‌باشند.

↪ از آنجا که سنسورها از جمله سنسور فیبر نوری از جهیزات کلیدی برای پایش سلامت سازه‌ها می‌باشد، توضیحاتی در مورد بازار آینده این محصول در ادامه آورده شده است. بر اساس تحقیقات انجام شده توسط OIDA¹ [۲۹]، بازار سنسور فیبر نوری رشد بسیاری را تا سال ۲۰۲۰ خواهد داشت. همانطور که در شکل ۴-۶ نشان داده شده است، این رشد درآمد هم شامل سنسورهای نقطه‌ای و هم

¹ - Optoelectronics Industry Development Association

سنسورهای توزیع شده می‌باشد. در شکل مذکور میزان درآمد بازار این سنسورها در ۲ دهه‌ی اخیر نشان داده شده است و برای چند سال آینده نیز این درآمد پیش‌بینی شده است.



شکل ۴-۶: درآمد بازار سنسورهای فیبر نوری و پیش‌بینی آن در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ میلادی

این روند رو به رشد نشان می‌دهد که فناوری پایش سلامت در زمان حال و یا تا چند سال آینده نیز در مرحله رشد خود قرار دارد.

↔ نوع تحول فناورانه: از آنجا که در کشورهای پیشرفته مطالعات تحقیقاتی زیادی برای تحول و پیشرفت در تکنولوژی‌های مورد استفاده در فناوری پایش سلامت در حال انجام است، از این منظر می‌توان نتیجه گرفت که همچنان انتظار تحول در محصولات نهایی وجود دارد و این فناوری در مرحله رشد خود در جهان قرار دارد.

↔ نوع اکتساب فناوری: از آنجا که فناوری پایش سلامت سازه‌ها در کشورهای پیشرفته در مرحله رشد خود می‌باشد، به دلیل انحصار چند جانبه در بازار، امکان همکاری فناوری یا خرید فناوری جندان

میسر نمی‌باشد. بنابر این در این حالت، اتخاذ سیاست‌ها و برنامه‌های مبتنی بر توسعه درونزا در اولویت بیشتری قرار می‌گیرد.

↔ نقش دولت: از آنجا که فناوری پایش سلامت در جهان در دوره‌ی رشد خود از منظر چرخه عمر محصول - بازار قرار دارد، و حتی در کشور ایران در مرحله معرفی و در واقع در مراحل ابتدایی چرخه عمر است، به دلیل پایین بودن سود بنگاه‌ها تمایل واحد خصوصی به مشارکت در فعالیت‌های توسعه‌ای پایین می‌باشد. بنابراین نقش دولت در هدفگذاری و تعریف اقدامات تحقیقاتی توسعه‌ای بسیار پر رنگ تر خواهد بود.

مباحث فوق در مورد چرخه عمر محصول - بازار با تکیه بر وضعیت بازار سنسورها ارائه گردید. اگر فناوری پایش سلامت سازه‌ها را در تمامیت خود و بصورت یک کل یکپارچه مورد نظر قرار دهیم، با توجه به اینکه در حال حاضر برای این فناوری، بازار مشخصی در کشور قابل شناسایی نیست، می‌توان چرخه عمر محصول - بازار این فناوری در کشور را در مرحله جنینی خود در نظر گرفت.

۵- جمع بندی و نتیجه‌گیری

در این گزارش، مبانی سند راهبردی توسعه فناوری پایش سلامت سازه‌ها در صنعت برق بررسی، تبیین و ارائه شده است. مبانی سند مشخص کننده مفروضات اصلی و بنیادینی است که در رابطه با توسعه فناوری وجود داشته و سایر اجزای سند (چشم‌انداز، اهداف کلان و سیاست‌ها و راهبردها و در نهایت، نقشه راه) بر مبنای آنها استوار گشته و شکل می‌گیرند. این مبانی و فرضیات بنیادین به عنوان ویژگیهای ذاتی و غیرقابل تغییر فناوری که بطور پیش فرض در چهارچوب ذهنی سیاست‌گذاران قرار داشته و سند راهبردی در شکل‌دهی آنها نقشی ندارد، شناخته می‌شوند. با توجه به اهمیت و نقش مبانی و مفروضات بنیادین در اتخاذ سیاست‌ها و جهت‌گیری‌های توسعه فناوری، پرداختن به آنها در ابتدای تدوین اسناد ملی فناوری‌های راهبردی ضروری است. تشریح این مفروضات منجر به شفاف‌سازی تصمیم‌گیری‌ها در طول تدوین سند (کاسته شدن از عدم قطعیت‌ها) در طی گام‌های بعدی می‌شود.

این مبانی و مفروضات بر اساس ویژگی‌های موجود فناوری از دوجنبه کلی "ابعاد و محدوده مطالعات" و "مشخصه‌های اصلی فناوری" در این بخش مورد بررسی قرار گرفته‌اند. از جنبه ابعاد و محدوده مطالعات، دو ویژگی سطح تحلیل و افق زمانی تحلیل مورد بررسی قرار گرفت. از لحاظ مشخصه‌های فناوری نیز به ویژگی‌هایی شامل سابقه فناوری، پیچیدگی فناوری، تناسب فناوری، حوزه استفاده فناوری، موقعیت راهبردی فناوری و چرخه عمر فناوری پرداخته شده است.

چکیده و خلاصه‌ای از نتایج مهم مورد بررسی در این گزارش به شرح ذیل می‌باشد:

➤ موضوع مطالعات مورد نظر در این سند، کسب و دستیابی به دانش فنی مورد نیاز در زمینه پایش

سلامت و راهکارهای کاهش خسارات در سازه‌های صنعت برق، بصورت ساختاریافته و قابل اجرا در

محدوده جغرافیایی ملی می‌باشد.

- ↪ افق زمانی مورد نظر در این سند برای نیل به چشم‌انداز و اهداف آن (که در بخش‌های بعدی تعیین خواهند شد) بر اساس اسناد ملی بالادستی و امکان دستیابی به اهداف مورد نظر، سال ۱۴۰۴ هجری شمسی (میان مدت ۱۰ ساله) در نظر گرفته شده است.
- ↪ با توجه به اینکه پایش سلامت سازه‌ها در کشور بصورت یک فرآیند مهندسی متداول و شناخته شده موجود نبوده و بازار مشخصی برای آن نیز وجود ندارد، یک فناوری جدید محسوب می‌گردد.
- ↪ پایش سلامت سازه‌ها با توجه به چند رشته‌ای بودن، علم محور بودن و هزینه‌های بالای مورد نیاز برای تحقیق و توسعه آن، یک فناوری پیشرفته محسوب می‌گردد.
- ↪ با توجه به توانمندی فناوری پایش سلامت برای بهینه‌سازی روند مدیریت نگهداری سازه‌ها و موجود یا قابل تأمین بودن زیرساخت‌های اصلی مورد نیاز برای تحقق آن (نیروی انسانی و تجهیزات) در کشور، فناوری پایش سلامت سازه‌ها یک فناوری مناسب می‌باشد. هرچند که توسعه و ارتقاء سطح دانش فنی و تکنیکی و استاندارد سازی آنها برای تحقق فناوری در کشور، مورد نیاز می‌باشد.
- ↪ با توجه به اهمیت وجود برنامه نگهداری و تعمیرات در سازه‌های صنعت برق جهت جلوگیری از خسارات و پی‌آمدهای آنها، و نقش قابل توجه، مفید و کلیدی فناوری پایش سلامت در استقرار و پیاده‌سازی سیستم نگهداری و بهینه‌سازی آن، می‌توان فناوری مورد نظر را در رده فناوری‌های راهبردی منظور نمود.
- ↪ در مورد چرخه عمر فناوری پایش سلامت در دنیا با توجه به بررسی منابع مختلف، می‌توان فناوری مورد نظر را در حوزه تشخیص و شناسایی آسیب‌های سازه‌ای در مرحله رشد و در حوزه پیش‌بینی آسیب‌ها در مرحله جنینی در نظر گرفت.

۶- مراجع

- [۱]. "روش شناسی تدوین اسناد راهبردی توسعه فناوری‌های صنعت برق-راهنمای شماره ۱، ویرایش دوم"، پژوهشگاه نیرو، آذر ۱۳۹۲
- [2]. B. Glisic and D. Inaudi. (2007), Fibre Optic Methods for Structural Health Monitoring, John Wiley & Sons, Ltd.
- [3]. Douglas E. Adams. (2007), Health Monitoring Of Structural Materials and Components Methods with Applications, John Wiley & Sons, Ltd.
- [4]. D. Balageas, C.P. Fritzen and A. Güemes (2006), Structural Health Monitoring, ISTE Ltd.
- [5]. C.R. Farrar, K. Worden (2013), Structural Health Monitoring A Machine Learning Perspective, A John Wiley & Sons, Ltd., Publication.
- [6]. S. Beskhyroun, T. Oshimay and S. Mikamiy (2009), Wavelet-based technique for structural damage detection, Structural Control and Health Monitoring, copyright property of the Supergen Wind Energy Published Online: 29 Jan 2009.
- [7]. K. Worden and J. Dulieu-Barton, (2004), An overview of intelligent fault detection in systems and structures, Structural Health Monitoring, 3(1), 85-98.
- [8]. S.W. Doebling, C.L. Farrar and M.B. Prime, (1998), A summery review of vibration-based damage identification methods, Shock and Vibration Digest, 30(2), 91-105.
- [9]. R. Perera, and R. Torres, (2006), Structural damage detection via modal data with genetic algorithms, Journal of Structural Engineering, 132(9), 1491-1501.
- [10]. A.M. Raich, and T.R. Liskai, (2007), Improving the performance of structural damage detection methods using advanced genetic algorithms, Journal of Structural Engineering, 133(3), 449-461.
- [11]. Mitchell, J.S. (2007), From vibration measurements to condition based maintenance seventy years of continuous progress. Journal of Sound and Vibration, 41(1), 62-75.
- [12]. Merit Enckell. (2011), Lessons Learned in Structural Health Monitoring of Bridges Usin Advanced Sensor Technology.,KTH Architecture and The Built environment, TRITA-BKN. Bulletin 108, ISSN 1103-4270.
- [13]. Staszewski, W., Worden, K., Wardle, R. and Tomlinson, G. (2000), Fail-safe sensor distributions for impact detection in composite materials. Smart Materials and Structures, 9(3), 298.

- [14]. Worden, K. and Burrows, A. (2001) Optimal sensor placement for fault detection. *Engineering Structures*, 23(8), 885–901.
- [15]. M. Karbhari, F. Ansari (2009), *Structural Health Monitoring of Civil Infrastructure Systems*, Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.
- [16]. <http://www.ishmii.org>
- [17]. <http://www.samco.org/>
- [18]. (<http://www.sfb477.tu-bs.de>)
- [19]. <http://www.shef.ac.uk>
- [20]. <http://www.cowi.dk>
- [21]. <http://www.futurtec.fi>
- [22]. <http://www.smartec.ch>
- [23]. <http://www.fos-s.be>
- [24]. <http://www.geso-online.de>
- [25]. <http://www.omnisens.ch>
- [26]. <http://www.rasisafzar.com/>
- [27]. <http://www.smartsensor.ir/>
- [28]. L.A. Bisby (2004), *An Introduction to Structural Health Monitoring*, ISIS Canada, Education Module No 5.
- [29]. *Global Optoelectronics Industry Market Report and Forecast: Optoelectronics Industry Development Association (OIDA)*, 2009.
- [30]. Shan-Tung Tu, (2009), Life prediction and monitoring of critical industrial equipment, *Transferability and Applicability of Current Mechanics Approaches* / 13-22.
- [31]. Hong-Nan, Ting-Hua, Liang Ren, Dong-Sheng, and Lin-Sheng Huo, (2014), Reviews on innovations and applications in structural health monitoring for infrastructures. *Structural Monitoring and Maintenance*, Vol. 1, No. 1 (2014) 001-045.
- [32]. Bond, L. and Doctor, S., (2007), From NDE to prognostics: a revolution in asset management for Generation IV Nuclear Power Plants. *Transactions, SMiRT 19*, Toronto. Paper # O-03/3.
- [33]. Bond, L., Doctor, S., Jarrell, D. and Bond, J., (2012), Improved Economics Of Nuclear Plant Life Management. *Iaea-Cn-155-008ks*.
- [34]. Varde, P. and Pecht, M., (2012), Role of Prognostics in Support of Integrated Risk-based Engineering in Nuclear Power Plant Safety, *International Journal of Prognostics and Health Management*, ISSN 2153-2648, 2012 008.

- [35]. JB Coble, P Ramuhalli, LJ Bond, JW Hines & BR Upadhyaya (2012), Prognostics and Health Management in Nuclear Power Plants: A Review of Technologies and Applications, Prepared for the U.S. Department of Energy by Pacific Northwest National Laboratory Richland, Washington 99352
- [36]. Panel Report (2010), DEVELOPMENT OF A REMOTE MONITORING SENSOR NETWORK FOR IN SITU DECOMMISSIONED STRUCTURES, Prepared for the U.S. Department of Energy by Savannah River National Laboratory, SRNL-RP-2010-01666
- [37]. JB Coble, P Ramuhalli, LJ Bond, & RM Meyer (2011), Advanced Instrumentation, Information, and Control System Technologies: Nondestructive Examination Technologies – FY11 Report, PNNL-20671, Prepared for the U.S. Department of Energy by Pacific Northwest National Laboratory Richland, Washington 99352
- [38]. P. Faulkner and M. Hassell (2013) Structural Health Monitoring Systems on Offshore Wind Turbines, Strainstall Monitoring, UK.
- [39]. K. Smarsly, K.H. Law and D. Hartman (2013) Structural Health Monitoring Of Wind Turbines Observed by Autonomous Software Components- 2nd Level Monitoring,
- [40]. M. Hassanzadeh (2011) Cracks in onshore wind power foundations Causes and consequences, Elforsk rapport 11:56.
- [41]. J.B. Hassine (2011) Foundation Condition Monitoring, RES Americas ,2011 Wind Turbine Condition Monitoring Workshop.
- [42]. R. A. Swartz, J.P. Lynch et al. (2008) Structural Monitoring of Wind Turbines using Wireless Sensor Networks, Proceedings of the ESF-NSF Workshop on Sensor Networks for Civil Infrastructure Systems, Cambridge.
- [43]. Integrated Wind Turbine Blade and Tower Health Monitoring and Failure Prognosis. CITRIS (The Center for Information Technology Research in the Interest of Society). www.citris-uc.org
- [44]. R. A. Swartz et. al. (2008) Structural Monitoring of Wind Turbines using Wireless Sensor Networks, proceedings of the ESF-NFS Workshop on sensor Networks for Civil Infrastructures Systems, Cambridge
- [45]. C.J. Crabtree (2010) Survey of Commercially Available Condition Monitoring Systems for Wind Turbines, copyright property of the Supergen Wind Energy Technologies Consortium and Durham University School of Engineering and Computing Sciences.

- [46]. L. Skarbek, A. Zak and D. Ambroziak, (2014), Damage Detection Strategies in Structural Health Monitoring of Overhead Power Transmission System, 7th European Workshop on Structural Health Monitoring, July 8-11, La Cite, Nantes, France.
- [47]. L. Skarbek, and A. Zak, (2013), Structural Health Monitoring of Overhead Power Transmission Lines, XV International PhD Workshop, 19–22 October 2013.
- [48]. C. Scott., G. Heath, and J. Svoboda, (2006), Vibration Monitoring of Power Distribution Poles 2006 Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems. INL/CON-05-00997.
- [49]. J. Bowman., And D. Wahl, (2012), Advanced Distributed Sensor Networks for Electric Utilities. Prepared By Science Applications International Corporation for California Energy Commission. Cec-500-2012-069.
- [50]. IAEA (International Atomic Energy Agency), (2007), Implementation Strategies And Tools For Condition Based Maintenance At Nuclear Power Plants. Nuclear Power Engineering Section. Iaea-Tecdoc-1551.
- [51]. http://www.esm.psu.edu/wiki/research:cjl9:structural_health_monitoring
- [52]. Glaser, S.D., Li, H., Wang, M.L., Ou, J., US-China Joint Task Force on Integrated Structural Health Monitoring, (2005).
- [53]. Glaser, S.D., Li, H., Wang, M.L., Ou, J., Lynch, J., Sensor Technology Innovation for the Advancement of Structural Health Monitoring: a Strategic Program of US-China Research for the Next Decade, Smart Structures and Systems, Vol. 3, No. 2 (2007), 221-244.
- [54]. The European Construction Technology Platform, Building Up Infrastructure Networks of a Sustainable Europe, The reFINE Roadmap, (2013).
- [55]. European Wind Energy Technology Platform, Strategic Research Agenda/ Market Deployment Strategy (SRA/MDS), (2014).
- [56]. Sandia National Laboratories, Structural Health and Prognostics Management for Offshore Wind Turbines: An Initial Roadmap, (2012).
- [57]. The European Network for Structural Assessment Monitoring and Control (SAMCO), A Vision of structural Assessment Monitoring and Control, Strategic Research Agenda, (2006).

[۵۸]. مهدی دادبود، ایمان معمار، و سمیه رسولی، "صرفه جویی در هزینه‌های تعمیراتی از محل تأخیر روتین‌های

پیشگیری و اعمال روش پیشگویانه توسط گروه CM"، دومین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت و عیب‌یابی ماشین

آلات - اسفند ۱۳۸۶ - دانشگاه صنعتی شریف

[۵۹]. مهدی بهزاد، محمد علی غریب، و عباس روحانی بسطامی، "نگاهی بر وضعیت مانیتورینگ ارتعاشات در نیروگاه‌های

گازی کشور: از گذشته تا حال"، سومین کنفرانس ملی نگهداری و تعمیرات - ۱۳۸۴ - تهران

[60]. Sørensen, B.F., Lading, L., Sendrup, P., McGugan, M., Debel, C.P., Kristensen O.J.D., Larsen, G., Hansen, A.M., Rheinländer, J., Rusborg, J., Vestergaard, J.D., Fundamentals for Remote Structural Health Monitoring of Wind Turbine Blades – a Preproject, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark, 2002.

[61]. Hansen, L.G., Lading, L., Fundamentals for Remote Structural Health Monitoring of Wind Turbine Blades – a Preproject, "Annex A – Cost-Benefit for Embedded Sensors in Large Wind Turbine Blades," Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark, 2002.

فهرست مطالب

۱-مقدمه.....	۱
۲-شناسایی حوزه های فناورانه پایش سلامت سازه‌ها.....	۲
۱-۲- مراحل اصلی فرآیند پایش سلامت سازه‌ها.....	۲
۱-۱-۲- طراحی سیستم پایش سلامت سازه.....	۴
۱-۱-۱-۲- تعیین اهداف پایش سازه.....	۵
۲-۱-۱-۲- ارزیابی شرایط عملکردی و محیطی سازه.....	۶
۳-۱-۱-۲- مدلسازی.....	۷
۱-۳-۱-۱-۲- مدلسازی سازه و اجزاء.....	۸
۲-۳-۱-۱-۲- مدلسازی آسیب و تعیین پارامترهای مورد نیاز برای پایش.....	۹
۴-۱-۱-۲- تعیین و انتخاب روش و استراتژی پایش سلامت.....	۱۱
۱-۴-۱-۱-۲- روش‌های پایش سلامت مبتنی بر ویژگی‌های ارتعاشی.....	۱۲
۲-۴-۱-۱-۲- روش‌های پایش سلامت مبتنی بر انتشار موج.....	۱۴
۳-۴-۱-۱-۲- روش پایش سلامت مبتنی بر امپدانس.....	۱۴
۴-۴-۱-۱-۲- روش پایش سلامت مبتنی بر تغییرات دما.....	۱۵
۵-۴-۱-۱-۲- روش پایش سلامت مبتنی بر خواص مکانیکی.....	۱۵
۵-۱-۱-۲- طراحی شبکه سنسورها.....	۱۷
۶-۱-۱-۲- طراحی برنامه بهره برداری و نگهداری از سیستم پایش.....	۱۹
۲-۱-۲- اکتساب داده‌های مورد نیاز.....	۲۰
۳-۱-۲- پردازش، آنالیز و تفسیر داده‌ها.....	۲۵

- ۲۷-۱-۳-۱-۲-۱-۲ پر دازش و تمیز کردن داده‌ها
- ۲۹-۲-۳-۱-۲-۲ شناسایی بارها
- ۳۰-۳-۳-۱-۲-۲ استخراج ویژگی‌ها
- ۳۱-۴-۳-۱-۲-۲ تشخیص و شناسایی آسیب
- ۳۲-۱-۴-۳-۱-۲-۲ آشکار سازی آسیب
- ۳۵-۲-۴-۳-۱-۲-۲ مکان‌یابی آسیب
- ۳۵-۳-۴-۳-۱-۲-۲ تعیین میزان آسیب
- ۳۶-۵-۳-۱-۲-۲ پیش‌بینی آسیب
- ۳۸-۲-۲-۲ تجهیزات سخت‌افزاری مورد استفاده در پایش سلامت سازه‌ها
- ۴۲-۱-۲-۲-۲ انواع سنسورهای مورد استفاده در پایش سلامت سازه‌ها
- ۴۶-۳-۲-۲ نگاهت (درخت) فناوری پایش سلامت در سازه‌ها
- ۵۶-۳-۳ آینده پژوهی فناوری پایش سلامت سازه‌ها
- ۵۷-۱-۳-۳ روش‌های آینده پژوهی
- ۵۸-۲-۳-۳ حوزه‌های تحول در پایش سلامت سازه‌ها در آینده
- ۶۰-۱-۲-۳-۳ سنسورها و فناوریهای نوین اندازه‌گیری
- ۶۵-۲-۲-۳-۳ تحولات در حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات
- ۶۶-۳-۲-۳-۳ روش‌ها و الگوریتم‌های تشخیص و پیش‌بینی آسیب‌ها
- ۶۷-۴-۲-۳-۳ پایش سلامت سازه‌ها و سازه‌های هوشمند
- ۷۲-۴-۴ مراجع



فهرست اشکال

- شکل ۱-۲: فرکانس‌های ارتعاش طبیعی سیستم در دو حالت سالم و دارای خرابی (تغییر شکل پلاستیک)..... ۱۳
- شکل ۲-۲: تغییرات فرکانس طبیعی اول سیستم نسبت به میزان خرابی (کاهش سختی فنر)..... ۱۳
- شکل ۳-۲: مشخص شدن محل نشست در خطوط لوله با پایش تغییرات دما..... ۱۵
- شکل ۴-۲: تغییر در تاریخچه کرنش در اثر خرابی (تغییر شکل پلاستیک)..... ۱۶
- شکل ۵-۲: تعریف محدوده‌های هشدار بر اساس اندازه‌گیری تغییر مکان..... ۱۷
- شکل ۶-۲: نکات و الزامات قابل توجه در فرآیند نصب سنسورها..... ۲۳
- شکل ۷-۲: فلوچارت سیستم گیرنده داده‌ها که احتمالات مختلف انتقال و پردازش سیگنال از سنسورها به پردازش داده‌ها را نشان می‌دهد..... ۲۵
- شکل ۸-۲: فلوچارت آنالیز داده‌ها برای نظارت بر سلامت سازه (SHM) [۳]..... ۲۷
- شکل ۹-۲: (A۹۹): تاریخچه زمانی با اضافه بارگذاری و بخش‌های مختلفی از پاسخ سازه با دامنه کم (B) داده‌های فیلتر شده برای نرمالایز کردن دامنه پاسخ [۳]..... ۲۹
- شکل ۱۰-۲: سطوح مختلف پایش سلامت سازه (SHM)..... ۳۲
- شکل ۱۱-۲: فرآیند کلی پیش‌بینی آسیب در سازه‌ها [۸]..... ۳۷
- شکل ۱۲-۲: اجزای اصلی سیستم پایش سلامت سازه..... ۳۸
- شکل ۱۳-۲: تجهیزات مورد استفاده در نمونه ای ساده از یک سیستم پایش سلامت سازه..... ۴۱
- شکل ۱۴-۲: انواع اصلی سنسورهای مورد استفاده برای SHM با توجه به نوع کاربرد: مقایسه بین مهندسی عمران و هوا فضا. براساس آمار و اطلاعات اولین و دومین کار گروه SHM در ۱۹۹۷-۱۹۹۹ در دانشگاه استنفورد [BAL0/A]..... ۴۲
- شکل ۱۵-۲: نمونه یک شتاب سنج دوماحوری ADXL..... ۴۳
- شکل ۱۶-۲: نمونه یک شتاب سنج سه محوری MEMS..... ۴۴
- شکل ۱۷-۲: نمونه یک کرنش سنج مقاومتی..... ۴۴
- شکل ۱۸-۲: نمونه یک کرنش سنج فیبرنوری..... ۴۵
- شکل ۱۹-۲: نمونه یک دما سنج فیبرنوری..... ۴۵
- شکل ۲۰-۲: نمونه یک سنسور دوران..... ۴۵



- شکل ۲-۲۱: فلوجارت حوزه های فنی در فرآیند اجرایی پایش سلامت سازه‌ها ۴۹
- شکل ۲-۲۲: نگاشت سازه‌های صنعت برق برای پایش سلامت ۵۱
- شکل ۲-۲۳: فرآیند پایش سلامت سازه‌ها (حوزه های دانش فنی) ۵۲
- شکل ۲-۲۴: فرآیند پایش سلامت سازه‌ها (حوزه های دانش فنی) (ادامه) ۵۳
- شکل ۲-۲۵: فرآیند پایش سلامت سازه‌ها (حوزه های دانش فنی) (ادامه) ۵۳
- شکل ۲-۲۶: فرآیند پایش سلامت سازه‌ها (حوزه های دانش فنی) (ادامه) ۵۴
- شکل ۲-۲۷: نگاشت تجهیزات پایش سلامت سازه‌ها ۵۵
- شکل ۳-۱: اجزای فنی سیستم جامع مدیریت دوره عمر سازه‌ها [۲۶] ۵۹
- شکل ۳-۲: سیستم‌های یکپارچه سنسورها برای پایش سلامت سازه‌ها [۲۳] ۶۱
- شکل ۳-۳: روند توسعه سیستم‌های مینیاتوری یکپارچه سنسورها [۲۳] ۶۱
- شکل ۳-۴: شش نسل از سنسورهای بی سیم تولید شده برای پایش سلامت سازه‌ها [۲۴] ۶۲
- شکل ۳-۵: استفاده از کرنش سنج FOP در لایه ژئوتکستایل [۱۴] ۶۴
- شکل ۳-۶: استفاده از پوشش نانو لوله‌های کربنی به عنوان سنسور حساس به کرنش ۶۵
- شکل ۳-۷: استفاده از سنسورهای PH در داخل سازه بتنی برای تشخیص خوردگی ۶۷
- شکل ۳-۸: سیر کلی تحول در سازه‌ها و مصالح آنها تا ظهور مصالح و سازه‌های هوشمند [۴] ۶۹
- شکل ۳-۹: مفاهیم مشترک و متمم: SHM، سازه‌های هوشمند کنترل‌کننده شکل و ارتعاش ۷۱

فهرست جداول

- جدول ۱-۲: ساختار فعالیت‌های اصلی و کلیدی در پایش سلامت سازه‌ها ۳
- جدول ۲-۲: نمونه‌های متداولی از آسیب‌های سازه و پارامترهای مستقیم و غیرمستقیم تشخیص آنها ۹
- جدول ۳-۲: مثال‌هایی از آسیب مواد و اجزاء سازه‌ای به همراه پارامترهای مناسب اندازه‌گیری ۱۰
- جدول ۴-۲: روش‌های مختلف نصب سنسورها به همراه مزایا و معایب آنها ۲۲
- جدول ۵-۲: اجزاء اصلی سخت‌افزاری سیستم SHM و نقش آنها ۳۹
- جدول ۶-۲: انواع رایج سنسورها، نوع و کاربردهای آنها ۴۶
- جدول ۱-۳: انواع سنسورهای فیبرنوری در اروپا [۲۵] ۶۳

۱- مقدمه

فرآیند تشخیص و پیش‌بینی خرابی مربوط به سازه‌ها و زیر ساخت‌های هوا فضا، عمران و مهندسی مکانیک با عنوان پایش سلامت سازه یا به اختصار، SHM^۱ معرفی می‌شود. این فرآیند شامل پایش یک سازه یا سیستم مکانیکی در طول زمان با استفاده از اندازه‌گیری‌های دوره‌ای منظم، بدست آوردن مشخصه‌های حساس به خرابی از این اندازه‌گیری‌ها و تجزیه و تحلیل آماری این مشخصه‌ها برای تعیین وضعیت فعلی سلامت سیستم است.

هدف از انجام طرح حاضر، کسب دانش فنی به همراه تعیین ملزومات و نیازمندیهای فنی و تکنیکی و سخت‌افزاری و نرم‌افزاری جهت نصب و بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق؛ با هدف پیش‌بینی و تشخیص آسیب و ارائه راهکارهای جلوگیری یا کاهش آسیب می‌باشد. در گام نخست از اجرای این طرح، به تدوین سند راهبردی و نقشه راه فناوری پایش سلامت سازه‌ها پرداخته می‌شود. سند راهبردی، مجموعه‌ای از چشم‌انداز، اهداف، سیاست‌ها، راهبردها، اقدامات و برنامه‌های ساختار یافته‌ای است که به دنبال توسعه فناوری با مداخله هوشمندانه دولت بوده و با پشتیبانی از نوآوری، آینده مطلوب از توسعه فناوری و مسیر رسیدن به آن را در کشور مشخص می‌کند. وجود یک سند راهبردی و نقشه راه جامع سبب هدایت صحیح فعالیت‌ها و سرمایه‌مورد نیاز برای توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق و نیل به اهداف آن خواهد شد.

دومین مرحله از تدوین سند راهبردی فناوری پایش سلامت سازه‌ها، تعیین هوشمندی فناوری است. در این مرحله با شناسایی اجزا و کاربردهای فناوری در بستر تحولات آینده، به سوالاتی از قبیل اینکه روند توسعه فناوری مورد نظر در بستر زمان چگونه است و چه گونه‌هایی از آن در آینده غالب خواهد بود و در صورت وقوع تغییرات محیطی، سناریوهای پیشرو برای توسعه فناوری کدامند و سناریویی که باید به عنوان تصویری از آینده انتخاب شود چیست؛ پاسخ داده می‌شود. [۱]

هوشمندی فناوری به دنبال شناسایی فناوری در مسیر آینده است، به عبارت دیگر، هدف از این مؤلفه روش‌شناسی، درک ابعاد مختلف فناوری نه تنها در زمان حال، بلکه در بسترهای آینده است. بر این اساس، مؤلفه هوشمندی فناوری شامل دو بخش کلی شناسایی فناوری در حال و آینده پژوهی فناوری می‌گردد. خروجی حاصل از این مؤلفه به عنوان ورودی در تعیین

ارکان جهت ساز مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از حوزه‌های فناورانه شناسایی شده در این مؤلفه، می‌توان به هدفگذاری و تعیین راهبرد فناوری در مؤلفه ارکان جهت ساز پرداخت. همچنین بینش حاصل از آینده پژوهی بر کلیه اجزای ارکان جهت‌ساز، از منظر داشتن نگاه به آینده (در نظرگیری سناریوهای مختلف، روندهای آتی تحقیق و توسعه و غیره) اثرگذار خواهد بود. [۱]

۲- شناسایی حوزه‌های فناورانه پایش سلامت سازه‌ها

به منظور تدوین ارکان جهت ساز و نیز انجام مطالعات آینده پژوهی، لازم است تا ابتدا کاربردها، اجزاء و زیرسیستم‌های تشکیل دهنده فناوری پایش سلامت سازه‌ها مشخص گردند. به کلیه موارد مذکور، حوزه‌های فناورانه گفته می‌شود. بنابراین حوزه‌های فناورانه شامل دو مفهوم اصلی زیرفناوریها (زیرسیستم‌ها) و کاربردهای فناوری می‌شوند. [۱]

در این بخش ابتدا به معرفی اجزای اصلی و کلیدی پایش سلامت سازه‌ها از دو دیدگاه فرآیندی (مراحل فرآیند اجرا) و تجهیزات (سخت افزارهای مورد نیاز) پرداخته و براساس آن، نگاشت فناوری ارائه شده است. با توجه به اینکه پایش سلامت در این سند، عمدتاً با دیدگاه فرآیندی (حوزه‌های مربوط به دانش علمی و فنی مورد نیاز) مورد نظر می‌باشد، نگاشت فناوری بر این اساس، بیشتر مورد نظر می‌باشد.

۲-۱- مراحل اصلی فرآیند پایش سلامت سازه‌ها

همانطور که قبلاً عنوان شد، سیستم پایش سلامت سازه (SHM) بخشی از سیستم کلی مدیریت نگهداری و بهره‌برداری از سازه بوده ولیکن دارای کاربردهایی فراتر از این نیز می‌باشد. هدف کلی پایش سلامت سازه (SHM) تشخیص حالت مصالح متشکل اجزاء مختلف و مجموعه کلی این اجزاء (که سازه را تشکیل می‌دهند) در هر لحظه از زمان عمر سازه است. حالت ماده باید در محدوده مشخصی که در طراحی تعیین شده است قرار بگیرد. این حالت، با گذشت عمر سازه به دلیل استفاده و یا تاثیر محیط و حوادث تصادفی قابل تغییر است. در پایش سلامت سازه آسیب یا خرابی به صورت تغییر دائمی در حالت مکانیکی ماده

¹ - Structural Health Monitoring

سازه و یا اجزاء آن که بر کارکرد سازه تاثیر می‌گذارد، تعریف می‌شود. با استفاده از پایش زمان- مکان که امکان در نظر گرفتن تاریخچه کلی داده‌های سازه را فراهم می‌کند و با بررسی کاربرد و عملکرد آنها می‌توان حالت سازه (ارزیابی آسیب، عمر باقیمانده و ...) را پیش‌بینی کرد. پایش سلامت سازه به منظور تشخیص و ارزیابی آسیب و پیش‌بینی عملکرد آینده و عمر مفید باقیمانده سازه صورت می‌گیرد. اگر تنها کاربرد اول یعنی تشخیص آسیب را در نظر بگیریم می‌توان پایش سلامت سازه را راه دقیق و پیشرفته‌ای برای ارزیابی غیرمخرب برآورد کرد.

فرآیند اجرایی پایش سلامت سازه‌ها بطور کلی روند و روال ثابت و دقیقی نداشته و ریز فعالیت‌های آن بسته به نوع سازه مورد نظر و خرابی‌های مربوطه، متفاوت است. فهرستی از فعالیت‌های اصلی مورد نیاز در یک پروژه پایش سلامت سازه (بطور کلی) در جدول زیر ارائه شده است. [۲]

جدول ۲-۱: ساختار فعالیت‌های اصلی و کلیدی در پایش سلامت سازه‌ها

Monitoring strategy	Installation of monitoring system	Maintenance of monitoring system	Data management	Closing activities
<ul style="list-style-type: none"> Monitoring aim 	<ul style="list-style-type: none"> Installation of sensors 	<ul style="list-style-type: none"> Providing for electrical supply 	<ul style="list-style-type: none"> Execution of measurements (reading of sensors) 	<ul style="list-style-type: none"> Interruption of monitoring
<ul style="list-style-type: none"> Selection of monitored parameters 	<ul style="list-style-type: none"> Installation of accessories (connection boxes, extension cables, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> Providing for communication lines (wired or wireless) 	<ul style="list-style-type: none"> Storage of data (local or remote) 	<ul style="list-style-type: none"> Dismantling of monitoring system
<ul style="list-style-type: none"> Selection of monitoring systems 	<ul style="list-style-type: none"> Installation of reading units 	<ul style="list-style-type: none"> Implementation of maintenance plans for different devices 	<ul style="list-style-type: none"> Providing for access to data 	<ul style="list-style-type: none"> Storage of monitoring components
<ul style="list-style-type: none"> Design of sensor network Schedule of monitoring Data exploitation plan Costs 	<ul style="list-style-type: none"> Installation of software Interfacing with users 	<ul style="list-style-type: none"> Repairs and replacements 	<ul style="list-style-type: none"> Visualization Export of data Interpretation Data analysis The use of data 	

با توجه به جدول فوق، می‌توان روال عمومی فرآیند پایش سلامت در انواع سازه‌ها را متشکل از سه مرحله کلی‌تر بصورت زیر در نظر گرفت:

۱- طراحی^۱ سیستم پایش

۲- اکتساب داده‌های مورد نیاز^۲

۳- پردازش، آنالیز و تفسیر داده‌ها^۳

هریک از مراحل فوق مشتمل بر جزئیات و زیربخش‌های مختلفی است که نوع و نحوه اجرای آن در سازه‌های مختلف، متفاوت می‌باشد. پس از انجام مرحله سوم (تفسیر داده‌ها) و مشخص شدن وضعیت سلامت یا عدم سلامت سازه، تصمیم سازی^۴ نسبت به اقدامات بعدی صورت می‌گیرد.

شایان ذکر است که در ستون انتهایی جدول ۱-۲ فعالیت‌های مربوط به انتهای فرآیند پایش سلامت (قطع پایش، بازکردن تجهیزات پایش و ذخیره سازی آنها) عنوان شده که این فعالیت‌ها مربوط به فرآیند پایش سلامت موقت می‌باشند. دوره زمانی اجرای پایش سلامت آنلاین در سازه‌ها می‌تواند دربرگیرنده کل عمر بهره برداری سازه (پایش دائم) یا بخشی از آن (پایش موقت) باشد. در شرایطی ممکن است هدف از اجرای سیستم پایش، بررسی وضعیت سازه در یک دوره زمانی محدود (مثلاً چند ماه یا چند سال) باشد که در این صورت، سیستم پایش موقت مورد استفاده قرار گرفته است. به عنوان نمونه برای بررسی وضعیت آسیب‌های سازه پس از اعمال بارهای نسبتاً شدید (مثل زلزله یا طوفان) از سیستم پایش موقت استفاده می‌شود. این سیستم تا حدی مابین سیستم پایش دائم و ارزیابی غیر مخرب قرار می‌گیرد. تجهیزات مورد استفاده در سیستم‌های پایش موقت بصورت قابل حمل (پرتابل) بوده و پس از نصب روی سازه و استفاده در دوره زمانی مورد نظر، برداشته می‌شوند. در ادامه این بخش، هر یک از مراحل سه گانه فرآیند پایش سلامت بصورت کلی شرح داده شده‌اند.

۲-۱-۱- طراحی سیستم پایش سلامت سازه

^۱ - Design

^۲ - Data Acquisition

^۳ - Data Process, Analysis and Interpretation

^۴ - Decision Making

اولین مرحله برای اجرا و بکارگیری یک سیستم پایش سلامت برای یک سازه مورد نظر، طراحی سیستم پایش و اجزای آن می‌باشد. طراحی سیستم پایش سلامت بطور کلی شامل مراحل زیر است که می‌تواند در سازه‌های مختلف تغییر کرده و متفاوت باشد:

← تعیین اهداف پایش

← شناسایی سازه و آسیب‌های آن

← ارزیابی شرایط عملکردی و محیطی و محدودیت‌های موجود

← مدلسازی سازه و شناسایی رفتار آن

← تعیین پارامترهای حساس به آسیب (پارامترهای تشخیصی)

← تعیین پارامترهای مورد نیاز برای اندازه‌گیری

← تعیین و انتخاب روش و الگوریتم‌های پایش و تشخیص آسیب

← تعیین نوع، تعداد و مکان سنسورها (طراحی شبکه سنسورها)

← طراحی شبکه جمع‌آوری، ثبت، انتقال، ذخیره‌سازی و پردازش داده‌ها و تعیین سخت‌افزارهای مورد نیاز

← طراحی برنامه بهره‌برداری و نگهداری از سیستم پایش

طراحی سیستم پایش سلامت سازه نیازمند انجام سعی و خطا، تکرار و رفت و برگشت در انجام برخی یا تمام مراحل فوق بوده و در ادامه در رابطه با برخی از آیتم‌های فوق، توضیحات تکمیلی ارائه شده است.

۲-۱-۱- تعیین اهداف پایش سازه

در ابتدای طراحی سیستم پایش سلامت برای یک سازه مشخص، باید هدف یا اهداف مورد نظر از پایش سازه، حتی الامکان بصورت دقیق و شفاف مشخص گردند. اهداف مورد نظر از پایش بسته به عواملی نظیر نوع سازه، نوع آسیب‌ها و خرابی‌های محتمل در سازه، اهمیت سازه و پی آمدهای خرابی‌ها، دانش فنی در دسترس، مسائل اقتصادی و ... متفاوت باشند. بطور کلی میتوان اهداف پایش را در سه دسته کلی شامل جلوگیری از وقوع آسیب^۱، تشخیص آسیب^۲ (حتی الامکان در مراحل

^۱ - Damage Prevention

^۲ - Damage Diagnosis

اولیه) و پیش‌بینی آسیب^۱ (پیش‌بینی وقوع یا روند رشد و عمر مفید) منظور نمود. در این مرحله علاوه بر تعیین هدف پایش، سازه و اجزای آن باید مورد شناسایی دقیق قرار گیرد. اگر سازه موجود باشد، فرآیند شناسایی وضع موجود^۲ باید انجام گردد. همچنین باید انواع مودهای خرابی و آسیب‌های محتمل در سازه و پی آمدهای احتمالی آنها نیز مورد بررسی و شناسایی قرار گیرند. شناسایی مودهای خرابی بهتر است که حتی‌الامکان بر اساس تجربیات خرابی‌های گذشته در سازه‌های مشابه صورت گرفته و یا با آن، صحت‌سنجی گردد.

پایش سلامت ممکن است در مورد سازه‌های در دست طراحی یا اجرا نیز بکار برده شود. در اینصورت اهداف و طراحی سیستم پایش می‌تواند متفاوت با حالتی باشد که برای یک سازه ساخته شده موجود، در نظر گرفته شود. در حالت طراحی سیستم پایش برای سازه‌های در دست ساخت، دسترسی‌ها به اجزای داخلی سازه‌ها میسر بوده و می‌توان از سیستم‌های سنسور مدفون در داخل اجزای سازه ای (مثلاً سنسورهای داخل بتن یا متصل به میلگردها) استفاده نموده و رفتار سازه را بصورت دقیق‌تری مورد پایش قرار داد. به این حالت در اصطلاح، پایش درون سازه ای نیز اطلاق می‌گردد.

۲-۱-۱-۲- ارزیابی شرایط عملکردی و محیطی سازه

سازه‌های مختلف بسته به کاربری خود تحت شرایط مختلفی از لحاظ عملکرد و محیط اطراف قرار دارند. سازه‌های صنعتی در حین عملکرد خود تحت شرایط محیطی و عملکردی مرتبط با فرآیند صنعتی مربوطه قرار می‌گیرند. به عنوان نمونه سازه‌های موجود در صنعت برق در معرض شرایطی نظیر رطوبت، حرارت، ارتعاش، میدان‌های الکترومغناطیسی شدید و ... قرار دارند. توجه به این شرایط و شناسایی دقیق آنها برای طراحی یک سیستم پایش مناسب ضروری است که به این روند در اصطلاح، ارزیابی عملیاتی^۳ نیز اطلاق می‌شود.

فرآیند ارزیابی عملیاتی تلاش می‌کند تا به پرسش‌های زیر در ارتباط با مسئله پایش سلامت سازه مورد نظر پاسخ دهد:

☞ توجیه و دلیل استفاده از سیستم پایش سلامت برای سازه مورد نظر از لحاظ مسائل ایمنی یا اقتصادی چیست؟

☞ آسیب‌های تعریف و شناسایی شده در سازه چگونه بررسی و ارزیابی می‌شوند؟

^۱ - Damage Prognosis

^۲ - As Built

^۳ - Operational Evaluation

شرایط عملکردی و محیطی که سازه و سیستم پایش باید تحت آن شرایط کار کنند، به چه صورت می باشند؟

محدودیت‌های موجود در نصب سیستم پایش و داده‌گیری از سازه چیستند؟

باانجام این فرآیند سعی می‌شود تا عوامل محیطی و عملکردی تأثیرگذار در پارامترهای تشخیص آسیب و نحوه تأثیر آنها شناسایی شده تا بتوان ارتباط یکنواخت و معنی داری میان پارامترها و آسیب‌ها برقرار نمود. انجام این روند و پاسخ به سوالات فوق در حالتی که سیستم پایش برای یک سازه موجود طراحی می‌شود با حالتیکه برای یک سیستم جدید و هنوز ساخته نشده طراحی می‌شود، متفاوت خواهد بود.

۲-۱-۱-۳-مدلسازی

مدل‌ها تبدیل داده‌های خام به اطلاعاتی درباره سلامت مصالح و اجزاء سازه را ممکن می‌سازند. برای تخمین بارگذاری، تعیین آسیب و پیش‌بینی عملکرد آینده سیستم، مدل‌ها نقش اساسی را ایفا می‌کنند. به عنوان مثال بدون مدل‌هایی که بر پایه اصول اولیه فیزیک ساخته شده‌اند لازم بود تا داده‌های پاسخ برای هر نوع آسیب در سطوح متفاوت آسیب‌ها به منظور اندازه‌گیری سطح خرابی، تعیین شوند. در صورت استفاده از مدل‌ها، آسیب می‌تواند با استفاده از تعداد اندکی گروه داده مربوطه تعیین شود.

مدل‌ها می‌توانند شامل مدل‌های تحلیلی، عددی و تجربی باشند که می‌توان با استفاده از آنها به بررسی حساسیت اجزاء و اعضا سیستم به بارهای وارده و تشخیص و ارزیابی مکانیزم‌های آسیب پرداخت و آنها را مطابق نیازهای SHM به روز کرد. با توجه به اهمیت سیستم و شناختی که از عملکرد آن وجود دارد می‌توان هریک از مدل‌های ذکر شده را برای مدلسازی انتخاب کرد. همچنین با قضاوت مهندسی و ارزیابی دقت مورد نیاز در مدلسازی می‌توان از نرم‌افزارهای مناسب برای مدلسازی استفاده کرد. تعداد مدل‌های مورد نیاز برای بررسی یک سیستم نیز با در نظر گرفتن اهمیت و پیچیدگی سیستم با قضاوت مهندسی تعیین می‌شود. گاهی یک مدل برای بررسی سیستم کفایت می‌کند و گاهی نیز برای بررسی‌های دقیقتر و به روز کردن سیستم مطابق با نیازهای SHM مدل‌های بیشتری مورد نیاز است.

تهیه و ساخت مدل‌ها از جمله مدل‌های بارگذاری و آسیب که خود نیز می‌توانند شامل مدل‌های استاتیکی و دینامیکی باشند و همچنین تفسیر اطلاعات و پارامترهای بدست آمده از آنها نظیر ترکیب مدل‌ها، بررسی مکانیزم‌های آسیب، صحت سنجی مدل‌ها، تعیین متغیرهای تشخیص بارها و آسیب، تعیین سناریوهای بارگذاری آینده و پیش‌بینی عملکرد آینده سیستم باید

توسط متخصصانی صورت گیرد که دانش و توانایی لازم را داشته باشند. که پایه این دانش می‌تواند مهندسی سازه، مکانیک و آشنایی با اصول جبر خطی و تکنولوژی SHM باشد.

۲-۱-۱-۳-۱- مدلسازی سازه و اجزاء

با استفاده از مدلسازی اجزاء سیستم و مدل‌های بارگذاری اجزاء می‌توان حساسیت اعضای سیستم به بارها و نحوه پاسخ آنها، پارامترهای مؤثر بر پاسخ و رفتار سازه را تعیین کرد. این مدل‌ها می‌توانند شامل مدل‌های استاتیکی و دینامیکی باشند. همچنین با استفاده از مدل‌ها می‌توان پاسخ‌ها را در سایر نقاط سازه که مستقیماً اندازه‌گیری نمی‌شوند، محاسبه کرد. بطور کلی مدل‌ها را می‌توان به دو گروه زیر تقسیم کرد:

۱- مدل‌های بر اساس اصول اولیه

۲- مدل‌های داده محور

تبدیل داده‌های خام به اطلاعاتی درباره سلامت مصالح و اجزا از طریق مدل‌ها انجام می‌شود. اطلاعاتی که از این روش‌ها بدست می‌آید، اطلاعات معنی‌دارتر فیزیکی را درباره بارگذاری و آسیب ارائه می‌دهند. مواردی وجود دارد که در آن نظارت بر سلامت سازه باید بیشتر بر اساس مدل‌های بر پایه اصول اولیه صورت گیرد. این موارد شامل حالت‌هایی می‌شود که کاربر دانش قبلی از بارگذاری و آسیب داشته باشد. اگر مدلی برای بررسی اثر ترک خوردگی تولید شده باشد و در آن هیچ مکانیزمی برای مدلسازی خوردگی دیده نشده باشد، آنگاه در صورت وجود خوردگی مدلی که برای ترک خوردگی ایجاد شده است آسیب وارده را نادرست تعیین می‌کند. بنابراین در این موارد باید بر داده‌های بدست آمده خیلی بیشتر از مدل فیزیکی اولیه اعتماد شود. به عبارت دیگر مواردی وجود دارد که در آن پایش سلامت باید بیشتر بر اساس مدل‌های بر پایه اصول اولیه صورت گیرد و مواردی دیگری نیز وجود دارد که پایش سلامت باید بیشتر بر اساس داده‌های بدست آمده صورت گیرد. استفاده از مدل‌های داده محور هنگامی که درک درستی از بارگذاری و آسیب قبل از انجام اندازه‌گیری‌ها در دسترس نباشد، مفید است. معمولاً هنگام تعیین الگوریتم پایش سلامت سازه (SHM) ترکیبی از داده‌های حاصله و روش‌های بر پایه اصول فیزیکی موثرترین روش‌ها هستند.

یکی از انواع مدل‌های بر اساس اصول اولیه، مدل‌های ارتعاشی اجزاء هستند. این مدل‌های دینامیکی برای پایش سلامت مفید هستند زیرا بطور پیوسته پاسخ اجزا سازه‌ای با و یا بدون آسیب را به محیط عملیاتی توصیف می‌کنند. مدل‌های دینامیکی

معمولاً برای آنالیز چگونگی ارتعاش یا نوسان اجزاء سازه‌ای استفاده می‌شوند. فرکانس‌های تشدید شده و اشکال مودی نشان دهنده پاسخ آزاد سازه هستند. این پارامترها بر اثر آسیب وارده تغییر می‌کنند و وسیله‌ای برای تشخیص آسیب را فراهم می‌کنند. به عنوان مثال داده‌های ارتعاشی با استفاده از این مدل‌ها برای تشخیص بارهای ضربه و آسیب‌های مکانیکی به صورت اکسیداسیون (تغییر در جرم) و یا کاهش پایش بارگذاری در اتصالات پیچی (تغییر در سختی)، آنالیز می‌شوند. مدل‌های ارتعاشی با استفاده از معادلات نیوتن-اولر و یا لاگرانژ بدست می‌آیند.

۲-۱-۱-۲- مدلسازی آسیب و تعیین پارامترهای مورد نیاز برای پایش

آسیب یا خرابی به صورت تغییر دائمی در حالت مکانیکی ماده سازه و یا اجزاء آن که بر عملکرد سازه تاثیر می‌گذارد تعریف می‌شود. از منشأهای رایج خرابی و آسیب در سازه‌ها، خرابی مصالح و یا اجزاء سازه‌ای است. در جدول زیر نمونه‌های متداول این آسیب‌ها و برخی از پارامترهای پاسخی که برای تشخیص هر یک از آنها بطور مستقیم یا غیر مستقیم قابل استفاده هستند، معرفی شده است. در جدول زیر پارامترهای ستون دوم اندازه‌گیری یا محاسبه شده و با بررسی نحوه تغییرات آنها در طول بهره برداری، آسیب‌های ذکر شده در ستون اول تشخیص داده می‌شوند.

جدول ۲-۲: نمونه‌های متداولی از آسیب‌های سازه و پارامترهای مستقیم و غیرمستقیم تشخیص آنها

پارامترهای تشخیص آسیب	نوع آسیب		
جرم، چگالی، تراکم، مقاومت الکتریکی، دمپینگ	نقص‌های میکرو سازه‌ای مانند: حفره‌ها، جابجایی‌ها و جداشدن‌ها، وجود سرباره یا مواد دیگر در جوش	آسیب در مصالح	
سطح مقطع عرضی، ممان اینرسی، مقاومت الکتریکی، سختی، جرم، چگالی	خوردگی یا اکسید شدن		
	نیترا ته شدن		
	فرسایش:		
سختی، دمپینگ، مقاومت الکتریکی	- سوراخ شدن، خرد شدن، ساییده شدن		آسیب در اجزاء سازه‌ای
مدول سختی، سختی خمشی، سطح مقطع، ممان اینرسی	ورقه ورقه شدن		
مدول سختی، سختی خمشی، کرنش	جاری شدن (تسلیم شدن) / خزش		
مدول سختی، سختی خمشی، کرنش	تنش‌های پسماند		
مدول سختی، مدول برشی، سطح مقطع عرضی، سختی خمشی، دمپینگ بررسی موج برگشتی در تست انتشار موج	ترک خوردن: - خستگی، لایه لایه شدن		
شکل ظاهری، تراکم، لقی و لغزش، مقاومت الکتریکی	خطاهای اجرا: - ترک جوش، پایش بارگذاری در پیچ‌ها، پرچ شکسته		
سختی خمشی، دمپینگ، مقاومت الکتریکی	آسیب‌های چسبندگی: لایه لایه شدن، جدا شدن	تغییر فواصل:	
شکل ظاهری، کرنش، سختی			

پارامترهای تشخیص آسیب	نوع آسیب	
	درزها، تغییر شکلها	
کرنش، سختی، هندسه (سطح مقطع، ممان اینرسی، انحنای)	- ناپایداری: کمانش، کمانش ترمومکانیکال	
شتاب، دمپینگ	ارتعاش و تشدید	

در مدل‌سازی آسیب با توجه به مدهای آسیب تعریف شده در بخش تعریف مسئله SHM و همچنین شناسایی شرایط اولیه آسیب مدل‌های آسیب و شکست ایجاد می‌شوند و با استفاده از آنها متخصصان به بررسی مکانیزم‌های آسیب و ایجاد الگوریتم‌های شناسایی آسیب، استنتاج متغیرهای اندازه‌گیری نشده، کشف و مکان‌یابی آسیب می‌پردازند. همچنین با استفاده از این مدل‌ها پارامترهای مناسب برای تشخیص آسیب‌های مختلف و نیز نحوه تأثیر آسیب بر پارامترهای اندازه‌گیری شده را مشخص می‌شود.

مدل‌ها در مدل‌سازی آسیب به دو گروه مدل‌های استاتیکی و دینامیکی طبقه بندی می‌شوند. مدل‌های استاتیکی با شبیه‌سازی اثرات نوع مختلف آسیب بر پاسخ اجزاء و تفسیر داده‌های اندازه‌گیری شده برای تشخیص آسیب، استفاده می‌شوند. مدل‌های دینامیکی برای پیش‌بینی آغاز و رشد آسیب مناسب هستند.

مدل‌های استاتیکی آسیب در موارد اتصالات و مفاصل، ترک‌ها، تغییر شکل‌های پلاستیک، خوردگی، جدایی، خزش، کمانش، فرسایش و اکسیداسیون برای نظارت بر سلامت و تفسیر داده‌های اندازه‌گیری شده لازم هستند. مدل‌های استاتیکی آسیب شامل مدل‌های هندسی (تغییرات در ساخت)، مدل‌های پارامترهای مصالح (تغییر در مدول‌ها و یا چگالی، درصد شکستگی...) و مدل‌های مقاومت الکتریکی هستند.

مدل‌های دینامیکی آسیب برای رشد ترک خستگی، خزش، از دست دادن مصالح و یا مکانیزم‌های دیگر خرابی استفاده می‌شوند و آهنگ و سرعت تجمع خرابی را پیش‌بینی می‌کنند.

در جدول زیر مثال‌هایی از آسیب مواد و اجزاء سازه‌ای که در جدول ۲-۲ ذکر شده بودند به همراه پارامترهای مناسب اندازه‌گیری آنها ارائه شده است.

جدول ۲-۳: مثال‌هایی از آسیب مواد و اجزاء سازه‌ای به همراه پارامترهای مناسب اندازه‌گیری

پارامترهای مناسب	مثالهایی از آسیب مواد و اجزاء سازه‌ای
------------------	---------------------------------------

اندازه‌گیری	
تغییر مکان	۱- افت پیش بارگذاری در نگهدارنده‌ها شل شدن مفاصل (توربین بادی)
تغییر مکان، شتاب، کرنش، جرم	۲- ترک خوردن مواد همگن ترک لایه‌ای در مواد لایه‌ای (کامپوزیت) ۳- تغییر شکل پلاستیک یا نفوذ خوردگی یا فرسایش در مواد همگن
تغییر مکان، شتاب	۴- لایه‌لایه شدن (Delaminating)، شکستگی (Deboning) جدایش
تغییر مکان، کرنش، شتاب	۵- خزش / کماتش
تغییر مکان، کرنش	۶- خوردگی / اکسیداسیون
	۷- جدا شدن لایه‌ها، شکست لایه‌ها
	۸- ترک‌های ماتریسی
تغییر مکان، شتاب، دما	۹- تغییرات ریز ساختاری (جوش) ترک‌های ریز

یکی از چالش‌های بزرگ پایش سلامت سازه‌های عمرانی، پیش‌بینی و طراحی دقیق مدل خرابی می‌باشد. در سازه‌های متعارف مکانیکی و هوافضا، عموماً خرابی از نقطه نظر محل اتفاق و علائم آن به خوبی تعریف شده و شناخته شده است. به این ترتیب، در سازه‌هایی از قبیل ماشین‌ها و هواپیماها، محل و تعداد بهینه سنسورهای مورد نیاز برای تشخیص خرابی و صدمه را به راحتی می‌توان تشخیص داد ولی این مطلب برای سازه‌های عمرانی صادق نیست. بر اساس نبودن مدل مشخص خرابی برای سازه، تعیین تعداد بهینه و محل مناسب نصب سنسورها از چالش‌های اصلی پایش سلامت سازه‌های عمرانی می‌باشد، [۲۰].

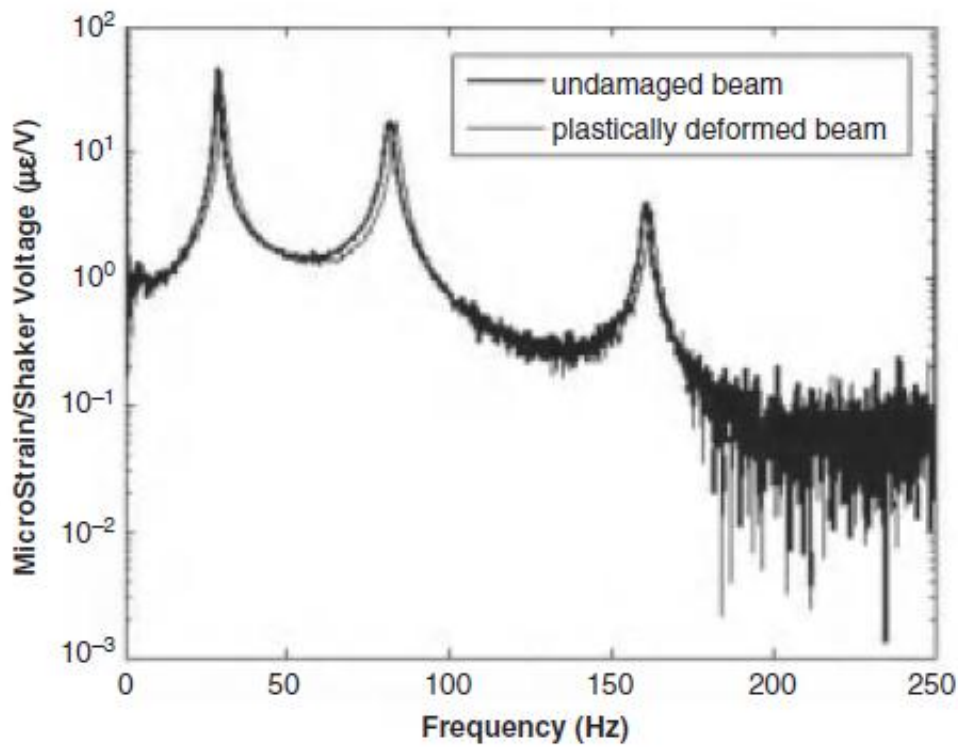
۲-۱-۱-۴- تعیین و انتخاب روش و استراتژی پایش سلامت

یکی از موارد بسیار مهم در طراحی سیستم پایش سلامت برای یک سازه مورد نظر، انتخاب استراتژی کلی و روش مناسب برای پایش آن می‌باشد. بطور کلی روش‌های مختلفی برای انجام پایش و تشخیص آسیب در سازه‌ها توسط متخصصین و محققین مختلف ابداع و ارائه شده و در حال حاضر نیز، این موضوع به عنوان یک آیتم تحقیقاتی در دنیا مطرح می‌باشد. هر یک از روش‌های معرفی شده برای پایش سلامت سازه‌ها دارای قابلیت‌ها، محدودیت‌ها و توانمندی‌های خاص خود بوده و از ابزارها، پارامترها و الگوریتم‌های خاص خود برای تشخیص آسیب‌ها استفاده می‌نماید. انتخاب روش مناسب برای پایش سلامت وابسته به نوع سازه، نوع خرابی و هدف پایش می‌باشد. از جمله انواع روش‌های ارائه شده تا کنون برای پایش سلامت سازه‌های مختلف می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

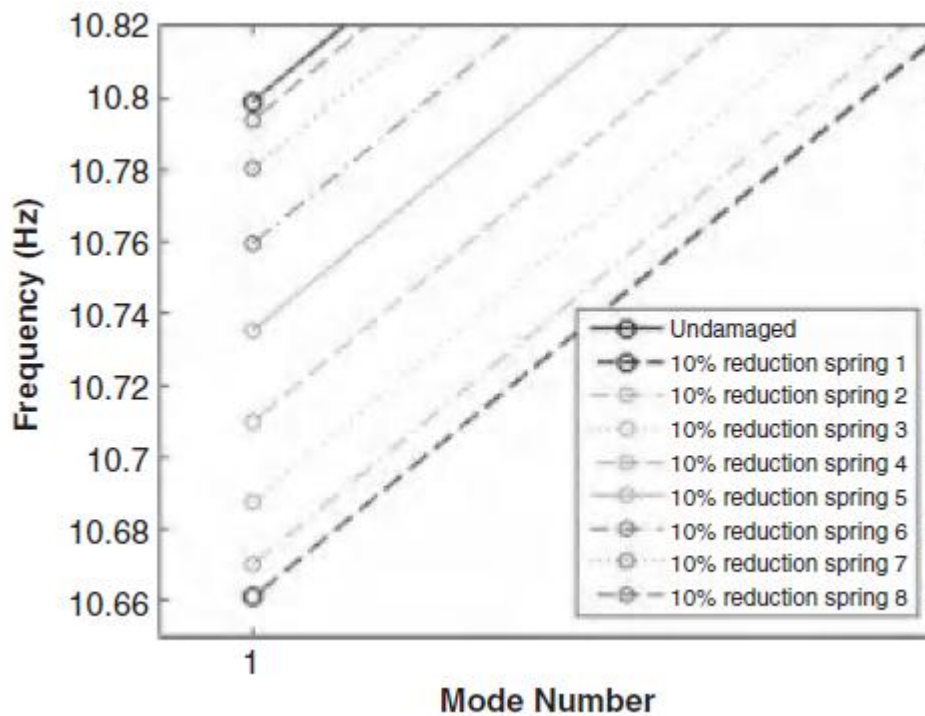
۲-۱-۱-۴-۱- روش‌های پایش سلامت مبتنی بر ویژگی‌های ارتعاشی

یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای پایش سلامت در سازه‌ها، روش‌های براساس ارتعاش^۱ می‌باشند. بنیان این روش‌ها بر این واقعیت استوار است که برخی از پارامترها و ویژگی‌های ذاتی مرتبط با ارتعاش سازه‌ها، در اثر وقوع آسیب در اعضای سازه دچار تغییرات شده و با رصد و پایش این تغییرات، می‌توان آسیب وارده را شناسایی نمود. از این روش بطور گسترده در پایش وضعیت (CM) تجهیزات و ماشین‌آلات دوار و مرتعش در صنایع مختلف استفاده می‌شود. از جمله پارامترهای مرتبط با ارتعاش سازه که حساس به آسیب می‌باشند می‌توان به فرکانس‌های طبیعی^۲ ارتعاش سازه، پارامترهای اطلاعات مودال شامل خمیدگی اشکال مودی^۳، انرژی کرنشی مودال^۴ و نرمی مودال^۵، میرایی و ضرایب تبدیل موجک^۶ را نام برد. با محاسبه پارامترهای فوق با استفاده از اندازه‌گیری پارامترهای مناسب سازه و اعمال تبدیلات ریاضی در فرآیند آنالیز داده‌ها، می‌توان وجود آسیب و محل و میزان آن (با الگوریتم‌های پیشرفته‌تر) را تعیین نمود. اشکال زیر نمونه‌هایی از تغییرات فرکانس‌های ارتعاشی سازه در اثر وقوع آسیب را نشان می‌دهند.

1 - Vibration Based Methods
 2 - Natural Frequencies
 3 - Mode Shape Curvature
 4 - Modal Strain Energy
 5 - Modal Flexibility
 6 - Wavelet Coefficients



شکل ۲-۱: فرکانس‌های ارتعاش طبیعی سیستم در دو حالت سالم و دارای خرابی (تغییر شکل پلاستیک)



شکل ۲-۲: تغییرات فرکانس طبیعی اول سیستم نسبت به میزان خرابی (کاهش سختی فنر)

۲-۱-۱-۴-۲- روش‌های پایش سلامت مبتنی بر انتشار موج

در برخی از اعضای سازه‌ای می‌توان آسیب‌هایی نظیر ترک و لایه ای شده مصالح و خوردگی را با روش انتشار موج^۱ شناسایی نمود. مبنای این روش، انتشار یک موج در جسم سازه در بخش‌های مورد نظر و بررسی تغییرات ایجاد شده در ویژگی‌های موج برگشتی آن می‌باشد. از جمله تکنیک‌های مورد استفاده در این روش که مورد استفاده زیادی هم در صنعت دارند، می‌توان به انتشار امواج صوتی^۲ (AE) و امواج لمب^۳ اشاره نمود. در روش AE انرژی بصورت امواج هدایت شونده الاستیک در جسم مورد نظر آزاد شده و پس از انتشار در جسم، باعث ارتعاش سطوح جسم شده و توسط سنسورهای پیزوالکتریک ثبت شده و به عنوان سیگنال AE شناخته می‌شود. سیگنال‌های AE در اثر وجود ترک یا آسیب‌های دیگر در مسیر انتشار خود دچار تغییراتی می‌شوند که با بررسی و تفسیر این تغییرات، وجود و ویژگی‌های آسیب تشخیص داده می‌شود.

۲-۱-۱-۴-۳- روش پایش سلامت مبتنی بر امپدانس

اصل اساسی در این روش، رصد امپدانس الکترومکانیکی سازه است که با حضور آسیب، تغییر کرده است. تحریک فرکانس بالا (بالتر از ۳۰ کیلوهرتز) توسط یک محرک پیزوالکتریک به سطح عضو سازه ای اعمال شده و امپدانس سازه با اندازه‌گیری جریان و ولتاژ در سنسور پیزوالکتریک تعیین می‌شود. تغییرات امپدانس الکترومکانیکی نشان دهنده تغییر در سازه است که می‌تواند ناشی از وجود آسیب در آن باشد. این رابطه امپدانس الکترومکانیکی، ناشی از ویژگی‌های کوپلینگ الکترومکانیکی مواد پیزوالکتریک است. با توجه به نیاز این روش به پیچ PZT کوچک، می‌توان با استفاده از آن به راحتی توان پایش و ارزیابی تمامیت و یکپارچگی سازه را ایجاد نمود. کارکرد این روش در فرکانس‌های بالا است که آن را در شناسایی مراحل اولیه آسیب توانمند ساخته و توسط شرایط کار عادی، ارتعاشات، تغییر در ساختار و ... تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد. این روش پایش سلامت با موفقیت در انواع سازه‌های سبک استفاده شده است. با این حال، کارایی این تکنیک برای سازه‌های بزرگ نیاز به بررسی و تحقیقات بیشتر دارد.

¹ - Wane Propagation

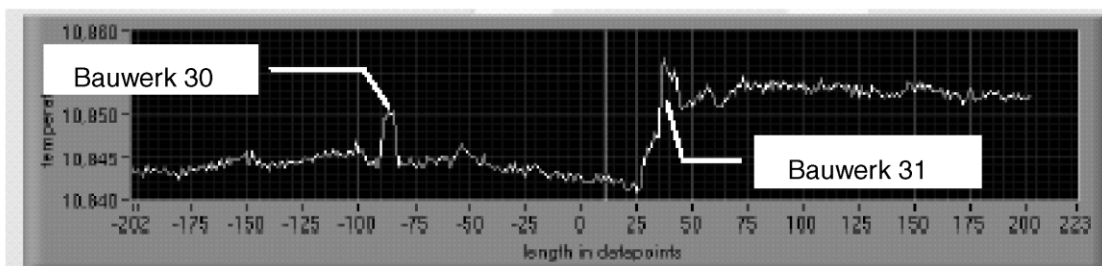
² - Acoustic Emission

³ - Lamb Wave

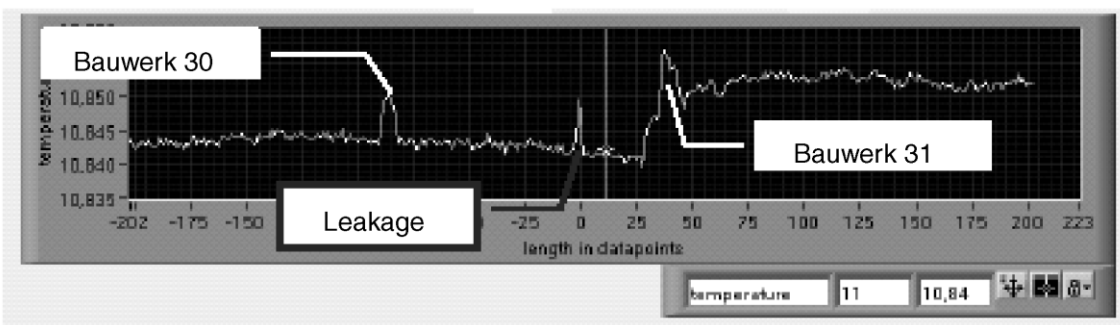
۲-۱-۱-۴- روش پایش سلامت مبتنی بر تغییرات دما

برخی از آسیب‌های موجود در سیستم‌های سازه ای را می‌توان با بررسی تغییرات دما آشکار نمود. نمونه بارز این حالت مربوط به تشخیص و آشکارسازی نشت در خطوط لوله انتقال مایعات (نفت) و گاز است. نشت در خطوط لوله مایعات باعث ایجاد یک نقطه داغ^۱ و در خطوط لوله گازها باعث ایجاد یک نقطه سرد^۲ در محل نشت می‌شود. با اندازه‌گیری و رصد تغییرات دما در طول خطوط لوله می‌توان وجود نشت و محل آنرا شناسایی نمود. نمونه‌های از این روش پایش در شکل زیر نشان داده شده است. نقاط مشخص شده در پروفیل دمای طول لوله در شکل، نقاط داغ (با دمای بالای موضعی) هستند که در اثر وقوع نشت ایجاد شده‌اند.

Temperature profile before leakage



Temperature profile when the leakage is detected

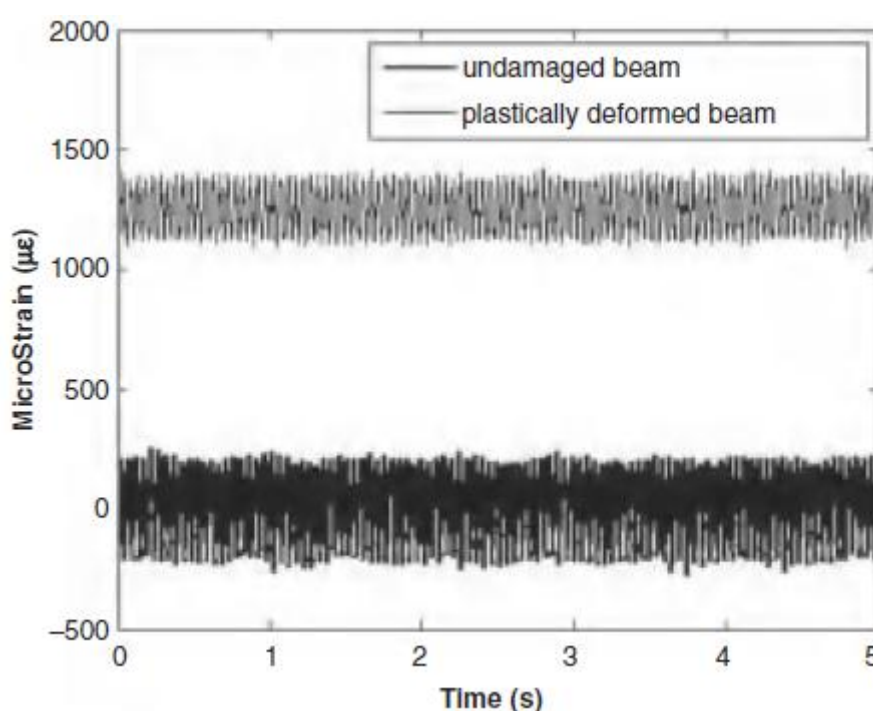


شکل ۲-۳: مشخص شدن محل نشت در خطوط لوله با پایش تغییرات دما

۲-۱-۱-۵- روش پایش سلامت مبتنی بر خواص مکانیکی

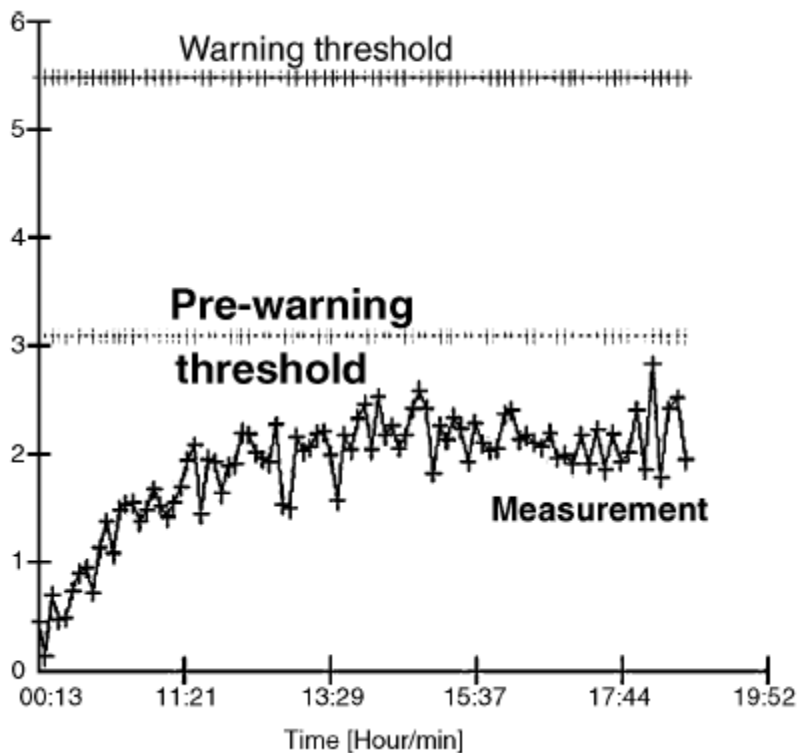
¹ - Hot Spot
² - Cold Spot

ساده‌ترین تکنیک برای پایش یک سازه، اندازه‌گیری و رصد پارامترهای مربوط به خواص مکانیکی و عملکردی آن است. این خواص شامل تغییر مکان، کرنش، تنش و ... در بخش‌های بحرانی و حساس اعضای سازه است، مستقیماً با وضعیت عملکرد و مودهای خرابی سازه مرتبط بوده و با اندازه‌گیری آنها در طول زمان بهره‌برداری و بررسی تغییرات مقادیر آنها، می‌توان وقوع برخی از خرابی‌ها و آسیب‌ها را تشخیص داد. به عنوان نمونه در شکل زیر، تغییر در تاریخچه کرنش اندازه‌گیری شده در یک تیر فولادی در حالت سالم و دارای آسیب (بصورت ایجاد تغییر شکل پلاستیک) نشان داده شده است.



شکل ۲-۴: تغییر در تاریخچه کرنش در اثر خرابی (تغییر شکل پلاستیک)

یک کارکرد دیگر این روش پایش سلامت، جلوگیری از وقوع خرابی‌هایی است که شناخته شده بوده و بتوان آنها را با پارامترهای مکانیکی (مانند کرنش یا تغییر مکان) مرتبط نمود. به عبارت دیگر با مشخص نمودن و تعریف حدود مجاز برای مقادیر پارامترهای مکانیکی و عملکردی بر اساس معیارهای پذیرش کارکرد و معیارهای خرابی، رسیدن پارامترهای مذکور به مقادیر مجاز تعریف شده، توسط سیستم پایش آنلاین رصد و اعلام می‌گردد. نمونه‌ای از این سیستم در شکل زیر نشان داده شده است. در سیستم شکل زیر، تغییر مکان در یک نقطه بحرانی اندازه‌گیری شده و در صورت رسیدن به حدود مجاز تعریف شده، اخطارهایی توسط سیستم اعلام می‌شود.



شکل ۲-۵: تعریف محدوده‌های هشدار بر اساس اندازه‌گیری تغییرمکان

۲-۱-۱-۵- طراحی شبکه سنسورها

تصمیم‌گیری در مورد تعداد و محل سنسورها باید به گونه‌ای باشد که بین مزایای اقتصادی سیستم مطلوب سنسورها و سیستم قابل اطمینانی که تا حدودی با سیستم مطلوب فاصله دارد تعادل برقرار سازد. در سیستم سنتی سنسورهای SHM تقریباً به طور انحصاری از روش‌هایی که سنسورهای نسبتاً کمی که معمولاً در یک شبکه تقریباً یکنواخت توزیع می‌شدند، استفاده می‌شد. در این حالت نگرانی اصلی این است که اگر یکی از سنسورها از کار بیافتد ممکن است سیستم دیگر برای تشخیص آسیب مناسب نباشد. با پیشرفت تکنولوژی^۱ MEMS امکان افزایش حسگرها به صورت اقتصادی فراهم شده که نیاز به سیستم بهینه سنسورها را کاهش داده است.

^۱- Microelectromechanical Systems

بطور شهودی سنسورها باید نزدیک به محل‌های آسیب مورد انتظار قرار داشته باشند. با این حال، با توجه به تعداد پاسخ‌هایی که مورد بررسی قرار گرفته‌اند مواردی وجود دارد که ممکن است آسیب در آنها بیشتر در مکان‌های دیگری رخ دهد. به عنوان مثال اگر ترک در انتهای گیردار تیره طره‌ای اتفاق افتد شتاب سنج واقع در انتهای آزاد تیر که شتاب عمود بر محور تیر را اندازه می‌گیرد حساسیت بیشتری نسبت به آسیب تا شتاب سنج تعبیه شده در انتهای گیردار دارد. در مقابل کرنش سنج نزدیک به ترک در انتهای گیردار که تغییر شکل را در جهت طولی اندازه می‌گیرد حساسیت بیشتری نسبت به این آسیب تا کرنش سنجی که در انتهای آزاد تعبیه شده است، دارد. بنابراین تعیین روش شناسایی و مشاهده نوع آسیب مورد انتظار و اثرات معنی دار آنها بر روی ویژگی‌هایی که از مقادیر اندازه‌گیری شده در مکان‌های مبدل‌های انتخاب شده بدست می‌آیند، بسیار مهم است. با استفاده از تئوری کنترل به خوبی شناخته شده است که مشاهده یک سیستم اساساً بستگی به مکان سنسورها و ویژگی‌های مورد نظری دارد که باید استخراج شوند. به عنوان مثال اگر بخواهیم فرکانس تشدید یافته دوم سازه‌ای را اندازه بگیریم و از این متغیر به عنوان مقیاسی برای آسیب استفاده کنیم نصب سنسور در نقطه مود دوم منجر به شکست چنین الگوریتمی می‌شود. مسائل مربوط به یکپارچه‌سازی محاسبات مقادیر ویژه برای آسیب موضعی و تاثیر آن بر رفتارهای سیستم کلی در طراحی سیستم سنسورها در مطالعات SHM که تاکنون صورت گرفته است، زیاد مورد توجه نبوده‌اند. با این حال مطالعاتی هستند که از الگوریتم‌های ژنتیکی و یا شبکه‌های عصبی برای بهینه‌سازی بودجه مختص سنسورها، براساس معیارهای مشاهده شده آسیب، استفاده کرده‌اند، (Staszewski et al, 2000; Worden and Burrows 2001). مراجع قبل از این دو مرجع بهینه‌سازی شبکه مطمئن سنسورها را اینگونه مطرح می‌کردند که اگر در شبکه سنسورها یک سنسور از کار بیفتد باقی سنسورها به گونه‌ای عمل کنند که شبکه کلی هنوز قابلیت عملکرد درست و مناسب را داشته باشد.

همانگونه که ذکر شد روش‌های علمی مشخص و سیستماتیکی برای طراحی شبکه سنسورها وجود ندارد. البته مطالعات تحقیقاتی بر اساس الگوریتم‌های ژنتیکی و شبکه‌های عصبی برای طراحی بهینه سیستم سنسورها بر اساس معیارهای آسیب صورت گرفته است. اما بطور کلی شبکه سنسورها با توجه به قضاوت مهندسی بر مبنای شناخت رفتار سازه‌ای و عملکردی سازه طراحی می‌شوند. در بخش ۱-۵-۳ الگوهای کلی چیدمان (توپولوژی) سنسورها با توجه به عملکرد و تنش‌های به وجود آمده در سازه معرفی شده‌اند. بنابراین یک متخصص SHM با توجه به شناختی که از رفتار، بارگذاری و تنش‌های موجود در سازه دارد می‌تواند از این الگوها و ترکیب آنها و همچنین انواع مختلف سنسورها برای طراحی مناسب شبکه سنسورها استفاده کند.

همچنین تاکنون مطالعات گسترده‌ای برای سیستم نظارت SHM در مورد سازه‌های مختلف نظیر پلها، توربین‌ها، سدها، اجزاء ساختمان‌ها، تونل‌ها و شبکه لوله‌ها و ... صورت گرفته است که می‌توان از شبکه سنسورهای استفاده شده در آنها الگو برداری کرد. بنابراین طراحی شبکه سنسورها باید با شناخت کامل و قضاوت درست مهندسی درباره اثرات معنی دار ویژگی‌های اندازه‌گیری شده توسط سنسورها صورت گیرد. تعداد سنسورهای مورد استفاده نیز باید برای نظارت بر عملکرد و سلامت سازه کافی باشند و با قضاوت و توجیه مهندسی می‌توان تعداد آنها را بهینه کرد. البته همانطور که ذکر شد با پیشرفت تکنولوژی MEMS امکان افزایش حسگرها به صورت اقتصادی فراهم شده که نیاز به سیستم بهینه سنسورها را کاهش داده است. همچنین با استفاده از سنسورهای الیاف طولی فیبر نوری (که انتظار می‌رود در آینده نزدیک تبدیل به تکنولوژی اصلی سنسورهای سیستم SHM شوند) نیز می‌توان نظارت پیوسته و یکپارچه‌ای بر سازه داشت.

طراحی شبکه سنسورها باید توسط متخصصانی صورت گیرد که دانش کلی مهندسی سازه، مکانیک و شناختی از انواع سنسورها و مزایا، معایب آنها را داشته باشند.

تاکنون سیستم سنسوری منحصراً به منظور پایش سلامت سازه‌ها رشد نیافته است. همچنین بیشتر تحقیقاتی که تاکنون در ارتباط با تکنولوژی پایش سلامت انجام گرفته است به طور کلی یا به بحث سخت‌افزاری مسأله که توسعه و پیشرفت سنسورهای مورد نیاز است می‌پردازد و یا به بخش نرم‌افزاری استنتاج داده‌ها می‌پردازد، [۲۱]. تحقیقات اندکی تاکنون توأمان به این دو مبحث سخت‌افزاری و نرم‌افزاری اختصاص یافته است، بنابر این توسعه تکنولوژی پایش سلامت سازه‌ها بایستی با در نظر گرفتن تمامی جوانب به‌طور همزمان انجام گیرد.

از آنجا که اغلب سازه‌های متعارف عمرانی برای کارکرد در بازه‌ی زمانی حداقل ۲۵ تا ۵۰ سال طراحی می‌شوند، سنسورهایی که برای پایش پیوسته و آنالیز سلامت سازه استفاده می‌شود باید عملکرد قابل اطمینانی در طول عمری مشابه طول عمر سازه‌ی اصلی داشته باشند. بنابر این یکی از چالش‌های پایش سلامت سازه‌ها، اطمینان از عملکرد صحیح و بدون خطای سنسورها و جلوگیری از اثر خستگی، ساییدگی و فرسایش روی سنسورها و همچنین کالیبراسیون سنسورهای به‌کار رفته در طول عمر سازه است.

سیستم پایش شامل مجموعه‌ای از تجهیزات و ابزارها (سنسورها، محرک‌ها، سیستم‌های پردازنده داده‌ها و ...) است که در بخش ۲-۲ این گزارش معرفی و ارائه شده‌اند. خود این تجهیزات نیز بر حسب نوع و جنس آنها، در معرض خرابی بوده و نیازمند بازرسی و پایش می‌باشند. جهت حصول اطمینان از صحت کارکرد سیستم پایش لازم است که در مرحله طراحی، برنامه‌ای برای نگهداری از تجهیزات پایش و ارزیابی صحت عملکرد آنها پیش‌بینی و تهیه شود. ارزیابی صحت عملکرد تجهیزات سیستم پایش از دو جنبه سلامت خود تجهیز و صحت نصب و کارکرد آن باید مورد توجه قرار گیرد. همچنین کالیبراسیون تجهیزات (بخصوص سنسورها) نیز باید بررسی و انجام گردد.

علاوه بر اطمینان از صحت عملکرد تجهیزات پایش سلامت و بهینه‌سازی بهره‌برداری و نگهداری از آنها، مبحث امنیت اطلاعات (بخصوص در سیستم‌های انتقال بی سیم داده‌ها) نیز بسیار مهم است. بعبارت دیگر باید احتمال اختلال در صحت اطلاعات ارسالی که می‌تواند منجر به قضاوت و تصمیمات نادرستی در ارتباط با وضعیت سلامت سازه‌ها گردد، به حداقل ممکن برسد.

۲-۱-۲- اکتساب داده‌های مورد نیاز

پس از طراحی سیستم پایش و مشخص شدن نوع، تعداد، محل و سایر مشخصات فنی تجهیزات مورد نیاز، سیستم طرح شده باید بر روی سازه نصب و راه‌اندازی شده و مورد بهره‌برداری قرار گیرد. نصب و راه‌اندازی بطور کلی فعالیت‌های زیر را در بر می‌گیرد:

- ◀ تهیه و نصب سنسورها در محل‌های مشخص شده روی سازه
- ◀ استقرار تجهیزات جمع‌آوری و انتقال داده‌ها در محل‌های مشخص شده
- ◀ نصب اتصالات مورد نیاز میان سنسورها و سایر تجهیزات (کابل‌ها یا سیستم‌های بی سیم)
- ◀ نصب و راه‌اندازی نرم‌افزارهای مورد نیاز
- ◀ تست و کالیبراسیون سیستم گردآوری داده‌ها
- ◀ اجرای برنامه نگهداری و کالیبراسیون سیستم پایش بطور دوره‌ای

پس از نصب سنسورها، سایر تجهیزات اندازه‌گیری باید در محل‌های مربوط به خود (که می‌تواند در مجاورت سازه یا در مکانی دیگر باشد) مستقر شده و اتصال میان آنها با سنسورها جهت انتقال سیگنال‌های اندازه‌گیری شده، برقرار گردد. سنسورهای تهیه شده باید دارای تأییدیه‌های لازم از آزمایشگاه‌های معتبر بر اساس استانداردهای مربوطه بوده و دقت اندازه‌گیری و کالیبراسیون آنها نیز مورد نظر قرار گیرد. روش‌های مختلفی برای نصب سنسورها روی اعضای سازه ای وجود دارد (مانند استفاده از پیچ، انداخ چسب‌ها و روش‌های مغناطیسی) که هر یک دارای معایب و مزایای مختص به خود بوده و در جدول زیر ارائه شده‌اند. هر یک از روش‌های نصب، محدودیت‌هایی برای اندازه‌گیری ایجاد می‌کنند که می‌بایست مورد نظر قرار گیرند.

جدول ۲-۴: روش‌های مختلف نصب سنسورها به همراه مزایا و معایب آنها

Method	Transducer mounting methods		
	Frequency range (Hertz)	Main advantages	Main disadvantages
Hand-held	20-1000	Quick look	Poor measurement quality for long sample periods
Putty	0-200	Good axis alignment, ease of mounting	Low frequency range, creep problems during measurement
Wax	0-2000	Ease of application	Temperature limitations, frequency range limited by wax thickness, axis alignment limitations
Hot glue	0-2000	Quick setting time, good axis alignment	Temperature sensitive transducers (during cure)
Magnet	0-2000	Quick setup	Requires magnetic material, axis alignment limitations, bounce problem with impact excitation, surface preparation
Adhesive film	0-2000	Quick Setup	Axis alignment limitations, requires flat surface
Epoxy cement	0-5000	Mount on irregular surface, good axis alignment	Long curing time
Dental cement	0-5000	Mount on irregular surface, good axis alignment	Medium curing time, brittle
Stud mount	0-10 000	Accurate alignment if carefully machined	Difficult setup, requires drill and tap

فارغ از روش انتخاب شده برای نصب سنسورها، نکات اساسی زیر باید در فرآیند نصب مورد توجه دقیق قرار گیرند:

↪ دوام سنسورها در برابر شرایط محیطی برای حفظ کیفیت و دقت اندازه‌گیری با گذشت زمان

↪ پایداری سنسورها در برابر نیروها و عوامل خارجی وارده (نظیر ارتعاش و ضربه)

↪ جهت نصب و قرارگیری سنسورها برای اندازه‌گیری صحیح پارامتر مورد نظر

↪ محدوده فرکانسی

جزئیات مربوط به موارد فوق در شکل زیر نشان داده شده‌اند.

1. Durability of attachment

- Shock resistance
- Rear or front mounted
- Embedded
- Adhesive or stud mounted
- Shear and tensile strength

(a)



2. Stability of attachment

- Environmental sensitivity (temperature, humidity)
- Flat or curved surface
- Bending of flexible component
- Strain of component surface

(b)



3. Directionality of data

- Transverse vs. shearing
- Tapping (normal to surface)
- Pinching (tangential to surface)
- Alignment
- Multiple directions

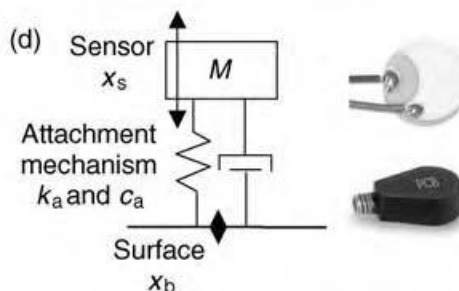
(c)



4. Frequency (wavelength) range of data

- Resonance of sensor on mount
- Amplitude distortion
- Phase distortion
- Footprint of attachment
- Size and shape

(d)



شکل ۲-۶: نکات و الزامات قابل توجه در فرآیند نصب سنسورها

کمیت‌های اندازه‌گیری شده توسط سنسورها بصورت سیگنال‌های خام به تجهیزات جمع‌آوری داده‌ها^۱ (گزارش‌گیر^۲، واحد گیرنده داده‌ها^۳، دستگاه شناسایی^۴ و ...) ارسال شده و پس از تبدیل به داده‌های مهندسی، به کامپیوترها و تجهیزات پردازش داده‌ها جهت پردازش و آنالیزهای بعدی ارسال می‌شوند. شایان ذکر است که برخی از تجهیزات گردآوری داده‌ها (و حتی برخی از سنسورهای جدید) نیز توان انجام پردازش‌های ساده و اولیه روی داده‌ها را دارند. داده‌های حاصل از سنسورها می‌توانند

¹ - Data Acquisition System

² - Data Logger

³ - Reading Unit

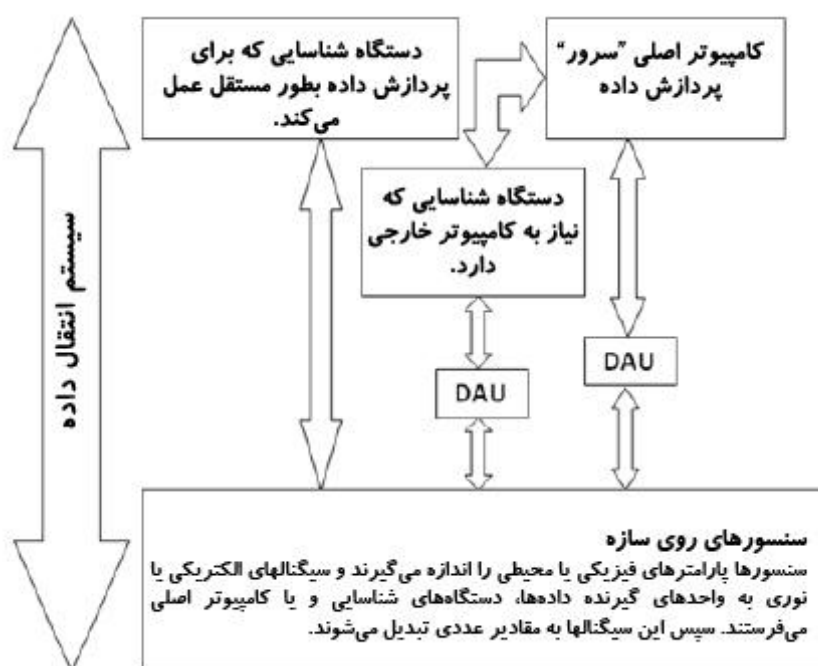
⁴ - Interrogator

بصورت سیگنال‌های آنالوگ (پیوسته در زمان) یا دیجیتال (گسسته در زمان) نمونه‌گیری و تولید شوند. داده‌های دیجیتال به دلیل محدودیت‌های خود خطاهای بیشتری در فرآیند اکتساب داده‌ها وارد می‌کنند ولی با توجه به سهولت بیشتر در پردازش آنها، نسبت به داده‌های آنالوگ ترجیح داده می‌شوند. در صورت استفاده از سیگنال‌های آنالوگ، یک فرآیند پردازش اضافی جهت تبدیل این سیگنال‌ها به داده‌های دیجیتال با استفاده از مبدل‌های مربوطه، باید صورت گیرد.

داده‌های خام حاصل از اندازه‌گیری‌ها بسته به هدف و روش انتخاب شده برای پایش، باید مدیریت گردد. مدیریت داده‌ها شامل فعالیت‌هایی نظیر پردازش‌های مقدماتی، انتقال، ذخیره‌سازی و بازیابی می‌شود که هر یک از اینها نیازمند تجهیزات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری خاص خود می‌باشند.

یکی از نکات مهم و قابل توجه در مبحث اکتساب داده‌ها، اطمینان از صحت آنها از طریق به حداقل رساندن انواع خطاهای محتمل وارد شده در فرآیند اکتساب داده‌ها است. تغییرپذیری و خطاهای اندازه‌گیری بر پردازش و آنالیز داده‌ها تاثیر می‌گذارد که خود منجر به اطلاعات نادرست و غیر قابل اطمینان پایش سلامت سازه می‌شود. تغییرپذیری و خطاهای می‌توانند اندازه‌گیری‌هایی را که برای پایش سلامت استفاده می‌شوند تحریف کنند. در فرآیند اندازه‌گیری باید تا حد امکان اثرات تغییرپذیری داده‌های خام قبل از آنالیز آنها کاهش داده شود. اندازه‌گیری‌های متناوب برای تعیین و تشخیص تغییرات سلامت اجزاء باید صورت گیرد. اندازه‌گیری‌هایی که برای تشخیص بارگذاری و خرابی استفاده می‌شوند معمولاً به صورت غیرمستقیم انجام می‌شوند. به عبارت دیگر سنسورهای زیادی برای اندازه‌گیری مستقیم بارها و خرابی طراحی نشده‌اند (سنسورهای خوردگی یکی از انواع اندک سنسورهایی هستند که خرابی را به طور مستقیم اندازه می‌گیرند). در عوض سنسورهای کرنش، شتاب و انواع دیگر سنسورها، متغیرهایی را که می‌توان برای استنتاج اطلاعات بارگذاری و آسیب از آنها استفاده کرد را اندازه می‌گیرند. اندازه‌گیری می‌تواند به صورت آفلاین و یا آنلاین صورت گیرد. اما روش‌های مانیتورینگ سلامت به صورت ایده‌آل از اندازه‌گیری‌های آنلاین که هم زمان و یا نزدیک به زمان عملکرد و اجزاء بدست می‌آیند، استفاده می‌کنند. مشکل اندازه‌گیری‌های آنلاین تغییرپذیری آنها به دلیل محیط اندازه‌گیری و خطاها در کانال اندازه‌گیری است. کانال اندازه‌گیری شامل تمام سخت‌افزارها و سیستم‌های دریافت داده‌هاست که برای اندازه‌گیری استفاده می‌شود.

در شکل زیر روش‌های مختلف انتقال سیگنال از سنسورها برای پردازش داده‌ها در سیستم گیرنده داده‌ها ارائه شده است.



شکل ۲-۷: فلوجارت سیستم گیرنده داده‌ها که احتمالات مختلف انتقال و پردازش سیگنال از سنسورها به پردازش داده‌ها را نشان می‌دهد.

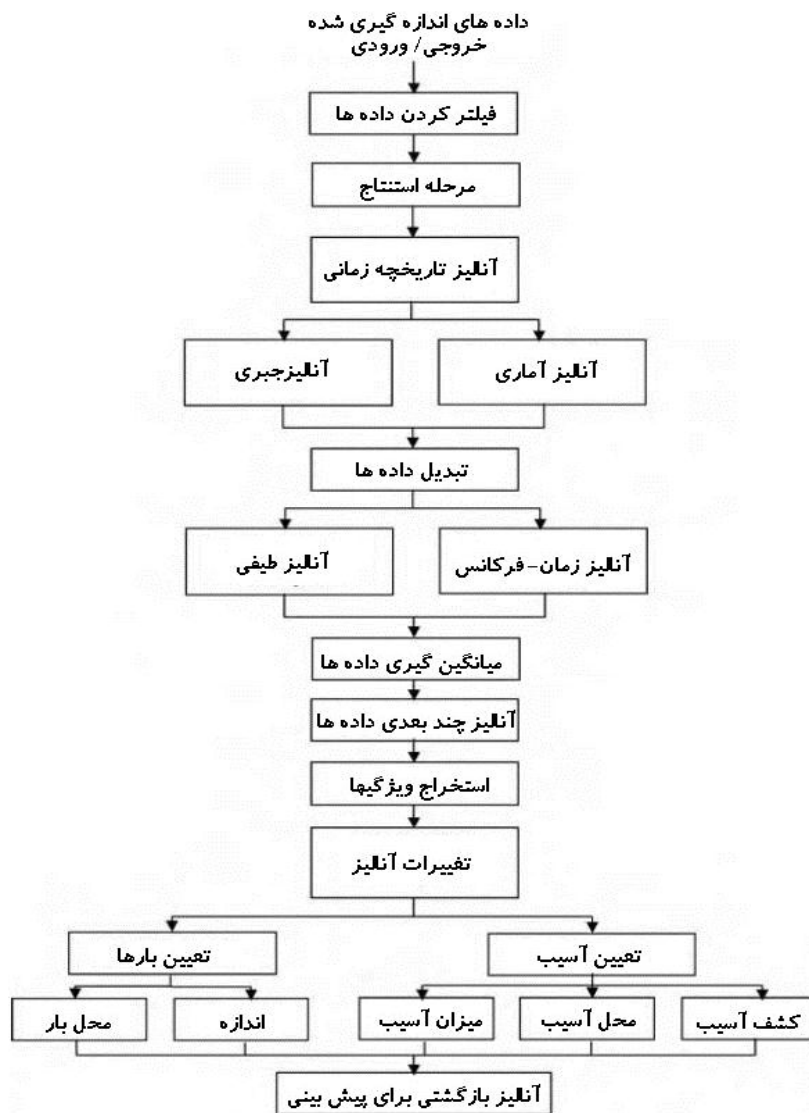
۲-۱-۳- پردازش، آنالیز و تفسیر داده‌ها

در مرحله آنالیز، با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری و پردازش شده و بررسی ویژگی‌ها، الگوها و تغییرات آنها، پاسخ‌های مورد نیاز در کلیه نقاط سازه محاسبه شده و هدف مورد نظر از پایش (تشخیص یا پیش‌بینی خرابی) محقق می‌گردد. با مقایسه اطلاعات و پاسخ‌های بدست آمده با الگوهای پاسخ در سازه سالم (و یا با الگوریتم‌های دیگر)، وقوع آسیب در سازه تشخیص داده می‌شود. همانطور که در شکل ۳-۴ مشاهده می‌شود، ورودی‌های این بخش داده‌های اندازه‌گیری شده توسط سیستم حسگرها است و خروجی آن تعیین وجود یا عدم وجود، مکان و میزان بارها و آسیب در سازه است که نهایتاً با استفاده از آنها عملکرد آینده سیستم پیش‌بینی می‌شود. در پایان این مراحل، بارگذاری و آسیب تشخیص داده می‌شود و سپس رشد خرابی پیش‌بینی می‌شود. [۳]

در فرآیند آنالیز داده‌ها، باید به حداقل رساندن خطاهای اطلاعات مانیتورینگ سلامت، مورد نظر قرار داشته باشد. خطاها در داده‌های اندازه‌گیری شده از طریق پروسه آنالیز داده‌ها پخش می‌شوند. منظور از پخش خطاها در پروسه آنالیز سعی در به

حداقل رساندن خطاها در مراحل مختلف آنالیز است اما همانطور که در زیر مجموعه‌های این بخش مشاهده خواهید کرد در بعضی مراحل خطاهای اجتناب ناپذیری وارد پروسه آنالیز می‌شوند. بنابراین استفاده از اصطلاح پخش خطا در اینجا مناسب‌تر از کاهش خطا است. مراحل و چارچوب آنالیز داده‌ها در شکل ۲-۸ نشان داده شده است. در شکل مذکور تمام مراحل آنالیز داده‌ها به طور کلی ارائه شده است. انتخاب اینکه در پردازش و آنالیز داده‌ها از کدام نوع آنالیز استفاده شود و یا بخشی از مراحل ذکر شده حذف و یا خلاصه شود به نظر و قضاوت مهندسی متخصص SHM در هر پروژه بنا بر وسعت، اهمیت و شناختی که از سازه دارند بستگی دارد. [۳]

در ادامه نیز توضیحاتی در مورد مهمترین روندهای آنالیز و تفسیر داده‌ها که در فرآیند پایش سلامت سازه‌ها استفاده می‌شوند، ارائه شده است.



شکل ۲-۸: فلوجارت آنالیز داده‌ها برای نظارت بر سلامت سازه (SHM) [۳]

۲-۱-۳-۱- پردازش و تمیز کردن داده‌ها

هدف از پردازش داده‌ها، آماده سازی و حصول داده‌های قابل اطمینان برای انجام تفسیر و آنالیزهای مورد نیاز در تشخیص و پیش‌بینی خرابی است. اقدامات متداول پردازش داده‌ها شامل فعالیت‌هایی نظیر نرمالایز کردن^۱، تمیز کردن^۲، کاهش^۳ و

1 - Normalization
2 - Cleansing
3 - Reduction

یکپارچه کردن^۱ داده‌ها می‌باشند. به مجموعه اقدامات فوق بطور کلی، پردازش سیگنال^۲ نیز اطلاق می‌شود. نرمالایز کردن داده‌ها به منظور حذف تأثیرات حاصل از شرایط محیطی و عملکردی سازه بر داده‌های اندازه‌گیری شده، صورت می‌گیرد. فرآیند تمیز کردن به فعالیت‌های نظیر فیلتر کردن، حذف داده‌های پرت و نامتعارف، ترمیم داده‌های از دست رفته، حذف نویزها و ... اطلاق می‌شود. کاهش داده‌ها نیز عبارت از کاهش حجم آنها بوده و به منظور ایجاد سهولت در انجام تفسیرها و محاسبات بعدی، با استفاده از روش‌هایی نظیر میانگین‌گیری و ... انجام می‌گیرد. یکپارچه کردن داده‌ها نیز به فرآیند یکی کردن داده‌های حاصل از آرایه سنسورهای مختلف اطلاق می‌شود. برخی از سنسورهای جدید، خود توان انجام برخی از پردازش‌های ساده را دارند. [۴]

یک فیلتر هرگونه تابع وزنی است که بر روی بخش خاصی از داده‌ها متمرکز می‌شود و یا بخش دیگری از داده‌ها را در نظر نمی‌گیرد. در شکل زیر بخشی از اطلاعات که در اضافه بار دامنه پاسخ کمتری داشته‌اند فیلتر شده تا دامنه ۰/۵ تا ۰ حذف شود و دامنه پاسخ نرمالایز شده است.

فیلتر انواع مختلفی به شرح زیر دارد:

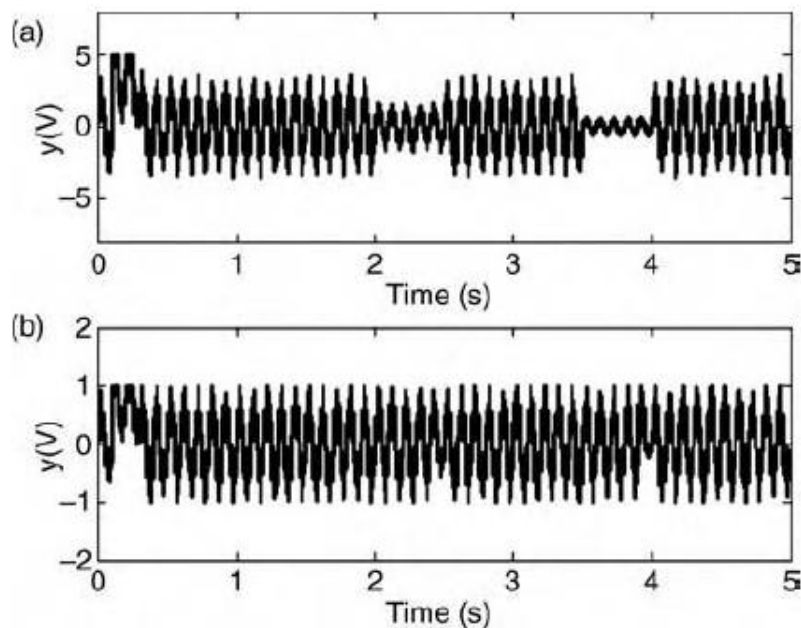
☞ فیلتر زمانی: مثلاً بلوک خاصی از داده‌های نامطلوب را حذف می‌کنند.

☞ فیلتر از نقطه نظر فرکانسی: توابع وزنی هستند که به دامنه و فاز داده‌های آنالوگ و دیجیتال اعمال می‌شوند و داده‌های با فرکانس خاص را مشخص می‌کنند.

☞ فیلتر سه بعدی (فضایی): تابعی که داده‌ها را از نظر اندازه‌های متفاوت براساس قواعدی که گروه خاصی از داده‌ها را مشخص می‌کند، وزن می‌دهد.

^۱ - Fusion

^۲ - Signal Processing



شکل ۲-ا: تاریخچه زمانی با اضافه بارگذاری و بخش‌های مختلفی از پاسخ سازه با دامنه کم (b) داده‌های فیلتر شده برای

نرمالایز کردن دامنه پاسخ [۳]

فیلتر و نرمالایز کردن داده‌ها قابلیت پردازش داده‌ها را بهبود می‌بخشد. با این کار داده‌هایی که به نحوی نامطلوب هستند با نظر متخصص و قضاوت مهندسی او حذف می‌شوند. به عنوان مثال در آنالیز داده‌ها برای پایش سلامت معمولاً داشتن دامنه ثابت برای داده‌های اندازه‌گیری در تشخیص آسیب و اهداف دیگر مناسب‌تر است. [۳]

۲-۱-۳-۲- شناسایی بارها

در روش‌های تعیین بارها^۱ برای تخمین بارهای خارجی و داخلی از داده‌های اندازه‌گیری شده استفاده می‌شود. برای نظارت بر سلامت سازه (SHM) نیروهای داخلی باید تخمین زده شوند، زیرا این نیروها منجر به آغاز و رشد آسیب می‌شوند. تعیین نیروهای خارجی نیز در پایش سلامت سازه مفید است زیرا اطلاعات درباره این بارها معمولاً کاربران را قادر خواهد ساخت تا تصمیم درستی راجع به عضو سازه‌ای بگیرند.

^۱ - Load Identification

مدل‌های متعدد فیزیکی و یا بر پایه داده‌ها برای تشخیص بارها استفاده می‌شود. اما کلی‌ترین روش تشخیص بارها ارتباط بارهای نامشخص به متغیرهای پاسخی است که قابل اندازه‌گیری است. در موارد نادری بارها بطور مستقیم قابل اندازه‌گیری هستند. معمولاً بارها بصورت غیرمستقیم و با استفاده از پاسخ اندازه‌گیری شده و بعضی از مدل‌ها تخمین زده می‌شوند.

تخمین خطاها: یکی از مسائل اساسی در شناسایی و تعیین بارها خطاهای مدل و اندازه‌گیری است که منجر به ایجاد خطا در تخمین بارها می‌شود. برای کاهش این خطاها اندازه‌گیری‌های تشخیصی با استفاده از داده‌ها و سنسورهای متعدد انجام می‌شود.

بهینه‌سازی الگوریتم‌های تعیین بارها: الگوریتم مورد استفاده برای تعیین بارها بستگی به نوع بار و اندازه‌گیری‌های موجود دارد. الگوریتم‌ها ترکیبی از عملیات ریاضی و قیودی بر پایه فرضیات درباره بارگذاری هستند. همانند تمام مسائل معکوس که متغیر نامشخص با استفاده از متغیرهای مشخص تعیین می‌شوند، الگوریتم‌های تخمین بارگذاری باید برای تامین نتایج دقیق و واحد بطور مناسبی بهینه‌سازی شده باشند. بهینه‌سازی الگوریتم تخمین بارها بستگی به طبیعت بار مورد نظر و روش اندازه‌گیری مورد استفاده برای تخمین آن دارد، (به عنوان مثال روش اندازه‌گیری‌های متعدد، در مورد تعیین تغییر مکان و شیب در یک تیر بارگذاری شده در چندین نقطه استفاده می‌شود). روش‌های دیگر برای دقت بیشتر اندازه‌گیری برای بهینه‌سازی مناسب تخمین بارها، تکرار و استفاده از دانش قبلی درباره بارگذاری و جزء مورد بررسی است.

۲-۱-۳-۳- استخراج ویژگی‌ها

پس از آنالیز داده‌های خام، پارامترهای مهمی که استخراج می‌شوند تحت عنوان ویژگی‌های^۱ سازه شناخته می‌شوند که می‌توان با استفاده از آنها درباره طبیعت بارگذاری و آسیب در عضو نتیجه‌گیری کرد.

دو روش اصلی استخراج ویژگی‌ها وجود دارد:

۱- روش‌های بر پایه مدل‌ها، که به نوعی از مدل‌ها برای تخمین پارامترها استفاده می‌کنند که سپس پردازش می‌شوند و از آنها به عنوان ویژگی‌های سازه استفاده می‌شود. بطور کلی ویژگی‌هایی که از این روش‌ها بدست می‌آید، اطلاعات

^۱ - Features

معنی دارتر فیزیکی درباره بارگذاری و آسیب را تامین می‌کنند. به هر حال این ویژگی‌ها در کاربردهایی که کاربر دانش قبلی از بارگذاری و آسیب داشته باشد مناسب‌تر هستند.

۲- روش‌های بر پایه سیگنال‌ها، ویژگی‌ها را بطور مستقیم از سیگنال‌ها بدون اعمال هیچگونه عملیات جبری بر داده‌ها استخراج می‌کند، این روش هنگامی که درک درستی از بارگذاری و آسیب قبل از انجام اندازه‌گیری‌ها در دسترس نباشد مفید است.

۲-۱-۳-۴- تشخیص و شناسایی آسیب

این بخش شامل سه مرحله به شرح زیر است:

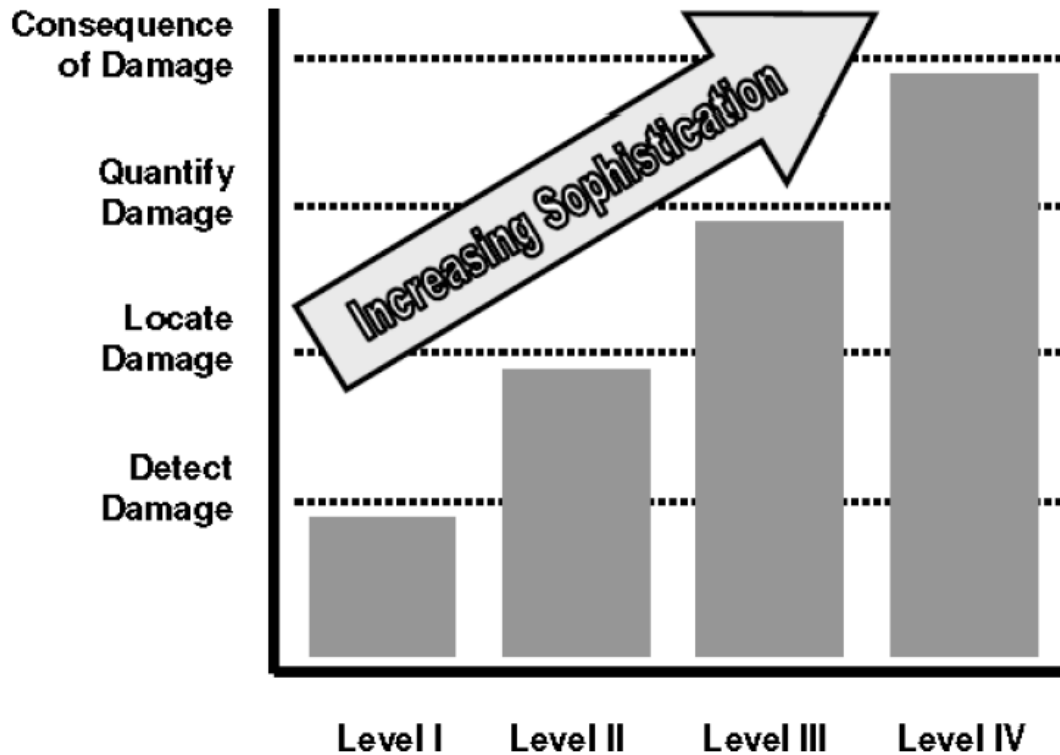
کشف و آشکارسازی آسیب (Damage Detection)

تعیین محل آسیب (Damage Localization)

تعیین میزان آسیب (Damage Quantification)

تعیین پی‌آمدهای آسیب (Damage Consequences)

بسته به اینکه سیستم پایش سلامت شامل کدامیک از مراحل فوق باشد، سطوح مختلفی را میتوان برای آن تعریف نمود. سطح ۱ که شامل تنها مرحله اول است، ساده‌ترین سطح و سطحی که شامل تمام مراحل فوق است، پیچیده‌ترین سطح پایش سلامت است. (شکل زیر)



شکل ۲-۱۰: سطوح مختلف پایش سلامت سازه (SHM)

۲-۱-۳-۴-۱- آشکار سازی آسیب

گاهی طبیعت آسیب به صورت موضعی، همانند ترک خوردگی، است که تشخیص خرابی را در محدوده‌ای از عضو با حسگرهای محدود مشکل می‌سازد. در موارد دیگری نیز آسیب به صورت سرتاسری است مانند اکسید شدن که مناطق وسیعتری از عضو را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بعضی از انواع آسیب باعث تغییرات خطی در پاسخ عضو می‌شود و فرم‌های دیگر منجر به تغییرات غیرخطی می‌شوند. هر دو این تغییرات باید برای تشخیص آسیب در نظر گرفته شوند.

در برخی کاربردهای تشخیص^۱ آسیب هنگامیکه عضو سازه‌ای خارج از چرخه بهره‌برداری باشد راحت تر است. مثالی از این حالت می‌تواند دیسک‌ها در مورد توربین‌های گازی باشد. در کاربردهای دیگری نیز امکان دارد آسیب از روی داده‌های اندازه‌گیری شده هنگام بارگذاری عضو قابل مشاهده تر باشد.

محدوده مشخص شده برای تشخیص رفتار جزء سالم یا ناسالم در الگوریتم تشخیص آسیب، حداقل میزان آسیب قابل تشخیص را تعیین می‌کند. در این محدوده‌ها هم محدودیت‌های فیزیکی برای تشخیص آسیب‌های کوچک و هم محدودیت‌های اندازه‌گیری به دلیل ارتعاشات که می‌تواند وجود آسیب را پوشش دهد، باید در نظر گرفته شود. این محدودیت‌ها با یکدیگر احتمال تشخیص آسیب را تعیین می‌کنند.

روش‌های تشخیص وجود آسیب در سازه‌ها را می‌توان در دو دسته کلی به شرح زیر قرار داد:

۱- روش‌های شناسایی سیستم‌های سازه ای^۲

۲- روش‌های تشخیص الگوها^۳

در هریک از دسته روش‌های فوق، الگوریتم‌ها و تکنیک‌های مختلفی با استفاده از پارامترهای گوناگون، برای شناسایی آسیب‌های مختلف قابل استفاده می‌باشند. در روش‌های شناسایی سیستم‌های سازه ای، برخی از مشخصات ذاتی سازه نظیر جرم و سختی و ... که مجهول هستند، با استفاده از داده‌های پاسخی اندازه‌گیری شده و توسط الگوریتم‌های آنالیز معکوس^۴، تعیین شده و بر اساس آن، سازه شناسایی می‌شود. با انجام فرآیند شناسایی سازه در طول زمان و بررسی تغییرات ایجاد شده می‌توان آسیب‌های ایجاد شده را تشخیص داد.

روش‌های تشخیص الگو اساساً مبتنی بر پردازش سیگنال و بررسی الگوهای موجود در سیگنال‌ها و مقایسه الگوهای شرایط سالم و آسیب دیده، می‌باشند. الگوریتم‌های تشخیص شروع آسیب با استفاده از اطلاعات قبلی درباره نحوه پاسخی که عضو سالم به محرک‌های فعال و یا عملی می‌دهد، تنظیم می‌شوند. در برخی روش‌های تشخیص آسیب، اساس اندازه‌گیری‌ها بر پایه انبوهی از داده‌های بدست آمده از اعضای سالم مشابه با عضو مورد بررسی که برای تنظیم الگوریتم تشخیص آسیب استفاده

¹ - Detection

² - Structural System Identification

³ -Pattern Recognition

⁴ - Inverse Analysis

شده است، می‌باشد. به این روش‌ها، روش‌های ناظر^۱ می‌گویند زیرا همواره مقایسه پیوسته‌ای بین داده‌های جدید حاصله و داده‌های بدست آمده از یک و یا چندین عضو سالم انجام می‌شود. به عنوان مثال برخی تکنیک‌های آماری از تغییرات متغیرهای آماری در پاسخ‌های تاریخیچه زمانی اندازه‌گیری شده قبل و بعد از آسیب برای تشخیص وجود آسیب استفاده می‌کنند. همچنین در برخی موارد از روش‌های ناظر برای تشخیص آسیب از مشاهدات تغییرات در پارامترهای مدل زمانی گسسته^۲ و بازیابی پیش‌بینی نیروها استفاده می‌شود. روش‌های ناظر نیازمند اندازه‌گیری داده‌ها در عضو قبل از آسیب دیدن آن هستند. با این حال اگر عضو قبل از نصب سخت افزار اندازه‌گیری سیستم SHM آسیب دیده باشد، آنگاه الگوریتم‌های نظارت بر سلامت تنها می‌توانند پیشرفت آسیب موجود را تشخیص دهند.

در روش‌های دیگر تشخیص آسیب، رفتار عضو سالم با استفاده از فرضیات فیزیکی درباره اینکه پاسخ یک عضو سالم چگونه باید باشد، تنظیم می‌شود. این روش‌ها به نام روش‌های غیر ناظر^۳ شناخته می‌شوند، زیرا از فرضیات اولیه درباره سالم بودن و یا ناسالم بودن عضو استفاده می‌کنند. این روش‌ها مخصوصاً در مواردی مفید و مناسب هستند که پایش یا مانیتورینگ سلامت سازه بر روی اعضای انجام می‌شود که قبلاً نصب شده و مدتی از زمان عملکرد آنها می‌گذرد و حداقل آسیب‌هایی در آنها رخ داده است. آسیب‌ها با استفاده از روش‌های غیر ناظر در صورت فقدان داده‌های سالم که بتوان داده‌های جدید را با آنها مقایسه کرد، قابل تشخیص هستند. به عنوان مثال اگر فرض شود که یک عضو در حالت سالم و قبل از بدست آمدن هر گونه اطلاعات اندازه‌گیری شده باید رفتار خطی داشته باشد و نتایج داده‌های اندازه‌گیری پاسخ‌های هارمونیک غیر خطی را نشان دهند، نشانه‌ای از وجود آسیب در عضو است.

امروزه روش‌های تشخیص آسیب در سازه‌ها به دو دسته روش‌های استاتیکی و روش‌های دینامیکی تقسیم می‌گردد. در روش‌های استاتیکی با تکیه بر اندازه‌گیری کرنش و جابجایی سازه تحت اثر بارهای استاتیکی مشخص و استفاده از مدل المان محدود به روز شده، اقدام به تعیین تغییرات در تغییر شکل‌ها، سختی و ظرفیت مقطع حمل بار سازه‌ها می‌نمایند. این گونه روش‌ها به صورت گسترده‌ای برای نظارت و ارزیابی سلامت پل‌ها استفاده می‌شود. از معایب روش‌های غیر مخرب استاتیکی می‌توان به مواردی چون: نیاز به حجم انبوه از داده‌های اندازه‌گیری شده، نیاز به مدل المان محدود به روز شده با مشخصات

¹ - Supervised

² - Discrete Time Model

³ - Unsupervised

دقیق مصالح، نیاز به تست بار استاتیکی که موجب ایجاد توقف در سرویس دهی سازه می‌شود، اشاره کرد. از این رو امروزه روش‌های دینامیکی مورد توجه قرار دارند.

روش‌های دینامیکی مبتنی بر بررسی تغییرات مشخصات ارتعاشی (دینامیکی) سیستم سازه هستند. اساس تئوری این روش، در این حقیقت نهفته است که خرابی و آسیب موجب تغییرات در مشخصات دینامیکی سازه می‌شوند. این روش‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند:

➤ روش‌های بر پایه سیگنال: با به کارگیری رویکردهای مناسب پردازش سیگنال اقدام به شناسایی خرابی می‌کنند.

➤ روش‌های بر پایه مودال: این روش‌ها بر اساس مشخصه‌های مودال از جمله فرکانس‌های سازه، نسبت میرایی و شکل‌های مدی می‌باشند. از آنجا که مشخصه‌های مودال نسبت به تغییرات در سازه حساس می‌باشند، دارای قابلیت آشکارسازی خیلی ساده برای به کارگیری هستند.

۲-۱-۳-۴-۲ مکان‌یابی آسیب

برای مکان‌یابی^۱ آسیب باید آنالیز چند بعدی (فضایی) انجام شود. روش‌های متفاوتی از جمله: انتشار موج با استفاده از طیف نگاره^۲، انحنای شکل مودها و ... برای مکان‌یابی آسیب وجود دارد که تمام این تکنیک‌ها از داده‌های بیش از یک مکان فضایی برای مکان‌یابی استفاده می‌کنند. از نقطه نظر سیستمی مکان‌یابی آسیب تشخیص این است که آسیب در چه عضوی رخ داده و از نقطه نظر عضو تشخیص این که آسیب در چه نقطه‌ای از عضو رخ داده است.

مکان‌یابی آسیب در مواردی که پیش‌بینی رشد آسیب مد نظر است بسیار مهم است. مکان آسیب موجود بخش اعظمی از نیروهای خارجی و داخلی که اندازه و گسترش آسیب را افزایش می‌دهند، تعیین می‌کند. مثلاً برای تشخیص اینکه ترک خوردگی در تیر چقدر سریع پیشرفت می‌کند مکان آن باید مشخص شود.

۲-۱-۳-۴-۳ تعیین میزان آسیب

^۱ - Localization

^۲ - Spectrogram

منظور از تعیین میزان^۱ آسیب تخمین پارامتر معنادار فیزیکی است که سطح آسیب را مشخص کند. برای تعیین میزان آسیب، همواره باید ابتدا نوع آسیب طبقه‌بندی شود تا سطح آسیب با استفاده از مدل‌سازی ارزیابی شود. چون اغلب طبیعت آسیب غیرخطی است. وجود تغییرات غیرخطی در تعیین میزان آسیب می‌تواند مفید باشد. با ارزیابی تغییرات به صورت پاسخ غیرخطی می‌توان سطح خرابی را اندازه گرفت.

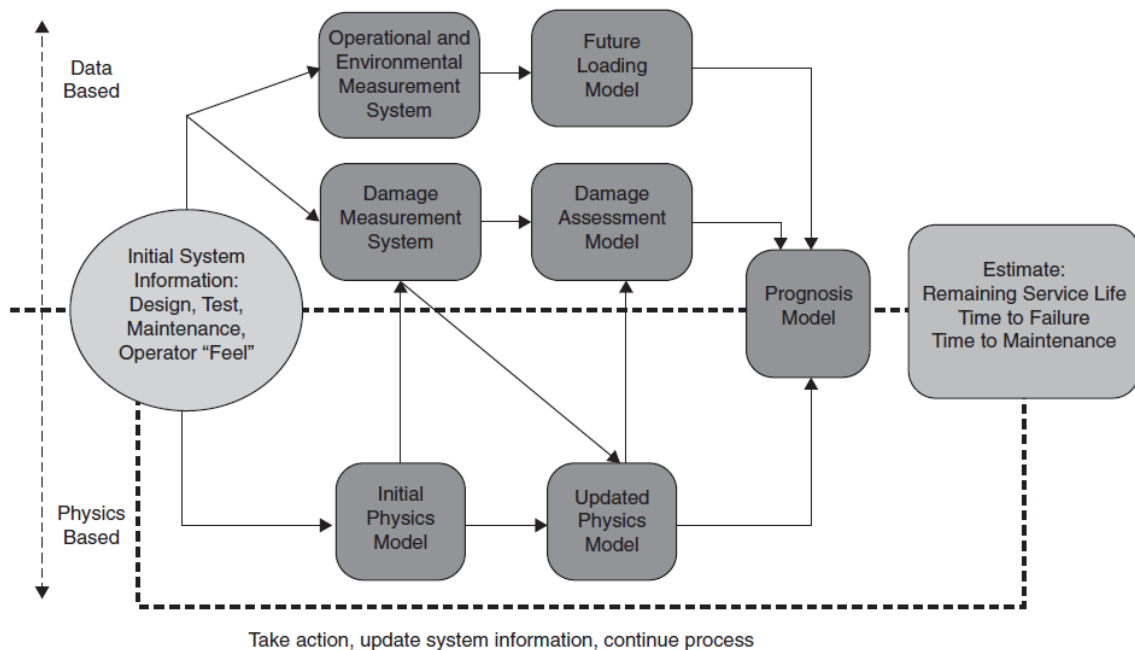
۲-۱-۳-۵- پیش‌بینی آسیب

بطور کلی پیش‌بینی آسیب^۲ با هدف تخمین عمر مفید باقیمانده تجهیزات و سازه‌ها انجام می‌شود. روند تخمین عمر باقیمانده سیستم‌های سازه‌ای با استفاده از دانش پیش‌بینی آسیب شامل فعالیت‌هایی نظیر تعریف کمی خرابی سیستم، ارزیابی وضعیت آسیب‌های فعلی سیستم و تخمین روند رشد آسیب‌ها با استفاده از مدل‌های ریاضی مناسب و مبتنی بر تخمین بارگذاری و شرایط محیطی آینده سیستم می‌باشد. پیش‌بینی آسیب در سازه‌ها نیازمند اطلاعات ورودی گسترده‌ای از قبیل وضعیت عملکرد و بارهای محیطی در گذشته، حال و تخمین آینده، آسیب‌های موجود (توسط سیستم پایش سلامت)، فرضیات اولیه طراحی، تست‌ها و فرایند تعمیر و نگهداری انجام شده، می‌باشد. فرآیند پیش‌بینی آسیب در سازه‌ها اساساً دارای طبیعت آماری می‌باشد. فرآیند پیش‌بینی آسیب در سازه‌ها علاوه بر تخمین عمر مفید باقیمانده، در پیش‌بینی عملکرد سازه تحت بارها و شرایط فوق‌العاده (مانند زلزله) نیز قابل استفاده می‌باشد. [۸]

فرآیند کلی پیش‌بینی آسیب در شکل زیر نشان داده شده است.

^۱ - Quantification

^۲ - Damage Prognosis (Prediction)



شکل ۲-۱۱: فرآیند کلی پیش‌بینی آسیب در سازه‌ها [۸]

هر نوع اطلاعات بارگذاری و آسیب برای پایش سلامت سازه مفید است. این نوع اطلاعات به عنوان راهنمای بازرسی، نگهداری، محاسبه‌ای، کاربردی و بهره‌برداری مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما به منظور پیش‌بینی عملکرد آینده سازه، اطلاعات بارگذاری و آسیب با استفاده از اطلاعات دیگری که وابسته به عملکرد جزء هستند باید ترکیب شوند. مدل‌های بازگشتی عموماً برای ایجاد این روابط که برای پیش‌بینی استفاده می‌شود، بکار می‌روند.

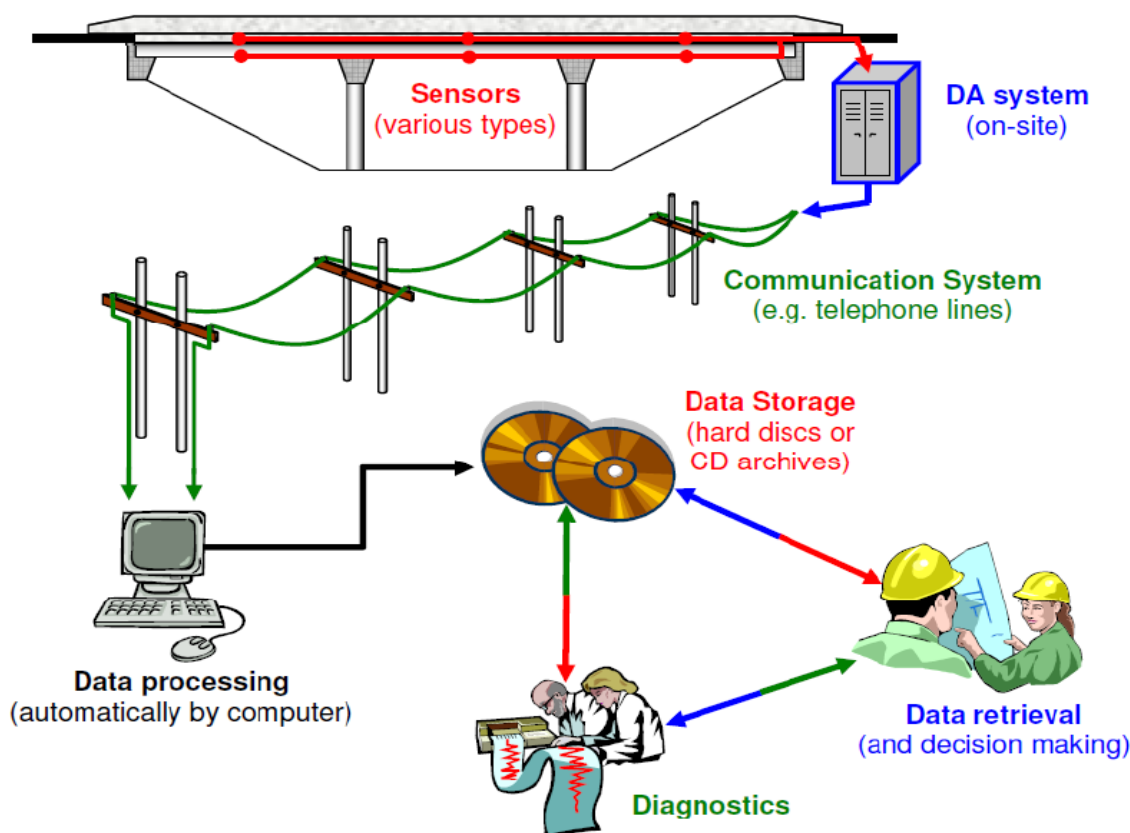
مدل‌های رگرسیون (بازگشتی) برای پایش سلامت سازه (SHM) از مدل‌های پارامتریک برای ارتباط دادن یک و یا چند متغیر که به عملکرد جزءها تاثیر دارند، استفاده می‌کنند. معمولاً از دو نوع مدل‌های بازگشتی استفاده می‌شود. یک نوع از این مدل‌ها رشد آسیب با چند پارامتر را توضیح می‌دهد که برای پیش‌بینی سطح آسیب در آینده مفید هستند. نوع دوم مدل‌های بازگشتی توضیح می‌دهند که چگونه عملکرد یک جزء وابسته به یک و یا چند پارامتر است که برای پیش‌بینی اینکه آیا عضو در آینده عملکردی در سطح قابل قبولی خواهد داشت یا خیر و همچنین تخمین عمر مفید باقیمانده سیستم مفید است.

مدل‌های بازگشتی می‌توانند با استفاده از روش‌های بر پایه اصول فیزیکی و یا برپایه داده‌ها تعریف شوند. بطور کلی روش‌های بر پایه اصول فیزیکی هنگامیکه اطلاعات زیادی درباره مکانیزم خرابی خاصی و یا بارگذاری خاص مد نظر است

استفاده می‌شوند. مدل‌های فیزیکی برای گسترش مدل‌های بازگشتی براساس مفاهیم فیزیکی استفاده می‌شوند. برعکس روش‌های بر پایه داده‌ها منحصراً بر پایه استفاده از داده‌های آزمایشگاهی است که داده‌های مرتبط با آسیب یا بارگذاری را به داده‌های عملکردی مرتبط می‌سازند، این مدل‌ها در مواردی که طبیعت آسیب و یا معیار عملکرد نامشخص است استفاده می‌شوند.

۲-۲- تجهیزات سخت‌افزاری مورد استفاده در پایش سلامت سازه‌ها

سیستم پایش سلامت سازه‌ها (SHM) شامل مجموعه‌ای از سنسورها، در صورت امکان مواد هوشمند، تجهیزات ارسال داده‌ها، تجهیزات محاسباتی و پردازش داخلی سازه‌ها است. شکل زیر اجزای اصلی یک سیستم پایش سلامت سازه (در اینجا پل) را نشان می‌دهد: [۱۵]



شکل ۲-۱۲: اجزای اصلی سیستم پایش سلامت سازه

سیستم‌های تجاری SHM موجود شامل بخش‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری است. بخش‌های سخت‌افزاری شامل سنسورها، کابل‌ها، واحدهای گیرنده داده‌ها (DAUs)، کامپیوترهای سرور و سایر تجهیزات حفاظتی و انتقال نیرو سیستم است. بخش نرم‌افزاری شامل سیستم‌های تبدیل داده‌های آنالوگ به دیجیتال، نرم‌افزارهای نظارت بر کنترل و سیستم گیرنده داده‌ها (SCADA)، پیش پردازش و پردازش اتوماتیک داده‌ها مانند تراکم، تبدیل و نگهداری مجموعه داده‌های دریافت شده، که با استفاده از الگوریتم‌های خاص پردازش و آنالیز طراحی شده‌اند، نرم‌افزار بایگانی، تهیه نسخه پشتیبان بصورت دوره‌ای، ذخیره مداوم داده‌ها، نرم‌افزارهای هماهنگ‌سازی آنلاین داده‌ها همچنین انتقال داده‌ها از طریق شبکه برای سیستم‌های بیسیم می‌باشد.

در جدول زیر اجزای اصلی سخت‌افزاری تشکیل دهنده یک سیستم SHM و نقش هر یک از آنها به اختصار توضیح داده شده است.

جدول ۲-۵: اجزاء اصلی سخت‌افزاری سیستم SHM و نقش آنها

نقش جزء در سیستم	اجزاء اصلی سیستم SHM	
<ul style="list-style-type: none"> - شامل سنسورهای دائمی نصب شده و گاهی مجموعه‌ای از سنسورهای پرتابل است. - سنسور نوعی میدل است که مشخصات فیزیکی را به سیگنال‌های الکتریکی یا نوری مربوطه تبدیل می‌کند. این سیگنال به سیگنال دیجیتالی تبدیل می‌شود که بعداً پردازش می‌شود. 	شبکه سنسورها	سیستم حسگر
<ul style="list-style-type: none"> - سنسورها سیگنال‌های الکتریکی یا نوری را که به مقادیر عددی دیجیتالی تبدیل شده‌اند و قابل پردازش بوسیله کامپیوتر هستند، می‌فرستند. 	سنسورها	سیستم گیرنده داده‌ها (DAS ^۱)
<ul style="list-style-type: none"> - واحدهای گیرنده داده‌ها DAUs سرورهای محلی هستند که در مکان‌های مشخصی روی سازه قرار گرفته‌اند که سنسورها می‌توانند به آنها متصل شوند. داده‌های بدست آمده از شبکه سنسورها به واحدهای گیرنده داده‌ها منتقل می‌شود. - هر DAU می‌تواند به ابزار همگام سازی زمانی^۳ مجهز شود همچنین می‌تواند در صورت نیاز چند وسیله پردازش و نگهداری داده‌ها داشته باشد. - این واحدها باید در مکانی ایمن و مطمئن نگهداری شوند. 	واحدهای گیرنده داده‌ها (DAUs ^۲)	
<ul style="list-style-type: none"> - دستگاه رایج شناسایی داده‌ها وسیله‌ای الکتریکی است که داده‌ها را ضبط می‌کند: سیگنال دریافتی از سنسور پردازش شده و به واحدهای مهندسی تبدیل می‌شود که بر روی نمایشگر برای نمایش اندازه‌گیری‌ها قابل رویت است. - برخی دستگاه‌های شناسایی واسط داخلی دارند و به طور جداگانه قابل استفاده هستند در حالیکه برخی دیگر به کامپیوتر خارجی و استفاده از نرم افزار برای فعال کردن دستگاه شناسایی و همینطور نمایش، نگهداری و آنالیز داده‌های جمع آوری شده نیاز دارند. 	دستگاه شناسایی ^۴	

^۱ - Data Acquisition System

^۲ - Data Acquisition Units

^۳ - Time synchronisation device

^۴ - Interrogator

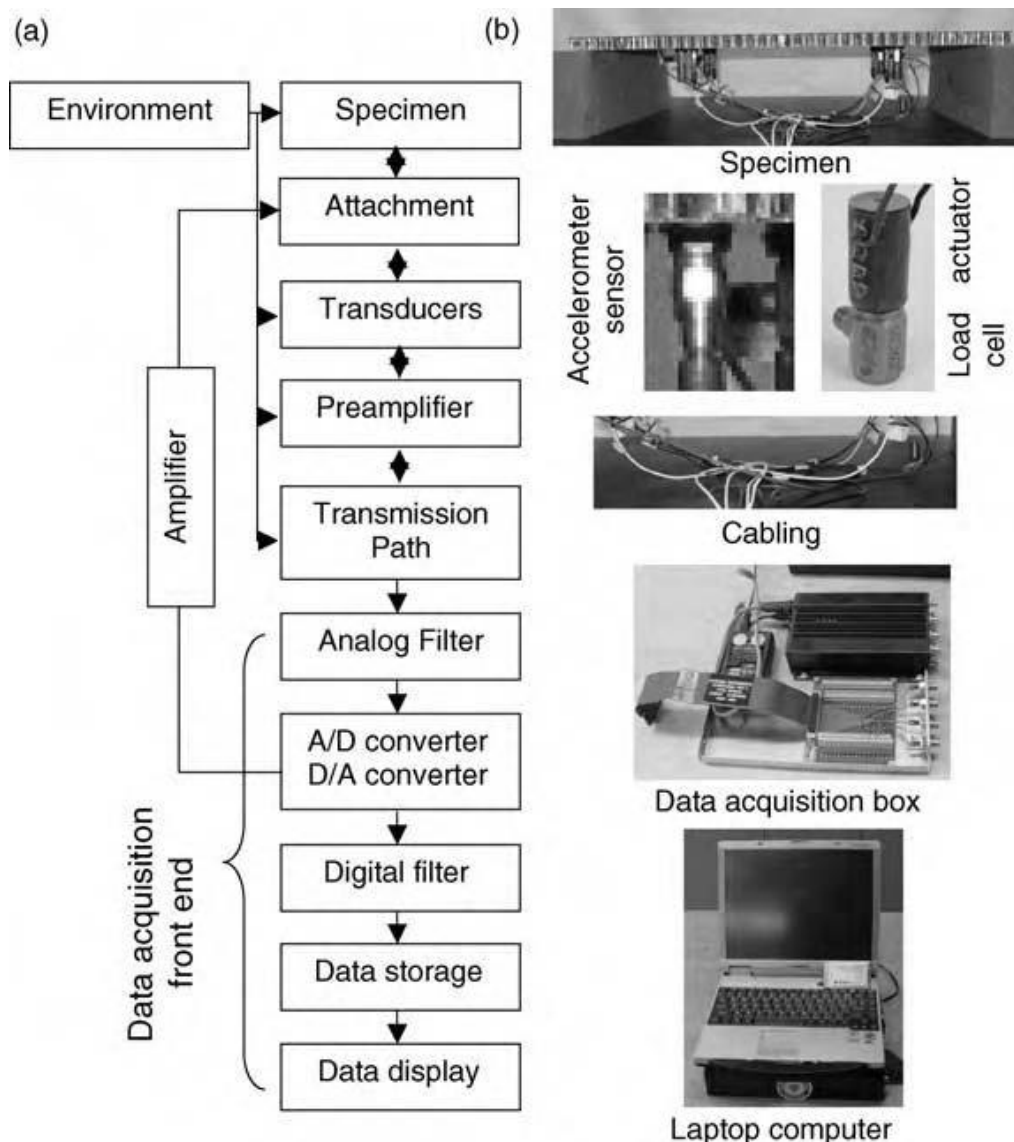
نقش جزء در سیستم	اجزاء اصلی سیستم SHM
- سنسورها می‌توانند از طریق DAUs و یا مستقیماً به دستگاه شناسایی متصل شوند.	کامپیوتر اصلی / سرور
- این کامپیوتر وظیفه پردازش داده‌ها را بر عهده دارد.	
- سیستم‌های SHM کوچک فاقد اتاق کنترل هستند و از طریق اتصال با پهنای باد وسیع از دفتر اصلی فعال می‌شوند. - سیستم‌های SHM بزرگتر اتاق کنترل دارند که نظارت بر کنترل و سیستم گیرنده داده‌ها (SCADA ^۱) معمولاً در آن قرار می‌گیرد. سیستم SCADA معمولاً شامل تمام سیستم‌های عملیاتی است. - اتاق کنترل می‌تواند روی سازه و یا در مکانی با فاصله از سازه اصلی قرار گیرند. - نمایشگر اصلی اتاق کنترل باید قابلیت انتقال سریع و آسان داده‌ها بین توابع را دارا باشد.	اتاق کنترل
- کابل‌های مناسب انتقال و اتصال از سنسورها به دستگاه شناسایی هنگام استفاده از فیبرهای نوری بسیار اهمیت دارد. - انتخاب کابل‌ها بسیار چالش برانگیز و نیازمند تفکر است زیرا استفاده از کابل‌های نامناسب می‌تواند عملکرد کل سیستم را به خطر اندازد.	سیم کشی
نظیر نگهدارنده‌های سنسورها، انتقال نیرو حین ساخت و بهره برداری، حفاظت فیزیکی از سنسورها و واحدهای گیرنده داده‌ها، منابع انرژی برای تجهیزات (Power Supply)	مسائل دیگر

بسته به هدف و روش پایش سلامت و پارامترهای مورد نظر برای اندازه‌گیری که در مرحله طراحی مشخص شده‌اند،

تجهیزات مختلفی را می‌توان برای انجام فرآیند پایش سلامت در نظر گرفت. شکل زیر یک نمونه از تجهیزات سخت‌افزاری

برای پایش سلامت را در یک مدل سازه آزمایشگاهی نشان می‌دهد.

^۱ - Supervisory Control and Data Acquisition

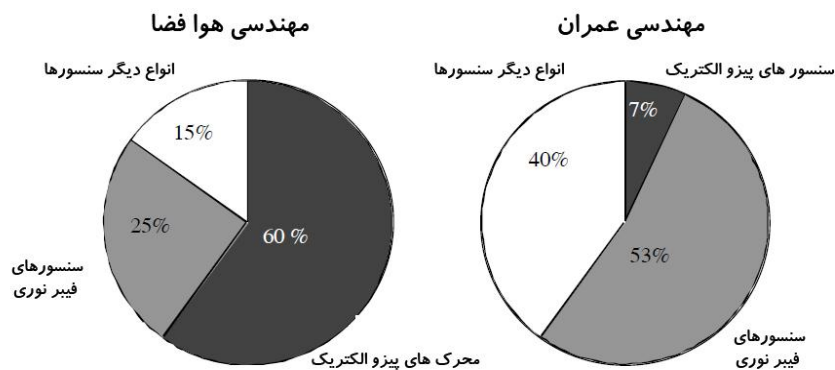


شکل ۲-۱۳: تجهیزات مورد استفاده در نمونه ای ساده از یک سیستم پایش سلامت سازه

سیستم‌های نرم‌افزاری متعددی توسط کمپانی‌هایی که به طور تخصصی در حوزه SHM فعالیت می‌کنند معرفی شده است. بسیاری از این سیستم‌ها به صورت مداوم به روز شده‌اند و با پیشرفت تکنولوژی در حوزه سنسورها و الگوریتم‌ها و نرم‌افزارهای پردازش داده‌ها هماهنگ شده‌اند. امروزه فعالیت‌های تحقیقاتی - دانشگاهی و صنعتی - تجاری بر روی سیستم‌های نرم‌افزاری و همچنین سخت‌افزاری SHM به موازات یکدیگر پیش می‌روند. حتی برخی کمپانی‌ها خدمات کل سیستم SHM شامل طراحی، نصب و اجرا را به صورت مجموعه سیستم SHM ارائه می‌کنند.

۲-۲-۱- انواع سنسورهای مورد استفاده در پایش سلامت سازه‌ها

نوع سنسورهای استفاده شده برای SHM ارتباط تنگاتنگی با نوع سازه مورد بررسی دارد. در شکل زیر انواع اصلی سنسورهای مورد استفاده در دو حوزه کاربردی عمران و هوانوردی را مشاهده می‌کنید.



شکل ۲-۱۴: انواع اصلی سنسورهای مورد استفاده برای SHM با توجه به نوع کاربرد: مقایسه بین مهندسی عمران و هوا فضا.

براساس آمار و اطلاعات اولین و دومین کار گروه SHM در 1997-1999 در دانشگاه استنفورد [BA 10/a]

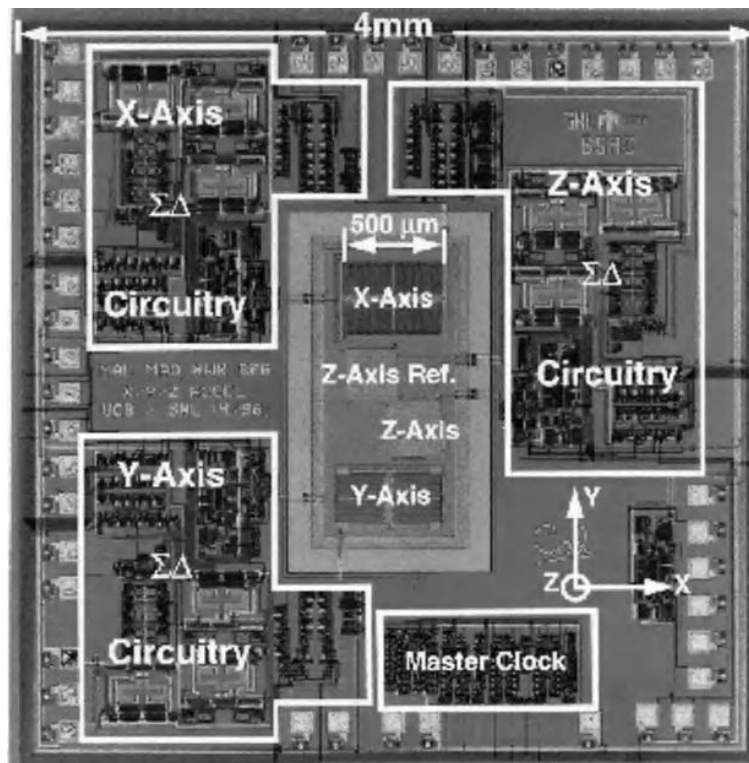
همانطور که در شکل فوق (سمت راست) مشخص است، در ۵۳ درصد از سازه‌های عمرانی دارای سیستم پایش سلامت، از سنسورهای فیبرنوری و در حدود ۷ درصد از سنسورهای پیزوالکتریک و در ۴۰ درصد نیز، از سایر انواع سنسورها استفاده شده است. علاوه بر تنوع سنسورها حتی در دسته‌های مشخص شده، روش‌های بازرسی و نظارت متعدد و متنوعی وجود دارد همچنین برای هر سنسور نیز روش‌های متعددی وجود دارد که براساس نوع استفاده از سنسور و یا نوع تشخیص ویژگی‌های آسیب متفاوت هستند. بنابراین با توجه مطالب ذکر شده تقسیم‌بندی روش‌های SHM کار آسانی نیست. روش‌های SHM را می‌توان با توجه به کاربرد، نوع مصالح و سازه‌ها و انواع اصلی سنسورهای مورد استفاده در آنها تقسیم بندی کرد که در این میان تقسیم بندی بر اساس نوع سنسورهای به کار رفته در سیستم در بیشتر مراجع ترجیح داده شده است. پیشرفت سنسورها و تکنولوژی‌های پردازش داده‌ها فواید و مزایای بازرسی آنلاین را به کلاس جدیدی از سازه‌ها مانند پل‌ها، ساختمان‌ها و بناهای تاریخی گسترش داده است. با استفاده از پیشرفت‌های تکنولوژی اطلاعات (IT) و ارتباطات امروزه امکان تجهیز پل‌های

کوچک بطور مقرون به صرفه و انتقال داده‌ها به پایگاه مرکزی در هر نقطه از جهان وجود دارد. در جدول ۲-۶ نمونه‌هایی از انواع مختلف سنسورها و پارامتر اندازه‌گیری و کاربردهای آنها ارائه شده است.

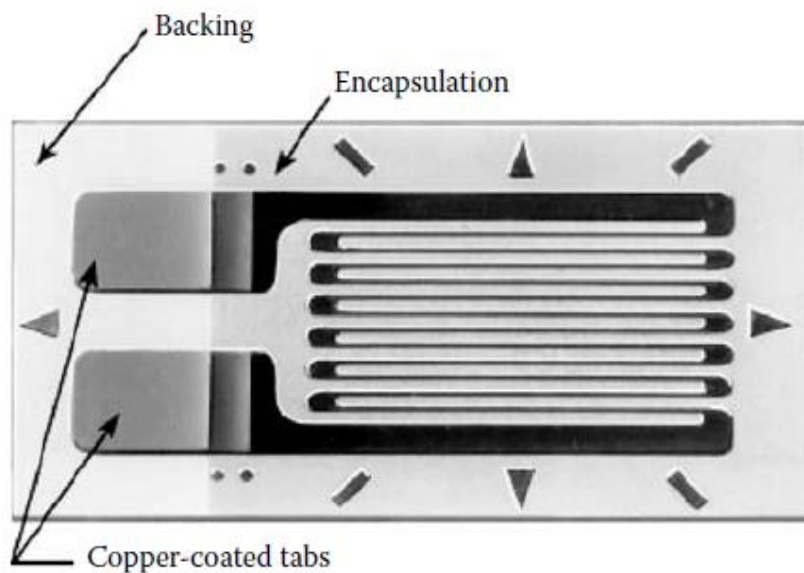
در دو دهه اخیر، سنسورهای فیبرنوری از تحقیقات آزمایشگاهی به کاربردهای واقعی در صنعت راه پیدا کرده‌اند. صدها پروژه اطمینان و دوام این تکنولوژی را در بیشتر کاربردهای حساس با موفقیت به اثبات رسانده‌اند. سنسورهای فیبرنوری دیگر با تکنولوژی‌های خیلی بالا تولید نمی‌شوند اما امروزه در اکثر کاتالوگ‌های تولیدکنندگان سیستم‌های تجهیزات متداول وجود دارد. علاوه بر مزایای جایگزینی سنسورهای متداول با معادل فیبرنوری آنها مشخص است که انواع جدید سنسورهای فیبرنوری برای فعالیت‌های جدید بازرسی و نظارت قابل استفاده هستند. به ویژه اثبات شده است که سنسورهای فیبرنوری در اندازه‌های بلند و توزیع شده برای نظارت بر سازه‌های عمرانی، ژئوتکنیکال و سازه‌های گازی و نفتی ایده‌آل هستند. این نوع سنسورها نظارت و بازرسی کلی سازه‌های بزرگ را با تعداد سنسورها و اتصالات کمتری تامین می‌کنند و نیز امکانات جدیدی را فراهم می‌کند اما نیازمند دیدگاه تازه طراحی و اجرای سیستم نظارت و پردازش و تحلیل داده‌های بدست آمده، هستند. در اشکال زیر نمونه‌های از انواع سنسورهای مورد استفاده در پایش سلامت سازه‌ها نشان داده شده‌اند.



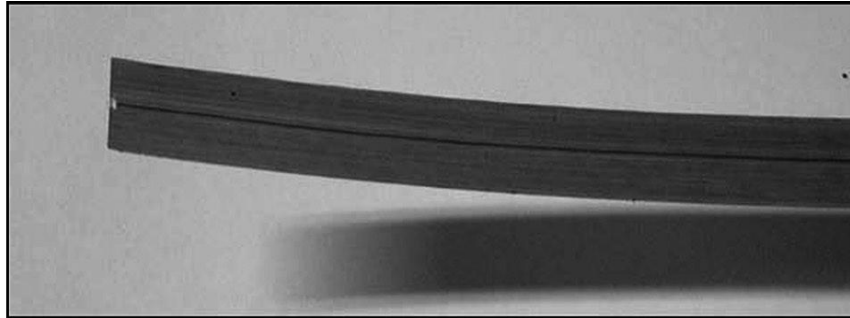
شکل ۲-۱۵: نمونه یک شتاب سنج دوماحوری ADXL



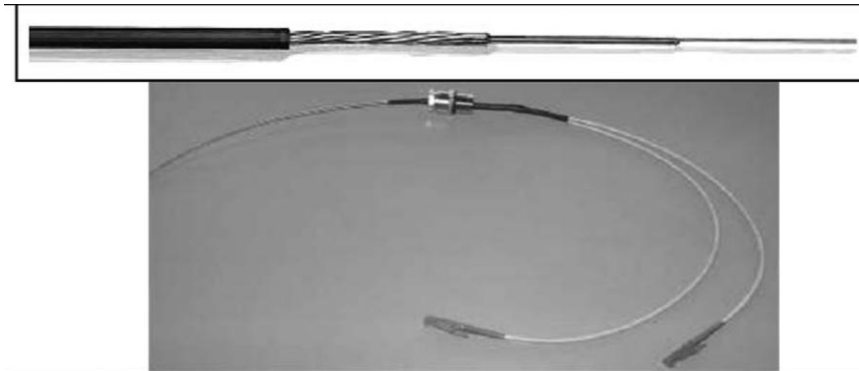
شکل ۲-۱۶: نمونه یک شتاب سنج سه محوری MEMS



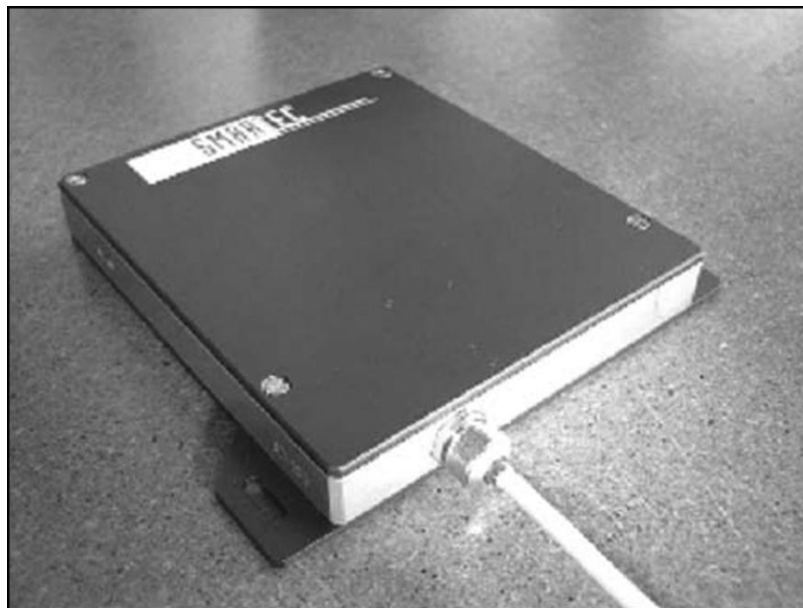
شکل ۲-۱۷: نمونه یک کرنش سنج مقاومتی



شکل ۲-۱۸: نمونه یک کرنش سنج فیبرنوری



شکل ۲-۱۹: نمونه یک دما سنج فیبرنوری



شکل ۲-۲۰: نمونه یک سنسور دوران

پیش‌بینی می‌شود که در آینده نزدیک تکنولوژی استفاده از سنسورهای فیبرنوری تکنولوژی اصلی برای سیستم‌های SHM شود. در سایه پیشرفت‌های صنعت ارتباطات که از اجزاء جایگزین استفاده می‌کنند، قیمت این سیستم‌ها رو به کاهش است.

جدول ۲-۶: انواع رایج سنسورها، نوع و کاربردهای آنها

پارامتر اندازه‌گیری	نوع سنسور	کاربردهای عملی
سنسورهای تغییر مکان	القای، خازنی، ژيروسکوپ، مغناطیسی، نوری، التراسونیک (فراصوت)، امواج صوتی	تشخیص ترک، اندازه‌گیری میزان خوردگی، اندازه‌گیری فواصل و درزها، هم‌ترازی، سلامت جوش، میزان تغییرشکلها و جابجایی‌ها، بررسی پوسیدگی و سایش.
سنسورهای شتاب سنج	خازنی، MEMS، پیزوالکتریک، پیزو مقاومتی	اندازه‌گیری پاسخ لرزه‌ای و شتاب، نظارت بر ارتعاشات، اندازه‌گیری ضربه و برخورد.
سنسورهای کرنش سنج	پیزو مقاومتی، نوری	اندازه‌گیری کرنش و تغییر شکل‌های خمشی، برشی و پیچشی.
سنسورهای اندازه‌گیری نیرو	پیزو مقاومتی، نوری	اندازه‌گیری نیروهای ضربه، نظارت بر بارهای ترافیکی.
سنسورهای حرارتی	صوتی، نوری، ترمو مقاومتی، ترمو الکتریکی	اندازه‌گیری دما، دمای احتراق، دمای خنک‌کننده‌ها، نظارت بر عملیات حرارتی و نظارت بر دمای توربین‌ها.
سنسورهای اندازه‌گیری فشار	پیزو مقاومتی	اندازه‌گیری فشار محفظه احتراق، اندازه‌گیری فشار موتورها.

۲-۳- نگاهت (درخت) فناوری پایش سلامت در سازه‌ها

بر اساس مطالعات انجام شده که در بخش قبل ارائه شدند، حوزه‌های فناورانه پایش سلامت سازه‌ها را می‌توان به هر دو صورت اجزاء (زیرسیستم‌ها) و کاربردها ارائه داد. همچنین حوزه‌های دانشی مرتبط با این فناوری نیز در این بخش مورد نظر قرار می‌گیرند. رویکردهای مختلفی برای شناسایی حوزه‌های فناورانه وجود دارد که از میان آنها، رویکرد تهیه نگاهت (درخت) فناوری برای برنامه ریزی فناوری در سطح ملی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نگاهت فناوری شامل تعدادی گره و خطوط ارتباطی می‌باشد که هر گره بیانگر یک موضوع، مفهوم، زیرفناوری، کاربرد یا هر نوع اطلاعات دیگر بوده و خطوط ارتباطی بین گره‌ها، نحوه ارتباط آنها با یکدیگر را نشان می‌دهند. یکی از مهمترین کاربردهای نگاهت فناوری، امکان شناسایی و تحلیل و تصمیم‌گیری بر روی فناوری مرتبط با فعالیت‌ها یا فرآیندهای سازمان و همچنین کنترل و ردیابی اثرات فناورانه آنها بر محصولات و خدمات آن می‌باشد. از روش نگاهت فناوری می‌توان در هر دو حالت زیرفناوری و کاربردها استفاده نمود. [۱]

برای فناوری مورد نظر در این سند نیز از این رویکرد استفاده شده و حوزه‌های فناورانه مرتبط با آن شناسایی شده و در قالب

نگاشت یا درخت فناوری در ادامه ارائه شده‌اند. جهت تهیه نگاشت فناوری پایش سلامت، حوزه‌های مرتبط با این سند بصورت زیر دسته بندی شده و هریک بصورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته اند:

۱- سازه‌های صنعت برق: انواع سازه‌های موجود در بخش‌های مختلف صنعت برق دسته بندی شده و بصورت نگاشت ترسیم شده است.

۲- فرآیند پایش سلامت سازه‌ها: این بخش با تأکید بر جنبه‌های دانش فنی و بصورت زنجیره مورد نظر قرار گرفته است.

۳- تجهیزات مورد استفاده: انواع تجهیزات مورد نیاز پایش سلامت دسته بندی شده و بصورت نگاشت ترسیم شده است.

در شکل زیر حوزه‌های فنی موجود در فرآیند پایش سلامت سازه‌ها ارائه شده است.



شکل ۲-۲۱: فلوجارت حوزه‌های فنی در فرآیند اجرایی پایش سلامت سازه‌ها

برای شناسایی حوزه‌ها و ترسیم نگاشت فناوری پایش سلامت سازه‌ها از روش نگاشت مفهومی استفاده شده است. این روش به ترسیم موضوعات و مفاهیم مرتبط با فناوری مورد نظر از منظرهای مورد علاقه می‌پردازد. در مورد فناوری پایش سلامت، نگاشت یا درخت فناوری از دو منظر کلی شامل "اجزاء فرآیند اجرایی" و "تجهیزات (سخت افزارها) مورد نیاز" آن مورد مطالعه قرار گرفته و ترسیم شده است. اجزاء فرآیند اجرایی پایش سلامت سازه به صورت یک زنجیره شامل سه حوزه کلی طراحی^۱، گردآوری و اکتساب داده‌ها^۲ و آنالیز و تفسیر داده‌ها^۳ تقسیم شده است. خروجی حاصل از سه روند فوق، تشخیص^۴ و یا پیش‌بینی^۵ آسیب در سازه است که در نهایت، از این خروجی برای تصمیم‌سازی^۶ جهت برنامه ریزی و مدیریت نگهداری و تعمیرات با هدف کاهش اثرات و پی‌آمدهای مختلف آسیب‌ها استفاده خواهد شد. در بخش تجهیزات سخت‌افزاری و ابزارها، دانش فنی مورد نیاز برای انتخاب، نصب و نحوه بکارگیری آن (و نه تکنولوژی مورد نیاز برای ساخت) مورد نظر می‌باشد.

همانطور که در بخش مرزبندی فنی عنوان گردید، سازه‌های مختلف موجود در بخشهای سه گانه صنعت برق (تولید، انتقال و توزیع) که فهرست آنها در آن بخش آمده، در این سند مورد نظر می‌باشند. در واقع نگاشت فناوری پایش سلامت بصورت یک ماتریس دو بعدی می‌باشد که یک بعد آن حوزه تجهیزات و دانشهای فنی مورد نیاز در فرآیند اجرا و بعد دیگر آن، انواع سازه‌های موجود در صنعت برق که فهرست کلی آنها در بخش مرزبندی فنی گزارش مرحله اول ارائه شده، می‌باشد. از آنجا که در این مرحله از اجرای طرح، نمیتوان ارتباط مشخص، منسجم و معنی دار میان اجزای این دو بعد برقرار نمود، دو بعد مذکور بصورت جداگانه و مستقل از یکدیگر منظور گردیده اند. به عبارت دیگر، دو نگاشت فناوری برای پایش سلامت، یکی مربوط به سازه‌های صنعت برق و دیگری با نگرش به حوزه‌های دانش فنی و تجهیزات مرتبط با فرآیند اجرایی آن برای هریک از

1 - Design

2 - Data Acquisition

3 - Data Analysis and Interpretation

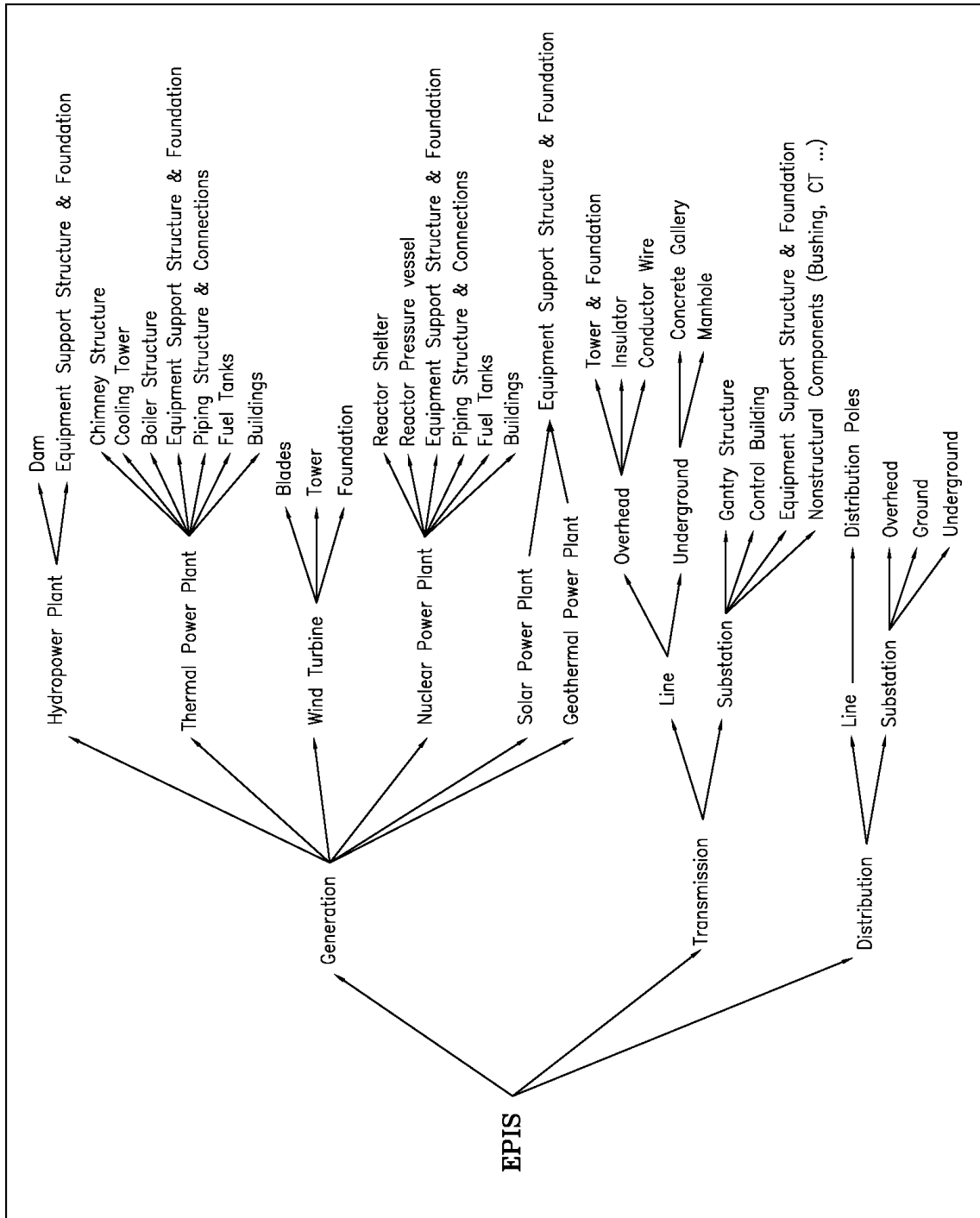
4 - Diagnosis

5 - Prognosis

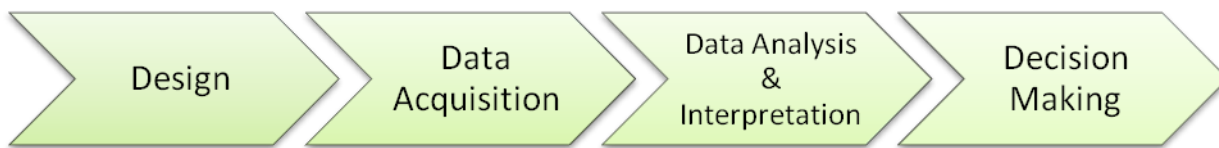
6 - Decision making

سازه‌های صنعت برق بطور کلی، تهیه و تدوین شده است. از اینرو، به عبارت سازه‌های صنعت برق (EPIS)^۱ در مواضع مختلف زنجیره فرآیند اشاره شده است تا مشخص کننده حوزه های کاربرد فناوری مورد نظر در این سند باشد. در ادامه این بخش به ترتیب، ابتدا نگاشت سازه‌های صنعت برق و پس از آن مراحل اجرایی فرآیند پایش سلامت (بصورت زنجیره) و در نهایت، نگاشت تجهیزات پایش سلامت ارائه شده‌اند.

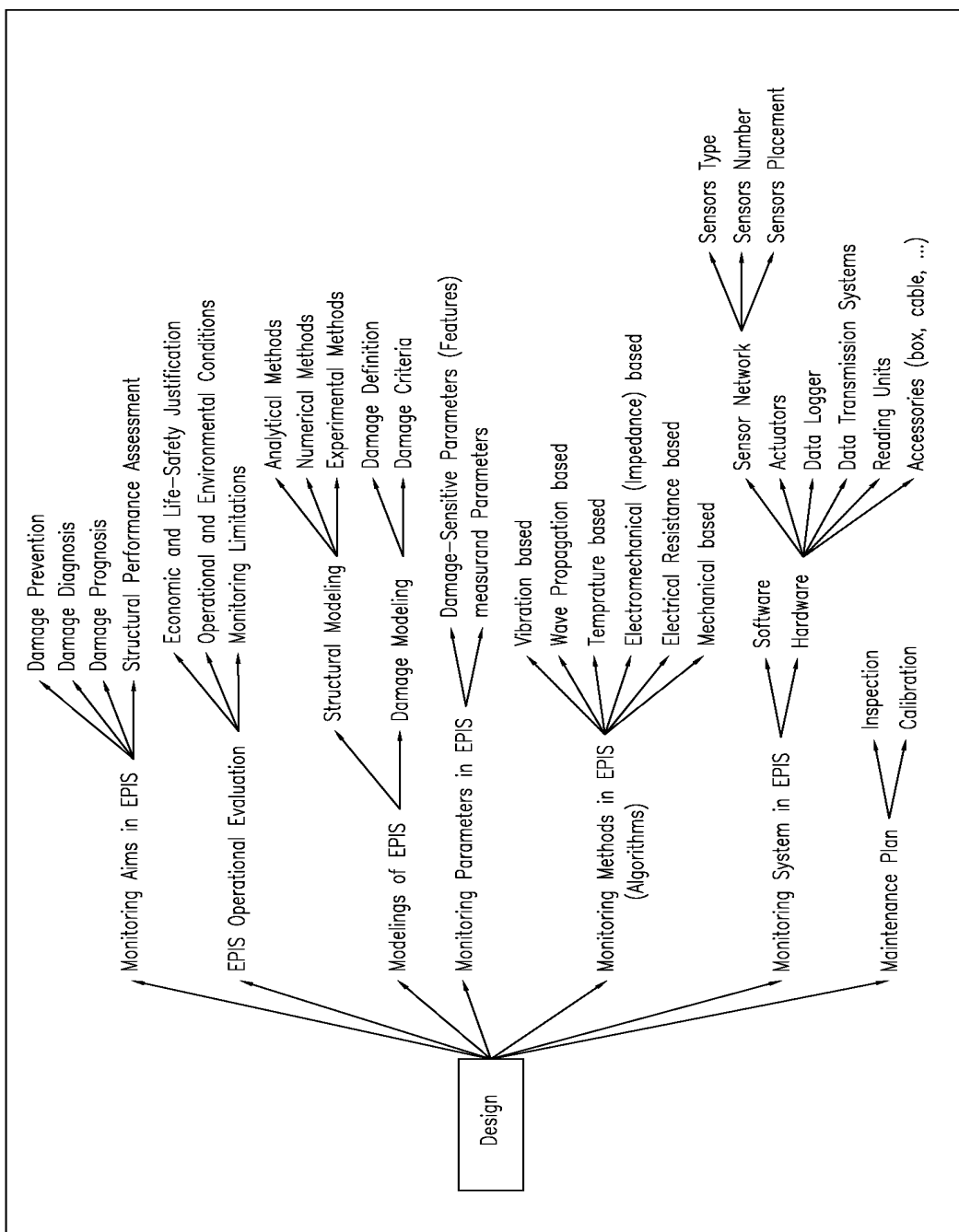
^۱ - Electric Power Industry Structures



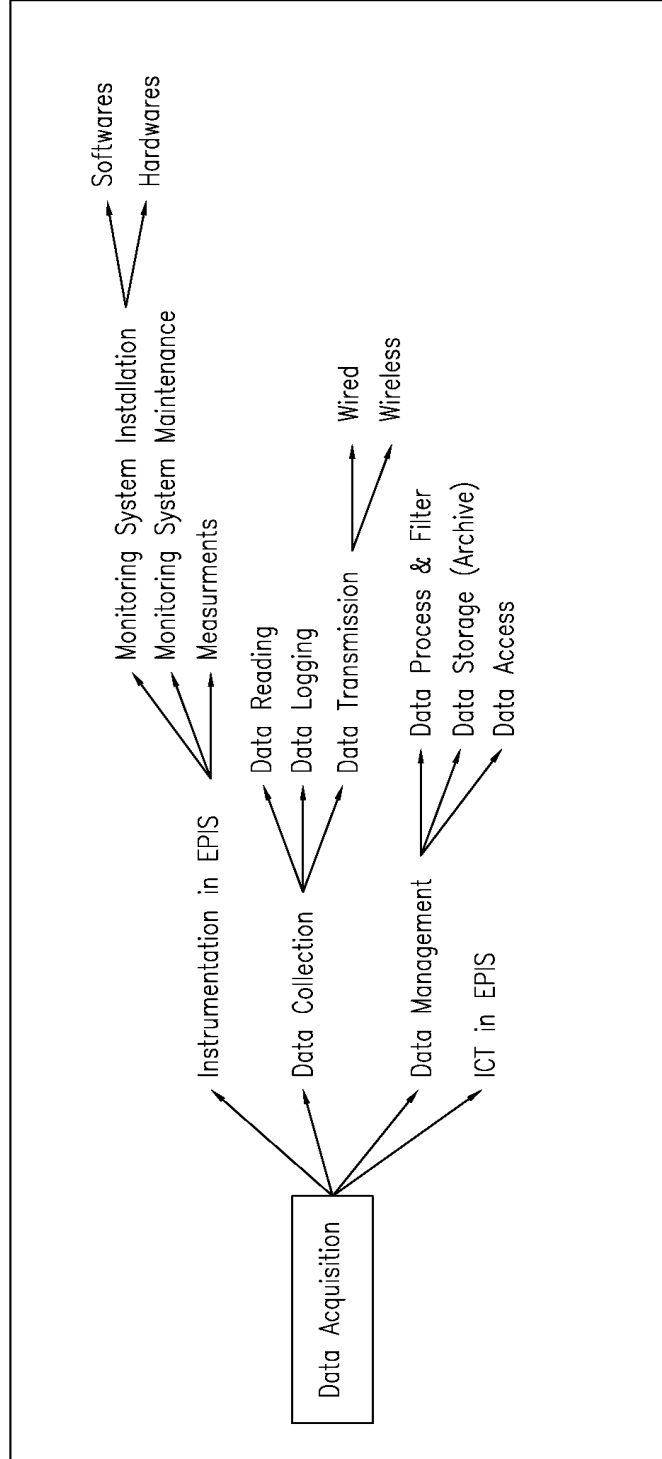
شکل ۲-۲۲: نگاشت سازه‌های صنعت برق برای پایش سلامت



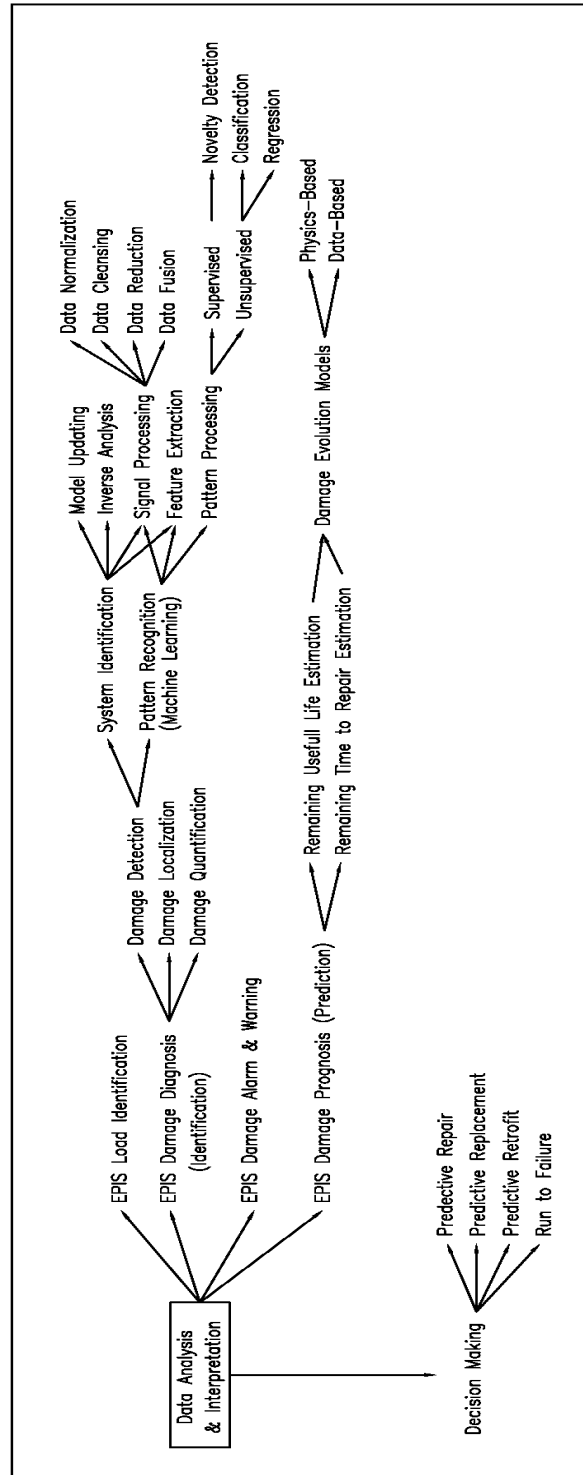
شکل ۲-۲۳: فرآیند پایش سلامت سازه‌ها (حوزه‌های دانش فنی)



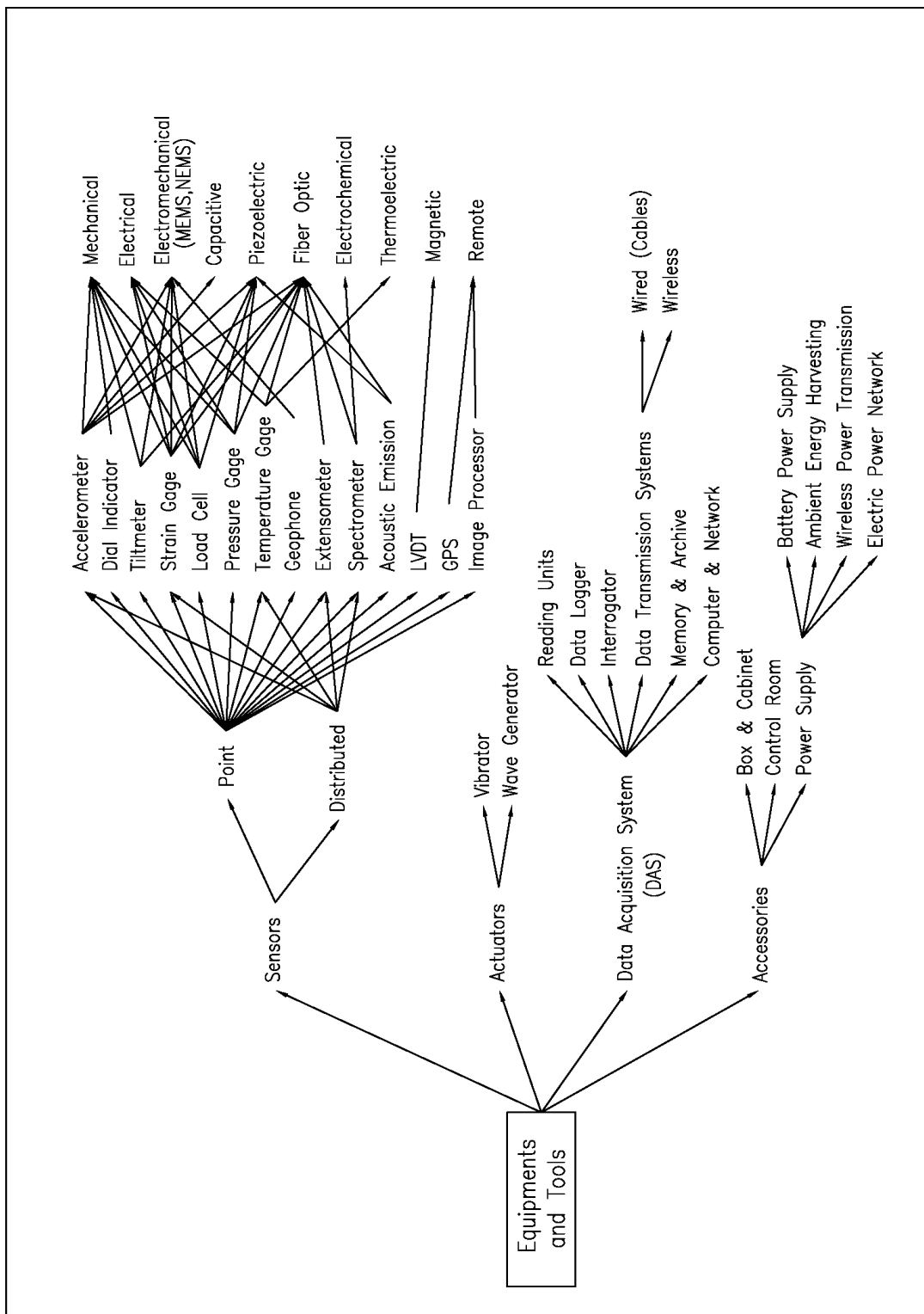
شکل ۲-۲۴: فرآیند پایش سلامت سازه‌ها (حوزه‌های دانش فنی) (ادامه)



شکل ۲-۲۵: فرآیند پایش سلامت سازه‌ها (حوزه‌های دانش فنی) (ادامه)



شکل ۲-۲۶: فرآیند پایش سلامت سازه‌ها (حوزه‌های دانش فنی) (ادامه)



شکل ۲-۲۷: نگاشت تجهیزات پایش سلامت سازه‌ها

۳- آینده پژوهی فناوری پایش سلامت سازه‌ها

امروزه، تغییرات سریع فناوری، لزوم درک بهتر از "تغییرات" و "آینده" را برای دولت‌ها، کسب و کارها و مردم ایجاد می‌کند. آینده پژوهی دانش و معرفتی است که منجر به باز شدن دید سیاستگذاران نسبت به رویدادها، فرصت‌ها و چالش‌های احتمالی آینده شده و از طریق کاهش ابهامات و تردیدهای فرساینده، توانایی انتخاب‌های هوشمندانه را افزایش می‌دهد. آینده پژوهی مشتمل بر مجموعه تلاش‌هایی است که با استفاده از تجزیه و تحلیل منابع، الگوها و عوامل تغییر و یا ثبات، به تجسم آینده‌های بالقوه و برنامه‌ریزی برای آنها می‌پردازد، [۱].

در ادبیات آینده پژوهی فناوری پایش سلامت، وجود چهار عنصر رویدادها، روندها، تصویرها و اقدامها منجر به پیدایش آینده‌های مختلف می‌شود. رویدادها تمام وقایعی هستند که احتمال وقوع دارند. پیشرفت صنعت برق طی سالهای آتی، ورود تجهیزات جدید و ناشناخته به این صنعت، از رده خارج شدن سازه‌های متعارف مورد استفاده در این صنعت در آینده، تغییر در میزان توجه اقتصادی و فنی پایش سلامت در طی تغییرات سیاسی، اقتصادی و صنعتی کشور و دیگر مسائل از این قبیل، رویدادشان محتمل به نظر می‌رسد ولی به طور کامل نمی‌توانند شناخته شوند. با این حال، تشخیص حیطه اصلی آینده و برنامه‌ریزی برای آن تا حدودی امکانپذیر است و این باعث تمرکز بر گرایشهای آینده می‌شود تا آنچه قرار است در آینده پیش آید تا حدی شناخته شود و برای وقوع آن آمادگی حاصل شود. در اینجاست که مفهوم روندها پدید می‌آید. سه نوع نگاه به روندها وجود دارد:

➤ روندهایی که ادامه زمان گذشته و حال هستند. برای درک این روندها باید اتفاقات گذشته و حال را به درستی فهمید. به عنوان مثال، باید درک درستی از روند و سرعت رشد و پیشرفت در صنعت برق داشته باشیم و با اطلاعات دقیقتر در این زمینه بتوانیم سرعت رشد و مسیر آن در آینده را نیز پیش‌بینی کرده و متناسب با آن برنامه‌ریزی کنیم.

➤ روندهای ادواری که در زمان حاضر احساس نشده‌اند، و مربوط به بعضی اتفاقات در گذشته‌های دورتر می‌شوند. این روندها ممکن است در آینده هم پیش بیایند. به عنوان مثال، شرایط بحرانی که به دلیل پیامدهای طبیعی رخ می‌دهد، و یا حتی تأثیر تحولات سیاسی و اقتصادی بر روی فناوری بایستی که پیش‌بینی شود.

مهمترین قسمت می‌تواند بررسی مسائل جدید و نو ظهوری باشد که در گذشته و حال وجود نداشته و ممکن است در آینده اتفاق بیافتد. طراحی سازه‌های هوشمند، افزایش قابل ملاحظه‌ی عمر سازه‌ها، و کاهش چشمگیر خرابی‌ها می‌توانند از جمله مسائلی باشند که پیامد مستقیم و یا غیر مستقیم فناوری پایش سلامت محسوب بشوند. سومین و چهارمین عامل تأثیر گذار بر آینده، شامل تصاویری از آینده و اقدامهایی بر اساس آن تصاویر است.

۱-۳- روش‌های آینده پژوهی

آینده پژوهی رشته‌ای چند وجهی قلمداد می‌شود که مشتمل بر حوزه‌های مختلف است و طیف وسیعی از دیدگاه‌های پیرامون آینده‌ی محتمل و مرجع را در بر می‌گیرد. مهمترین روش‌های آینده پژوهی به اختصار عبارتند از [۱]:

پیش‌بینی

تجزیه و تحلیل اهداف

دیدهبانی

پایش، تحلیل و برونیابی روندها

شبیه سازی

تحلیل تاریخی

پسنگری

روش‌های نظر خواهی

سناریو پردازی

مطالعات تطبیقی

در ادامه این بخش، حوزه‌هایی مرتبط با پایش سلامت سازه‌ها که در حال تحول و پیشرفت بوده و ایجاد تحول در آنها در آینده محتمل تر می‌باشد، با استفاده از اطلاعات موجود در سایر کشورها (مطالعات تطبیقی) معرفی شده‌اند.

۲-۳- حوزه‌های تحول در پایش سلامت سازه‌ها در آینده

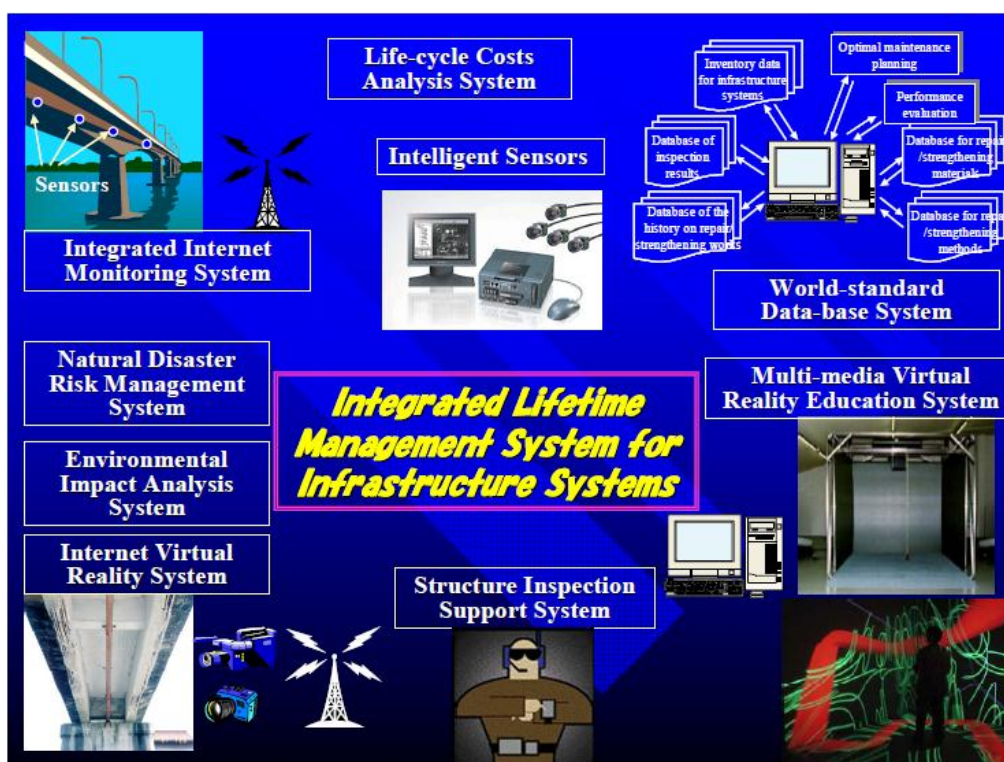
همانطور که در بخش چرخه عمر مرحله اول مشخص گردید، فناوری پایش سلامت سازه‌ها در کلیت خود یک فناوری نسبتاً جوان در مهندسی سازه است. بر این اساس انتظار می‌رود که این فناوری همچنان در حال تغییر و تحول بوده و روش‌ها و ابزارهای نوین در حوزه‌های مختلف تحقیقاتی و کاربردی مرتبط با آن، تهیه و به جامعه علمی و مهندسی معرفی شوند. از زمانی که انسان به استفاده از ابزار روی آورده است، تشخیص آسیب و یا خطا که با استفاده از تغییرات پاسخ سیستم دینامیکی تعیین می‌شود، به صورت کمی با استفاده از تکنیک‌های صوتی و یا ارتعاشی صورت می‌گرفته است. یکی از اولین موارد استفاده از SHM تست ضربه بوده است که برای تشخیص ترک در چرخ‌های راه آهن در قرن ۱۸ انجام می‌شده است. از حدود دهه ۷۰ میلادی بحث پایش سلامت بصورت آنلاین برای تشخیص وجود آسیب‌ها در اعضای سازه‌ها، در کنار بازرسی و ارزیابی دوره ای غیرمخرب مطرح گردید. جامعه مهندسين عمران از اوایل ۱۹۸۰ مطالعه بر روی ارزیابی آسیب‌های پل‌ها برپایه ارتعاشات را آغاز کرده است. معرفی گسترده یک برنامه سیستماتیک بازرسی بطور مستقیم در مورد فروپاشی آنها در سراسر کشور ایالت متحده آمریکا در ۱۹۶۷ در غرب ویرجینیا صورت گرفت. اصلاحات طراحی برای پاسخ لرزه ای پل‌ها در نتیجه‌ی آسیب‌های وارد بر این سازه‌ها در زلزله‌ی ۱۹۷۱ سان‌فرانسیسکو، صورت گرفت. از اواخر ۱۹۹۰ سیستم‌های تجاری برای نظارت بر سلامت پل‌ها موجود بوده است اما در بیشتر موارد آنها حداقل ابزار را، بدون قدرت تفکیک مکان برای تشخیص شروع زودرس آسیب محلی فراهم می‌کنند. در طول دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ میلادی، صنعت نفت ایالات متحده تلاش‌های قابل توجهی جهت ایجاد روش‌های تشخیص خرابی مبتنی بر ارتعاش برای سکوه‌های نفتی دریایی انجام داد. امروزه استفاده از سیستم پایش سلامت آنلاین جهت تشخیص آسیب، در طیف وسیعتری از انواع سازه‌ها از قبیل پل‌ها، سدها، نیروگاه‌های تولید برق، ساختمان‌های با اهمیت زیاد، خطوط لوله و شریان‌های حیاتی، خطوط انتقال برق، تونل‌ها و ... در سطوح مختلفی (از تحقیقات صرف تا اجرا) مطرح بوده و ابعاد مختلف فنی و تکنیکی مربوط به آن، در حال توسعه می‌باشند.

در حال حاضر، تشخیص وقوع آسیب برای بسیاری از موارد کاربردی در سازه‌ها قابل انجام بوده و کافی است. روند توسعه

سیستم پایش سلامت در حوزه‌های دانش فنی و تکنولوژیهای سخت‌افزاری به سمتی است که امکان تشخیص وجود آسیب‌ها

در مراحل اولیه خود با کمترین میزان خطا و اخطار غیرواقعی^۱ میسر شده و علاوه بر آن، قابلیت پیش‌بینی روند رشد آسیب و به تبع آن، تخمین عمر باقیمانده سازه (که بالاترین سطح تکنیکی در پایش سلامت سازه است) نیز مهیا گردد. همچنین توسعه سیستم پایش سلامت در حوزه‌های دانش فنی و کاربردی و تکنولوژی تجهیزات به عنوان بخشی از سیستم سازه‌های هوشمند و قابل کنترل بصورت خودکار نیز در دنیا مطرح می‌باشد.

با توجه به روند جایگزینی سیستم‌های سنتی تشخیص خرابی با سیستم پایش سلامت در سازه‌ها در دنیا که نمونه‌هایی از آن برای سازه‌های مختلف در گزارش مرحله اول ارائه گردید، می‌توان نتیجه گرفت که دنیا در آینده شاهد استفاده گسترده تر و کاربرد تجاری سیستم پایش سلامت در انواع سازه‌ها خواهد بود. در واقع استفاده از سیستم پایش سلامت آنلاین در سازه‌ها، امکان مدیریت بهینه دوره عمر آنها را فراهم خواهد نمود. شکل زیر، جایگاه پایش سلامت آنلاین در برنامه آینده مدیریت جامع و یکپارچه دوره عمر سازه‌ها^۲ که در ژاپن تهیه شده، را نشان می‌دهد. [۲۶]



شکل ۳-۱: اجزای فنی سیستم جامع مدیریت دوره عمر سازه‌ها [۲۶]

^۱ - False Alarm

^۲ - Integrated Lifetime Management System

با توجه به چندرشته‌ای بودن و وجود زیرمجموعه‌های گوناگون و متنوع علمی و فنی در فناوری پایش سلامت سازه‌ها، حوزه‌های مختلفی را در ارتباط با پایش سلامت می‌توان یافت که مشمول تغییر و تحولات قابل توجه در آینده شوند. نمونه‌هایی از این حوزه‌ها در ادامه این بخش ارائه شده‌اند.

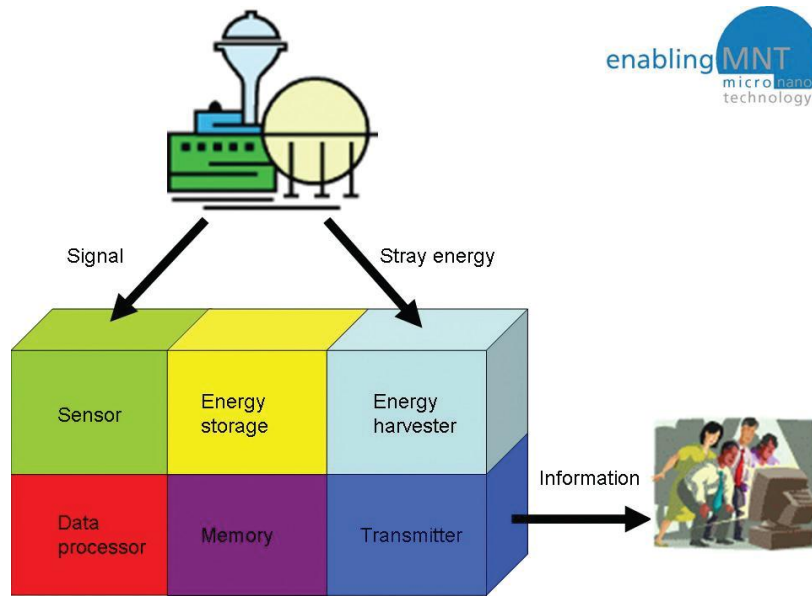
۳-۲-۱- سنسورها و فناوریهای نوین اندازه‌گیری

همانطور که در بخشهای قبلی گزارش عنوان شد، یکی از مهمترین مؤلفه‌های سیستم پایش سلامت سازه‌ها، اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز می‌باشد که این کار با استفاده از سنسورها انجام می‌شود. استفاده از سنسورها برای اندازه‌گیری، در بسیاری از صنایع متداول بوده و به مراتب قدمتی طولانی‌تر از پیدایش سیستم پایش سلامت سازه‌ها دارد. سنسورهای ابتدایی عمدتاً مبتنی بر تکنولوژی‌های مکانیکی برای اندازه‌گیری بوده و به تدریج انواع دیگر تکنولوژی‌ها نظیر استفاده از خواص الکتریکی، مقاومتی، مغناطیسی و پیزوالکتریکی برای سنسورها ابداع شده و مورد استفاده قرار گرفتند. پیشرفت در تکنولوژی سنسورها در راستای ساخت و ارائه سنسورهایی با اندازه کوچکتر، دقت و قابلیت اطمینان بیشتر، قابلیت کارایی و حفظ دقت اندازه‌گیری در شرایط محیطی مختلف، انجام پردازش محدود داده‌ها و قابلیت ارسال داده‌ها بصورت بی‌سیم می‌باشد. روند کلی توسعه سنسورها به سمت ایجاد بسته‌های مینیاتوری (کوچک شده) یکپارچه سنسور^۱ با داشتن ویژگی‌های مذکور (کوچک، ارزان، بی‌سیم، با قابلیت ذخیره‌سازی و پردازش محدود داده‌ها، مهار و تأمین انرژی مورد نیاز خود) می‌باشد. این سیستم‌های سنسوری با عنوان سنسورهای هوشمند^۲ نیز معرفی شده‌اند. شکل زیر نمونه‌ای از ویژگی‌های چنین سیستم‌های سنسوری را نشان می‌دهد.

[۲۳]

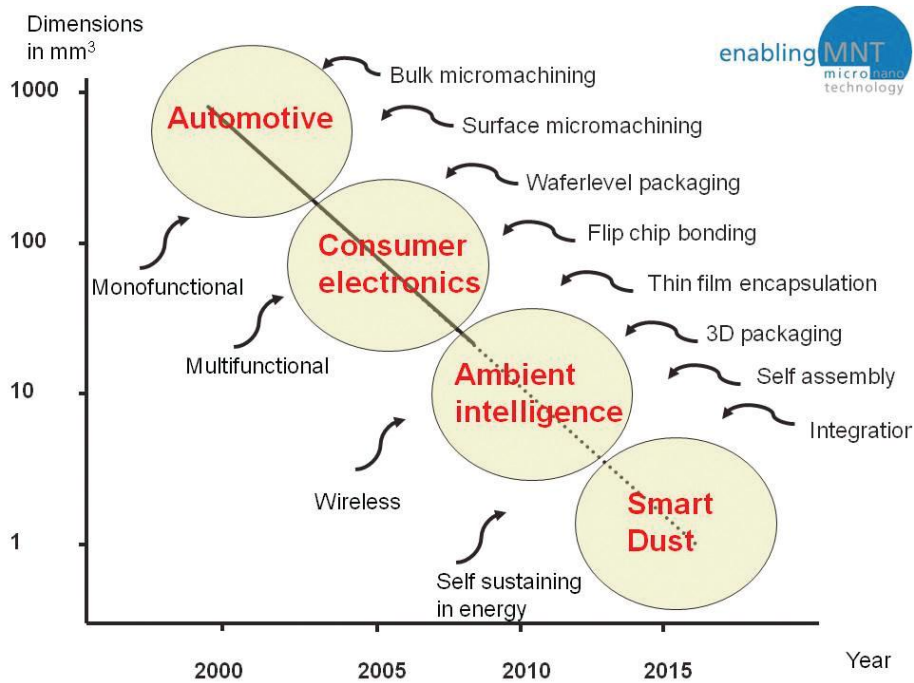
^۱ - Miniaturized Integrated Sensor Package

^۲ - Smart Sensors



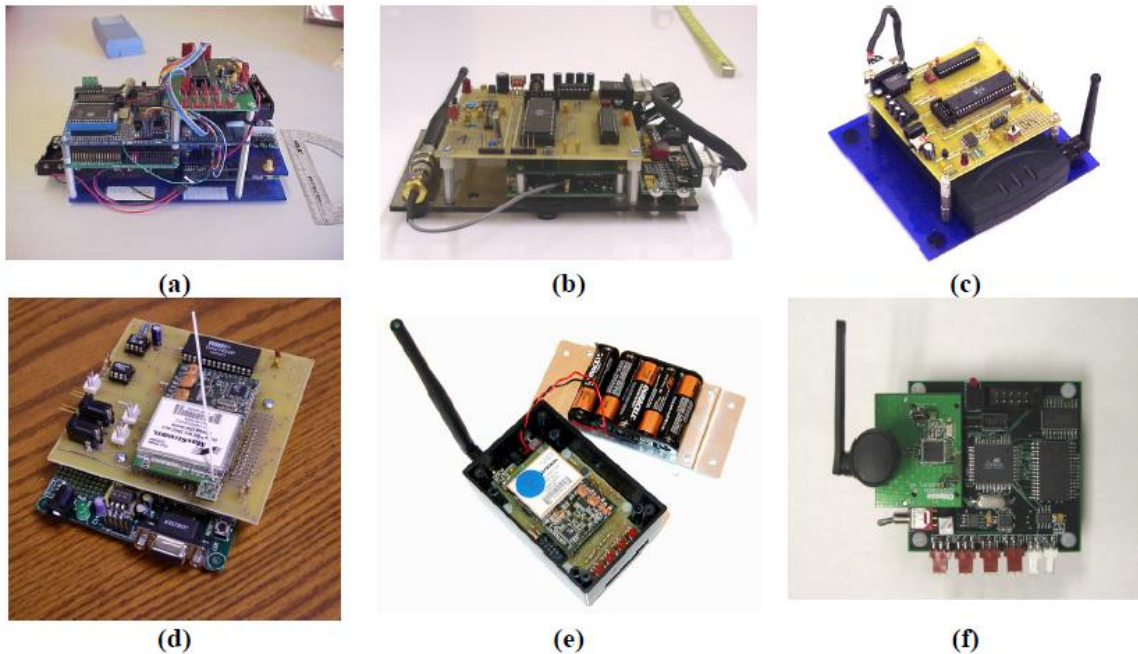
شکل ۲-۳: سیستم‌های یکپارچه سنسورها برای پایش سلامت سازه‌ها [۲۳]

شکل زیر نیز روند توسعه سنسورهای مذکور را نشان می‌دهد. [۲۳]



شکل ۳-۳: روند توسعه سیستم‌های مینیاتوری یکپارچه سنسورها [۲۳]

سنسورهای بی سیم برای استفاده در پایش سلامت سازه‌ها، ابتدا توسط Kiremidjian و Straser در سال ۱۹۹۸ میلادی معرفی و ارائه شدند. انگیزه اصلی تمایل به توسعه سنسورهای بی سیم در پایش سازه‌ها، مشکلات اجرایی به همراه هزینه و زمان زیاد لازم برای نصب کابل‌ها بود. به تدریج و با مشاهده مزایای اجرایی و اقتصادی سنسورهای بی سیم، تکنولوژی این سنسورها توسط محققان دیگر توسعه پیدا کرده و منجر به تولید انواع سنسورهای هوشمند با قیمت‌های ارزان تر گردید. گونه دیگری از سنسورهای بی سیم با عنوان سنسورهای بی سیم فعال^۱ در دهه اخیر ارائه شده‌اند که علاوه بر اندازه‌گیری پارامترها، توان اعمال کنش‌هایی بر سازه را نیز (همانند محرک‌ها) دارند. شکل زیر نمونه‌هایی از انواع سنسورهای بی سیم تولید شده در دو دهه اخیر را نشان می‌دهد. [۲۴]



شکل ۳-۴: نسل از سنسورهای بی سیم تولید شده برای پایش سلامت سازه‌ها [۲۴]

در دو دهه اخیر با معرفی و ارائه سنسورهای مبتنی بر تکنولوژی نوری (فیبر نوری) تحولی در سیستم‌های اندازه‌گیری ایجاد گردید. سنسورهای فیبر نوری ابتدا در حدود سالهای ۱۹۵۰ میلادی در حوزه پزشکی (در دستگاه گاستروسکوپ برای بررسی داخل معده) مورد استفاده قرار گرفتند. اولین مطالعاتی که قابلیت فیبرهای نوری در اندازه‌گیری کرنش‌های مکانیکی را نشان

^۱ - Active Wireless Sensor

داد، در سال ۱۹۷۸ میلادی انجام شد. به مرور با انجام تحقیقات گسترده توسط فیزیکدان‌ها و ساخت سنسورهای پیشرفته‌تر، کاربرد سنسورهای فیبر نوری در سایر صنایع (بخصوص صنایع مخابرات و هوافضا) نیز وسعت پیدا کرد. در سال ۱۹۸۸ میلادی اولین کاربرد سنسور فیبر نوری برای اندازه‌گیری درصد هوا در بتن تازه توسط اداره فدرال بزرگراه‌های امریکا صورت گرفت. جدول زیر، انواع سنسورهای فیبرنوری موجود برای پایش سلامت سازه‌ها در اروپا، به همراه تولیدکنندگان آنها را نشان می‌دهد.

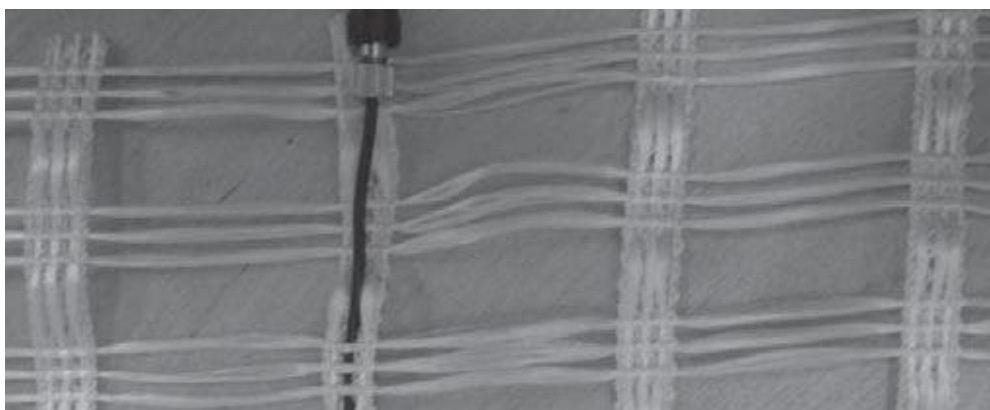
جدول ۳-۱: انواع سنسورهای فیبرنوری در اروپا [۲۵]

	Measured Parameters	Maturity	Active companies and research groups in Europe (see text for details)
SOFO	Displacement	Commercial	SMARTEC, IMAC-EPFL
Microbending	Displacement	Commercial	OSMOS
Bragg gratings	Strain, temperature, (displacement)	Commercial	ID-FOS, AOS, LETI, EMPA
Fabry-Perot	Strain	Field trials	BAM
Raman	Distributed temperature	Commercial	Sensa, GESO
Brillouin	Distributed temperature and strain	Commercial	SMARTEC, Omnisens, MET-EPFL

امروزه استفاده از سنسورهای فیبر نوری برای پایش سلامت سازه‌ها متداولتر از سایر انواع سنسورها است. با پیشرفت تکنولوژی ساخت سنسورهای فیبر نوری (به عنوان نمونه تکنولوژی انعکاس سنجی در حوزه زمان^۱ در سنسورهای فیبر نوری پلیمری^۲ FOP) پیش‌بینی می‌شود که در آینده نیز تکنولوژی استفاده از این سنسورها تکنولوژی اصلی برای سیستم‌های پایش سلامت سازه‌ها باشد. در سایه پیشرفت‌های صنعت ارتباطات که از اجزاء جایگزین استفاده می‌کنند، قیمت این سیستم‌ها نیز رو به کاهش است. از طرفی با پیشرفت سیستم‌ها و نرم‌افزارهای آنالیز و پردازش داده‌ها سیستم‌های پایش سلامت سازه‌ها همواره در جهت پیشرفت و دقت بیشتر هستند.

^۱ - Optical Time Domain Reflectometry

^۲ - Polymer Optical Fibers



شکل ۳-۵: استفاده از کرنش سنچ FOP در لایه ژئوتکستایل [۱۴]

تکنولوژی‌های نوین همانند نانو تکنولوژی نیز کم‌کم جایگاه خود را در حوزه اندازه‌گیری و سنسورها بدست آورده‌اند. در این راستا، سنسورهای الکترومکانیکی با ابعاد میکرو (MEMS) و نانو (NEMS) برای اندازه‌گیری پارامترها در صنایع مختلف، معرفی و ارائه شده‌اند. محققان دانشگاه دیویس کالیفرنیا (UC Davis)، پروفیسور Ken Loh و Valeria la Saponara، با استفاده از خواص منحصر به فرد از نانو لوله‌های کربنی پوشش قوی و چند منظوره‌ای را ساخته‌اند که می‌توان آن را بر روی هر سطحی اسپری کرد و تغییرات بوجود آمده در سازه را نظارت کرد. از این سنسورها برای نظارت بر سازه‌های با اهمیت نظیر پل‌ها و توربین‌های بادی استفاده می‌شود. این تکنولوژی در ابتدا به صورت پوشش لایه لایه بر سازه اجرا می‌شد. با توسعه آن امکان اجرای آن به صورت اسپری بر روی سطوح فراهم شد. این پوشش حساس به کرنش است به این صورت که اگر کشیده و یا فشرده شود مشخصات الکتریکی آن بسته به اینکه چه مقدار تغییر شکل رخ می‌دهد تغییر می‌کند. نانو لوله‌های کربنی بر روی سطح موردنظر پاشیده می‌شود و الکترودها به اطراف مرزهای پوشش متصل می‌شوند. هدف کلی این پژوهش استخراج روش پایش سلامت سازه SHM و پیش‌بینی شکستها، است که در سازه‌های توربین بادی (پره و برج توربین) کاربرد دارد. همچنین این سیستم این امکان را فراهم می‌آورد که به اپراتور هشدار اولیه‌ای پیش از شکست سازه‌ای داده شود.



شکل ۳-۶: استفاده از پوشش نانو لوله‌های کربنی به عنوان سنسور حساس به کرنش

۳-۲-۲- تحولات در حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات

سیستم‌های پایش سلامت سازه‌ها در آینده با توجه به افزایش قابل توجه حجم سیگنال‌ها و داده‌های نیازمند پردازش در مدت زمان نسبتاً طولانی، متفاوت از سیستم‌های امروزی خواهند بود. بر این اساس نیاز به سیستم‌ها و روش‌های پیشرفته پردازش و مدیریت داده‌ها که قادر به تبدیل حجم بالای داده‌ها به اطلاعات قابل استفاده در فرآیندهای تشخیص آسیب‌ها بوده و در عین حال دارای هزینه نسبتاً بالا هم نباشند، بطور روزافزون افزایش می‌یابد. از آنجاکه بخش قابل توجهی از فرآیند پایش سلامت سازه‌ها شامل انجام عملیات مختلف روی داده‌های اندازه‌گیری شده بوده و بطور کلی در حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) قرار می‌گیرد، تحولات آینده در این حوزه (در زمینه‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری) نیز بر مبحث پایش سلامت سازه‌ها تأثیر گذار خواهد بود.

یکی از موانع و چالش‌های موجود در راه اجرایی شدن فرآیند پایش سلامت در سازه‌ها، نیاز به انتقال، ذخیره‌سازی، مدیریت، پردازش و تجزیه و تحلیل حجم انبوهی از داده‌های اندازه‌گیری شده در مدت زمان محدود است که این کار در عمل دارای مشکلات اجرایی می‌باشد. جهت‌گیری عمده تحولات در فناوری اطلاعات با هدف پردازش و کار با سرعت بیشتر بر روی داده‌های با حجم بالاتر می‌باشد که نقش مثبتی در اجرایی شدن روند پایش سلامت در سازه‌ها خواهد داشت. در این خصوص می‌توان به تلاش‌های انجام شده در حوزه‌های زیر اشاره نمود:

↪ توسعه حافظه‌ها با قابلیت ذخیره‌سازی احجام بالاتر داده‌ها به همراه دسترسی و فراخوانی سریعتر (مانند حافظه‌های

(SSD)

↪ انتقال سریع‌تر، ایمن‌تر و قابل اطمینان‌تر داده‌ها

↪ انتقال بی‌سیم داده‌ها

↪ استفاده از شبکه‌های ارتباطی (نظیر اینترنت و شبکه‌های محلی) و ارتقاء توانمندی‌های آنها

↪ محاسبات و کار بر روی داده‌ها در فضای ابری^۱

بدیهی است که با پیشرفت این حوزه‌ها، انجام محاسبات حجیم‌تر و استفاده از روش‌ها و الگوریتم‌های پیچیده‌تر پایش سلامت با سهولت بیشتری امکان پذیر شده و اجرای گسترده و فراگیر این فناوری در سازه‌ها، میسر خواهد شد.

۳-۲-۳- روش‌ها و الگوریتم‌های تشخیص و پیش‌بینی آسیب‌ها

همانطور که در بخش‌های قبلی گزارش عنوان شد، تکنیک‌ها و روش‌های بسیار متنوع و گوناگونی برای تشخیص و یافتن وجود آسیب در سازه‌ها معرفی و ابداع شده‌اند. اولین تکنیک‌های تشخیص آسیب در سازه‌ها با الهام از روش‌های موجود پایش وضعیت در تجهیزات دوار، عمدتاً با رویکردهای مبتنی بر بررسی خواص ارتعاشی سازه تدوین شدند. به تدریج و با پیشرفت دانش در سایر زمینه‌های مرتبط مانند تکنولوژیهای اندازه‌گیری و امکان انجام محاسبات در حجم و اندازه و دقت بالاتر در مدت زمان کوتاه‌تر، تکنیک‌ها و الگوریتم‌های متعدد و نوین برای تشخیص آسیب نیز توسط محققان معرفی و ارائه گردید.

یکی از زمینه‌های مهم تحقیقات در پایش سلامت سازه‌ها در خصوص تدوین و توسعه روش‌ها و الگوریتم‌های جدیدتر و کارآتر برای تشخیص و پیش‌بینی خرابی و آسیب در سازه‌ها می‌باشد. تحول در این زمینه، هم‌اکنون در دنیا در جریان است و حجم قابل توجه مقالات منتشر شده در این زمینه گواه این امر بوده و مسلماً در آینده نیز شاهد پیشرفت‌هایی در این حوزه‌ها خواهیم بود. بدیهی است که پیشرفت در ارائه روش‌ها و الگوریتم‌های نوین تشخیص و پیش‌بینی آسیب‌ها با پیشرفت‌های ایجاد شده در زمینه محاسبات و فناوری اطلاعات در حوزه‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری به شدت با یکدیگر مرتبط و همبسته می

^۱ - Cloud Computing

باشند. جهت‌گیری عمده توسعه الگوریتم‌های تشخیص خرابی در راستای قابلیت و توان تشخیص آسیب‌های موجود، در مراحل اولیه تشکیل آنها (با کمترین میزان ممکن وجود آسیب) و با کمترین میزان خطا می‌باشد. همچنین با توجه به پیشرفت در حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات و توسعه روش‌های انتقال سریع تر داده‌ها، روند تدوین الگوریتم‌ها و روش‌های تشخیص خودکار آسیب‌های سازه‌ای در زمان واقعی^۱ نیز مورد نظر می‌باشد. در این راستا، روش‌های تشخیص و شناسایی خصوصیات مودال سازه‌ها بطور پیوسته و در شرایط عادی عملکرد آنها، نقش مهمی را ایفا می‌نماید.

یکی دیگر از حوزه‌هایی که در پایش سلامت سازه‌ها در آینده مورد توجه بیشتر قرار خواهد گرفت، تمرکز بر پارامترهای غیر مکانیکی سازه برای تشخیص آسیب است. به عنوان نمونه می‌توان به اندازه‌گیری و پایش PH در سازه‌های بتنی اشاره نمود که می‌تواند در تشخیص خوردگی مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۳-۷: استفاده از سنسورهای PH در داخل سازه بتنی برای تشخیص خوردگی

۳-۲-۴- پایش سلامت سازه‌ها و سازه‌های هوشمند

پایش سلامت سازه‌ها با هدف اصلی تشخیص وقوع و تعیین مشخصات آسیب‌های موجود در سازه‌ها در مراحل ابتدایی خود و پیش‌بینی روند رشد آنها تا وقوع خرابی کلی انجام می‌شود. انجام این کار در ابتدا بصورت مقطعی و در فواصل زمانی نسبتاً طولانی صورت می‌گرفته که در ادبیات فنی از آن به ارزیابی غیر مخرب (NDE) نام برده می‌شود. از حدود ۴ دهه گذشته

^۱ - Real Time

تلاش‌هایی برای انجام روند ارزیابی وضعیت سازه‌ها بصورت خودکار و با استفاده از اندازه‌گیری‌های آنلاین و پیوسته مطرح گردید که با عنوان کلی پایش سلامت از آن نام برده می‌شود. بنابراین، وظیفه اصلی سیستم پایش سلامت، تشخیص و اعلام وجود آسیب در سازه و ارائه ویژگی‌های آن است. از اواخر دهه ۱۹۸۰ تاکنون مفهوم مواد و سازه‌های هوشمند^۱، کنترل هوشمند (فعال) سازه‌ها^۲ و سازه‌های زنده^۳ بیشتر و بیشتر در ذهن مهندسان جای گرفته است. مفهوم سازه هوشمند وسیعتر از پایش سلامت بوده و در آن، سیستم کنترل هوشمند علاوه بر تشخیص خودکار آسیب، بصورت خودکار اقدام به رفع آن نیز می‌نماید. به عبارت دیگر می‌توان گفت که سیستم پایش سلامت یکی از اجزاء سیستم کلی کنترل هوشمند سازه‌ها در آینده است. این ایده جدید اساساً در حوزه‌های هوانوردی و عمران پدید آمده و در سایر حوزه‌های مرتبط با ساختمان (نظیر معماری، تأسیسات، انرژی و ...) نیز مطرح شده است. مفهوم مصالح و یا سازه‌های هوشمند (SMS^۴) را می‌توان گامی در انقلاب اساسی وسایل ساخت بشر دانست.

مسیر پیوسته‌ای برای محصولات ساخت بشر از ساده به پیچیده وجود دارد که با استفاده از مصالح همگن^۵ و پذیرش ویژگی‌های طبیعی آنها شروع شد و با استفاده از مواد کامپوزیت که ساخت سازه‌هایی با ویژگی‌های سازگار با کاربردهای خاص را ممکن می‌ساخت ادامه پیدا کرد. در حقیقت مواد کامپوزیت هر روزه بیشتر و بیشتر جایگزین مواد همگن می‌شوند. کامپوزیت‌های هوشمند^۶ موادی دارای سنسورهای مدفون در داخلشان می‌باشند که می‌توانند در حین استفاده در سازه‌ها، اطلاعات آنلاین از پارامترهای اندازه‌گیری شده را ارائه کنند. در مقام تشبیه، وجود کامپوزیت‌های هوشمند در سازه‌ها مانند وجود سیستم اعصاب در بدن انسان است. این مواد هم اکنون در صنایع هوافضا کاربرد دارند و انتظار می‌رود در آینده در سازه‌های عمرانی نیز مورد استفاده قرار گیرند.

گام بعدی در روند توسعه مواد هوشمند، مطابقت ویژگی‌های این مواد و سازه‌ها با تغییرات شرایط محیطی است. که مستلزم حساس کردن، کنترل پذیری و فعال کردن آنهاست. سطوح مختلف هوشمندی وابسته به وجود یک، دو و یا هر سه این

1 - Smart Structures

2 - Active Structural Control

3 - Alive Structures

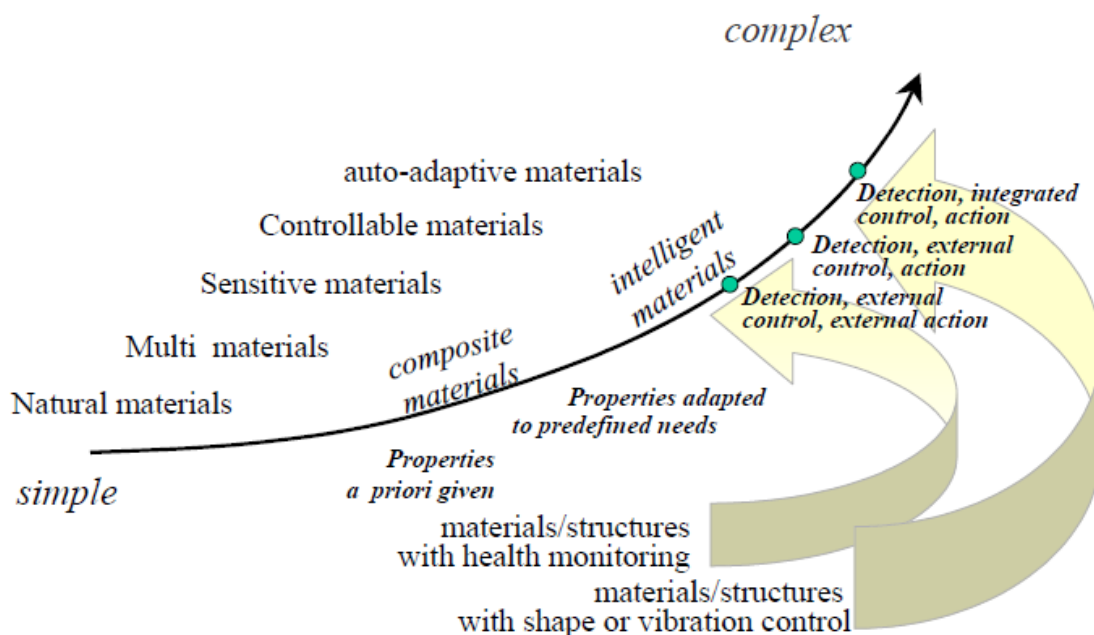
4 - Smart Material/Structure

5 - homogeneous

6 - Smart Composites

کیفیت‌ها می‌باشد. بنابراین مواد و سازه‌های حساس، کنترل‌پذیر و سازگار، مشخص هستند. به طور کلاسیک سه نوع مواد هوشمند وجود دارد:

- ۱- مواد هوشمندی که شکل خود را کنترل می‌کنند،
- ۲- موادی که ارتعاش خود را کنترل می‌کنند،
- ۳- مواد هوشمندی که سلامت خود را کنترل می‌کنند.



شکل ۳-۸: سیر کلی تحول در سازه‌ها و مصالح آنها تا ظهور مصالح و سازه‌های هوشمند [۴]

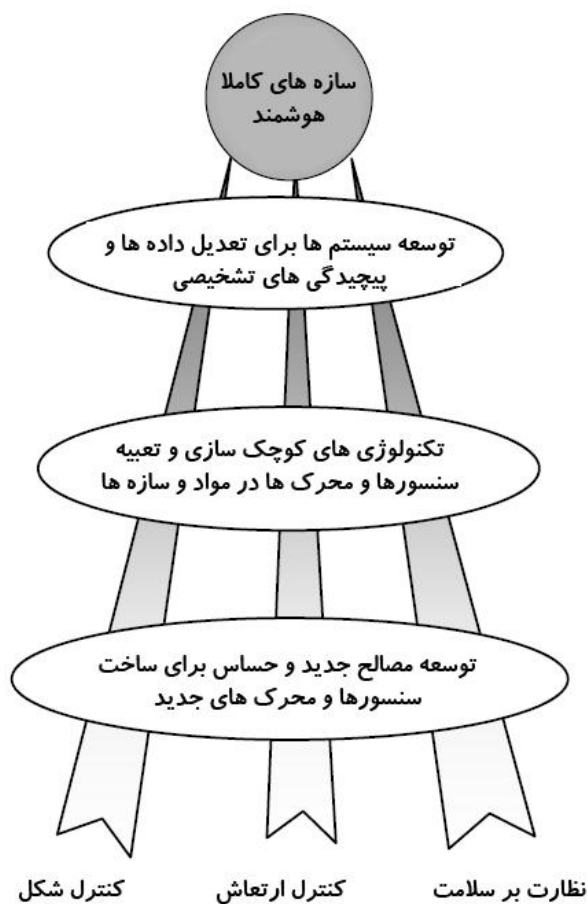
مشخص است مواد و سازه‌هایی که دارای سیستم SHM هستند حداقل در بازه کوچکی از مواد و سازه‌های هوشمند جای می‌گیرند. تقریباً تمام دستاوردها در این زمینه سعی بر افزایش حساسیت مواد و سازه‌ها با تعبیه سنسورهایی در آنها داشته‌اند. گام بعدی به سوی سازه‌های هوشمندتر ساخت مواد و سازه‌هایی با قابلیت تعمیر خود و یا حداقل، کاهش آسیب‌های خود است. برای کاهش آسیب، تعبیه محرک‌هایی ساخته شده از آلیاژهای هوشمند^۱ می‌تواند راه‌حلی باشد که به جای کاهش تنش در محدوده تمرکز کرنش، کرنش‌هایی را به سازه تحمیل کند.

^۱ - Shape memory alloy

در حوزه مهندسی عمران می‌توان به وجود بتن‌های خود ترمیم‌گر^۱ (هتشمند) اشاره کرد که شامل فیبرهای شکننده تو خالی هستند که داخل آنها با چسب پر شده است. در مناطقی که ترک رخ می‌دهد با شکستن این فیبرها (رشته‌ها) چسب آزاد شده و آسیب وارده را کاهش می‌دهد. بتن هوشمند شکل پذیر قابل ارتجاع خود ترمیم، با اضافه کردن الیاف پلیمری و نانو ذرات سیلیس به بتن معمولی به وجود می‌آید که باعث می‌شود بتن مقاومت کششی، خمشی، برشی، سایشی و خود ترمیمی آن افزایش یابد. کاربرد الیاف پلیمری و نانو ذرات سیلیس در بتن باعث پیوستگی و یکپارچگی عالی آن می‌شود. نانو ذرات سیلیس، واکنش پوزولانی به کریستالهای هیدروکسید کلسیم $Ca(OH)_2$ داده و ژل متراکم، یکپارچه و نامحلول هیدروکسید کلسیم سیلیکات (C - S - H) را تشکیل می‌دهد. نانو سیلیس به علت داشتن سطح ویژه بسیار زیاد مانند هسته عمل کرده و چسبندگی بسیار قوی با سیمان هیدراته تشکیل می‌دهد و از رشد بیشتر بلورهای هیدروکسید کلسیم جلوگیری نموده و مانند پوزولانها، ترک‌های ریز و منافذ مویین را پر کرده و در نهایت سبب تراکم ساختار سیمان، کاهش نفوذ پذیری، افزایش مقاومت، دوام و عمر مفید سازه‌های بتنی می‌گردد. در اثر آب و هوا ترک‌های ریز و منافذ مویین بتن، خود ترمیم شده و بتن آسیب دیده استحکام خود را دوباره به دست می‌آورد. [۲۷]

با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان پی برد که چرا تا کنون مطالعات SHM معمولاً در کنفرانس‌ها و ژورنال‌هایی وارد شده‌اند که موضوع اصلی آنها سازه‌های هوشمند بوده است.

¹ - Self-Healing Concrete



شکل ۳-۹: مفاهیم مشترک و متمم: SHM، سازه‌های هوشمند کنترل‌کننده شکل و ارتعاش

۴- مراجع

- [۱]. "روش شناسی تدوین اسناد راهبردی توسعه فناوری‌های صنعت برق-راهنمای شماره ۱، ویرایش دوم"، پژوهشگاه نیرو، آذر ۱۳۹۲
- [2]. B. Glisic and D. Inaudi. (2007), Fibre Optic Methods for Structural Health Monitoring, John Wiley & Sons, Ltd.
- [3]. Douglas E. Adams. (2007), Health Monitoring Of Structural Materials and Components Methods with Applications, John Wiley & Sons, Ltd.
- [4]. D. Balageas, C.P. Fritzen and A. Güemes (2006), Structural Health Monitoring, ISTE Ltd.
- [5]. C.R. Farrar, K. Worden (2013), Structural Health Monitoring A Machine Learning Perspective, A John Wiley & Sons, Ltd., Publication.
- [6]. S. Beskhyroun, T. Oshimay and S. Mikamiy (2009), Wavelet-based technique for structural damage detection, Structural Control and Health Monitoring, copyright property of the Supergen Wind Energy Published Online: 29 Jan 2009.
- [7]. K. Worden and J. Dulieu-Barton, (2004), An overview of intelligent fault detection in systems and structures, Structural Health Monitoring, 3(1), 85-98.
- [8]. S.W. Doebling, C.L. Farrar and M.B. Prime, (1998), A summery review of vibration-
- [9]. based damage identification methods, Shock and Vibration Digest, 30(2), 91-105.
- [10]. R. Perera, and R. Torres, (2006), Structural damage detection via modal data with genetic algorithms, Journal of Structural Engineering, 132(9), 1491-1501.
- [11]. A.M. Raich, and T.R. Liskai, (2007), Improving the performance of structural damage detection methods using advanced genetic algorithms, Journal of Structural Engineering, 133(3), 449-461.
- [12]. Mitchell, J.S. (2007), From vibration measurements to condition based maintenance seventy years of continuous progress. Journal of Sound and Vibration, 41(1), 62-75.
- [13]. Staszewski, W., Worden, K., Wardle, R. and Tomlinson, G. (2000), Fail-safe sensor distributions for impact detection in composite materials. Smart Materials and Structures, (3), 298.

- [14]. Worden, K. and Burrows, A. (2001) Optimal sensor placement for fault detection. *Engineering Structures*, 23(8), 885–901.
- [15]. M. Karbhari, F. Ansari (2009), *Structural Health Monitoring of Civil Infrastructure Systems*, Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.
- [16]. L.A. Bisby (2004), *An Introduction to Structural Health Monitoring*, ISIS Canada, Education Module No 5.
- [17]. Global Optoelectronics Industry Market Report and Forecast: Optoelectronics Industry Development Association (OIDA), 2009.
- [18]. Shan-Tung Tu, (2009), Life prediction and monitoring of critical industrial equipment, *Transferability and Applicability of Current Mechanics Approaches / 13-22*.
- [19]. Hong-Nan, Ting-Hua, Liang Ren, Dong-Sheng, and Lin-Sheng Huo, (2014), Reviews on innovations and applications in structural health monitoring for infrastructures. *Structural Monitoring and Maintenance*, Vol. 1, No. 1 (2014) 001-045.
- [20]. JB Coble, P Ramuhalli, LJ Bond, JW Hines & BR Upadhyaya (2012), *Prognostics and Health Management in Nuclear Power Plants: A Review of Technologies and Applications*, Prepared for the U.S. Department of Energy by Pacific Northwest National Laboratory Richland, Washington 99352
- [21]. Glaser, S.D., Li, H., Wang, M.L., Ou, J., US-China Joint Task Force on Integrated Structural Health Monitoring, (2005).
- [22]. Glaser, S.D., Li, H., Wang, M.L., Ou, J., Lynch, J., *Sensor Technology Innovation for the Advancement of Structural Health Monitoring: a Strategic Program of US–China Research for the Next Decade*, *Smart Structures and Systems*, Vol. 3, No. 2 (2007), 221-244.
- [23]. The European Construction Technology Platform, *Building Up Infrastructure Networks of a Sustainable Europe*, The reFINE Roadmap, (2013).
- [24]. Neylon, S., Richardson, A., & Van Heeren, H., *Expert Workshops in Microsystems for Structural Health Monitoring: NEXUS Report* (2008).
- [25]. Swartz, R., Zimmerman, A., & Lynch, J., *STRUCTURAL HEALTH MONITORING SYSTEM WITH THE LATEST INFORMATION TECHNOLOGIES: Proceedings of 5th Infrastructure & Environmental Management Symposium*, Yamaguchi, Japan, (2007).

- [26]. Inaudi, D., State of the Art in Fiber Optic Sensing Technology and EU Structural Health Monitoring Projects: Presented at the First International Conference on Structural Health Monitoring and Intelligent Infrastructures, (2003).
- [27]. Miamoto, A., IT-Based Bridge Health Monitoring, The 23rd International Thechnical Conference on Circuit/Systems, Computers and Comunication (ITC-CSCC 2008).

[۲۸]. علی معظمی، "بتن هوشمند"، نشریه عمران، مقاوم‌سازی و بهسازی شماره ۱۶

فهرست مطالب

- ۱- تدوین چشم‌انداز سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۱
- ۱-۱- چهارچوب نظری در خصوص تدوین و تبیین بیانیه چشم‌انداز ۲
- ۱-۱-۱- تعریف چشم‌انداز ۲
- ۱-۱-۲- ویژگی‌های یک چشم‌انداز مطلوب ۴
- ۱-۱-۳- ضرورت تدوین چشم‌انداز ۵
- ۱-۱-۴- انواع چشم‌اندازها ۶
- ۱-۱-۵- روش‌های تبیین بیانیه چشم‌انداز ۸
- ۲-۱- فرایند تدوین چشم‌انداز به روش منتخب در سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۱۰
- ۲-۱-۱- نتایج حاصل از بررسی اسناد بالادستی ۱۲
- ۲-۱-۳- نتایج حاصل از بررسی ابعاد چشم‌اندازی پایش سلامت سازه‌ها در کشورهای مختلف ۱۴
- ۲-۱-۳-۱- سازمان تکنولوژی ساخت اروپا (ECTP) ۱۵
- ۲-۱-۳-۲- سازمان انرژی باد اروپا (EWEA) ۱۵
- ۴-۱- تبیین چهارچوب بیانیه و ارائه پیش‌نویس اولیه بیانیه چشم‌انداز سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۱۸
- ۲- تدوین اهداف کلان سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۲۱
- ۲-۱- چهارچوب نظری تدوین اهداف کلان سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۲۲
- ۲-۱-۲- حوزه‌های اهداف تعیین شده ۲۳
- ۲-۱-۲- دریافت ورودی از نظرات خبرگان همراستا با چشم‌انداز، اصول ارزشی، هوشمندی فناوری ۲۴
- ۲-۱-۳- تدوین اولیه اهداف کلان بر اساس اطلاعات ورودی ۲۵
- ۲-۱-۴- تأیید و نهایی‌سازی اهداف کلان ۲۶

- ۲-۱-۵- دریافت بازخورد ۲۶
- ۲-۲- فرآیند تدوین اهداف توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۲۶
- ۲-۲-۱- مراحل تدوین اهداف سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۲۷
- ۲-۲-۱-۱- نتایج حاصل از بررسی گزارش توجیه‌پذیری ۲۸
- ۲-۲-۱-۲- نتایج حاصل از بررسی چشم‌انداز تدوین شده ۲۹
- ۲-۲-۱-۳- نتایج حاصل از بررسی گزارش اسناد بالادستی ۲۹
- ۲-۳- اهداف کلان تعیین شده در سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۳۱
- ۳- تدوین راهبردهای سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه راهکارهای کاهش آنها ۳۶
- ۳-۱- اولویت‌بندی فناوری‌ها بر اساس شاخص‌های جذابیت و توانمندی ۳۶
- ۳-۱-۱- تعیین شاخص‌های جذابیت و توانمندی ۳۸
- ۳-۱-۲- ارزیابی جذابیت و توانمندی بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه در تأسیسات اصلی صنعت برق ۴۰
- ۳-۱-۳- تحلیل نتایج ۴۵
- ۳-۲- ماتریس جذابیت- توانمندی فناوری پایش سلامت سازه در تأسیسات اصلی صنعت برق ۴۹
- ۳-۳- ناحیه‌بندی ماتریس جذابیت- توانمندی ۵۰
- ۳-۴- روش اکتساب فناوری پایش سلامت سازه در تأسیسات صنعت برق ۵۴
- ۳-۵- راهبردهای تعیین شده برای توسعه فناوری پایش سلامت سازه در تأسیسات صنعت برق ۵۹
- پیوست شماره ۱: پرسشنامه چشم‌انداز سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه راهکارهای کاهش آنها ۶۱

- پیوست شماره ۲: پرسشنامه اهداف سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه راهکارهای کاهش آنها..... ۶۴
- پیوست شماره ۳: پرسشنامه ارزیابی جذابیت و توانمندی بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه در تاسیسات صنعت برق..... ۶۷
- ۴- منابع و مراجع..... ۷۸

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- بررسی ابعاد قدرت و مزایای چشم‌انداز ۷
- شکل ۲-۱- گام‌های پردازش یک چشم‌انداز مطلوب ۱۰
- شکل ۱-۲- ویژگی‌های اهداف کلان ۲۶
- شکل ۲-۲- نحوه تعیین اهداف کلان در سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۲۸
- شکل ۱-۳- مدل مفهومی تدوین راهبردها ۳۶
- شکل ۳-۳- اثر پراکندگی فناوری‌ها در ماتریس جذابیت و توانمندی بر انتخاب نواحی ماتریس ۵۱
- شکل ۴-۳- ناحیه‌بندی ماتریس جذابیت- توانمندی بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه در تاسیسات صنعت برق ۵۲

فهرست جداول

جدول ۱-۱- عناوین سیاست‌ها و برنامه‌های مصوب بررسی شده	۱۲
جدول ۲-۱- ویژگی‌های موجود در اسناد بالادستی مرتبط پایش سلامت	۱۳
جدول ۳-۱- بیانیه چشم‌انداز سایر کشورها در حوزه پایش سلامت در سازه‌ها	۱۷
جدول ۴-۱- نظرات خبرگان پیرامون چشم‌انداز	۲۰
جدول ۱-۲- اهداف قابل استنتاج از اسناد بالادستی در حوزه توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق	۳۰
جدول ۲-۲- نظرات خبرگان پیرامون اهداف	۳۵
شکل ۱-۳- مدل مفهومی تدوین راهبردها	۳۶
جدول ۱-۳- اسامی و سمت افراد تکمیل کننده پرسشنامه جذابیت- توانمندی	۴۱
جدول ۲-۳- وزن سوالات جذابیت	۴۲
جدول ۳-۳- وزن سوالات توانمندی	۴۳
جدول ۴-۳- جمع‌بندی نتایج جذابیت و توانمندی بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه در تأسیسات صنعت برق	۴۴
جدول ۵-۳- جمع‌بندی نتایج جذابیت بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه در سازه‌های تشکیل دهنده تأسیسات صنعت برق	۴۴
جدول ۶-۳- نتایج تفکیکی مرتب شده بر اساس جذابیت بکارگیری پایش سلامت سازه در تأسیسات اصلی صنعت برق	۴۵
جدول ۷-۳- نتایج تفکیکی مرتب شده بر اساس توانمندی بکارگیری پایش سلامت سازه در تأسیسات اصلی صنعت برق	۴۷
جدول ۸-۳- نتایج مرتب شده بر اساس جذابیت بکارگیری پایش سلامت سازه در سازه‌های تأسیسات اصلی صنعت برق	۴۸
جدول ۹-۳- روش اکتساب پیشنهادی برای فناوریهای ناحیه دوم	۵۸



جدول ۳-۱۰- روش اکتساب پیشنهادی جهت بکارگیری فناوری پایش سلامت در تاسیسات صنعت برق..... ۵۹

۱- تدوین چشم‌انداز سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

سومین مرحله از تدوین سند راهبردی توسعه فناوری پایش سلامت سازه‌های صنعت برق، تدوین ارکان جهت ساز سند می‌باشد. تدوین ارکان جهت ساز به منظور شکل‌دهی به آینده ای مطلوب و مورد انتظار صورت می‌گیرد. شکل‌دهی آینده مطلوب، هم به معنی ایجاد یک تصویر از این آینده و هم به معنی تعیین مسیر و چگونگی دستیابی به آن است. بنابراین مأموریت این مرحله را می‌توان ترسیم آینده مطلوب از طریق ترسیم چشم‌انداز و تدوین اهداف کلان و نیز تعیین مسیر رسیدن به این آینده از طریق راهبردها و سیاست‌ها تعریف نمود. همانطور که از نام این مرحله پیدا است، پیاده‌سازی مؤلفه‌های آن در یک مورد عملیاتی به تعیین جهت‌گیری‌های کلان توسعه فناوری می‌انجامد. تعیین اهداف خرد، اقدامات و سیاست‌های خرد در قالب جهت‌گیری‌های خرد در مرحله بعدی صورت می‌گیرد.

به طور کلی چشم‌انداز^۱ بیانگر افق و جایگاه مطلوب، آرمانی و رقابتی برای سازمان، صنعت یا تکنولوژی است. چشم‌انداز همواره امیدها و اهداف آرمانی سازمان را نشان می‌دهد و یادآوری می‌کند که جهت حرکت به کدام سو ادامه می‌یابد. به عبارت دیگر چشم‌انداز آینده‌ای است واقع‌گرایانه، محقق‌الوقوع و جذاب که کلید رهبری حرکت به سوی اهداف است. بر این اساس در خصوص موضوع سند، چشم‌انداز شامل جایگاه مطلوب کشور در موضوع سند خواهد بود.

اهمیت چشم‌انداز از ابعاد گوناگونی قابل بررسی است، با توجه به موارد ذکر شده می‌توان گفت که چشم‌انداز دو کارکرد اصلی دارد: نخست از به بیراهه کشیده شدن فعالیت‌ها جلوگیری کرده و دوم اینکه همواره امید را برای نیل به اهداف تعیین شده تقویت می‌نماید.

انواع آینده که در چشم‌انداز به آن پرداخته می‌شود، در سه دسته، طبقه‌بندی می‌شود: آینده ممکن، آینده محتمل و آینده مطلوب.

آینده ممکن: شامل تمامی آینده‌هایی است که می‌تواند اتفاق بیفتد. مهم نیست که این آینده‌ها تا چه حد احتمال وقوع داشته باشند و یا حتی دست‌نیافتنی باشند.

آینده‌های محتمل: آنچه به احتمال بسیار زیاد در آینده به وقوع خواهد پیوست.

آینده‌های مطلوب: آن رویداد آتی که بیشترین مطلوبیت و ارجحیت را دارد.

هدف از این بخش، تدوین بیانیه اولیه چشم‌انداز توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق می‌باشد. بیانیه اولیه چشم‌انداز باید مبتنی بر مطالعات صورت گرفته (خصوصاً چشم‌انداز سایر کشورها) و اسناد بالادستی (خصوصاً اسناد راهبردی صنعت برق) تدوین گردد. با توجه به اینکه تدوین بیانیه اولیه چشم‌انداز نیازمند شناخت اساس و چهارچوب نظری تدوین چشم‌انداز و ملاحظات کلی تدوین چشم‌انداز می‌باشد در ابتدا به بررسی چارچوب نظری و ملاحظات کلی تدوین و تبیین چشم‌انداز پرداخته می‌شود. پس از آن با تجزیه و تحلیل مطالعات انجام شده و اسناد بالادستی، به تدوین بیانیه اولیه چشم‌انداز پرداخته خواهد شد.

۱-۱- چهارچوب نظری در خصوص تدوین و تبیین بیانیه چشم‌انداز

همان‌طور که اشاره شد یکی از گام‌های اساسی در تدوین برنامه راهبردی، تدوین چشم‌انداز است. در حقیقت، می‌بایست مقصد نهایی در یک افق زمانی مشخص تعیین گردد. با تهیه چنین تصویری از آینده، فعالیت‌ها و تصمیم‌گیری‌های کلان، فرابخشی و بخشی دارای یک هدف واحد و آن رسیدن به چشم‌انداز تعیین شده می‌باشد. در این بخش از گزارش به بررسی مبانی نظری در انتخاب یک چشم‌انداز مناسب و همچنین بررسی الزامات آن پرداخته شده است. بر این اساس در این بخش ابتدا تعاریف و ویژگی‌های چشم‌انداز از منابع علمی مختلف ارائه و سپس متدولوژی‌های تدوین چشم‌انداز معرفی شده است.

تعریف چشم‌انداز

واژه چشم‌انداز در زبان فارسی به معنی تصویری است که از آینده در نظر انسان مجسم می‌شود. در مطالعات انجام گرفته،

تعاریف مختلفی از چشم‌انداز وجود دارد که برخی از مهم‌ترین آن‌ها به شرح ذیل ارائه می‌شود [۱]:

↪ آینده واقع‌گرایانه، قابل تحقق و جذاب

↪ بیان صریح سرنوشتی که باید به سوی آن حرکت کرد

↪ هنر دیدن نادیدنی‌ها

- ↔ چشم‌انداز یک عامل کلیدی در رهبری و یک جنبش ذهنی از شناخته‌ها به ناشناخته‌ها است که رهبران اثربخش را قادر می‌سازد، با در کنار هم قرار دادن حقایق، آرزوها، ایده‌آل‌ها، فرصت‌ها و تهدیدها، آینده‌ای جذاب برای خود خلق کنند.
- ↔ چشم‌انداز عبارت است از تصویر مطلوب و آرمان قابل دستیابی جامعه در یک افق زمانی معین بلندمدت که متناسب با مبانی ارزشی و آرمان‌های نظام و مردم تعیین می‌گردد.
- ↔ چشم‌انداز به عنوان تصویر آینده‌ای که در جستجوی خلق آن هستیم معرفی شده، که هر چه این تصویر از نظر جزئیات غنی‌تر باشد، جالب‌توجه‌تر خواهد بود.
- ↔ چشم‌انداز علاوه بر این که برانگیزاننده، هدایتگر و جهت‌دهنده اداره جامعه و همچنین الهام‌بخش، وحدت‌آفرین و قابل فهم برای همه اقشار می‌باشد، باید از ویژگی‌های آینده‌نگری، واقع‌گرایی، ارزش‌گرایی و جامع‌نگری برخوردار بوده و نسبت به وضع موجود، چالش اساسی داشته باشد تا بتوان عزم ملی را جهت تحقق آن فراهم آورد.
- ↔ چشم‌انداز هر مجموعه اگر به صورت دقیق، جامع و آینده‌نگرانه تعریف شده باشد، می‌تواند مسیر حرکت را همواره هدفمند و جهت‌دار نماید. آگاهی کامل ذینفعان به چشم‌انداز، می‌تواند آن‌ها را در تصمیمات کلیدی یاری دهد. البته چشم‌انداز می‌تواند در طی زمان تکمیل گردد.
- ↔ چشم‌انداز آمیزه‌ای از ارزش و داوری‌های مبتنی بر ایدئولوژی و واقعیت‌های اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی می‌باشد. طبق این دیدگاه، هر ایدئولوژی، ترسیم‌کننده یک چشم‌انداز است، لذا در مقام برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری باید ایدئولوژی واحدی حاکم باشد تا چشم‌انداز واحدی شکل بگیرد.
- ↔ چشم‌انداز، ارائه‌دهنده یک تصویر مطلوب، آرمانی و قابل دستیابی است که مانند چراغی در افق بلندمدت، فرآوری سازمان و ذی‌نفعانش قرار دارد و واجد ویژگی‌های جامع‌نگری، آینده‌نگری، ارزش‌گرایی و واقع‌گرایی می‌باشد.
- ↔ چشم‌انداز عبارت است از تصویر مطلوب (شفاف، واقعی، جذاب و قابل قبول) و آرمان قابل دستیابی در افق زمانی معین بلندمدت، که متناسب با مبانی ارزشی ذی‌نفعان تعیین می‌گردد.

۱-۱-۱- ویژگی‌های یک چشم‌انداز مطلوب

در تعاریف اشاره شده ویژگی‌های مختلفی برای چشم‌انداز مطلوب بیان شده‌است که در این بخش برخی از مهم‌ترین ویژگی چشم‌انداز مطلوب ارائه می‌گردد. ویژگی‌هایی که چشم‌انداز مطلوب باید دارای آن‌ها باشد عبارتند از [۱]:

- ↔ قابل دستیابی در زمان مورد نظر و کمیت‌پذیر
 - ↔ برآیند آثار ناشی از مزیت‌ها (مؤلفه‌های قوت و فرصت) از یک طرف و رافع چالش‌ها (نقاط ضعف و تهدید)
 - ↔ جامع، تحول‌گرا، آینده‌نگر و پویا
 - ↔ دارای افق زمانی معین
 - ↔ بلندپروازانه و در عین حال منحصر به فرد
 - ↔ برانگیزاننده مشارکت همگانی و مشوق حرکت
 - ↔ پیونددهنده حال و آینده به همدیگر (یعنی در عین آنکه باید واقع‌گرایانه باشد، مطابق با آرمان‌ها نیز باشد)
 - ↔ اطمینان‌بخش و توجه‌برانگیز برای ذینفعان
 - ↔ دارای حس مالکیت و تعلق و تقویت‌کننده این حس در ذینفعان
 - ↔ تعیین‌کننده مسیر حرکت و به وجود آورنده هدفی منسجم (در این خصوص چشم‌انداز باید تصویری ممکن از اهداف مطلوب را دارا باشد)
 - ↔ تداوم‌بخش به برنامه‌ریزی و اجرا آن‌ها
 - ↔ نشان‌دهنده فرصت‌های موجود و راه بهره‌جویی از این فرصت‌ها
- این در حالی است که در سیستم‌ها و سازمان‌هایی با مقیاس‌های کوچک‌تر ویژگی‌های زیر را نیز باید برای چشم‌انداز متصور

شد:

- ↔ ایجادکننده رضایت شغلی، تعهد، علاقه و غرور در کارکنان و انرژی‌دهنده به آن‌ها و در حوزه سازمانی اثرگذار و معنی‌بخش به جوانب مختلف زندگی
- ↔ مشوق یادگیری
- ↔ مشخص‌کننده مخاطب

↪ مشخص کننده استاندارد برتر

↪ کوتاه و دقیق

↪ مرتبط با تمام ذینفعان مرتبط

۱-۱-۲- ضرورت تدوین چشم‌انداز

از دیگر مواردی که باید در تدوین بیانیه اولیه چشم‌انداز در نظر گرفته شود، درک و بیان ضرورت و اهمیت تدوین چشم‌انداز می‌باشد. همان طور که اشاره شد ضرورت اصلی تدوین چشم‌انداز تعیین افق، جایگاه و موقعیت مطلوب است که با تعیین آن از منحرف شدن از مسیر اصلی جلوگیری شده و امید فعالیت در مجموعه ذینفعان مدنظر تقویت می‌شود. علائم نیاز به چشم‌انداز عبارتند از:

↪ وجود شواهدی مبنی بر اختلال و عدم شفافیت نسبت به هدف

↪ عدم شفافیت آینده

↪ ظهور رقبای جدید

↪ عدم انطباق روند توسعه با روندهای کلان ملی و بین‌المللی

↪ ناهماهنگی بین ذینفعان

↪ تنوع و تعدد ذینفعان مرتبط با مسئله توسعه

↪ پیچیدگی‌های روند و ماهیت توسعه

↪ ضعف در منابع کلان مورد نیاز

↪ عدم تخصیص صحیح اولویت‌ها

↪ ضعف یا فقدان نهادهای تخصصی مرتبط با موضوع

لازم به یادآوری است که بروز این علائم احتمالاً دارای یکی از معانی زیر خواهد بود:

↪ بخش و یا کلیت مفهوم چشم‌انداز فعلی به خوبی منتقل نشده است.

↪ بخش و یا کلیت مفهوم چشم‌انداز فعلی به خوبی درک نشده است.

↪ بخش و یا کل چشم‌انداز فعلی برای افراد ترغیب‌کننده و الهام‌بخش نیست.

لذا باید جهت‌دهی جدید و نوینی تعریف و تنظیم گردد و از این رو بر خورداری از یک چشم‌انداز مؤثر، جامع و کارآمد حائز اهمیت خواهد شد.

۱-۱-۳- انواع چشم‌اندازها

برخی از مزایا و ابعاد قدرت چشم‌انداز در شکل ۱-۱ ارائه شده است. اکثر چشم‌اندازها به بیان جمله‌ای کیفی و کلی پرداخته‌اند. با این وجود، می‌توان چشم‌انداز را به چهار نوع دسته‌بندی نمود [۱]:

الف- چشم‌انداز کمی

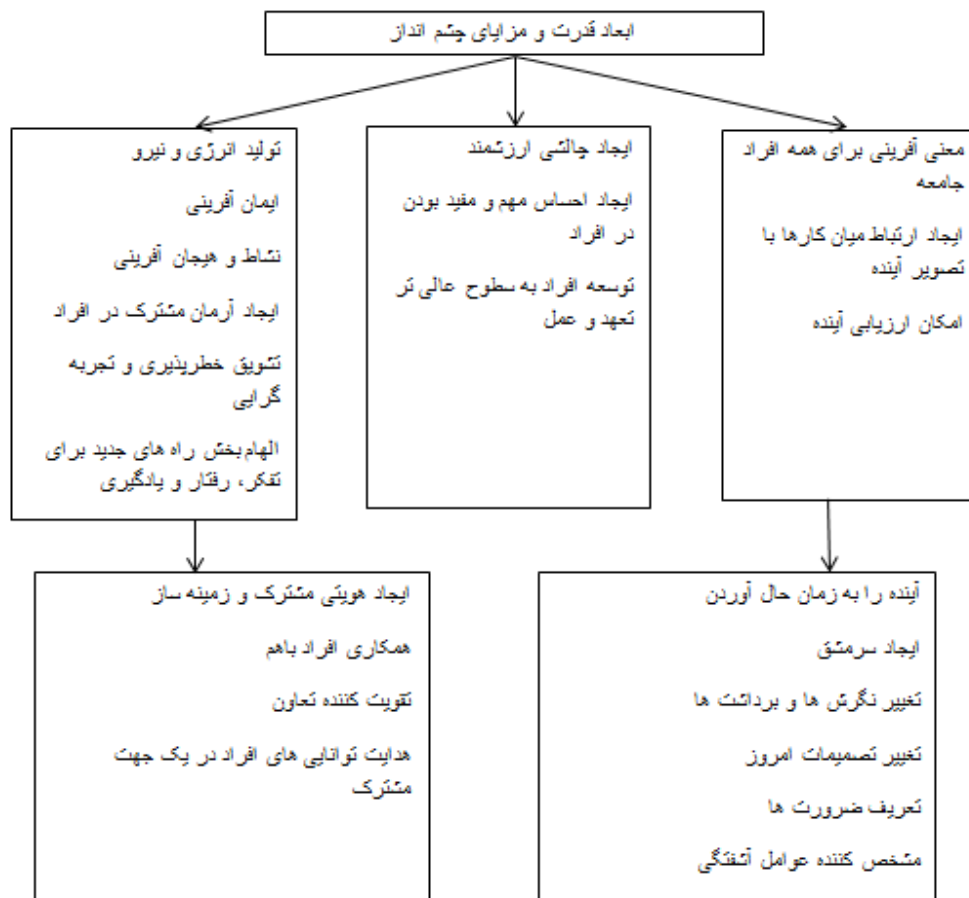
چشم‌اندازی است که در آن شاخص‌های کمی برای آینده مطلوب بیان شده و سپس هر یک از این شاخص‌ها عددگذاری می‌شوند. چشم‌اندازهای کمی می‌توانند از نوع عددی (به عنوان مثال، میزان تولید در افق زمانی چشم‌انداز) و یا از نوع درصدی (درصد سهم تولید در کشور یا منطقه در افق زمانی چشم‌انداز) باشند.

ب- چشم‌انداز کیفی

بر خلاف چشم‌انداز کمی، در این چشم‌انداز به بیان جملاتی کیفی و عاری از اعداد و ارقام پرداخته می‌شود. این نوع چشم‌انداز، شاخص‌های کیفی را برای نشان دادن آینده مطلوب به کار می‌برند.

پ- چشم‌انداز رتبه‌ای

در چشم‌انداز رتبه‌ای، جایگاه کشور، سازمان یا بخش بین دیگران به عنوان ملاک بیان آینده مطلوب در نظر گرفته شده است. به عنوان مثال، ممکن است کشور یا سازمانی در بیانیه چشم‌انداز خود اعلام نماید که قصد دارد در بین رقبای جایگاه سوم را دارا باشد.



شکل ۱-۱- بررسی ابعاد قدرت و مزایای چشم‌انداز

ت- چشم‌انداز مقایسه‌ای

در چشم‌انداز مقایسه‌ای، جایگاه آینده در مقایسه با رقبای اصلی ترسیم می‌شود و ملاک پیشرفت و توسعه برتری نسبت به یک رقیب خاص اعلام شده است.

البته باید توجه داشت که چشم‌اندازهای رتبه‌ای و مقایسه‌ای تا حدی زیرمجموعه چشم‌اندازهای کمی و کیفی هستند و از این روی چشم‌انداز در دو دسته کلی کیفی و کمی قابل طبقه‌بندی خواهند بود.

پس از شناسایی مبانی پایه، ضرورت‌های خلق چشم‌انداز و معرفی انواع آن نوبت به شناخت روش‌های تبیین چشم‌انداز می‌رسد، از این رو در ادامه به بررسی روش‌های مختلف تبیین چشم‌انداز پرداخته شده است.

۱-۱-۴- روش‌های تبیین بیانیه چشم‌انداز

فرایند تدوین چشم‌انداز دارای پیچیدگی و سختی وصف‌ناپذیری است، از این رو روش‌های بسیار متنوعی توسط محققان مختلف برای تدوین بیانیه چشم‌انداز پیشنهاد شده است. به دلیل پیچیدگی موجود در این فرآیند، می‌توان گفت که هیچ کدام از روش‌های موجود کامل نیست و به همین دلیل در اکثر موارد برای تدوین بیانیه چشم‌انداز باید از ترکیب چند روش استفاده نمود. از این رو در ادامه برخی از مهم‌ترین روش‌های تدوین و خلق چشم‌انداز ارائه شده است.

۱- **روش ۵ چرا:** کالینز و پوراس در سال ۱۹۹۶ طی مقاله‌ای در مجله «بررسی‌های بازرگانی هاروارد» توصیه کردند که با این پرسش کار را آغاز کنید که «چرا این کالاها و خدماتی را که ما تولید می‌کنیم مهم هستند؟» این سؤال را ۵ بار تکرار کنید تا به هدف بنیادین خود پی ببرید.

۲- **روش استوارت:** توماس استوارت قالبی را طراحی کرده که تدوین چشم‌انداز را برای هر جامعه‌ای تسهیل می‌نماید:

۱- جایگاه جامعه (رهبر، پیشرو، جهانی،...)

۲- کالا و خدمات (نوآور، ارزان، متنوع، باکیفیت،...)

۳- مشتریان و ذی‌نفعان (بازار جهانی، خلق ارزشی به ذینفعان،...)

۴- صنعت

۳- **روش برت نی‌نوس:** برت نی‌نوس روش نسبتاً پیچیده ولی جامع‌تری را برای تدوین چشم‌انداز معرفی کرده است که این روش شامل مراحل زیر می‌باشد:

۱- وضعیت فعلی جامعه، کسب و کار و نحوه فعالیت

۲- تعیین مرزهای چشم‌انداز (شناسایی ذینفعان و نیازهای آنان)

۳- تعیین جایگاه جامعه در محیط آتی

۴- ارزیابی و انتخاب چشم‌انداز نهایی

۴- **روش کیگلی:** به زعم کیگلی، چشم‌انداز رهبر، بر درک گذشته و حال دلالت دارد و مهم‌تر از آن، نقشه‌راهی برای آینده ارائه می‌کند و به افراد راهکارهایی در جهت عمل و عکس‌العمل برای تحقق آینده مطلوب عرضه می‌دارد. باید توجه

داشت که پس از تبیین هر یک از ارکان چشم‌انداز، کیگلی در فرآیندی با نام فرآیند برنامه‌ریزی رایزنی رهبری، نحوه

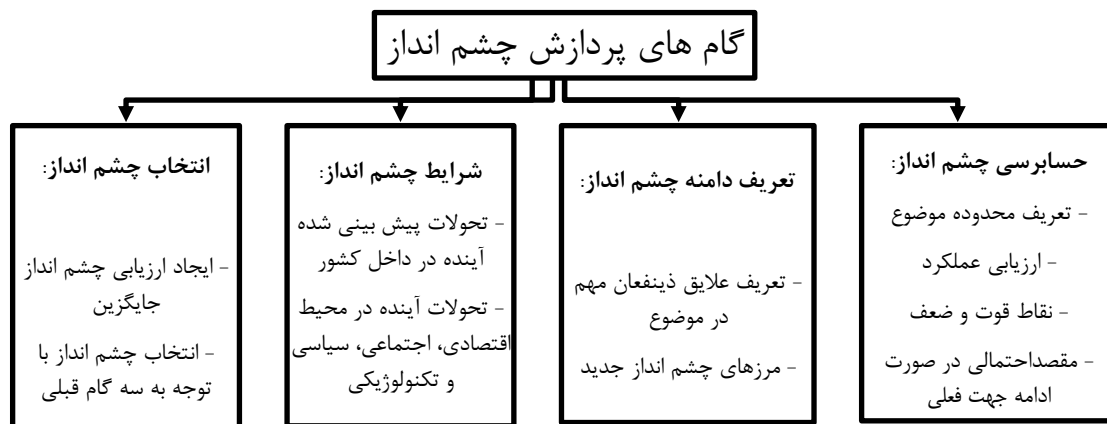
تدوین چشم‌انداز را در گام‌های زیر خلاصه می‌کند:

- ۱- انتخاب افراد شرکت‌کننده در تدوین چشم‌انداز
 - ۲- تدارک جلسه آشنایی مختصری برای تمام افراد گروه مرکزی
 - ۳- تهیه و ارسال پرسشنامه برای هر یک از اعضا و گروه‌های مرتبط
 - ۴- مصاحبه با افرادی که این شیوه را ترجیح می‌دهند.
 - ۵- جمع‌آوری پاسخ‌ها و دسته‌بندی پاسخ‌های مشابه
 - ۶- خلاصه کردن نتایج
 - ۷- آماده‌سازی و ارسال داده‌ها برای اعضای گروه مرکزی
- ۵- **روش لاتام:** در این شیوه هشت گام معرفی شده که به شرح زیر می‌باشند:

- ۱- گام اول: جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات بنیادین
- ۲- گام دوم: طوفان ذهنی
- ۳- گام سوم: حذف اضافات
- ۴- گام چهارم: تدوین سند اولیه
- ۵- گام پنجم: تصحیح بیانیه
- ۶- گام ششم: آزمون معیارها
- ۷- گام هفتم: کسب تأیید یا تصحیح
- ۸- گام هشتم: ابلاغ چشم‌انداز

این در حالی است که چشم‌انداز به هر روشی که انتخاب و خلق گردد باید مبتنی بر گام‌های خلق آن و مطابق با رویکرد

ارائه شده در شکل ۱-۲ پردازش و ارائه شود. در این شکل گام‌های پردازش چشم‌انداز به طور خلاصه ذکر شده است:



شکل ۲-۱- گام‌های پردازش یک چشم‌انداز مطلوب

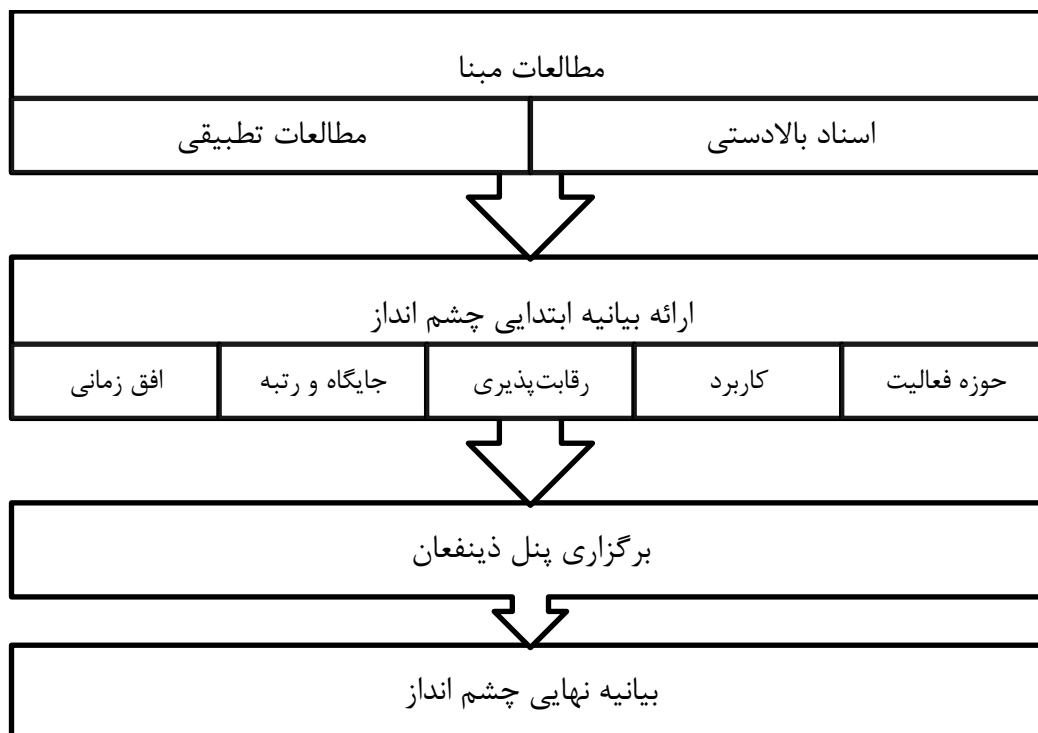
۲-۱- فرایند تدوین چشم‌انداز به روش منتخب در سند راهبردی پایش سلامت در

سازه‌های صنعت برق

با توجه به مطالب ذکر شده در رابطه با تعریف، ویژگی‌ها و روش‌های چشم‌انداز و جمع‌بندی این مطالب می‌توان به انتخاب

یک روش پیشنهادی ترکیبی برای تدوین چشم‌انداز پرداخت. برای تدوین چشم‌انداز بر اساس فلوجارت ارائه شده در شکل ۳-۱

عمل می‌شود.



شکل ۱-۳: مدل اجرایی خلق چشم‌انداز

از این رو بر اساس روش منتخب گام‌های خلق یک چشم‌انداز به شرح زیر می‌باشد:

در مرحله اول به بررسی مطالعات تطبیقی و اسناد بالادستی پرداخته شده و با استفاده از این بررسی‌ها یک دید کلی نسبت به فضای صنعت و یا سیستم مدنظر به دست می‌آید. در مرحله دوم باید ویژگی‌های اساسی ذکر شده در یک بیانیه اولیه مطلوب لحاظ شود. در مرحله سوم، با توجه به مطالعات انجام شده و دید به دست آمده از مرحله قبل، به تدوین بیانیه ابتدایی از چشم‌انداز پرداخته می‌شود. در مرحله چهارم که در شکل ۱-۳ از آن تحت عنوان برگزاری پنل ذینفعان یاد شده است، چشم‌انداز اولیه با ذینفعان در میان گذاشته می‌شود. در این مرحله پس از دریافت و بررسی نظرات ذینفعان در صورت لزوم تغییراتی در بیانیه اولیه چشم‌انداز داده می‌شود. با استفاده از تکنیک‌هایی مانند طوفان ذهنی بیانیه چشم‌انداز که مورد قبول تمام ذینفعان اصلی باشد نهایی و تدوین می‌شود.

لازم به یادآوری است که چشم‌انداز تدوین شده باید مورد ارزیابی قرار گیرد تا کارایی آن اثبات شود. برای اثبات کارایی چشم‌انداز، بیانیه نهایی چشم‌انداز تدوین شده از لحاظ دارا بودن صفات و ویژگی‌های ضروری چشم‌انداز بررسی و سنجیده می‌شود و در صورتی که صفات و ویژگی‌های ذکر شده را دارا باشد چشم‌انداز از کارایی خوبی برخوردار خواهد بود. بر اساس

کلیت اجمالی بیان شده از روش منتخب تدوین چشم‌انداز در ادامه مطابق با گام‌های بیان شده به بررسی اسناد بالادستی و مطالعات تطبیقی پرداخته می‌شود.

۱-۲-۱- نتایج حاصل از بررسی اسناد بالادستی

همان طور که اشاره شد یکی از مهم‌ترین مراحل در تدوین سند راهبردی تبیین چشم‌انداز است. یکی از منابع اصلی برای تدوین بیانیه اولیه چشم‌انداز اسناد بالادستی مرتبط با حوزه مدنظر می‌باشند. با توجه به متنوع بودن ارگان‌های قانون‌گذار، اسناد بالادستی متعددی در رابطه با پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق بررسی شده‌اند که لیست این اسناد در جدول ۱-۱ ارائه شده است. در اکثر اسناد بررسی شده سیاست‌های کلی کشور مشخص شده و به طور خاص به موضوع پایش سلامت در سازه‌های برق اشاره نشده است. با مطالعه قوانین و سیاست‌های مرتبط، با توجه به پتانسیل‌های موجود در بکارگیری پایش سلامت در سازه‌های برق، ویژگی‌های قابل تصور برای چشم‌انداز پیشنهادی را می‌توان برداشت کرد. ویژگی و مواردی که با توجه به اسناد بالادستی می‌توانند در بیانیه چشم‌انداز در نظر گرفته شوند، در جدول ۱-۲ ارائه شده‌اند.

جدول ۱-۱- عناوین سیاست‌ها و برنامه‌های مصوب بررسی شده

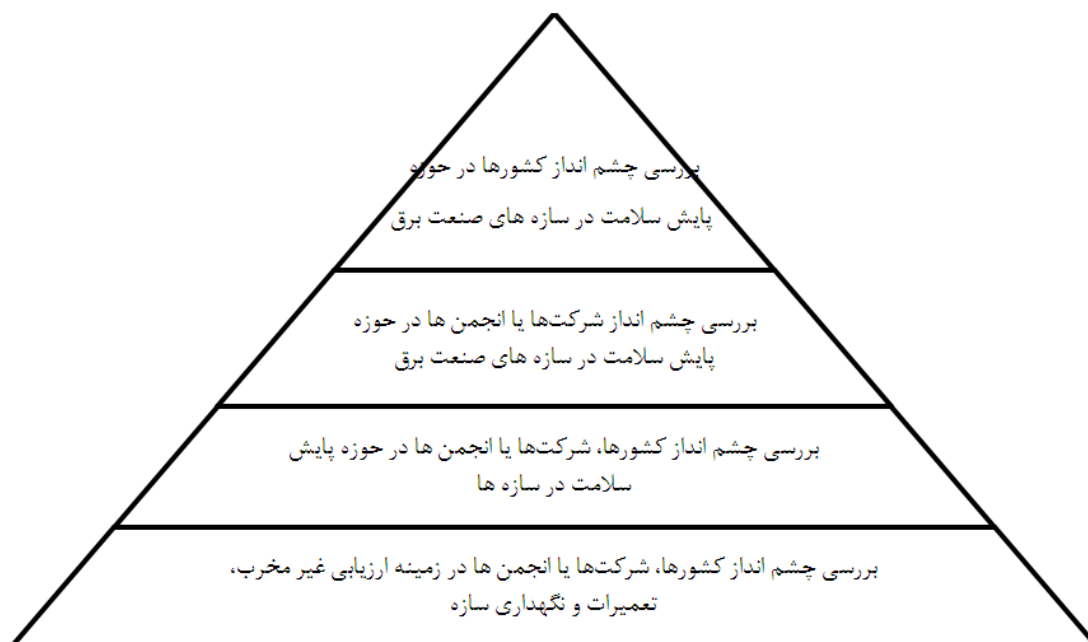
ردیف	قانون	مرجع صادرکننده	تاریخ تصویب
۱	چشم‌انداز جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۰۴	مجمع تشخیص مصلحت نظام	۱۳۸۲
۲	قانون برنامه پنجم توسعه اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی جمهوری اسلامی ایران	مجلس شورای اسلامی	۱۳۹۰
۳	سند چشم‌انداز و برنامه راهبردی بلندمدت وزارت نیرو	وزارت نیرو	۱۳۹۰
۴	مجموعه مقاصد و اهداف فناوریانه کلان در صنعت برق کشور	وزیر نیرو	۱۳۹۱
۵	سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی	مجمع تشخیص مصلحت نظام	۱۳۹۲
۶	سیاست‌های کلی نظام در زمینه علم و فناوری	مجمع تشخیص مصلحت نظام	۱۳۹۳

جدول ۱-۲- ویژگی‌های موجود در اسناد بالادستی مرتبط پایش سلامت

ردیف	قانون تصویب شده	بخش مربوط به صنعت برق	موارد و ویژگی‌های قابل برداشت از قانون که در تدوین بیانیه اولیه چشم‌انداز باید در نظر گرفته شوند
۱	چشم‌انداز جمهوری اسلامی در افق ۱۴۰۴ [۲]	<ul style="list-style-type: none"> توسعه یافته برخوردار از دانش پیشرفته متکی بر تولید ملی بهره‌مند از محیط زیست مطلوب دست یافتن به جایگاه اول اقتصادی، علم و فناوری در سطح منطقه آسیای جنوب غربی 	<p>بومی‌سازی فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در افق ۱۴۰۴</p> <p>بکارگیری فناوری پایش سلامت در سازه‌های برق با در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی</p>
۲	سند چشم‌انداز و برنامه راهبردی بلندمدت وزارت نیرو [۳]	<p>وزارت نیرو با ارتقاء بهره‌وری و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، سازگار با محیط‌زیست و متناسب با زیرساخت‌های حال و آینده و توسعه مشارکت و بهره‌وری منابع انسانی متخصص و خلاق به‌عنوان ارزشمندترین دارایی، نقشی مؤثر در رفاه اجتماعی و تبادل برق با کشورهای منطقه ایفا نموده و در راستای کاهش شدت انرژی، افزایش خوداتکایی و توسعه کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر اقدام می‌کند</p>	<ul style="list-style-type: none"> ارتقاء بهره‌وری از طریق بکارگیری فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق افزایش رفاه اجتماعی از طریق بکارگیری فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق افزایش خوداتکایی از طریق بومی‌سازی فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق
		افزایش بهره‌وری تولید برق و ارتقاء بازده نیروگاه‌ها	افزایش بهره‌وری تولید برق و ارتقاء بازده نیروگاه‌ها از طریق بکارگیری فناوری پایش سلامت در نیروگاه‌ها
		ارتقاء ایمنی در فعالیت‌های صنعت برق	ارتقاء ایمنی در فعالیت‌های صنعت برق از طریق بکارگیری فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق
۳	قانون برنامه پنجم توسعه اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی جمهوری اسلامی ایران [۴]	بهینه‌سازی تولید و افزایش راندمان نیروگاه‌ها، کاهش اتلاف	بهینه‌سازی تولید و افزایش راندمان نیروگاه‌ها با بکارگیری فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق
۴	مجموعه مقاصد و اهداف فناوریانه کلان در صنعت برق کشور [۵]	افزایش امنیت انرژی (پدافندی-فنی و قابلیت اطمینان) جهت تحقق مقصد کلان سرآمد کشورهای منطقه در عرضه برق پاک، مطمئن، پایا با کیفیت مناسب	افزایش پایایی شبکه با به کارگیری سیستم پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق
۵	سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی [۶]	افزایش بهره‌وری برق در کلیه مراحل زنجیره تولید تا مصرف	افزایش بهره‌وری برق در تولید، انتقال و توزیع با به کارگیری سیستم پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق
		توسعه زیرساخت‌های تولید و انتقال برق و تلاش برای تأمین ملزومات تبدیل کشور به قطب تامین و تبادل برق منطقه	تبدیل کشور به قطب تامین و تبادل برق منطقه از طریق توسعه زیرساخت‌های تولید و انتقال برق از جمله بکارگیری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق
۶	سیاست‌های کلی نظام در بخش علم و فناوری [۷]	<ul style="list-style-type: none"> ارتقاء جایگاه جهانی کشور در علم و فناوری و تبدیل ایران به قطب علمی و فناوری جهان اسلام. دستیابی به علوم و فناوری‌های پیشرفته با سیاست‌گذاری و برنامه ریزی ویژه 	دستیابی به فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

۱-۳- نتایج حاصل از بررسی ابعاد چشم‌اندازی پایش سلامت سازه‌ها در کشورهای مختلف

همان‌طور که در بررسی چهارچوب نظری تبیین بیانیه چشم‌انداز و فرآیند منتخب تدوین چشم‌انداز اشاره شد، بررسی ابعاد چشم‌اندازی پایش سلامت سازه‌ها در سایر کشورها منبع مناسبی است که می‌توان از آن در تدوین بیانیه اولیه چشم‌انداز استفاده کرد. در ادامه با توجه به محدود بودن اسناد مرتبط با توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در سایر کشورها، از اسناد مرتبط با این حوزه نظیر اسناد موجود در حوزه ارزیابی غیرمخرب و همچنین نقشه‌راه شرکت‌ها و تیم‌های تحقیقاتی فعال در حوزه فناوری پایش سلامت استفاده شده است. در این مرحله پس از بحث و بررسی‌های انجام شده، مدل توسعه مفهومی مطالعات تطبیقی در این حوزه مشخص شد. این مدل در شکل ۱-۴ نشان داده شده است.



شکل ۱-۴- مدل توسعه مفهومی ارزیابی چشم‌انداز پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در سایر کشورها

پس از جستجو بر اساس مدل شکل ۱-۴ و با توجه به اینکه سندی در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق یافت نشد، جستجو بر اساس سطوح پایین‌تر صورت گرفت که با توجه به محدودیت منابع، چشم‌انداز سازمان تکنولوژی ساخت اروپا

(ECTP) و سازمان انرژی باد اروپا (EWEA^۱) مورد بررسی قرار گرفت که در ادامه ابتدا توضیحاتی از هر کدام از سازمان‌ها آورده شده و بیانیه چشم‌انداز آنها نیز در جدول ۱-۳ آمده است.

۱-۳-۱ - سازمان تکنولوژی ساخت اروپا (ECTP) [۸]

نقشه‌راهی برای تحقیقات در زیر ساخت شبکه‌های ارتباطی آینده در اروپا توسط سازمان تکنولوژی ساخت اروپا تدوین شده است که به تحقیقات در ارتباط با توسعه و نوآوری در زیر ساخت شبکه حمل و نقل می‌پردازد. چشم‌انداز این سند در سال ۲۰۳۰، تأمین حمل و نقل روان و با کیفیت شهری و بین شهری توسط نسل جدیدی از شبکه‌های ارتباطی و زیر ساخت‌ها می‌باشد. در این برنامه، پایش سلامت سازه‌ها به منظور بهینه کردن هزینه نگهداری، افزایش طول عمر و کاهش خرابی‌ها، اهمیت بسیاری دارد.

۱-۳-۲ - سازمان انرژی باد اروپا (EWEA^۲) [۹]

در برنامه استراتژیکی که در سال ۲۰۱۴ برای پیشرفت تکنولوژی استفاده از انرژی باد در اروپا توسط سازمان انرژی باد اروپا (EWEA^۳) برای افقی تا سال ۲۰۳۰ نوشته شده است، تحقیقات در جهت توسعه پایش سلامت سازه‌های مرتبط با این نوع انرژی به عنوان قسمتی از طرح توسعه انرژی در نظر گرفته شده است.

انرژی حاصل از باد داخل دریا^۴ نقش بسیار مهمی در تأمین انرژی پاک و تجدیدپذیر در آمریکا ایفا می‌کند. اما از آنجا که هزینه تعمیر و نگهداری این نوع توربین‌ها بسیار بالا می‌باشد، به برنامه‌ی جامعی جهت پایش سلامت این سازه‌ها نیاز است. به این منظور در سال ۲۰۱۲ نقشه راهی برای مدیریت پایش سلامت و تشخیص خرابی توربین‌های بادی داخل دریا توسط Sandia National Laboratories تحت نظر اداره امنیت هسته‌ای ملی وزارت انرژی آمریکا^۵ تدوین شده است. در این برنامه

¹ - The European Wind Energy Association

² - The European Wind Energy Association

³ - The European Wind Energy Association

⁴ - Offshore wind energy

⁵ - The U.S. Department of Energy's National Nuclear Security Administration

استراتژیک تأکید شده است که یک سیستم پایش سلامت موفق قادر خواهد بود بسیاری از هزینه‌های غیر ضروری و خارج از برنامه‌ی نگهداری را حذف کند و یا کاهش دهد.

جدول ۳-۱- بیانیه چشم‌انداز سایر کشورها در حوزه پایش سلامت در سازه‌ها

ردیف	نام کشور	افق چشم‌انداز	سال تدوین چشم‌انداز	بیانیه چشم‌انداز	حوزه‌های راهبردی مورد توجه قرار گرفته در چشم‌انداز تعریف شده (اهداف و ارزش‌های مورد توجه قرار گرفته)
۱	سازمان تکنولوژی ساخت اروپا (ECTP)	۲۰۳۰	۲۰۱۳	در این برنامه، پایش سلامت سازه‌ها به منظور بهینه کردن هزینه نگهداری، افزایش طول عمر و کاهش خرابی‌ها در نظر گرفته شده است.	<ul style="list-style-type: none"> کاهش هزینه های نگهداری افزایش قابلیت اطمینان
۲	سازمان انرژی باد اروپا (EWEA ^۱)	۲۰۳۰	۲۰۱۴	استفاده از سیستم پایش سلامت به منظور حذف یا کاهش بسیاری از هزینه‌های غیر ضروری و خارج از برنامه‌ی نگهداری	کاهش هزینه های تعمیرات و نگهداری

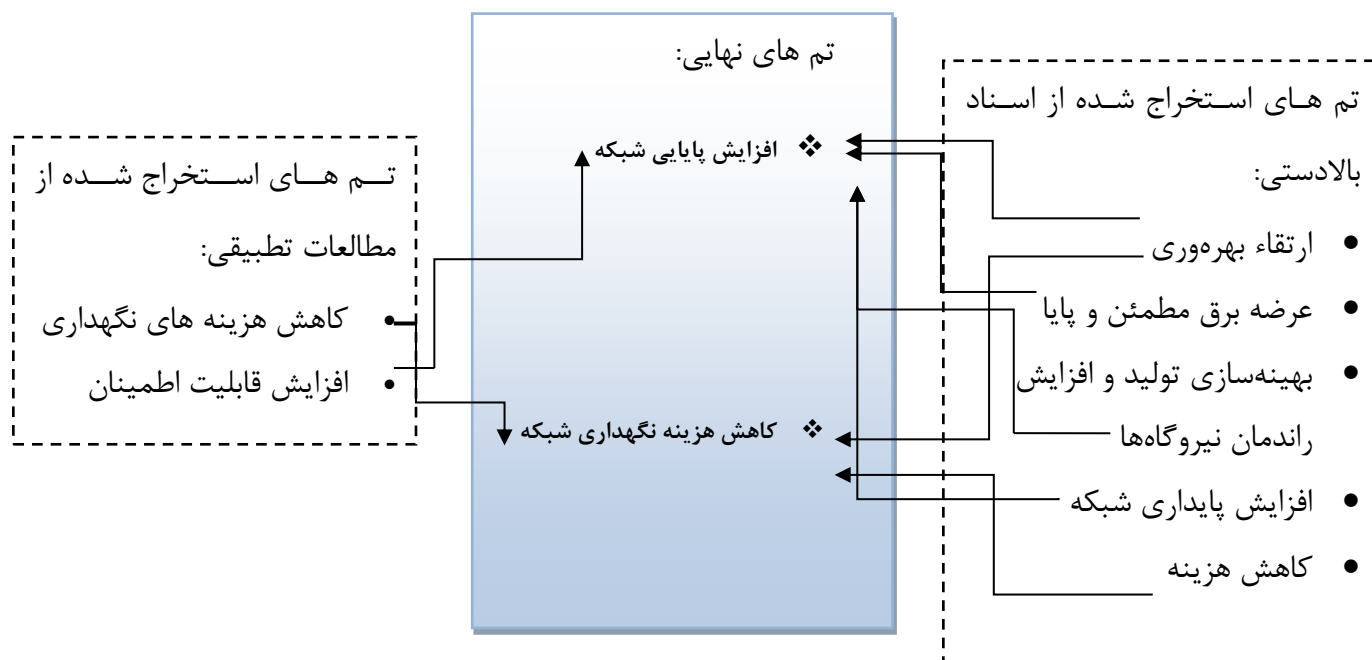
^۱- The European Wind Energy Association

۱-۴- تبیین چهارچوب بیانیه و ارائه پیش‌نویس اولیه بیانیه چشم‌انداز سند راهبردی پایش

سلامت در سازه‌های صنعت برق

پس از بررسی‌های صورت گرفته بر روی اسناد بالادستی و ابعاد چشم‌اندازی اسناد سایر کشورها، ویژگی‌ها و زمینه‌های

مهم برای تدوین بیانیه چشم‌انداز مشخص شد. این زمینه‌ها و روش استخراج آنها در ادامه آمده است:



از آنجایی که هر سند تدوین شده در کشور باید در راستای سند چشم‌انداز ۲۰ ساله کشور باشد، با جمع‌بندی ویژگی‌های

استنتاج شده از بررسی اسناد مختلف، مشخص می‌گردد که بیانیه چشم‌انداز باید شامل مفاهیم و ارزش‌های زیر باشد:

۱. توسعه فناوری با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و کاهش وابستگی اقتصادی به سایر کشورها

۲. توسعه فناوری با در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی

۳. توسعه فناوری با تأکید بر برقراری عدالت و رفاه اجتماعی

۴. توسعه فناوری با تأکید بر تربیت نیروی انسانی متخصص و استفاده از نیروی انسانی بومی

بر اساس موارد ذکر شده سناریوی زیر به عنوان بیانیه اولیه چشم‌انداز توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های برق در

کشور به شرح زیر تبیین و اعلام می‌گردد:

با اتکا به خداوند متعال و مجاهدت ملی، جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۰۴ در راستای تحقق سند چشم‌انداز بیست ساله خود، با تأکید بر خوداتکایی، ارتقای سطح رفاه اجتماعی و با بهره‌گیری از دانش پیشرفته و مبتنی بر نیروی انسانی بومی و ضمن توجه به مقوله حفظ محیط زیست،

شناسایی مشخصات آسیب‌ها و کاهش آثار آنها را در سازه‌های تولید، انتقال و توزیع، در حداقل زمان ممکن و با

کمترین خطا با بکارگیری سیستم پایش سلامت در این سازه‌ها و در راستای کمک به افزایش پایایی و کاهش %X

هزینه نگهداری شبکه برق دنبال می‌کند

جهت استفاده از نظرات خبرگان در تدوین چشم‌انداز فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، بیانیه فوق به همراه

پرسشنامه ارزیابی چشم‌انداز (پیوست ۱) برای اعضای کمیته راهبری ارسال شد که تنها دو نفر از اعضای کمیته راهبری

پرسشنامه را کامل نمودند که نظرات ایشان در جدول ۱-۴ آمده است.

جدول ۱-۴- نظرات خبرگان پیرامون چشم‌انداز

نام خبره	سمت	نظرات
دکتر علیپور	مدیر دفتر فنی انتقال-شرکت توانیر عضو کمیته راهبری طرح	تایید تم‌های "افزایش پایایی" و "کاهش هزینه نگهداری شبکه برق" و پیشنهاد اضافه کردن "افزایش بهره‌وری و طول عمر" به تم‌های چشم‌انداز و همچنین پیشنهاد در نظر گرفتن راهکارهای اصلاحی و پیشگیرانه در طراحی و مواد در چشم‌انداز علاوه بر بحث شناسایی و پایش مشکلات و عیوب سازه
دکتر فلاح	عضو هیأت علمی دانشگاه گیلان عضو کمیته راهبری طرح	تایید "افزایش پایایی" و "کاهش هزینه نگهداری شبکه برق" و پیشنهاد اضافه کردن "کاهش آثار آسیب‌ها" به تم‌های چشم‌انداز

پس از دریافت نظرات اعضای کمیته راهبری، جهت نهایی‌سازی چشم‌انداز، جلسه‌ای با حضور اعضای کمیته راهبری برگزار شده و بیانیه اولیه چشم‌انداز در جلسه ارائه گردید. با توجه به نظرات مطرح شده در جلسه، بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق، علاوه بر افزایش پایایی و کاهش هزینه‌های نگهداری شبکه برق، منجر به حفظ کیفیت برق تولیدی شده، لذا تم حفظ کیفیت علاوه بر سایر تم‌ها به چشم‌انداز اضافه گردید. همچنین با توجه به نظر اعضای کمیته راهبری مقرر گردید سطح دستیابی به فناوری پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق در افق ۱۴۰۴، استقرار این سیستم در سازه‌های برق بخش‌های تولید، انتقال و توزیع در پهنه جغرافیایی کشور باشد. بنابراین با توجه به نظرات اعضای کمیته راهبری، چشم‌انداز سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق به شکل زیر تغییر کرد:

با اتکا به خداوند متعال و مجاهدت ملی، جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۰۴ در راستای تحقق سند چشم‌انداز بیست ساله خود، با تأکید بر خوداتکایی، ارتقای سطح رفاه اجتماعی و با بهره‌گیری از دانش پیشرفته و مبتنی بر نیروی انسانی بومی و ضمن توجه به مقوله حفظ محیط زیست،

شناسایی مشخصات آسیب‌ها و ارائه راهکارهای کاهش آثار آنها در کمترین زمان و با بیشترین دقت ممکن، با استقرار سیستم پایش سلامت سازه در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع در پهنه جغرافیایی کشور به منظور کمک به افزایش پایایی، حفظ کیفیت و کاهش هزینه‌های نگهداری شبکه برق دنبال می‌کند.

به منظور تبیین بهتر عبارات کلیدی مورد استفاده در چشم‌انداز توضیحات مربوط به هریک از آن‌ها در ادامه ارائه شده است:

↔ شناسایی مشخصات آسیب‌ها: آسیب (یا آسیب موضعی) هر نوع تغییر ایجاد شده در ویژگی‌های مصالح، هندسه و پیوستگی در اجزای سازه است که در صورت رشد و گسترش به مرور زمان، منجر به خرابی کلی سازه شود. آسیب‌های موضعی لزوماً باعث قطع عملکرد مورد انتظار سازه نمی‌شوند. (نمونه‌هایی از آسیب موضعی: ترک، خوردگی، پوسیدگی، شل شدن پیچ‌ها، پارگی اتصالات و...) مشخصات آسیب شامل وقوع، نوع، محل وقوع، و میزان یا شدت آن است.

↔ راهکارهای کاهش آسیب‌ها: کاهش آسیب به معنی حذف یا جلوگیری از گسترش آن در سازه می‌باشد. بطور معمول این کار با استفاده از تعمیر و ترمیم یا تعویض و جایگزینی صورت می‌گیرد که تصمیم‌گیری در مورد راهکار مناسب، جزئی از فرآیند مدیریت نگهداری می‌باشد.

↔ پایایی شبکه برق: بیانگر سطح احتمال تأمین بار مشترکین در چهارچوب استانداردهای مرتبط و به میزان مورد تقاضا می‌باشد. به عبارت دیگر، به شبکه برقی که توانایی تأمین برق کافی و ایمن برای مصرف‌کنندگان را داشته باشد، شبکه برق پایا گویند.

↔ کیفیت شبکه برق: بیان‌کننده وضعیت پارامترهای انرژی الکتریکی از قبیل ولتاژ، جریان، ضریب توان و فرکانس می‌باشد.

↔ هزینه نگهداری شبکه برق: هزینه‌های نگهداری شبکه برق شامل هزینه‌های تعمیرات (ناشی از وقوع خسارت) یا اقدامات پیشگیرانه (جهت جلوگیری از وقوع خسارت و خرابی) می‌باشند. انتظار می‌رود با استقرار سیستم پایش سلامت و اعمال نگهداری بر مبنای شرایط (CBM)، آسیب‌ها در مراحل اولیه خود تشخیص داده شده و با رفع آنها، هزینه‌های کلی نگهداری در طول عمر سازه کاهش یابد. بطور کلی هرچه آسیب‌ها زودتر تشخیص داده شوند، هزینه رفع آنها نیز کمتر خواهد بود.

۲- تدوین اهداف کلان سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

در ادامه، روند تدوین اهداف ارائه شده و بر اساس روند تشریح شده، اهداف کلان توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق تعیین شده‌اند. اهداف در برنامه‌های توسعه یک فناوری بیانگر مقاصد و یا خواسته‌های مطلوب حاصل از توسعه فناوری می‌باشند، که این اهداف از طریق انجام اقدامات پیشنهادی محقق می‌شوند. اگرچه اهداف ممکن است در سطوح مختلفی قابل

تعریف باشند، اما در سند راهبردی لازم است صرفاً اهداف اساسی معرفی شوند. اهداف اساسی به اهدافی گفته می‌شود که بر جهت‌گیری‌های اصلی فعالیت‌های حوزه سند تأثیرگذار هستند.

۱-۲- چارچوب نظری تدوین اهداف کلان سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت

برق

یکی از گام‌های اساسی در تعیین جهت‌گیری‌های کلان یک برنامه راهبردی، 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 "به منظور 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 [۱].

در روش‌شناسی پیشنهادی، تدوین اهداف با دو رویکرد بالا-به-پایین و پایین-به-بالا صورت می‌پذیرد. رویکرد بالا-به-پایین رویکردی هدف‌محور است که به دنبال ترسیم یک آینده مطلوب برای توسعه صنعت است. در طرف مقابل، رویکرد پایین-به-بالا نگاهی مسئله‌محور^۱ به توسعه صنعت 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 صنعت نیز مورد هدف تحلیل و بررسی قرار می‌گیرند. در این بخش، فرآیند تدوین اهداف کلان با نگاهی بالا-به-پایین صورت می‌گیرد. این اهداف در راستای چشم‌انداز و با تعریف حوزه‌های اهداف مشخص می‌شوند. علاوه بر حوزه‌های هدف که بیان‌کننده ابعاد اهداف هستند، کیفیت و ویژگی‌های این اهداف باید تعیین شود. به منظور تعیین کردن حوزه‌ها و ویژگی‌های ضروری هدف، به بررسی مدل‌های هدف‌گذاری پرداخته شده است.

^۱ - Issue-based

۱-۱-۲ - حوزه‌های اهداف تعیین شده

در منابع برنامه‌ریزی راهبردی، مطالعات مختلفی با موضوعیت تدوین حوزه‌های اهداف تعیین شده است. در زیر به طور خلاصه به بررسی این مدل‌ها پرداخته می‌شود:

● حوزه‌های اهداف در مدل کارت امتیازی متوازن [۱۰]

- ↔ منظر مالی (سودآوری، رشد در آمد، و افزایش بهره‌وری)
- ↔ منظر مشتری (تعین مشتریان مخاطب، تعیین ارزش‌های پیشنهادی بنگاه با توجه به مشتریان)
- ↔ منظر فرآیندهای داخلی (روابط با تأمین کنندگان، تصمیم‌گیری در مورد 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 رابینسون^۱ [۱۱]

- ↔ توجه به مشتری
- ↔ نوآوری
- ↔ بهره‌وری
- ↔ توجه به بخش مالی
- ↔ منابع انسانی
- ↔ لحاظ کردن محیط خارجی

● حوزه‌های اهداف براساس مدل ترکیبی فیلیپس [۱۲]

- ↔ بازار (سعی در حفظ سهم بازار فعلی، افزایش صادرات)
- ↔ نوآوری (بالابردن توان نوآوری و طراحی محصول)

^۱ - Pierce & Robinson

- ↔ 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^۱ [۱۳]

- ↔ 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 (سرمایه‌گذاری در نیروی انسانی و ظرفیت‌سازی)
 - ↔ روابط کارکنان
 - ↔ رهبری فناورانه
 - ↔ مسئولیت اجتماعی (جلب رضایت، اعتماد و مشارکت خدمت‌گیرندگان)
- با در نظر داشتن مدل‌های هدف‌گذاری، می‌توان به معرفی گام‌های ضروری در تدوین اهداف پرداخت. روش پیشنهادی زیر می‌تواند برای تدوین اهداف کلان مورد استفاده قرار گیرد.

۲-۱-۲- دریافت ورودی از نظرات خبرگان همراستا با چشم‌انداز، اصول ارزشی، هوشمندی

فناوری

در ابتدا لازم است تا از نظرات خبرگان پیرامون اهداف کلان توسعه صنعت استفاده شود. این کار با برگزاری پنل‌های خبرگی و بحث گروهی میان متخصصین، در چارچوب نتایج حاصل از هوشمندی فناوری (روندهای رشد و توسعه فناوری در

^۱- این مدل در مورد تدوین استراتژی گمرک ایران مورد استفاده قرار گرفته است.

آینده)، تأکید بر مولفه‌های موجود در چشم‌انداز، و در نظر داشتن اصول ارزشی صورت می‌گیرد. در مجموع می‌توان این طور بیان نمود که اهداف ترجمه چشم‌انداز در ابعاد مختلف هستند.

۳-۱-۲- 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 بپردازند. 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 هستند، 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 به وجود نمی‌آورد.

اهداف تدوین شده در یک سند ملی باید دارای ویژگی‌های ضروری نیز باشند. این ویژگی‌ها در ادبیات با نام SMART

Goals مطرح می‌شود. این ویژگی‌ها عبارتند از (شکل ۱-۲) [۱]:

↪ مشخص باشد^۱ (به‌طور واضح و عینی بیان‌کننده تغییری باشد که قرار است اتفاق بیافتد)،

↪ قابل اندازه‌گیری باشد^۲،

↪ قابل دستیابی باشد^۳،

↪ واقع‌گرایانه باشد^۴،

↪ محدود به زمان باشد^۵.

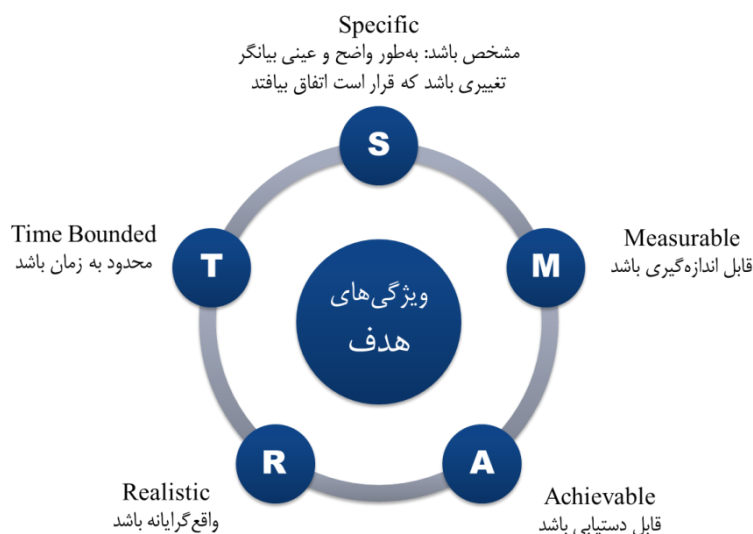
^۱ - Specific

^۲ - Measurable

^۳ - Achievable

^۴ - Realistic

^۵ - Time Bound



شکل ۱-۲- ویژگی‌های اهداف کلان

۲-۱-۴- تأیید و نهایی‌سازی اهداف کلان

اهداف کلان، راهنماهای توسعه در سایر مراحل خواهند بود. بنابراین، اهداف اولیه طراحی شده برای نهایی شدن نیازمند تأیید دوباره افراد متخصص هستند. اجرای این مرحله به کاهش خطای ناشی از بازنویسی و پالایش اهداف توسط تحلیل‌گران کمک می‌کند.

۲-۱-۵- دریافت بازخورد

از آنجا که تدوین گام‌های مختلف سند در یک فرایند تعاملی به وقوع می‌پیوندد، اهداف کلان تدوین شده در بخش ممکن است با تدوین گام‌های بعدی سند دچار تغییر و اصلاح شوند.

۲-۲- فرآیند تدوین اهداف توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

به منظور تدوین اهداف پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، ابتدا به مرور ادبیات و مطالعه تعاریف و مفاهیم مرتبط با اهداف پرداخته می‌شود. نتیجه مرور ادبیات و مطالعات انجام گرفته در بخش‌های قبلی این فصل ارائه شده است. اهم این

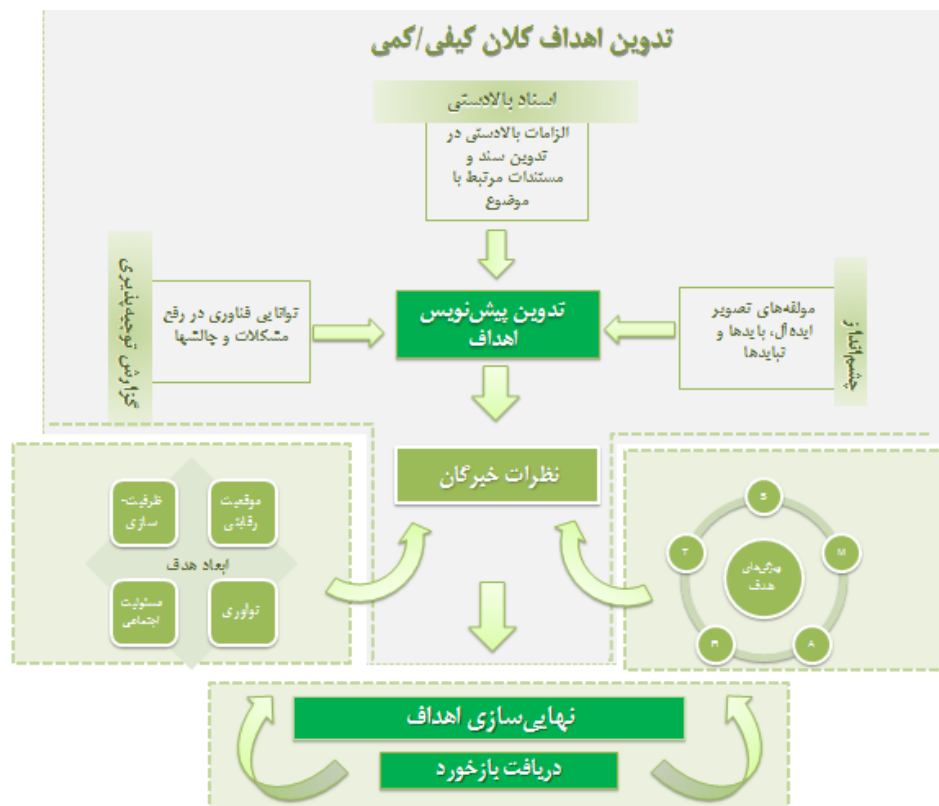
مباحث عبارت بودند از تعریف اهداف، رابطه چشم‌انداز با اهداف، ویژگی‌های اهداف، حوزه‌های اهداف و ... که به صورت مفصل ارائه‌گشت.

مطابق فرآیند ذکر شده در بخش‌های قبل، در این گزارش به منظور تعیین اهداف توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق از منابع مختلفی استفاده شد، که عبارتند از:

- ۱- بیانیه چشم‌انداز سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق
- ۲- اسناد بالادستی مرتبط با فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق
- ۳- گزارش توجیه‌پذیری توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق
- ۴- نظرات خبرگان

۱-۲-۲- مراحل تدوین اهداف سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

مراحل تدوین اهداف کلان برای توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق به طور خلاصه در شکل ۲-۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۲-۲ مشخص است اهداف فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق کشور باید در جهت رسیدن به چشم‌انداز و در مسیر ماموریت و استراتژی کلان انرژی کشور باشد و از سوی دیگر اهداف با توجه به قابلیت‌های فناوری تعیین گردند. در اینجا لازم است تفاوت بین شاخص‌های چشم‌انداز و اهداف بیان شود. شاخص‌های چشم‌انداز از یکسری عوامل کلی تشکیل شده‌اند که بازه زمانی آن بلند مدت است، در حالیکه اهداف بازه زمانی کوتاه‌تر و نیز ابعاد و سنجه‌های جزئی‌تری نسبت به شاخص‌های چشم‌انداز دارا هستند.



شکل ۲-۲- نحوه تعیین اهداف کلان در سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

در ادامه اهداف استخراج شده به عنوان نتایج حاصل از بررسی منابع مختلف ارائه شده است.

۲-۲-۱-۱- نتایج حاصل از بررسی گزارش توجیه‌پذیری

یکی از پارامترهای مهم در تعیین اهداف کلان توسعه فناوری‌های مختلف، توانایی و پتانسیل بکارگیری فناوری در زمینه‌های مختلف است، که با فعال‌سازی و شکوفاسازی پتانسیل‌های فناوری در حوزه‌های مختلف می‌توان به نتایج مناسبی دست یافت. قابلیت‌ها و پتانسیل‌های بکارگیری فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق به طور مفصل در گزارش توجیه‌پذیری توسعه این فناوری‌ها بحث شده و می‌توان گفت که گزارش توجیه‌پذیری یک منبع مناسب برای تعیین توانایی فناوری پایش سلامت و تعیین اهداف برای آینده می‌باشد. اهداف استنباط شده از این گزارش عبارتند از:

۱- کاهش هزینه تعمیرات و نگهداری سیستم‌های سازه‌ای و قطعات مورد نیاز

۲- کاهش هزینه‌های ناشی از خسارات سازه‌ها

۳- کاهش هزینه‌های ناشی از کاهش یا توقف تولید

۴- کاهش هزینه‌های نگهداری خط بواسطه حذف بازرسی‌های دوره‌ای غیر ضروری

۵- افزایش قابلیت انتقال بار از خط موجود بدون افزایش سازه‌ها و تجهیزات با پایش و کنترل پارامترهای محدود کننده انتقال بار

۶- حفظ کارکرد و جلوگیری از توقف خدمت رسانی در صنعت برق

۷- افزایش رفاه اجتماعی با کاهش قطعی‌های برق ناشی از اختلالات در سازه‌های برق

۸- صادرات برق به کشورهای همسایه بطور مطمئن و پایدار با جلوگیری و یا به حداقل رساندن اختلالات و قطع سرویس دهی صنعت برق بدلیل وقوع انواع خرابی‌ها

۹- افزایش ایمنی و امنیت در عرضه برق با به حداقل رساندن خسارات و تلفات ناشی از خرابی سازه‌ها

۲-۱-۲-۲- نتایج حاصل از بررسی چشم‌انداز تدوین شده

با توجه به چشم‌انداز تدوین شده برای پایش سلامت در سازه‌ها، تم‌های اصلی چشم‌انداز، افزایش پایایی، حفظ کیفیت و کاهش هزینه در شبکه برق می‌باشد. لذا برای دستیابی به موارد ذکر شده در چشم‌انداز می‌بایست اهداف بکارگیری پایش سلامت در سازه‌ها را طوری تعریف کرد که امکان دستیابی به موارد ذکر شده در چشم‌انداز را در افق تعیین شده امکان‌پذیر سازد، در این راستا اهداف زیر را می‌توان در راستای چشم‌انداز تعریف کرد:

↔ به حداقل رساندن خرابی‌های سازه‌های تولید، انتقال و توزیع

↔ به حداقل رساندن قطعی‌های برق ناشی از خرابی سازه‌ها

↔ کاهش هزینه‌های تعمیرات و نگهداری شبکه

↔ افزایش طول عمر سازه‌ها

۲-۱-۳-۲- نتایج حاصل از بررسی گزارش اسناد بالادستی

با توجه به متنوع بودن ارگان‌های قانون‌گذار اسناد بالادستی متعددی در رابطه با پایش سلامت در سازه‌های برق بررسی شده‌اند که لیست این اسناد در جدول ۱-۱ ارائه شده است. در اکثر اسناد بررسی شده سیاست‌های کلی کشور مشخص شده و

به طور خاص به حوزه پایش سلامت در سازه‌های برق اشاره‌ای نشده است. با مطالعه قوانین و سیاست‌های مرتبط، اهداف قابل استنتاج از این قوانین در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در جدول ۱-۲ تعیین شده‌اند.

جدول ۱-۲- اهداف قابل استنتاج از اسناد بالادستی در حوزه توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

ردیف	قانون	بخش مربوط به صنعت برق	اهداف قابل استنتاج از اسناد بالادستی
۱	چشم‌انداز جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۰۴	<ul style="list-style-type: none"> توسعه یافته برخوردار از دانش پیشرفته متکی بر تولید ملی بهره‌مند از محیط زیست مطلوب دست یافتن به جایگاه اول اقتصادی، علم و فناوری در سطح منطقه آسیای جنوب غربی 	<ul style="list-style-type: none"> بومی‌سازی فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق استفاده از فناوری پایش سلامت جهت جلوگیری از آلودگی‌های زیست-محیطی ناشی از خرابی‌های سازه‌های صنعت برق
۲	قانون برنامه پنجم توسعه اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی جمهوری اسلامی ایران	بهبودسازی تولید و افزایش راندمان نیروگاه‌ها، کاهش اتلاف	<ul style="list-style-type: none"> کاهش خرابی‌های سازه‌ها افزایش طول عمر سازه‌ها کاهش قطعی‌های برق ناشی از خرابی سازه‌ها
۳	سند چشم‌انداز و برنامه راهبردی بلندمدت وزارت نیرو	<ul style="list-style-type: none"> افزایش بهره‌وری تولید برق و ارتقاء بازده نیروگاه‌ها ارتقاء ایمنی در فعالیت‌های صنعت برق 	<ul style="list-style-type: none"> کاهش خرابی‌های سازه‌ها کاهش رخداد و حوادث در فعالیت‌های صنعت برق
۴	مجموعه مقاصد و اهداف فناورانه کلان در صنعت برق کشور	افزایش امنیت انرژی (پدافندی-فنی و قابلیت اطمینان) جهت تحقق مقصد کلان سرآمد کشورهای منطقه در عرضه برق پاک، مطمئن، پایا با کیفیت مناسب	<ul style="list-style-type: none"> کاهش خرابی‌های سازه‌ها افزایش طول عمر سازه‌ها کاهش قطعی‌های برق ناشی از خرابی سازه‌ها
۵	سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی	<ul style="list-style-type: none"> افزایش بهره‌وری برق در کلیه مراحل زنجیره تولید تا مصرف پایداری و بهبود کیفیت و کمیت خدمات آب و برق در بخش‌های مختلف مصرف توسعه زیرساخت‌های تولید و انتقال برق و تلاش برای تأمین ملزومات تبدیل کشور به قطب تامین و تبادل برق منطقه 	<ul style="list-style-type: none"> کاهش خرابی‌های سازه‌ها افزایش طول عمر سازه‌ها کاهش قطعی‌های برق ناشی از خرابی سازه‌ها دستیابی به زیرساخت‌های نرم و سخت مورد نیاز برای توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق
۶	سیاست‌های کلی نظام در زمینه علم و فناوری	<ul style="list-style-type: none"> ارتقاء جایگاه جهانی کشور در علم و فناوری و تبدیل ایران به قطب علمی و فناوری جهان اسلام. دستیابی به علوم و فناوری‌های پیشرفته با سیاستگذاری و برنامه ریزی ویژه 	بومی‌سازی فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

۲-۳- اهداف کلان تعیین شده در سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

پس از بررسی و جمع‌بندی نتایج حاصل از چشم‌انداز، گزارش توجیه‌پذیری و اسناد بالادستی اهداف زیر به عنوان اهداف کلان اولیه توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق شناسایی شده‌اند:

۱- به حداقل رساندن خرابی‌های سازه‌های تولید، انتقال و توزیع

۲- افزایش طول عمر سازه‌های تولید، انتقال و توزیع

۳- کاهش هزینه‌های مستقیم از قبیل هزینه‌های تعمیرات و نگهداری سیستم‌های سازه‌ای و قطعات موردنیاز

۴- کاهش هزینه‌های غیرمستقیم ناشی از عدم عرضه برق

۵- ارتقای سطح رفاه و امنیت اجتماعی با حداقل رساندن قطعی‌های برق ناشی از خرابی‌های سازه‌ها

۶- به حداقل رساندن رخداد حوادث انسانی ناشی از خرابی سازه‌ها

۷- تامین زیرساخت‌های نرم و سخت پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

با توجه به اینکه کمی کردن اهداف در صورت امکان، می‌تواند به بررسی پیشرفت سند و ارزیابی میزان تحقق اهداف کمک کند. دو هدف "کاهش هزینه‌های مستقیم از قبیل هزینه‌های تعمیرات و نگهداری سیستم‌های سازه‌ای و قطعات موردنیاز" و "افزایش طول عمر سازه‌های تولید، انتقال و توزیع" با توجه به مستندات موجود در ادبیات فنی (گزارش مراحل اول و دوم) و تجربیات و نظرات خبرگان، به صورت زیر کمی گشتند:

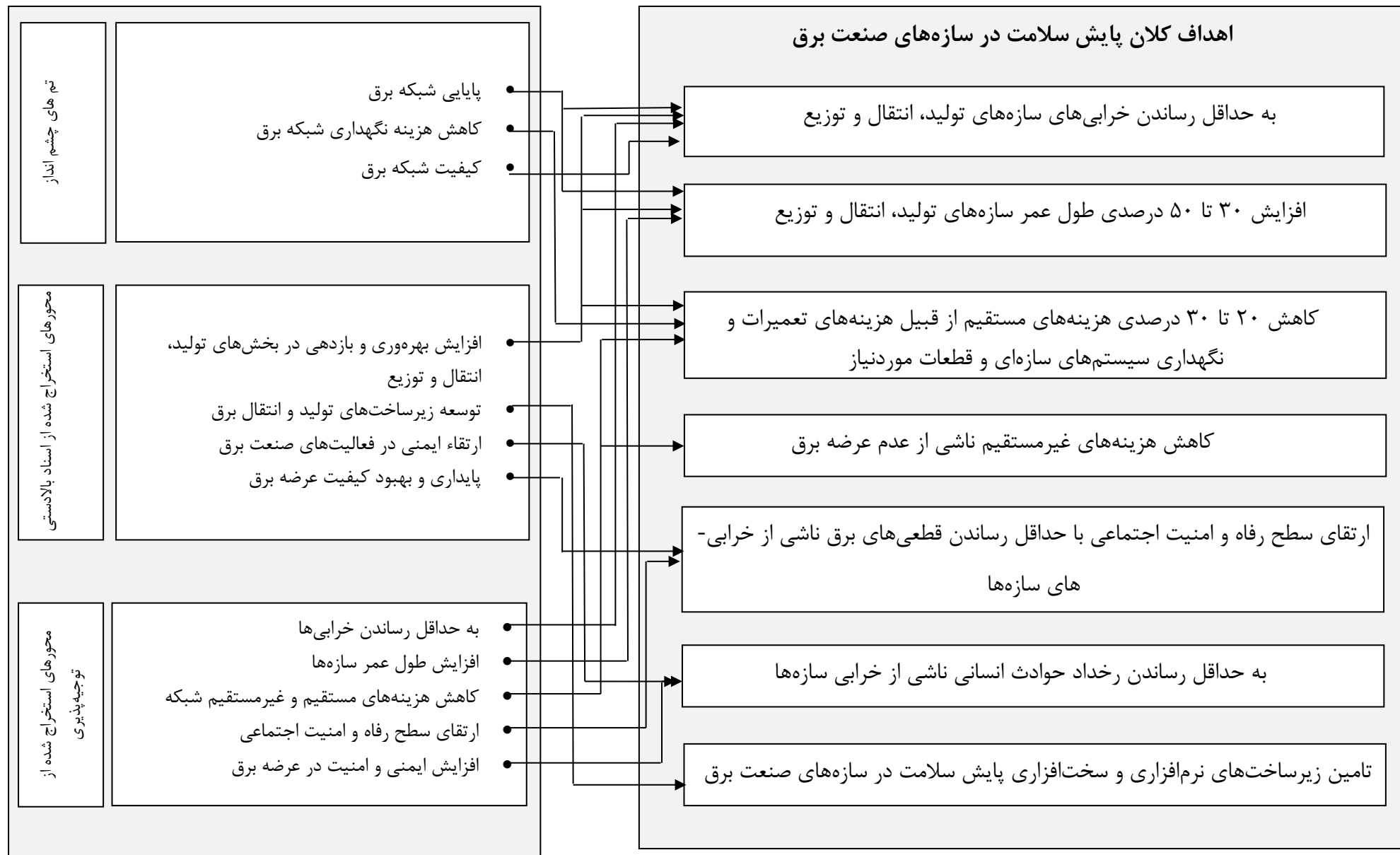
↔ افزایش ۳۰ تا ۵۰ درصدی طول عمر سازه‌های تولید، انتقال و توزیع

↔ کاهش ۲۰ تا ۳۰ درصدی هزینه‌های مستقیم از قبیل هزینه‌های تعمیرات و نگهداری سیستم‌های سازه‌ای و

قطعات موردنیاز

مبنای کاهش ۲۰ الی ۳۰ درصدی هزینه‌های نگهداری و تعمیرات که در هدف دوم عنوان شده، مطالب ارائه شده در بخش توجیه‌پذیری اقتصادی (بخش ۲-۲) در گزارش مرحله اول از ادبیات فنی است که در ادامه این قسمت نیز تکرار می‌گردند. بر اساس برآوردهای جهانی، با اجرای برنامه‌های پایش وضعیت در تجهیزات، هزینه‌های نگهداری و تعمیرات بطور متوسط تا ۲۵ درصد کاهش خواهد یافت و این در حالی است که صرفه‌جویی‌های ناشی از پیشگیری از کاهش یا توقف تولید تا دو برابر این میزان خواهد بود که در این برآورد در نظر گرفته نشده است. یک مؤسسه تحقیقاتی در زمینه انرژی الکتریکی در یک طرح

مطالعاتی، هزینه نگهداری و تعمیرات نیروگاه‌های تولید برق را در آمریکای شمالی بررسی کرد. این بررسی تحقیقاتی نشان داد که در صورت استفاده از روش نگهداری عکس‌العملی، هزینه نگهداری و تعمیر به ازای تولید یک اسب بخار انرژی الکتریکی برابر با ۱۸ دلار خواهد بود. در صورت استفاده از نگهداری پیشگیرانه، این هزینه به ۱۳ دلار برای هر اسب بخار کاهش می‌یابد و استفاده از نگهداری پیش‌بینانه تنها ۹ دلار (۵۰ درصد کاهش) برای هر اسب بخار تولیدی هزینه دارد. بر این اساس، میزان کاهش عنوان شده در اهداف قابل حصول می‌باشد. میزان افزایش طول عمر نیز با استفاده از نظرات خبرگان منظور شده است. اهداف اولیه و نحوه ارتباط آنها با بیانیه چشم‌انداز، اسناد بالادستی و گزارش توجیه‌پذیری در شکل ۲-۳ نشان داده شده است.





۳۴

سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه راهکارهای
کاهش آنها

ویرایش اول، اردیبهشت ۱۳۹۴

فاز ۳: تدوین ارکان جهت ساز

شکل ۲-۳- نحوه ارتباط اهداف با ورودی‌های تدوین اهداف

پس از تدوین اهداف کلان اولیه، طی پرسشنامه‌ای که در پیوست ۲ آمده است در رابطه با اهداف از اعضای کمیته راهبری نظرخواهی شده که دو نفر از اعضا پرسشنامه را تکمیل کردند، نظرات این افراد در جدول ۲-۲ آمده است:

جدول ۲-۲- نظرات خبرگان پیرامون اهداف

نام خبره	سمت	نظرات
دکتر علیپور	مدیر کل دفتر فنی انتقال-شرکت توانیر عضو کمیته راهبری طرح	رفرنس اعداد در اهداف مشخص نیست. بعضی از سازه‌ها اساساً مشکل دار است و بحث چند برابر شدن طول عمر آنهاست پس بایستی یک دستورالعمل حداقلها (استاندارد) تعریف شود (یعنی حداقل ۵ سال نیاز به تعمیر در شرایط عادی ندارد) و سپس پروژه بهبود تعریف گردد. در اهداف بایستی یک اشاره به محیط زیست نیز بشود.
دکتر فلاح	عضو هیأت علمی دانشگاه گیلان عضو کمیته راهبری طرح	افزایش طول عمر سازه‌ها در نتیجه بکارگیری پایش سلامت سازه امری بدیهی می‌باشد اما مقدار کمی شده آن می‌بایست مورد بازبینی قرار گیرد.

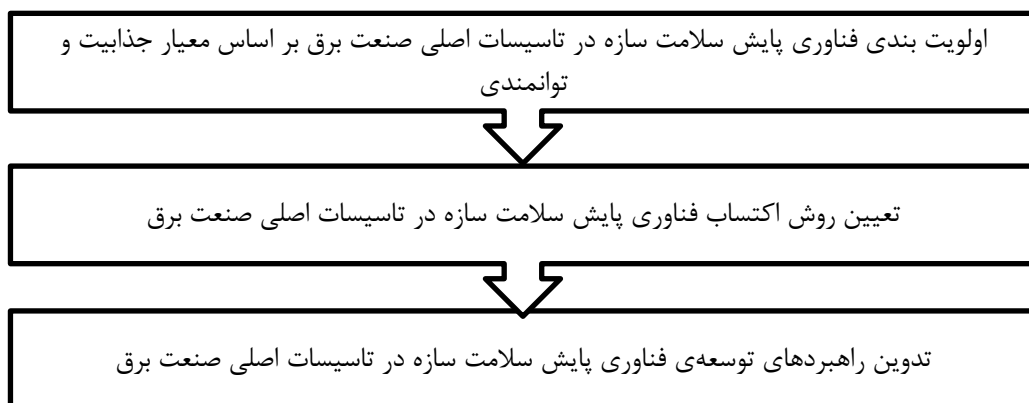
در ادامه، جهت نهایی‌سازی اهداف، جلسه‌ای با حضور اعضای کمیته راهبری تشکیل گردید که در این جلسه با نظر اعضای کمیته راهبری مقادیر کمی برای اهداف کاهش خرابی و افزایش طول عمر سازه‌ها نهایی گردید. همچنین با توجه به همپوشانی هدف کاهش هزینه‌ها با اهداف کاهش خرابی و افزایش طول عمر سازه‌ها، این هدف از بین اهداف حذف گردید. هدف به حداقل رساندن رخداد حوادث انسانی نیز با توجه به محدود بودن رخداد حوادث انسانی ناشی از خرابی سازه‌ها حذف شده و هدف افزایش سطح سازگاری زیست‌محیطی سازه‌های صنعت برق، با نظر اعضای کمیته راهبری به اهداف اضافه گردید. در نهایت اهداف سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق به شکل زیر تغییر کرد:

- ۱- کاهش سالیانه خرابی‌های سازه‌های تولید، انتقال و توزیع به میزان حداقل ۵ درصد نسبت به سال پایه
- ۲- افزایش طول عمر سازه‌های تولید، انتقال و توزیع به میزان حداقل ۱۰ الی ۳۰ درصد متناسب با شرایط محیطی
- ۳- افزایش قابلیت اطمینان و پایایی شبکه با به حداقل رساندن خرابی سازه‌ها
- ۴- تامین زیرساخت‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق
- ۵- افزایش سطح سازگاری زیست‌محیطی سازه‌های صنعت برق

۳- تدوین راهبردهای سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، روش‌های

پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه راهکارهای کاهش آنها

در گام سوم از مرحله سوم طرح توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، به تدوین راهبردها پرداخته می‌شود. راهبردها مجموعه جهت‌گیری‌های اصلی برای دستیابی به اهداف را مشخص می‌کنند. در این بخش ابتدا درباره اولویت‌بندی فناوری پایش سلامت در تأسیسات اصلی صنعت برق بحث می‌شود. سپس روش اکتساب بکارگیری این فناوری در تأسیسات مختلف ارائه می‌شود. در انتها راهبردهای شناسایی شده برای توسعه پایش سلامت در تأسیسات اصلی صنعت برق مشخص می‌گردد. نحوه تدوین راهبردها در این سند، در شکل ۳-۱ آمده است.



شکل ۳-۱- مدل مفهومی تدوین راهبردها

۳-۱- اولویت‌بندی فناوری‌ها بر اساس شاخص‌های جذابیت و توانمندی

تعیین اولویت‌های توسعه و انتخاب حوزه‌های برگزیده فناوری در قالب راهبرد پورتفولیو به‌انجام می‌رسد. زمانی که انتخاب اولویت‌ها مورد نظر است، روش فناوری‌های حیاتی یا کلیدی، یک رویکرد ارزشمند و مفید جهت ارزیابی حوزه‌های تحقیقاتی و فناوری‌های مختلف به شمار می‌رود. در این روش با اندازه‌گیری میزان اهمیت یا کلیدی بودن هر حوزه، فهرستی از حوزه‌های مهم و کلیدی فناورانه را برای سرمایه‌گذاری و توسعه مشخص می‌گردد. نوع سؤالاتی که معمولاً جهت شناسایی فناوری‌های کلیدی پرسیده می‌شود از این قبیل است:

↔ حوزه‌های کلیدی فناوری برای توسعه کدامند؟

↔ فناوری‌های حیاتی که باید به وسیله منابع عمومی حمایت شوند، کدامند؟

↔ چه معیارهایی باید به منظور انتخاب فناوری‌های حیاتی به کار گرفته شوند؟

↔ شاخص‌های اندازه‌گیری هر معیار چیست؟

↔ براساس معیارهای انتخاب شده، فناوری‌های اولویت‌دار برای توسعه و سرمایه‌گذاری کدامند؟

روش پیشنهادی برای این مولفه حاصل از جمع‌بندی روش‌های مختلف راهبرد ملی و بنگاهی فناوری است. از آنجا که هدف راهبرد پورتفولیو اولویت‌بندی حوزه‌های فناورانه است، باید از روشی استفاده شود که قادر به برآوردن این مولفه باشد. از میان روش‌های مختلف، روش فناوری‌های حیاتی که به انتخاب فناوری‌های مهم با دو معیار جذابیت و امکان‌پذیری می‌پردازد، به‌عنوان مبنای روش پیشنهادی استفاده می‌گردد. در این روش پیشنهادی، تعیین فناوری‌های برگزیده با استفاده از ماتریس دو بعدی جذابیت^۱ صورت می‌پذیرد. در این روش، بر اساس دو دسته معیار جذابیت و قابلیت به مقایسه میان گزینه‌های مختلف رقیب پرداخته می‌شود.

شاخص جذابیت بیان‌کننده ابعاد ذاتی گزینه‌هایی است که برای سیاست‌گذار دارای مطلوبیت هستند. در مقابل، شاخص توانمندی به دنبال ارزیابی قابلیت‌های موجود در برگزیدن هر یک از گزینه‌هاست.

بدین منظور در این سند، ابتدا شاخص‌های جذابیت و توانمندی بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه‌ها در تاسیسات اصلی صنعت برق شناسایی شده و سپس پرسشنامه‌ای (پیوست ۳) برای ارزیابی این شاخص‌ها طراحی شد. این پرسشنامه در دو سطح تحلیل، تهیه شد. در سطح اول که کلان‌تر می‌باشد، جهت شناسایی تاسیساتی از صنعت برق که بکارگیری فناوری پایش سلامت در آنها از اهمیت بالاتری برخوردار می‌باشد، جذابیت و توانمندی بکارگیری پایش سلامت در تاسیسات اصلی بخش‌های تولید، انتقال و توزیع مورد بررسی قرار گرفته‌است. بعد از شناسایی تاسیسات اصلی جهت بکارگیری فناوری پایش سلامت در این تاسیسات، از آنجا که هر کدام از تاسیسات دارای انواع مختلفی از سازه‌ها می‌باشند، در سطح بعدی با طرح پرسش‌هایی، جذابیت بکارگیری سیستم پایش سلامت سازه، در سازه‌های این تاسیسات مورد بررسی قرار گرفته است. این پرسشنامه‌ها برای خبرگان و متخصصان هر یک از حوزه‌های فناوری شناسایی شده ارسال شده و جمع‌بندی نتایج پرسشنامه‌ها

^۱- Bi-dimensional matrix of attractiveness-capability

میزان جذابیت و توانمندی هر یک از فناوری‌ها را مشخص کرد. نتایج به دست آمده وارد ماتریس جذابیت‌توانمندی شدند و جایگاه هر فناوری مشخص شد. در ادامه روند اولویت‌بندی فناوری پایش سلامت در تاسیسات صنعت برق توضیح داده شده است.

۳-۱-۱- تعیین شاخص‌های جذابیت و توانمندی

همان‌طور که اشاره شد، جذابیت یک فناوری به ویژگی‌ها و موقعیت آن فناوری در مقایسه با سایر فناوری‌ها بر می‌گردد. تعیین موقعیت نسبی جایگاه یک فناوری از سوی متخصصان، میزان جذابیت آن را مشخص خواهد کرد. برای اندازه‌گیری جذابیت توسعه یک فناوری ابتدا باید شاخص‌های مرتبط با آن را شناسایی کرد. نمونه‌ای از شاخص‌های جذابیت موجود در ادبیات عبارتند از:

↔ تنوع کاربرد فناوری

↔ هزینه‌های دستیابی به دانش فنی فناوری

↔ میزان منافع اقتصادی ناشی از به کارگیری فناوری

↔ میزان اشتغالزایی ناشی از توسعه فناوری و ...

برای تعیین شاخص‌های مرتبط در این سند، ابتدا مجموعه‌ای از شاخص‌های موجود در ادبیات شناسایی شد و پس از بررسی کارشناسان و خبرگان به تأیید رسید. یکی از مهم‌ترین شاخص‌های جذابیت یک فناوری میزان کارآمدی آن در برآورده کردن هدف توسعه فناوری است. بنابراین شاخصی که بتواند اهداف مورد نظر از توسعه فناوری پایش سلامت را اندازه‌گیری کند، از اهمیت بالایی برخوردار است. یکی از اهداف اصلی بکارگیری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، کاهش خرابی سازه‌ها است که این هدف در معیار هشتم در نظر گرفته شده است. به این صورت که تاسیساتی برای بکارگیری فناوری پایش سلامت از جذابیت بالاتری برخوردار هستند که احتمال وقوع خرابی در سازه‌های این تاسیسات بیشتر باشد. شاخص‌های تعیین شده برای ارزیابی جذابیت بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه در تاسیسات اصلی صنعت برق عبارتند از:

۱- میزان اثرگذاری قطع عملکرد این تاسیسات در ایجاد اختلال در شبکه برق

۲- آسیب‌های احتمالی به محیط زیست در صورت وقوع خرابی کلی در این تاسیسات

۳- اثرات منفی اجتماعی در صورت قطع عملکرد این تاسیسات

- ۴- میزان اثرگذاری قطع عملکرد این تأسیسات در ایجاد اختلال در امنیت ملی
- ۵- خسارات مالی مستقیم و غیرمستقیم ناشی از قطع عملکرد این تأسیسات
- ۶- هزینه دستیابی به دانش فنی و بومی سازی فناوری پایش سلامت سازه در این تأسیسات
- ۷- میزان فوریت دستیابی کشور ما به فناوری پایش سلامت در این تأسیسات
- ۸- پتانسیل وقوع خرابی کلی در سازه‌های این تأسیسات که منجر به قطع عملکرد می‌شود

توانمندی یک فناوری به میزان قابلیت دستیابی به آن فناوری در مقایسه با سایر فناوری‌ها برمی‌گردد. تعیین موقعیت نسبی توانایی در دستیابی به یک فناوری از سوی متخصصان، میزان توانمندی آن را مشخص خواهد کرد. برای اندازه‌گیری توانمندی توسعه یک فناوری ابتدا باید شاخص‌های مرتبط با آن را شناسایی کرد. نمونه‌ای از شاخص‌های توانمندی موجود در ادبیات عبارتند از:

- ↔ وضعیت دسترسی به دانش فنی، مواد اولیه و قطعات مربوط به فناوری
- ↔ وضعیت دسترسی به منابع انسانی متخصص برای توسعه فناوری
- ↔ وضعیت دسترسی به زیرساخت نرم مورد نیاز برای توسعه فناوری
- ↔ هماهنگی ذینفعان و نهادهای مسئول توسعه فناوری و

برای تعیین شاخص‌های مرتبط ابتدا مجموعه‌ای از شاخص‌های موجود در ادبیات شناسایی شد و پس از بررسی کارشناسان و خبرگان به تأیید رسید. شاخص‌های تعیین شده برای ارزیابی توانمندی بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه در تأسیسات اصلی صنعت برق عبارتند از:

- ۱- وضعیت تسلط بر دانش فنی پایش سلامت سازه در این تأسیسات
- ۲- وضعیت زیر ساخت‌های نرم‌افزاری موجود در کشور برای بکارگیری پایش سلامت سازه در این تأسیسات
- ۳- وضعیت زیر ساخت‌های سخت‌افزاری موجود در کشور برای بکارگیری پایش سلامت سازه در این تأسیسات
- ۴- وضعیت نیروی انسانی متخصص و کارآمد (دارای دانش و تجربه کافی) برای بکارگیری پایش سلامت سازه در این تأسیسات
- ۵- وضعیت منابع مالی قابل تخصیص برای توسعه فناوری پایش سلامت سازه در این تأسیسات

۶- وجود قوانین و سیاست‌های مرتبط با بکارگیری پایش سلامت سازه در این تأسیسات

۷- وضعیت آمادگی و هماهنگی دستگاه‌ها و سازمان‌های مرتبط را برای توسعه فناوری پایش سلامت سازه در این

تأسیسات

همان‌طور که در بخش قبل اشاره شد، جهت تحلیل دقیق‌تر، پرسشنامه‌ای نیز به منظور بررسی جذابیت سازه‌های تأسیسات

اصلی صنعت برق جهت بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه در آنها، تهیه گردید. در واقع نتایج این پرسشنامه کمک می‌کند

که پس از شناسایی تأسیسات با اولویت، فناوری پایش سلامت را در یک برنامه زمانی مناسب با توجه به نتایج جذابیت سازه-

های تأسیسات، در تأسیسات اصلی صنعت برق توسعه داد. شاخص‌های تعیین شده برای ارزیابی جذابیت بکارگیری فناوری

پایش سلامت سازه در این سازه‌ها عبارتند از:

۱- احتمال وقوع آسیب موضعی در سازه

۲- احتمال وقوع خرابی کلی در سازه

۳- مدت زمان لازم برای تعمیر سازه در صورت وقوع خرابی کلی در آن

۴- هزینه لازم برای تعمیر سازه در صورت وقوع خرابی کلی در آن

۵- احتمال از کارافتادگی سایر تجهیزات در صورت وقوع خرابی کلی در این سازه

۳-۱-۲- ارزیابی جذابیت و توانمندی بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه در تأسیسات

اصلی صنعت برق

در این بخش به بررسی روش ارزیابی شاخص‌ها پرداخته می‌شود. روش‌های مختلفی برای ارزیابی وجود دارد (از روش‌های

ریاضی محض گرفته تا روش‌های کاملاً کیفی همچون پنل خبرگان) که روش منتخب در این قسمت، استفاده از نظر

کارشناسان از طریق ارسال پرسشنامه است.

پرسشنامه طراحی شده حاصل ساعت‌ها تلاش کارشناسان بوده و سعی شده است تا حد ممکن گویا و موجز باشد تا برای

فرد پاسخ دهنده خسته کننده نباشد. از طرف دیگر سوالات به نحوی طراحی شده است که پاسخ آن‌ها توانایی تفکیک جذابیت

و توانمندی بکارگیری فناوری پایش سلامت در تأسیسات مختلف صنعت برق را داشته باشد. به منظور ارزیابی جذابیت و

توانمندی بکارگیری فناوری پایش سلامت در تاسیسات اصلی صنعت برق، پرسشنامه‌ای شامل ۱۵ سوال که ۸ سوال آن مربوط به ارزیابی جذابیت و ۷ سوال مربوط به ارزیابی توانمندی است، طراحی گردید. همچنین به منظور ارزیابی جذابیت بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه در سازه‌های اصلی این تاسیسات پرسشنامه‌ای شامل ۵ سوال طراحی گردید. این پرسشنامه‌ها برای ۳۵ نفر از کارشناسان و خبرگان حوزه‌های مختلف صنعت برق (تولید، انتقال و توزیع) ارسال گردید. از پرسشنامه‌های ارسالی، در مجموع ۲۵ پرسشنامه دریافت شد (اسامی و سمت این افراد در جدول ۳-۱ ذکر گردیده است) که نتایج این پرسشنامه‌ها وارد نرم افزار اکسل شد و محاسبات لازم برای ارزیابی انجام شد.

جدول ۳-۱- اسامی و سمت افراد تکمیل کننده پرسشنامه جذابیت- توانمندی

ردیف	اسامی خبرگان	سمت
۱	دکتر لطف‌اللهی	عضو هیأت علمی دانشگاه تبریز و عضو کمیته راهبری
۲	دکتر کرمی	عضو هیأت علمی دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی و عضو کمیته راهبری
۳	دکتر جعفری	عضو هیأت علمی گروه سازه پژوهشگاه نیرو و مدیر پروژه
۴	دکتر شاه‌حسینی	عضو هیأت علمی دانشگاه امیرکبیر و عضو کمیته راهبری
۵	مهندس رهنورد	مدیر گروه سازه‌های انتقال-پژوهشگاه نیرو
۶	مهندس صمدی‌فام	معاونت بهره برداری نیروگاه بعثت
۷	مهندس بحری	مدیر گروه طراحی توربین بادی- پژوهشگاه نیرو
۸	مهندس فرضعلی‌زاده	رئیس پژوهشکده انتقال- پژوهشگاه نیرو
۹	مهندس سربندی‌فراهانی	مدیر گروه بهره برداری تولید-پژوهشگاه نیرو
۱۰	مهندس قبادی	مدیر دفتر فنی طرح‌های انتقال نیرو-سازمان توسعه برق
۱۱	مهندس آسایش	مدیر گروه مکانیک- پژوهشگاه نیرو
۱۲	مهندس مرادیان	مدیر عامل-شرکت افق هسته ای
۱۳	مهندس باباجانی	معاونت بهره برداری-نیروگاه شهید سلیمی (نکا)
۱۴	مهندس جاذبی	رئیس گروه طراحی و سازه-توسعه ۱ مپنا
۱۵	مهندس رضایی	کارشناس معاونت بهره برداری-شرکت توزیع تهران بزرگ
۱۶	مهندس قریب	کارشناس سازه-گروه مپنا
۱۷	مهندس فتحی	مدیر گروه طراحی سازه‌های انتقال- شرکت قدس نیرو
۱۸	مهندس میرزالی	مدیر دفتر فنی طرح‌های نیروگاهی-سازمان توسعه برق
۱۹	مهندس دوستی‌مهر	کارشناس دفتر فنی انتقال-شرکت برق منطقه ای تهران
۲۰	مهندس حسین پور سلیمانی	کارشناس سازه- نیروگاه رامین اهواز
۲۱	مهندس تقوی منش	کارشناس سازه-شرکت مونکو ایران
۲۲	مهندس قنبری	معاونت بهره برداری- برق خراسان
۲۳	دکتر علیپور	مدیر کل دفتر فنی انتقال توانیر و عضو کمیته راهبری
۲۴	مهندس خودسیانی	کارشناس دفتر پشتیبانی فنی توزیع-توانیر
۲۵	مهندس بخشنده	کارشناس بهره‌برداری برق منطقه‌ای مازندران

جهت محاسبه نتایج نهایی پرسشنامه ارزیابی جذابیت و توانمندی بکارگیری فناوری پایش سلامت در تاسیسات اصلی صنعت برق، با توجه به این که میزان خبرگی افراد پاسخ‌دهنده متفاوت بود ضروری بود تا نظرات ارائه شده در پرسشنامه بر اساس میزان آشنایی پاسخ‌دهندگان با هر کدام از تاسیسات ارزیابی گردد. بنابراین از پاسخ‌دهندگان خواسته شد تا قبل از پاسخ به سوالات میزان سابقه کار یا پژوهش خود را در هر حوزه مشخص کنند. همچنین با توجه به اهمیت متفاوت شاخص‌ها، برای هر یک از سوالات وزنی در نظر گرفته شد.

مبنای تعیین اوزان نسبی برای سوالات جذابیت این است که فاکتورهای مؤثر در جذابیت بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه‌ها، اهمیت سازه (موضوع سوالات ۱ الی ۵)، هزینه دستیابی به سیستم (موضوع سوال ۶) و میزان نیاز به سیستم پایش یا آسیب‌پذیری سازه (موضوع سوالات ۷ و ۸) می‌باشند. اساساً در سازه‌های متعارف (نظیر پلها و ساختمانها) بدلیل بالا بودن میزان آسیب‌پذیری، وزن این فاکتور بیشتر از سایر فاکتورها است. اما در شریانهای حیاتی (مانند شبکه برق و آب و گاز) بدلیل تأثیرگذاری بیشتر در حیات و زندگی جامعه، وزن اهمیت بیشتر بوده و آسیب‌پذیری کمتر است. (معمولاً ضریب اهمیت در طراحی سازه‌ها در شریانهای حیاتی حدود ۳۰ الی ۵۰ درصد بیشتر از سازه‌های متعارف است). از طرف دیگر میزان اطمینان به صحت پاسخهای ارائه شده به سوالات اهمیت، بالاتر از سایر سوالات است. (بدلیل عدم اطلاع جامع و کافی افراد از وضعیت خرابیها). بنابراین وزن سوالات مربوط به اهمیت بیشتر از وزن سوالات آسیب‌پذیری و هزینه در نظر گرفته شده است. در مورد اوزان نسبی سوالات توانمندی نیز با توجه به اینکه آشنایی با سیستم پایش سلامت سازه‌ها و استفاده از آن در کشور، جدید بوده و هنوز در مراحل ابتدایی تولید دانش فنی قرار دارد، به ترتیب سوالات مربوط به وضعیت دانش فنی و نیروی انسانی دارای بیشترین وزن نسبی و سوالات مربوط به وضعیت امکانات و زیر ساخت‌های مورد نیاز با وزن متوسط و سوالات مربوط به مرحله اجرای آن در عمل (منابع مالی و وضعیت متقاضیان) با وزن نسبی کمتر در نظر گرفته شده اند.

با توجه به مطالب فوق، اوزان تعیین شده برای سوالات، در جدول ۲-۳ و

جدول ۳-۳ آمده است.

جدول ۲-۳ وزن سوالات جذابیت

وزن	سوال جذابیت	ردیف
۰/۱۵	میزان اثرگذاری قطع عملکرد تاسیسات در ایجاد اختلال در شبکه برق	۱
۰/۱۵	آسیب‌های احتمالی به محیط زیست را در صورت وقوع خرابی کلی در این تاسیسات	۲
۰/۱۵	اثرات منفی اجتماعی در صورت قطع عملکرد تاسیسات	۳

وزن	سوال جذابیت	ردیف
۰/۱۵	میزان اثرگذاری قطع عملکرد تأسیسات در ایجاد اختلال در امنیت ملی	۴
۰/۱۵	خسارات مالی مستقیم و غیرمستقیم ناشی از قطع عملکرد تأسیسات	۵
۰/۰۵	هزینه دستیابی به دانش فنی و بومی‌سازی فناوری پایش سلامت سازه در تأسیسات	۶
۰/۱	میزان فوریت دستیابی کشور ما به فناوری پایش سلامت در تأسیسات	۷
۰/۱	پتانسیل وقوع خرابی کلی در سازه‌های این تأسیسات	۸

جدول ۳-۳- وزن سوالات توانمندی

وزن	سوال توانمندی	ردیف
۰/۲۵	وضعیت تسلط بر دانش فنی پایش سلامت سازه در تأسیسات	۱
۰/۱۵	وضعیت زیر ساخت‌های نرم‌افزاری موجود در کشور برای بکارگیری پایش سلامت سازه در تأسیسات	۲
۰/۱۵	وضعیت زیر ساخت‌های سخت‌افزاری موجود در کشور برای بکارگیری پایش سلامت سازه در تأسیسات	۳
۰/۲	وضعیت نیروی انسانی متخصص و کارآمد برای بکارگیری پایش سلامت سازه در تأسیسات	۴
۰/۱	وضعیت منابع مالی قابل تخصیص برای توسعه فناوری پایش سلامت سازه در تأسیسات	۵
۰/۰۵	قوانین و سیاست‌های مرتبط با بکارگیری پایش سلامت سازه در تأسیسات	۶
۰/۱	وضعیت آمادگی و هماهنگی دستگاه‌ها و سازمان‌ها برای توسعه فناوری پایش سلامت سازه در تأسیسات	۷

منطق تعیین امتیاز نهایی جذابیت و توانمندی در یک فناوری نیز به این صورت بوده که در ابتدا از خبرگان خواسته شد به هر سوال امتیازی بین ۱ تا ۱۰ دهند. در ادامه میانگین وزنی جذابیت‌ها و توانمندی‌های ارائه شده توسط خبرگان مختلف برای هر فناوری با لحاظ نمودن ضریب اهمیت هر سوال محاسبه گردید. در مرحله بعد جهت لحاظ نمودن ضریب آشنایی افراد، ضریب آشنایی هر فرد در میانگین وزنی جذابیت و توانمندی هر سوال ضرب شده و در نهایت مجموع به دست آمده از ضرب آشنایی هر خبره در امتیاز نهایی هر فناوری، بر جمع ضرایب آشنایی تقسیم گردید. بدین ترتیب برای هر فناوری عدد بین ۱ تا ۱۰ بدست آمد که این اعداد، اعداد جذابیت و توانمندی نهایی بوده که در جدول ۳-۴ ارائه شده‌اند. نتایج به دست آمده از ارزیابی جذابیت بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه در سازه‌های تأسیسات اصلی صنعت برق نیز در جدول ۳-۵ آمده است.

جدول ۳-۴- جمع‌بندی نتایج جذابیت و توانمندی بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه در تاسیسات صنعت برق

ردیف	فناوری	جذابیت	توانمندی
۱	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه بخاری	۶/۴۳	۴/۹۴
۲	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه گازی	۵/۸۱	۴/۸۰
۳	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه چرخه ترکیبی	۶/۱۲	۴/۷۹
۴	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه دیزلی	۳/۲۸	۴/۲۴
۵	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه برق آبی	۶/۴۱	۴/۴۸
۶	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه هسته ای	۶/۴۵	۵/۲۵
۷	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه بادی	۴/۳۷	۴/۲۴
۸	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه خورشیدی	۲/۶۰	۳/۹۴
۹	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه زمین گرمایی	۳/۲۰	۴/۳۸
۱۰	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه زباله سوز	۳/۵۲	۳/۹۲
۱۱	فناوری پایش سلامت سازه در خطوط انتقال	۵/۴۴	۴/۸۱
۱۲	فناوری پایش سلامت سازه در پست های انتقال	۴/۹۲	۵/۳۳
۱۳	فناوری پایش سلامت سازه در خطوط فوق توزیع	۴/۴۳	۵/۴۴
۱۴	فناوری پایش سلامت سازه در پست های فوق توزیع	۴/۳۶	۵/۴۴
۱۵	فناوری پایش سلامت سازه در خطوط توزیع	۳/۹۰	۵/۰۵
۱۶	فناوری پایش سلامت سازه در پست های توزیع	۳/۶۰	۵/۰۹

جدول ۳-۵- جمع‌بندی نتایج جذابیت بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه در سازه‌های تشکیل دهنده تاسیسات صنعت برق

ردیف	بخش	سازه	جذابیت
۱	سازه	سازه برج خنک کننده	۷/۲
۲		سازه نگهدارنده دودکش	۵/۱۰
۳		سازه نگهدارنده بویلر و کوره	۶/۷
۴		سازه یا فونداسیون نگهدارنده تجهیزات اصلی (توربین، ژنراتور و ...)	۷/۴
۵		سیستم لوله ها (پایپینگ) و اتصالات آنها	۵/۸
۶		مخازن ذخیره سوخت	۵/۴
۷		سازه‌های ساختمانی نیروگاه ها (ساختمان‌های حاوی تجهیزات اصلی و مهم نیروگاه)	۴/۱۰
۸		پوسته‌های محافظ راکتور هسته ای	۷/۱
۹		مخزن تحت فشار راکتور هسته ای	۷/۷
۱۰		سازه و فونداسیون تکیه‌گاهی پانل‌های خورشیدی	۴/۰۵
۱۱		پره توربین بادی	۵/۷
۱۲		برج توربین بادی	۵/۲
۱۳		فونداسیون توربین بادی	۴/۸

ردیف	بخش	سازه	جذابیت
۱۴	انتقال	سد	۸
۱۵		دکل‌ها و فونداسیون انتقال برق	۵/۹
۱۶		مقره‌ها	۵/۱۸
۱۷		هادی‌های انتقال	۵/۰۱
۱۸		گالری‌های بتنی و منهول‌ها در خطوط انتقال زمینی	۴/۸
۱۹		گنتری پست‌ها	۴/۱۰
۲۰		سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات پست‌ها	۴/۷
۲۱		اجزای غیرسازه‌ای پست‌ها (مقره، پوشینگ و...)	۵/۱
۲۲		سازه‌های ساختمانی پست‌ها (ساختمان کنترل و...)	۴/۷
۲۳		توزیع	پایه‌های توزیع برق
۲۴	پست‌های هوایی توزیع		۳/۳
۲۵	پست‌های زمینی و زیرزمینی توزیع		۳/۱

۳-۱-۳- تحلیل نتایج

در ابتدا می‌توان میزان جذابیت و توانمندی را تفکیک کرد و نتایج مربوط به بکارگیری فناوری پایش سلامت را در تاسیسات اصلی صنعت برق بر اساس هر یک از این دو معیار مرتب نمود. نتایج تفکیکی مرتب شده بر اساس جذابیت و توانمندی به ترتیب در جداول ۳-۶ و ۳-۷ نشان داده شده اند.

جدول ۳-۶- نتایج تفکیکی مرتب شده بر اساس جذابیت بکارگیری پایش سلامت سازه در تأسیسات اصلی صنعت برق

ردیف	فناوری	جذابیت	توانمندی
۱	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه هسته ای	۶/۴۵	۵/۲۵
۲	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه بخاری	۶/۴۳	۴/۹۴
۳	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه برق آبی	۶/۴۱	۴/۴۸
۴	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه چرخه ترکیبی	۶/۱۲	۴/۷۹
۵	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه گازی	۵/۸۱	۴/۷۹
۶	فناوری پایش سلامت سازه در خطوط انتقال	۵/۴۴	۴/۸۱
۷	فناوری پایش سلامت سازه در پست‌های انتقال	۴/۹۲	۵/۳۳
۸	فناوری پایش سلامت سازه در خطوط فوق توزیع	۴/۴۳	۵/۴۴
۹	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه بادی	۴/۳۷	۴/۲۳
۱۰	فناوری پایش سلامت سازه در پست‌های فوق توزیع	۴/۳۶	۵/۴۴
۱۱	فناوری پایش سلامت سازه در خطوط توزیع	۳/۹۰	۵/۰۴

ردیف	فناوری	جذابیت	توانمندی
۱۲	فناوری پایش سلامت سازه در پست های توزیع	۳/۶۰	۵/۰۹
۱۳	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه زباله سوز	۳/۵۲	۳/۹۲
۱۴	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه دیزلی	۳/۲۸	۴/۲۴
۱۵	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه زمین گرمایی	۳/۲۰	۴/۳۸
۱۶	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه خورشیدی	۲/۶۰	۳/۹۵

براساس جدول فوق بکارگیری فناوری پایش سلامت در نیروگاه هسته‌ای، بخاری و برق‌آبی دارای بیشترین جذابیت و در

نیروگاه دیزلی، نیروگاه زمین گرمایی و نیروگاه خورشیدی دارای کمترین جذابیت می‌باشد.

جدول ۳-۷- نتایج تفکیکی مرتب شده بر اساس توانمندی بکارگیری پایش سلامت سازه در تأسیسات اصلی صنعت برق

ردیف	فناوری	جذابیت	توانمندی
۱	فناوری پایش سلامت سازه در خطوط فوق توزیع	۴/۴۳	۵/۴۴
۲	فناوری پایش سلامت سازه در پست‌های فوق توزیع	۴/۳۵	۵/۴۴
۳	فناوری پایش سلامت سازه در پست‌های انتقال	۴/۹۲	۵/۳۳
۴	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه هسته‌ای	۶/۴۵	۵/۲۵
۵	فناوری پایش سلامت سازه در پست‌های توزیع	۳/۶۰	۵/۰۹
۶	فناوری پایش سلامت سازه در خطوط توزیع	۳/۸۹	۵/۰۵
۷	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه بخاری	۶/۴۲	۴/۹۴
۸	فناوری پایش سلامت سازه در خطوط انتقال	۵/۴۳	۴/۸۱
۹	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه گازی	۵/۸۱	۴/۸۰
۱۰	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه چرخه ترکیبی	۶/۱۲	۴/۷۹
۱۱	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه برق آبی	۶/۴۱	۴/۴۸
۱۲	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه زمین گرمایی	۳/۲۰	۴/۳۸
۱۳	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه بادی	۴/۳۷	۴/۲۴
۱۴	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه دیزلی	۳/۲۸	۴/۲۴
۱۵	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه خورشیدی	۲/۶۰	۳/۹۵
۱۶	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه زباله سوز	۳/۵۲	۳/۹۲

براساس جدول فوق بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه در خطوط فوق توزیع، پست‌های فوق توزیع و پست‌های انتقال

دارای بیشترین توانمندی و در نیروگاه دیزلی، نیروگاه خورشیدی و نیروگاه زباله‌سوز دارای کمترین توانمندی می‌باشد.

همچنین نتایج مرتب شده جذابیت بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه در سازه‌های تأسیسات اصلی صنعت برق به

تفکیک هر بخش در جدول ۳-۸ نشان داده شده است. که از نتایج این جدول، در فاز پنجم و تعیین برنامه زمان‌بندی استفاده

خواهد شد.

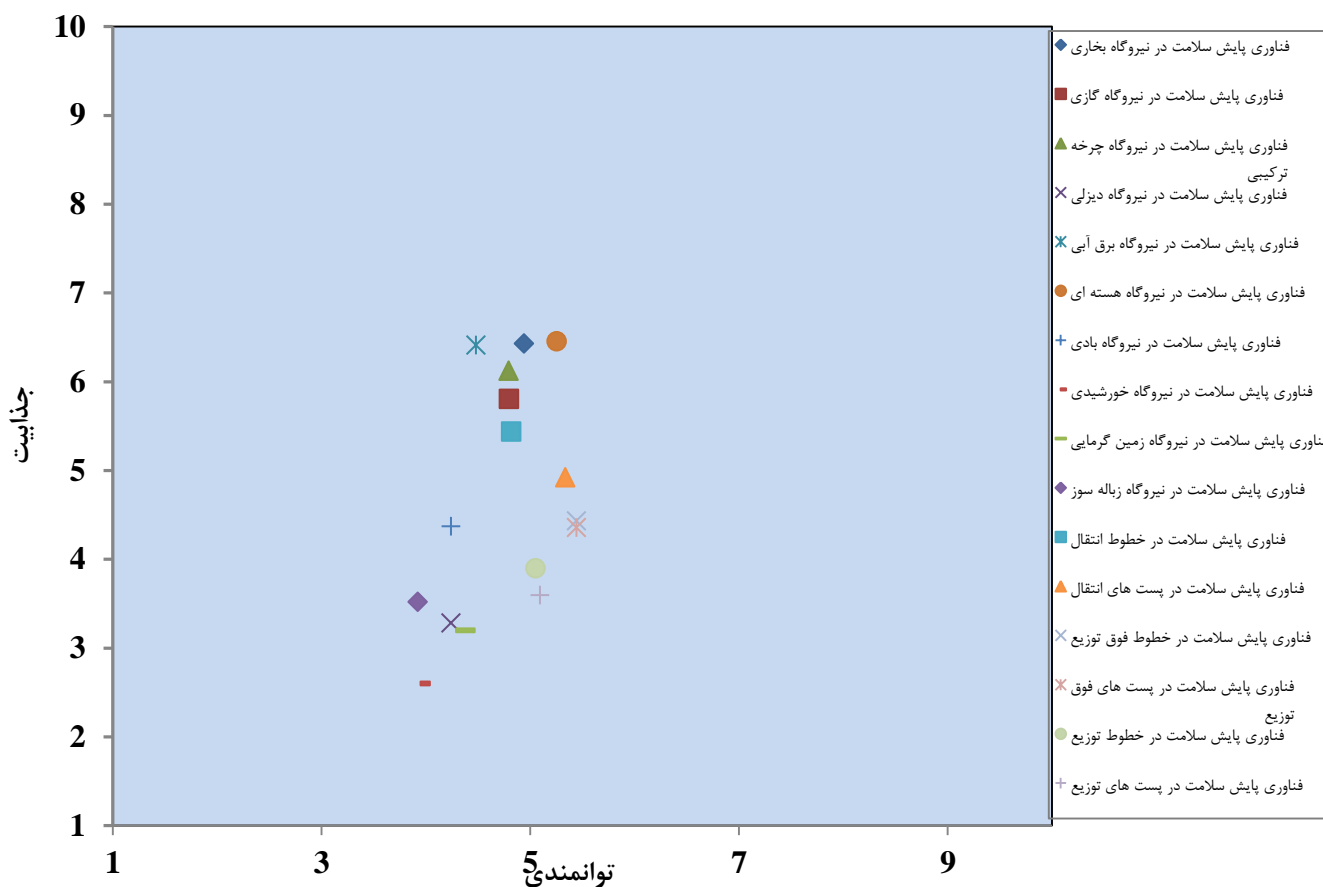
جدول ۳-۸- نتایج مرتب شده بر اساس جذابیت بکارگیری پایش سلامت سازه در سازه‌های تأسیسات اصلی صنعت برق

جذابیت	سازه	ردیف
۸	سد	۱
۷/۷	مخزن تحت فشار راکتور هسته ای	۲
۷/۳	سازه یا فونداسیون نگهدارنده تجهیزات اصلی (توربین، ژنراتور و ...)	۳
۷/۲	سازه برج خنک کننده	۴
۷/۱	پوسته‌های محافظ راکتور هسته ای	۵
۶/۷	سازه نگهدارنده بویلر و کوره	۶
۵/۸	سیستم لوله ها (پایپینگ) و اتصالات آنها	۷
۵/۷	سازه نگهدارنده دودکش	۸
۵/۷	پره توربین بادی	۹
۵/۴	مخازن ذخیره سوخت	۱۰
۵/۲	برج توربین بادی	۱۱
۴/۸	فونداسیون توربین بادی	۱۲
۴/۱	سازه‌های ساختمانی نیروگاهها (ساختمان‌های حاوی تجهیزات اصلی و مهم نیروگاه)	۱۳
۴	سازه و فونداسیون تکیه گاهی پانل‌های خورشیدی	۱۴
۵/۹	دکل‌ها و فونداسیون انتقال برق	۱۶
۵/۱	مقره‌ها	۱۷
۵/۱	اجزای غیرسازه‌ای پست‌ها (مقره، بوشینگ و...)	۱۸
۵	هادی‌های انتقال	۱۹
۴/۹	گنتری پست‌ها	۲۰
۴/۸	گالری‌های بتنی و منهول‌ها در خطوط انتقال زمینی	۲۱
۴/۷	سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات پست‌ها	۲۲
۴/۷	سازه‌های ساختمانی پست‌ها (ساختمان کنترل و ...)	۲۳
۳/۴	پست‌های هوایی توزیع	۲۴
۳/۳	پایه‌های توزیع برق	۲۵
۳/۲	پست‌های زمینی و زیرزمینی توزیع	

۳-۲- ماتریس جذابیت- توانمندی فناوری پایش سلامت سازه در تأسیسات اصلی صنعت

برق

قسمت اصلی تحلیل نتایج با توجه به متدولوژی، از طریق تعیین جایگاه در ماتریس جذابیت-توانمندی صورت می‌گیرد. همان طور که از نام این ماتریس نیز مشخص است از دو بعد جذابیت و توانمندی تشکیل شده است. بر اساس معیارهای مطرح شده در ابتدای بخش و جمع بندی نتایج پرسشنامه‌ها هر کدام از ابعاد جذابیت و توانمندی تعیین شده‌اند و کافی است که این مقادیر در ماتریس نمایش داده شوند. ماتریس اولیه‌ای که حاصل می‌شود در شکل ۳-۲ نمایش داده شده است.

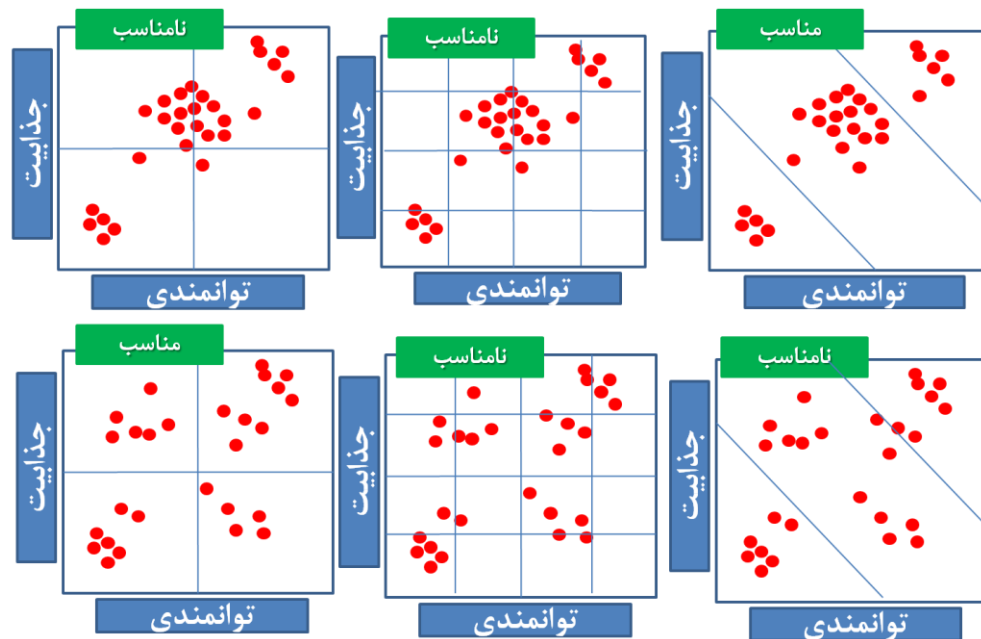


شکل ۳-۲- ماتریس جذابیت- توانمندی بکارگیری فناوری پایش سلامت در تأسیسات صنعت برق

۳-۳- ناحیه بندی ماتریس جذابیت-توانمندی

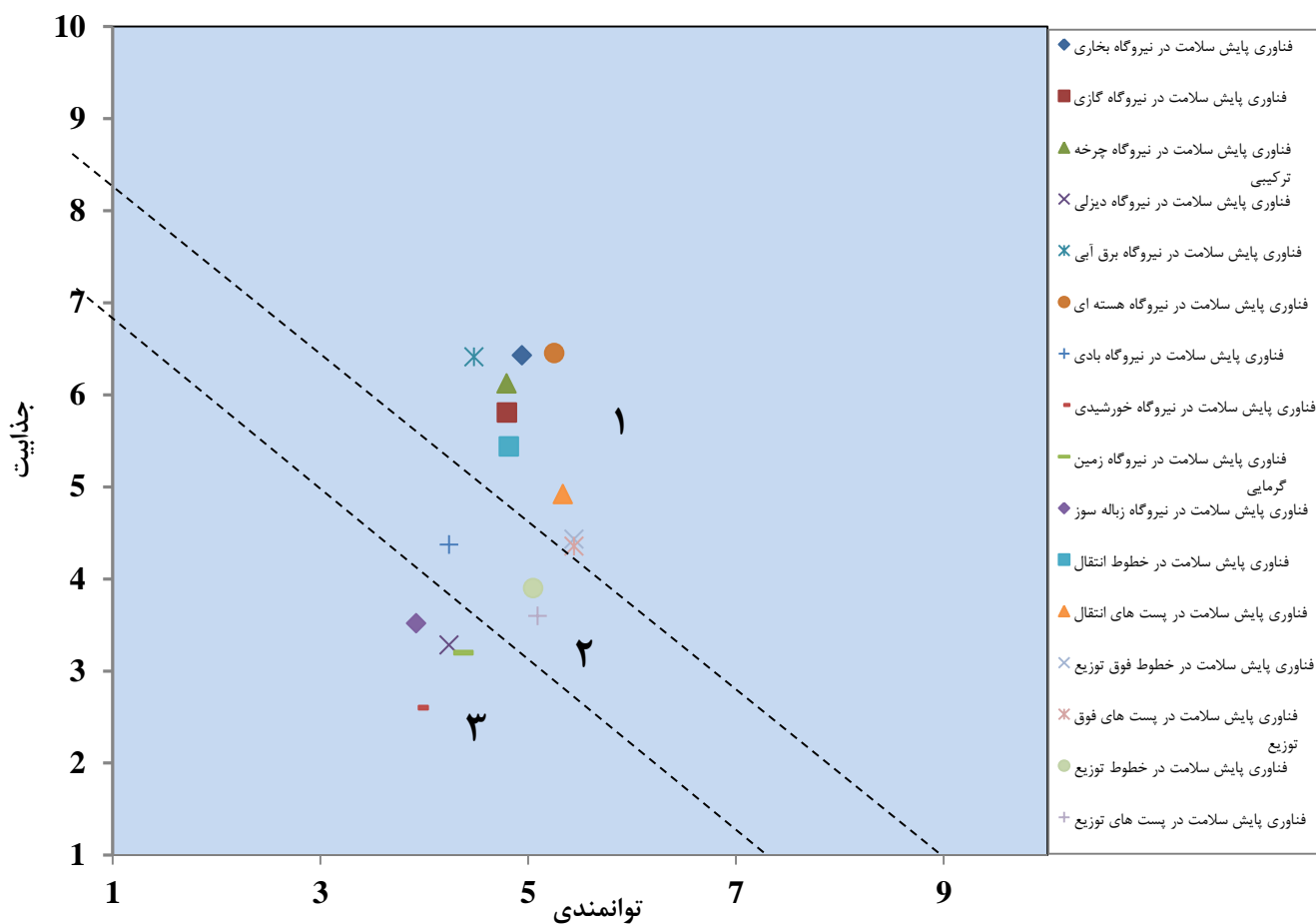
با توجه به ادبیات موضوع، این ماتریس به چند منطقه باید تقسیم شود تا بتوان بر اساس آن، دست به انتخاب زد. این ماتریس، بیانگر جایگاه جذابیت و امکان پذیری هر یک از فناوری‌ها است. در این ماتریس برای تقسیم بندی می توان از تقسیم به سه ناحیه (با استفاده از خطوط شیب دار)، چهار ناحیه، نه ناحیه و شانزده ناحیه استفاده نمود. تعداد و نحوه نواحی در نظر گرفته شده در ماتریس جذابیت-توانمندی وابسته به پارامتر پراکندگی فناوری‌ها در ماتریس جذابیت-توانمندی می باشد. در واقع ناحیه بندی در نظر گرفته شده باید به گونه ای انجام پذیرد که بتوان دسته فناوری‌ها را از هم تمیز داد، به عبارت دیگر فناوری‌های دارای توانمندی و جذابیت تقریباً یکسان در یک ناحیه قرار گیرند. نحوه صحیح دسته بندی با توجه به پراکندگی

زیر فناوری‌ها در ماتریس جذابیت-توانمندی در شکل ۳-۳ ارائه شده است. در مجموع ترجیح داده می‌شود که از یک سو تا حد امکان تعداد نواحی انتخاب شده در ماتریس کمتر بوده و از سوی دیگر زیر فناوری‌ها بر روی مرزهای نواحی مختلف قرار نگیرند.



شکل ۳-۳- اثر پراکندگی فناوری‌ها در ماتریس جذابیت و توانمندی بر انتخاب نواحی ماتریس

در این میان با توجه به ماتریس به دست آمده (نحوه پراکندگی فناوری‌ها در سطح ماتریس) و نوع انتخاب در این پروژه از روش تقسیم به سه ناحیه (با استفاده از خطوط شیب‌دار) استفاده شد. شکل ۳-۴ تقسیم‌بندی سه ناحیه ای ماتریس جذابیت و توانمندی را نشان می‌دهند.



شکل ۳-۴- ناحیه‌بندی ماتریس جذابیت- توانمندی بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه در تاسیسات صنعت برق

در شکل ۳-۴، ۳ ناحیه مشخص شده است. بر این اساس روش اکتساب فناوری‌های هر کدام از ناحیه‌های سه گانه به طور کلی به صورت زیر است.

◎ **توسعه درون‌زا:** این روش به ناحیه **یک** بر می‌گردد و در این ناحیه، استراتژی انتخابی توسعه درون‌زا است. توسعه درون‌زا یعنی توسعه‌ای که به صورت همه‌جانبه و در داخل کشور باید صورت گیرد و معمولاً از تحقیق و توسعه برای کسب یک فناوری شروع می‌شود. در حقیقت هنگامی که یک فناوری از جذابیت بالایی برخوردار است، چنانچه توانمندی دستیابی به آن فناوری نیز از میزان قابل قبولی برخوردار باشد، توسعه‌ی همه‌جانبه آن در کشور روش اکتساب مناسب آن فناوری خواهد بود.

◎ **انتقال فناوری:** این استراتژی به فناوری‌های واقع در ناحیه **دو** بر می‌گردد. به این معنا که فناوری مورد نظر با روش‌های مختلف انتقال فناوری تهیه خواهند شد. انتقال فناوری از طریق روش‌های زیر انجام می‌گردد: تملک شرکتی، ادغام، سرمایه‌گذاری مشترک، اتحاد، تملک فردی، قرارداد تحقیق و توسعه، سرمایه‌گذاری در تحقیقات، مشارکت با سهام، لیسانس، و کنسرسیوم. (در این طرح طبق فرایند معرفی شده در شکل ۳-۵، فناوری‌هایی که در ناحیه‌ی ۲ قرار گرفته‌اند، جهت افزایش دقت بار دیگر در معرض اظهار نظر خبرگان قرار خواهد گرفت تا مواردی که از توسعه‌ی درون‌زا و خرید خارجی در آن قرار گرفته پالایش شده و موارد انتقال فناوری مشخص گردد.)

◎ **چشم‌پوشی:** این استراتژی به فناوری‌هایی بر می‌گردد که در ناحیه **سه** واقع شده‌اند. بنابراین از فناوری‌های این دسته باید چشم‌پوشی کرد و در حیطه توسعه فناوری جایی ندارند. زیرا هنگامی که جذابیت یک فناوری در مقایسه با سایر فناوری‌ها پایین باشد و همچنین توانمندی دستیابی به آن فناوری نیز کم باشد، در اولویت‌های توسعه فناوری قرار نمی‌گیرد.

در ناحیه اول، فناوری پایش سلامت در نیروگاه هسته‌ای، نیروگاه بخاری، نیروگاه برق‌آبی، نیروگاه چرخه ترکیبی، نیروگاه گازی، خطوط انتقال و پست‌های انتقال قرار گرفته‌اند. فناوری‌هایی که در این ناحیه قرار می‌گیرند از طریق توسعه درون‌زا توسعه می‌یابند. در ناحیه دوم، فناوری‌ها از توانمندی و جذابیت نسبتاً بالایی برخوردار هستند و همان‌طور که اشاره شد اگرچه روش اکتساب فناوری‌های مربوط به این ناحیه، انتقال فناوری می‌باشد اما جهت افزایش دقت، فناوری‌های این ناحیه بار دیگر

با استفاده از الگوریتم پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه راهکارهای کاهش آنها

با استفاده از الگوریتم روش اکتساب مورد بررسی قرار گرفته و با استفاده از این الگوریتم در مورد روش اکتساب این فناوری‌ها تصمیم‌گیری می‌شود. در این ناحیه فناوری پایش سلامت در خطوط فوق توزیع، پست‌های فوق توزیع، خطوط توزیع، پست‌های توزیع و نیروگاه بادی قرار گرفته اند. در نهایت، فناوری‌های موجود در ناحیه سوم از توانمندی پایین و جذابیت نسبتاً پایینی برخوردار هستند که باید از آن‌ها چشم‌پوشی کرد. فناوری پایش سلامت در نیروگاه خورشیدی، نیروگاه زباله‌سوز، نیروگاه زمین-گرمایی و نیروگاه دیزلی در این ناحیه قرار گرفته اند.

۳-۴- روش اکتساب فناوری پایش سلامت سازه در تاسیسات صنعت برق

جهت تعیین روش اکتساب فناوری‌های قرار گرفته در ناحیه ۲ ماتریس جذابیت و توانمندی و افزایش دقت در خصوص تعیین راهبرد مربوط به فناوری‌های این ناحیه الگوریتمی طراحی شده است. این الگوریتم از چند شرط و ورودی و تصمیم‌گیری در هر مرحله استفاده می‌کند. با ورود هر فناوری، اولین شرطی که بررسی می‌شود میزان استراتژیک بودن تاسیسات موردنظر می‌باشد. با توجه به اینکه تاسیسات استراتژیک باشند یا نه، مسیر تعیین روش اکتساب فناوری متفاوت خواهد بود. با توجه به مسیر تعیین شده در بررسی استراتژیک بودن تاسیسات، در گام بعدی برخی از شروط اساسی زیر باید بررسی شوند:

۱- احتمال وقوع خرابی کلی در سازه‌های تاسیسات

۲- نرخ رشد کاربرد تاسیسات در آینده صنعت برق در کشور

۳- هزینه تحقیق و توسعه نسبت به هزینه انتقال فناوری

با توجه به این شروط و برخی شروط دیگر روش اکتساب مشخص می‌گردد. در ادامه مختصری پیرامون این شروط توضیح داده شده است.

↔ حالت اول، حالتی است تاسیسات استراتژیک بوده و احتمال وقوع خرابی کلی در سازه‌های تاسیسات نیز زیاد باشد،

در این حالت توسعه فناوری پایش سلامت سازه در این تاسیسات از طریق توسعه درون‌زا صورت می‌پذیرد.

↔ حالت دوم، حالتی است تاسیسات استراتژیک بوده ولی احتمال وقوع خرابی کلی در سازه‌های تاسیسات نیز زیاد

نباشد، در این صورت هزینه تحقیق و توسعه نسبت به انتقال فناوری مورد بررسی قرار می‌گیرد، چنانچه هزینه

تحقیق و توسعه بالا باشد فناوری پایش سلامت سازه در تاسیسات مورد نظر از طریق انتقال فناوری صورت

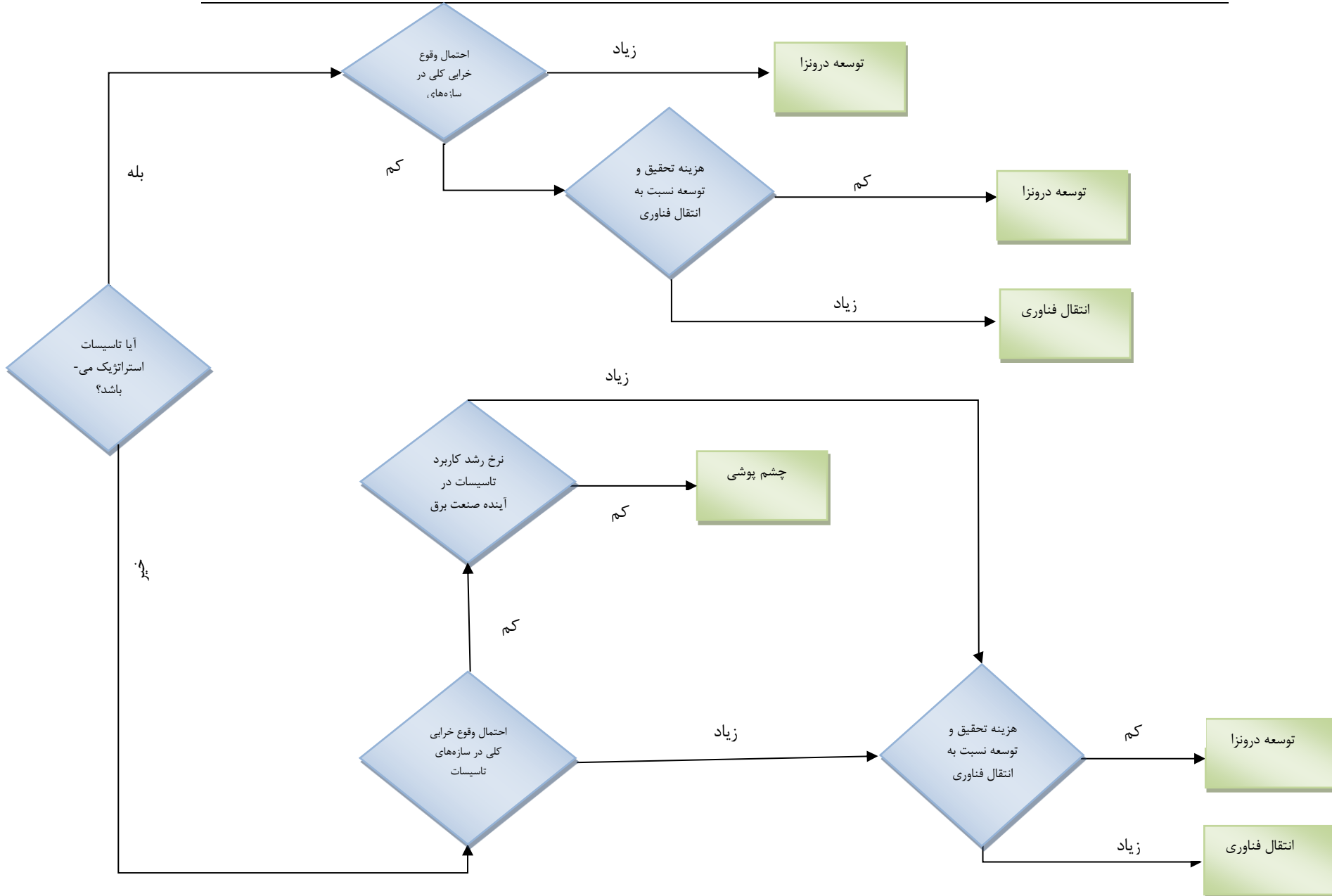
می‌پذیرد. در غیر این صورت توسعه فناوری پایش سلامت در این تاسیسات از طریق توسعه درونزا صورت می‌پذیرد.

↔ حالت سوم، حالتی است تاسیسات استراتژیک نبوده و احتمال وقوع خرابی کلی در سازه‌های تاسیسات زیاد باشد. در این حالت هزینه تحقیق و توسعه نسبت به انتقال فناوری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، در صورت پایین بودن هزینه تحقیق و توسعه، فناوری پایش سلامت سازه در سازه‌های این تاسیسات از طریق توسعه درونزا صورت می‌گیرد، در غیر این صورت روش اکتساب انتقال فناوری انتخاب خواهد شد.

↔ حالت چهارم، حالتی است که تاسیسات استراتژیک نبوده و احتمال وقوع خرابی کلی در سازه‌های تاسیسات نیز کم باشد، در این حالت در صورتی که نرخ رشد کاربرد تاسیسات در آینده صنعت برق کشور زیاد باشد، هزینه تحقیق و توسعه نسبت به انتقال فناوری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، در صورت پایین بودن هزینه تحقیق و توسعه، فناوری پایش سلامت سازه در سازه‌های این تاسیسات از طریق توسعه درونزا صورت می‌گیرد، در غیر این صورت روش اکتساب انتقال فناوری انتخاب خواهد شد.

↔ حالت پنجم، حالتی است که تاسیسات استراتژیک نبوده، احتمال وقوع خرابی کلی در سازه‌های تاسیسات کم بوده و نرخ رشد کاربرد تاسیسات در آینده صنعت برق کشور نیز زیاد نباشد، در این حالت از بکارگیری فناوری پایش سلامت در سازه‌های این تاسیسات چشم‌پوشی می‌گردد.

تمامی این حالات را می‌توان در فلوچارتی به صورت شکل ۳-۵ به نمایش گذاشت.





شکل ۳-۵: الگوریتم تعیین روش اکتساب فناوری

با توجه به مسیرهای شکل ۳-۵، روش اکتساب پیشنهادی با توجه به ویژگی‌های هر کدام از تاسیسات، در

جدول ۳-۹ آمده است:

جدول ۳-۹ روش اکتساب پیشنهادی برای فناوری‌های ناحیه دوم

روش اکتساب فناوری	هزینه تحقیق و توسعه نسبت به انتقال فناوری	نرخ رشد کاربرد در آینده	احتمال وقوع خرابی کلی در سازه‌های تاسیسات	استراتژیک بودن تاسیسات	تاسیسات
توسعه درونزا	---	کم	زیاد	زیاد	خطوط فوق توزیع
توسعه درونزا	---	کم	زیاد	زیاد	پست‌های فوق توزیع
توسعه درونزا	کم	کم	زیاد	کم	خطوط توزیع
توسعه درونزا	کم	کم	زیاد	کم	پست‌های توزیع
توسعه درونزا	کم	زیاد	کم	کم	نیروگاه بادی

پس از استخراج نتایج از الگوریتم، روش اکتساب فناوری‌های واقع در ناحیه دوم ماتریس جذابیت و توانمندی نیز

مشخص شد. نتایج نهایی مربوط به روش اکتساب فناوری‌ها در جدول ۳-۱۰ ارائه شده است.

جدول ۳-۱۰- روش اکتساب پیشنهادی جهت بکارگیری فناوری پایش سلامت در تأسیسات صنعت برق

ردیف	فناوری	ناحیه قرارگیری در ماتریس جذابیت - توانمندی	روش اکتساب پیشنهادی
۱	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه برق آبی	۱	توسعه درونزا
۲	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه هسته‌ای	۱	توسعه درونزا
۳	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه بخاری	۱	توسعه درونزا
۴	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه چرخه ترکیبی	۱	توسعه درونزا
۵	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه گازی	۱	توسعه درونزا
۶	فناوری پایش سلامت سازه در خطوط انتقال	۱	توسعه درونزا
۷	فناوری پایش سلامت سازه در پست‌های انتقال	۱	توسعه درونزا
۸	فناوری پایش سلامت سازه در خطوط فوق توزیع	۲	توسعه درونزا
۹	فناوری پایش سلامت سازه در پست‌های فوق توزیع	۲	توسعه درونزا
۱۰	فناوری پایش سلامت سازه در خطوط توزیع	۲	توسعه درونزا
۱۱	فناوری پایش سلامت سازه در پست‌های توزیع	۲	توسعه درونزا
۱۲	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه بادی	۲	توسعه درونزا
۱۳	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه دیزلی	۳	چشم‌پوشی
۱۴	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه زباله‌سوز	۳	چشم‌پوشی
۱۵	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه زمین‌گرمایی	۳	چشم‌پوشی
۱۶	فناوری پایش سلامت سازه در نیروگاه خورشیدی	۳	چشم‌پوشی

۳-۵- راهبردهای تعیین شده برای توسعه فناوری پایش سلامت سازه در تأسیسات

صنعت برق

با توجه به نتایج حاصل از پرسشنامه و تحلیل ماتریس جذابیت- توانمندی، راهبرد توسعه فناوری پایش سلامت

سازه در تأسیسات صنعت برق به شکل زیر تعریف می‌گردد:

۱- دستیابی به دانش فنی پایش سلامت در نیروگاه برق آبی، نیروگاه هسته‌ای، نیروگاه بخاری، نیروگاه چرخه

ترکیبی، نیروگاه گازی، خطوط انتقال، پست‌های انتقال، خطوط فوق توزیع، پست‌های فوق توزیع، خطوط

توزیع، پست‌های توزیع و نیروگاه بادی

شایان ذکر است که سازه‌های موجود در نیروگاه‌های هسته‌ای خارج از حوزه اختیار و مسئولیت وزارت نیرو و

همچنین سازه نیروگاه‌های برق آبی (سدها) نیز خارج از حوزه کاری بخش برق در وزارت نیرو می‌باشند. بر این

اساس و با توجه به نظر تیم فنی، این تأسیسات (نیروگاه‌های برق آبی و هسته ای) از چهارچوب این سند حذف

شده و به تبع آن راهبرد نهایی توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، به شکل زیر تعریف می‌گردد:

۱- دستیابی به دانش فنی پایش سلامت در نیروگاه بخاری، نیروگاه چرخه ترکیبی، نیروگاه گازی، خطوط

انتقال، پست‌های انتقال، خطوط فوق توزیع، پست‌های فوق توزیع، خطوط توزیع، پست‌های توزیع و

نیروگاه بادی

پیوست شماره ۱:

پرسشنامه چشم‌انداز سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق،

روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه راهکارهای کاهش آنها

صاحب نظر ارجمند

احتراما، به اطلاع می‌رساند در راستای تدوین سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه راهکارهای کاهش آنها، چشم‌انداز مربوط به فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در حال تدوین است. بر این اساس از جنابعالی خواهشمند است ضمن مطالعه خلاصه گزارش تدوین چشم‌انداز، نظر خود را در مورد بیانیه چشم‌انداز در فرم

پیوست منعکس نمایید.

نظر شما در تایید، رد و یا ارتقای عبارت	زمینه‌های (تم‌ها) چشم‌انداز
	افزایش پایایی شبکه برق
	کاهش هزینه نگهداری شبکه برق

در صورتی که زمینه‌های دیگری را مد نظر دارید که در بیانیه چشم‌انداز منعکس نشده است، در این بخش

یادداشت بفرمایید.



در این قسمت، اگر از نظر شما بیانیه چشم‌انداز آینده مطلوب برای پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق را به طور کامل منعکس نمی‌کند، آینده مطلوب مورد نظر خود را توصیف کنید.



لطفا بیانیه چشم‌انداز را مطالعه کرده و جدول ذیل را در مورد آن پر نمایید.

ویژگی	بسیار مطلوب	مطلوب	متوسط	ضعیف	بسیار ضعیف	نظر ویژه
قابل دستیابی در زمان مورد نظر (۱۰ سال)						
تأحد ممکن کمیت‌پذیر باشد.						
جامع، تحول‌گرا، آینده‌نگر و پویا باشد.						
بلندپروازانه و منحصر به فرد باشد.						
برانگیزاننده باشد.						
حال و آینده را به هم پیوند دهد یعنی در عین آنکه واقع‌گرایانه باشد، با آرمان‌ها نیز مطابقت داشته باشد.						
توجه‌برانگیز برای جلب توجه ذی‌نفعان (و فعالین این حوزه) بوده و موجب ایجاد اطمینان میان ایشان گردد						
حس مالکیت و تعلق را در فعالین این حوزه ایجاد کند						
ایجاد تداوم در برنامه‌ریزی و اجرا کند.						
فرصت‌های موجود را نشان داده، راه بهره‌جویی از فرصت‌ها را بنماید.						
کوتاه و به خاطر ماندنی باشد.						

پیوست شماره ۲:

پرسشنامه اهداف سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق،

روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه راهکارهای کاهش آنها

صاحب‌نظر ارجمند

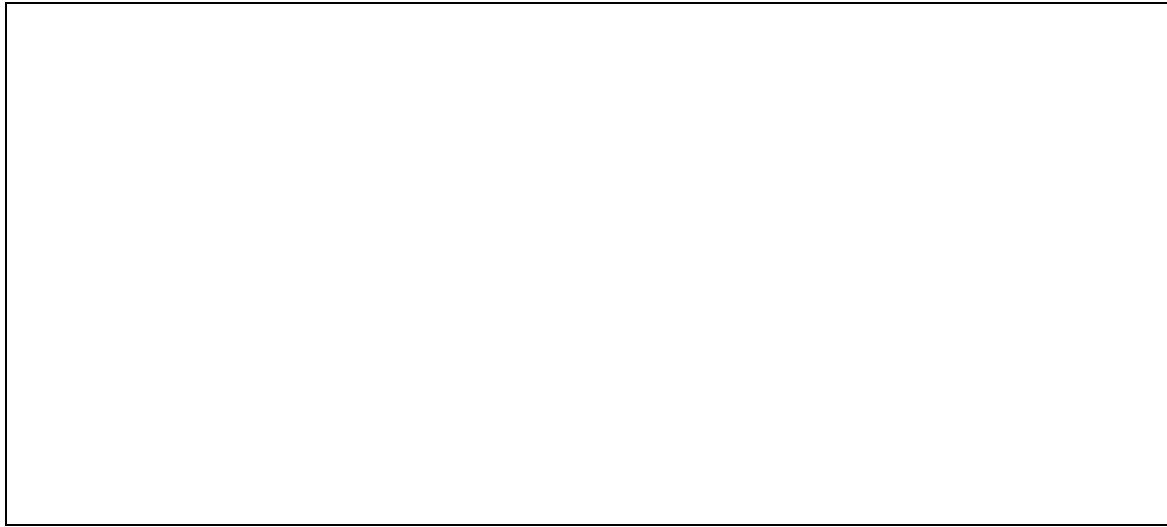
احتراما، به اطلاع می‌رساند در راستای تدوین سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه راهکارهای کاهش آنها، اهداف مربوط به توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در حال تدوین است. بر این اساس از جنابعالی خواهشمند است ضمن مطالعه خلاصه گزارش تدوین اهداف، نظر خود را در مورد اهداف در فرم پیوست منعکس نمایید.

لطفا اهداف را مطالعه کرده و جدول ذیل را در مورد آن پر نمایید.

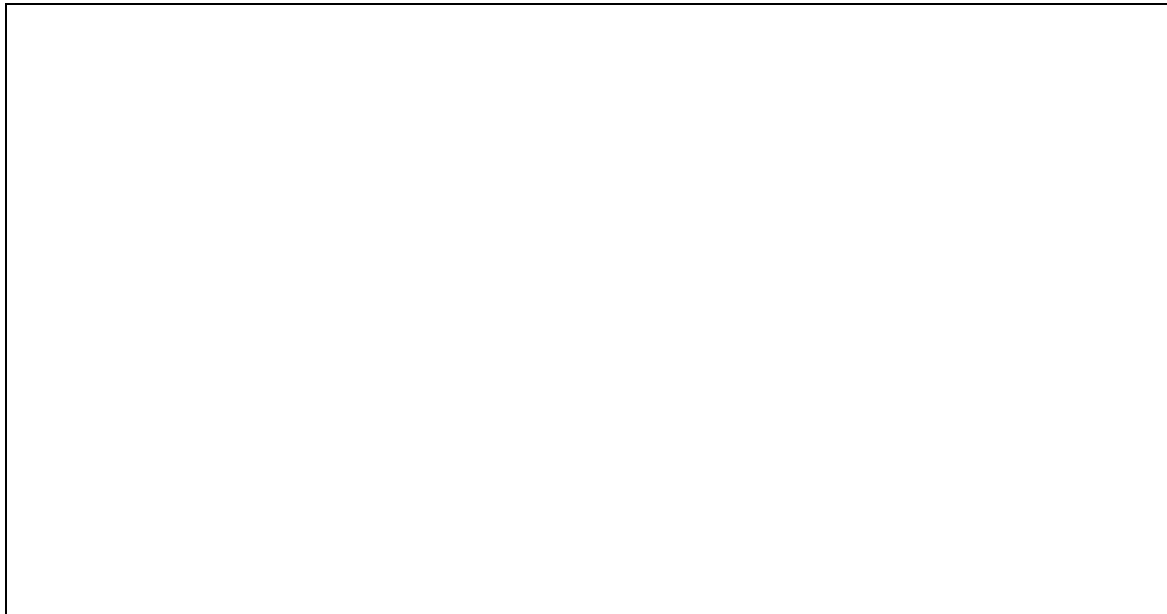
ویژگی	بسیار مطلوب	مطلوب	متوسط	ضعیف	بسیار ضعیف	نظر ویژه
مشخص بودن						
قابل اندازه‌گیری بودن						
قابل دستیابی بودن						
واقع‌گرایانه بودن						
محدود به زمان بودن						

در این قسمت، اگر از نظر شما اهداف مشخص شده، اهداف توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق را به

طور کامل منعکس نمی‌کند، اهداف مورد نظر خود را یادداشت بفرمایید.



در این قسمت، اگر از نظر شما اهداف مشخص شده، با اسناد بالادستی هم‌راستا نمی‌باشد، اهداف مورد نظر خود را یادداشت فرمایید.



در این قسمت، اگر از نظر شما اهداف مشخص شده، با چشم‌انداز توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق،
هم‌راستا نمی‌باشد، اهداف مورد نظر خود را یادداشت بفرمایید.

پیوست شماره ۳:

پرسشنامه ارزیابی جذابیت و توانمندی بکارگیری فناوری پایش سلامت

سازه در تاسیسات صنعت برق

نام و نام خانوادگی:

پست سازمانی:

تحصیلات / تخصص:

شماره تماس:

آدرس پست الکترونیک:

آیا مایلید اطلاعات شخصی جنابعالی در بانک اطلاعات متخصصین ذخیره گردد؟ بلی خیر

تجربیات قبلی (در صورت امکان، به صورت خلاصه ضمیمه گردد)

ملاحظات :

پرسشنامه حاضر به بررسی اهمیت سازه‌های صنعت برق منظور بکارگیری سیستم پایش سلامت سازه در آنها می‌پردازد. این پرسشنامه در دو سطح تحلیل، تهیه شده است. در سطح اول که کلان‌تر می‌باشد تأسیسات اصلی بخش‌های تولید، انتقال و توزیع مورد بررسی قرار گرفته و در سطح بعدی با طرح پرسش‌هایی، میزان اهمیت بکارگیری سیستم پایش در سازه‌های تشکیل دهنده این تأسیسات مورد بررسی قرار گرفته است.

نحوه پاسخگویی پرسشنامه به این نحو است که در سطرهای جدول ۴ تمام تأسیسات صنعت برق و در سطرهای جدول ۵ سازه‌های تشکیل دهنده آنها آورده شده است. در ستون‌های این جداول نیز شماره سوالات پرسشنامه درج شده است. خواهشمند است برای پاسخ به سوالات، عدد مربوط به پاسخ هر سوال را داخل خانه مربوطه در جداول ۴ و ۵ وارد نمایید. لازم به ذکر است سوالات ۱ تا ۱۵ (جداول ۱ و ۲) مربوط به بررسی جذابیت و توانمندی در بکارگیری پایش سلامت در تأسیسات اصلی صنعت برق در کشور بوده که جواب این سوالات می‌بایست به ازای هر تاسیس صنعت برق در جدول ۴ وارد شود. سوالات ۱۶ تا ۲۰ (جدول ۳) نیز مربوط به ارزیابی

جذابیت در بکارگیری پایش سلامت در سازه‌های تشکیل دهنده این تأسیسات می‌باشد. که جواب این سوالات می‌بایست به ازای هر سازه در جدول ۵ وارد شود.

لطفاً جهت تحلیل و ارزیابی دقیق‌تر نتایج پرسشنامه، در جدول ۴، میزان سابقه کاری یا پژوهشی خود را در هر یک از حوزه‌ها، در ستون مربوطه مشخص نمایید.

به منظور مقایسه بهتر و دقیق‌تر بین تأسیسات و سازه‌های مختلف، پیشنهاد می‌شود که پاسخنامه به صورت ستونی پر شود.

در صورتی که فکر می‌کنید سؤال برای این سازه مناسب نیست، عدد (۰) را در خانه مربوطه قرار دهید.

جدول ۱- ارزیابی جذابیت در پیاده‌سازی پایش سلامت سازه در تأسیسات اصلی صنعت برق

ردیف	سوال
۱	میزان اثرگذاری قطع عملکرد این تأسیسات در ایجاد اختلال در شبکه برق را چگونه ارزیابی می‌کنید؟ بسیار زیاد _____ بسیار کم
۲	آسیب‌های احتمالی به محیط زیست را در صورت وقوع خرابی کلی در این تأسیسات چگونه ارزیابی می‌کنید؟ بسیار زیاد _____ بسیار کم
۳	اثرات منفی اجتماعی* در صورت قطع عملکرد این تأسیسات را چگونه ارزیابی می‌کنید؟ بسیار زیاد _____ بسیار کم
۴	میزان اثرگذاری قطع عملکرد این تأسیسات در ایجاد اختلال در امنیت ملی را چگونه ارزیابی می‌کنید؟ بسیار زیاد _____ بسیار کم
۵	خسارات مالی مستقیم و غیرمستقیم ناشی از قطع عملکرد این تأسیسات را چگونه ارزیابی می‌کنید؟ بسیار زیاد _____ بسیار کم
۶	هزینه دستیابی به دانش فنی و بومی سازی فناوری پایش سلامت سازه در این تأسیسات را چگونه ارزیابی می‌کنید؟ بسیار کم _____ بسیار زیاد
۷	میزان فوریت دستیابی کشور ما به فناوری پایش سلامت در این تأسیسات را چگونه ارزیابی می‌کنید؟ بسیار زیاد _____ بسیار کم
۸	پتانسیل وقوع خرابی کلی* در سازه‌های این تأسیسات که منجر به قطع عملکرد می‌شود را چگونه ارزیابی می‌کنید؟ سابقه خرابی وجود دارد _____ سابقه خرابی وجود ندارد

ردیف	سوال
	احتمال وقوع خرابی وجود دارد

***اثرات منفی اجتماعی:** اثرات منفی اجتماعی شامل احساس عدم امنیت، نارضایتی و افزایش ناهنجاری‌های اجتماعی و... در صورت

قطع عملکرد در تاسیسات می‌باشد.

****خرابی کلی:** از دست رفتن مقاومت یا پایداری کل سازه با بخش‌های عمده‌ای از آن که منجر به قطع عملکرد مورد انتظار سازه

گردد. (نمونه‌هایی از خرابی کلی: فروریزش، واژگونی، تغییر شکل‌های زیاد و...)

جدول ۲- ارزیابی توانمندی در پیاده‌سازی پایش سلامت در تأسیسات اصلی صنعت برق در کشور

ردیف	سوال
۹	<p>وضعیت تسلط بر دانش فنی پایش سلامت سازه در این تأسیسات را در کشور چگونه ارزیابی می‌کنید؟</p> <p>دانش فنی لازم در حد ایده‌آل وجود دارد _____ دانش فنی موجود در مقایسه با سطح مورد نیاز ناچیز و قابل چشم‌پوشی است</p>
۱۰	<p>وضعیت زیر ساخت‌های نرم‌افزاری موجود در کشور برای بکارگیری پایش سلامت سازه در این تأسیسات را چگونه ارزیابی می‌کنید؟</p> <p>نرم افزارهای مورد نیاز در دسترس می‌باشند _____ نرم افزارهای مورد نیاز موجود نیست</p>
۱۱	<p>وضعیت زیر ساخت‌های سخت‌افزاری موجود در کشور برای بکارگیری پایش سلامت سازه در این تأسیسات را چگونه ارزیابی می‌کنید؟ (تجهیزات، امکانات و ...)</p> <p>سخت‌افزار مورد نیاز _____ سخت‌افزار (تجهیزات، ابزار و ...) بطور کامل موجود است _____ مورد نیاز وجود ندارد</p>
۱۲	<p>وضعیت نیروی انسانی متخصص و کارآمد (دارای دانش و تجربه کافی) برای بکارگیری پایش سلامت سازه در این تأسیسات را چگونه ارزیابی می‌کنید؟</p> <p>نیروی انسانی متخصص و کارآمد _____ نیروی انسانی متخصص و کارآمد مورد نیاز در حد ایده‌آل وجود دارد _____ مورد نظر در کشور وجود ندارد</p>
۱۳	<p>وضعیت منابع مالی قابل تخصیص برای توسعه فناوری پایش سلامت سازه در این تأسیسات را چگونه ارزیابی می‌کنید؟</p> <p>منابع مالی قابل تخصیص مناسب است _____ منابع مالی قابل تخصیص بسیار کم است</p>

ردیف	سوال
۱۴	<p>آیا قوانین و سیاست‌های مرتبط با بکارگیری پایش سلامت سازه در این تأسیسات در کشور وجود دارد؟</p> <p>۱. قوانین و سیاست‌های مرتبط تدوین و اجرایی شده است.</p> <p>۲. قوانین و سیاست‌های مرتبط تدوین شده است اما اجرایی نشده است.</p> <p>۳. قوانین و سیاست‌های مرتبط در حال تدوین است.</p> <p>۴. قوانین و سیاست‌های مرتبط وجود ندارد.</p>
۱۵	<p>وضعیت آمادگی و هماهنگی دستگاه‌ها و سازمان‌های مرتبط را برای توسعه فناوری پایش سلامت سازه در این تأسیسات چگونه ارزیابی می‌کنید؟</p> <p>_____</p> <p>آمادگی و هماهنگی بسیار بالایی دستگاه‌ها و سازمان‌ها آمادگی و هماهنگی پایین دستگاه‌ها و سازمان‌ها</p>

جدول ۳- ارزیابی جذابیت در پیاده‌سازی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

ردیف	سوال
۱۶	<p>وقوع آسیب موضعی* در این سازه را چگونه ارزیابی می‌کنید؟</p> <p>_____</p> <p>سابقه آسیب موضعی وجود دارد سابقه آسیب موضعی وجود ندارد</p> <p>احتمال وقوع آسیب موضعی وجود دارد</p>
۱۷	<p>وقوع خرابی کلی** در این سازه را چگونه ارزیابی می‌کنید؟</p> <p>_____</p> <p>سابقه خرابی کلی وجود دارد سابقه خرابی کلی وجود ندارد</p> <p>احتمال وقوع خرابی کلی وجود دارد</p>
۱۸	<p>مدت زمان لازم برای تعمیر این سازه را در صورت وقوع خرابی کلی در آن چگونه ارزیابی می‌کنید؟</p> <p>_____</p>

ردیف	سوال
	بسیار زیاد بسیار کم
۱۹	هزینه لازم برای تعمیر این سازه را در صورت وقوع خرابی کلی در آن چگونه ارزیابی می‌کنید؟ بسیار زیاد بسیار کم
۲۰	در صورت وقوع خرابی کلی در این سازه احتمال از کارافتادگی سایر تجهیزات را چگونه ارزیابی می‌کنید؟ بسیار زیاد بسیار کم

* آسیب موضعی: هر نوع تغییر ایجاد شده در ویژگی‌های مصالح، هندسه و پیوستگی در اجزای سازه که در صورت رشد و گسترش به مرور زمان، منجر به خرابی کلی سازه شود. آسیب‌های موضعی لزوماً باعث قطع عملکرد مورد انتظار سازه نمی‌شوند.

** خرابی کلی: از دست رفتن مقاومت یا پایداری کل سازه با بخش‌های عمده‌ای از آن که منجر به قطع عملکرد مورد انتظار سازه گردد. (نمونه‌هایی از خرابی کلی: فروریزش، واژگونی، تغییر شکل‌های زیاد و...)

کارکرد اصلی سیستم پایش سلامت سازه (SHM)، جستجو، کشف و آشکارسازی آسیب‌های موضعی با هدف جلوگیری از وقوع خرابی کلی ناشی از گسترش آنها در سازه می‌باشد.

جدول ۵- نتایج سوالات ارزیابی جذابیت در بکارگیری فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

شماره سوالات					عنوان سازه	بخش	ردیف
۲۰	۱۹	۱۸	۱۷	۱۶			
					سازه برج خنک کننده	تولید	۱
					سازه نگهدارنده دودکش		۲
					سازه نگهدارنده بویلر و کوره		۳
					سازه یا فونداسیون نگهدارنده تجهیزات اصلی (توربین، ژنراتور و ...)		۴
					سیستم لوله‌ها (پایپینگ) و اتصالات آنها		۵
					مخازن ذخیره سوخت		۶
					سازه‌های ساختمانی نیروگاه‌ها (ساختمانهای حاوی تجهیزات اصلی و مهم نیروگاه)		۷
					پوسته‌های محافظ راکتور هسته ای		۸
					مخزن تحت فشار راکتور هسته ای		۹
					سازه و فونداسیون تکیه‌گاهی پانل‌های خورشیدی		۱۰
					پره توربین بادی		۱۱
					برج توربین بادی		۱۲
					فونداسیون توربین بادی		۱۳
					سد		۱۴

ردیف	بخش	عنوان سازه	شماره سوالات				
			۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
۱۵	انتقال	دکل‌ها و فونداسیون انتقال برق					
۱۶		مقره‌ها					
۱۷		هادی‌های انتقال					
۱۸		گالری‌های بتنی و منهول‌ها در خطوط انتقال زمینی					
۱۹		گنتری پست‌ها					
۲۰		سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات پست‌ها					
۲۱		اجزای غیرسازه‌ای پست‌ها (مقره، بوشینگ و ...)					
۲۲		سازه‌های ساختمانی پست‌ها (ساختمان کنترل و ...)					
۲۳	توزیع	پایه‌های توزیع برق					
۲۴		پست‌های هوایی توزیع					
۲۵		پست‌های زمینی و زیرزمینی توزیع					

۴- منابع و مراجع

[۱]. روش شناسی تدوین اسناد راهبردی توسعه فناوری‌های صنعت برق، راهنمای شماره ۱. پژوهشگاه نیرو، آذر ۱۳۹۲. ویرایش دوم.

[2]. <http://www.dolat.ir/PDF/20years.pdf> .

[3]. <http://www.moe.gov.ir> .

[4]. legal.iuims.ac.ir/uploads/ghanune-barname_panjom.pdf .

[۵]. مقاصد و اهداف فناورانه صنعت برق، ابلاغی وزیر نیرو، ۱۳۹۱/۱۲/۲۰

[6]. <http://rc.majlis.ir/fa/law/show/99709> .

[7]. <http://maslahat.ir>

[8]. The European Construction Technology Platform, Building Up Infrastructure Networks of a Sustainable Europe, The reFINE Roadmap, (2013).

[9]. European Wind Energy Technology Platform, Strategic Research Agenda/ Market Deployment Strategy (SRA/MDS), (2014)

[10]. Kaplan, R.S., Norton, D.P., The balanced scorecard: translating strategy into action, 1996, Harvard Business Press .

[11]. Pearce, J.A, Robinson, R.B, Strategic management: formulation, implementation, and control, 1997, Irwin/McGraw-Hill .

[۱۲]. مهدی فتح‌اله، علیرضا علی احمدی، و ایرج تاج‌الدین. نگرشی جامع بر مدیریت استراتژیک. تهران: تولید دانش، ۱۳۸۲.

[۱۳]. سید محمد اعرابی. دستنامه برنامه‌ریزی استراتژیک. تهران: دفتر پژوهش‌های فرهنگی، ۱۳۸۵.

فهرست مطالب

- ۱- مقدمه ۱
- ۲- چارچوب نظری تدوین سیاست‌ها و اقدامات سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه راهکارهای کاهش آنها ۱
- ۲-۱- کارکردها در نظام نوآوری فناورانه ۲
- ۲-۲- ابعاد ساختاری نظام نوآوری فناورانه ۱۴
- ۳- تدوین سیاست‌ها و اقدامات توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۲۰
- ۳-۱- فرایند تدوین سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی ۲۰
- ۳-۱-۱- شناسایی وضعیت موجود توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۲۱
- ۳-۱-۲- بازیگران نظام توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۲۱
- ۳-۱-۳- شناسایی مرحله توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۲۲
- ۳-۱-۴- شناسایی وضعیت مطلوب توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۲۴
- ۳-۱-۵- شناسایی چالش‌ها و موانع توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق و تدوین سیاست‌ها و اقدامات ۲۶
- ۳-۲- فرایند تدوین اقدامات فنی ۳۸
- ۴- سیاست‌ها و اقدامات مورد نیاز برای توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۳۸
- ۴-۱- سیاست‌ها و اقدامات غیر فنی ۳۸
- ۴-۲- اقدامات فنی ۴۱
- ۵- منابع ۴۴

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲- نمایش مسیر توسعه بازار تکنولوژی ۱۱
- شکل ۱-۳- فرایند تدوین سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۲۰
- شکل ۲-۳- نشانه‌های تحقق مراحل برای تعیین مرحله توسعه ۲۳
- شکل ۳-۳- مراحل توسعه و کارکردهای کلیدی، حمایتی و حاشیه‌ای ۲۵



فهرست جداول

- جدول ۱-۲- ابعاد ساختاری نظام نوآوری فناورانه ۱۹
- جدول ۲-۲- اهداف بررسی مشکلات سیستمی ۱۹
- جدول ۱-۳- بازیگران توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۲۲
- جدول ۲-۳- شاخص‌های شناسایی مرحله توسعه نظام نوآوری فناورانه ۲۳
- جدول ۳-۳- ویژگی مراحل توسعه به تفکیک عناصر ساختاری برای تعیین مرحله‌ی نظام نوآوری فناورانه ۲۴
- جدول ۴-۳- چالش‌ها و موانع توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق از نظر دکتر رحیم‌زاده ۲۷
- جدول ۵-۳- چالش‌ها و موانع توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق از نظر دکتر شاه حسینی ۲۸
- جدول ۶-۳- چالش‌ها و موانع توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق از نظر دکتر حسینی ۲۸
- جدول ۷-۳- چالش‌ها و موانع توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق از نظر دکتر کرمی ۲۹
- جدول ۸-۳- چالش‌ها و موانع توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق از نظر مهندس آسایش ۳۰
- جدول ۹-۳- چالش‌ها و موانع توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق از نظر دکتر علیپور ۳۱
- جدول ۱۰-۳- چالش‌ها و موانع توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق از نظر دکتر اکبرنژاد ۳۱
- جدول ۱۱-۳- چالش‌ها و موانع توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق از نظر دکتر میرزا بزرگ ۳۲
- جدول ۱۲-۳- چالش‌ها و موانع توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق از نظر مهندس میزالو ۳۳
- جدول ۱۳-۳- چالش‌ها و موانع توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق از نظر مهندس دوستی مهر .. ۳۳
- جدول ۱۴-۳- چالش‌ها و موانع توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در کارکرد خلق و توسعه دانش ۳۵
- جدول ۱۵-۳- چالش‌ها و موانع توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در کارکرد انتشار دانش ۳۶
- جدول ۱۶-۳- چالش‌ها و موانع توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در کارکرد جهت‌دهی به سیستم ۳۶
- جدول ۱۷-۳- چالش‌ها و موانع توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در کارکرد تامین منابع ۳۷
- جدول ۱-۴- چالش‌ها، سیاست‌ها و اقدامات زیرساختی رفع چالش‌های کارکرد توسعه و انتشار دانش ۳۹
- جدول ۲-۴- چالش‌ها، سیاست‌ها و اقدامات مدیریتی رفع چالش‌های کارکرد جهت‌دهی به سیستم ۴۰



جدول ۴-۳- چالش‌ها، سیاست‌ها و اقدامات زیرساختی رفع چالش‌های کارکرد تامین منابع..... ۴۱

۱- مقدمه

در مرحله چهارم طرح «سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه راهکارهای کاهش آنها»، سیاست‌ها و اقدامات مورد نیاز برای تحقق چشم‌انداز، اهداف و راهبردها مشخص می‌گردد. این سیاست‌ها و اقدامات برای رفع مشکلات موجود در ابعاد توسعه و انتشار دانش، تأمین منابع مالی، انسانی و تجهیزات و جهت‌دهی به سیستم در حوزه توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق تعیین می‌شود. ورودی لازم برای تعیین سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی، چالش‌ها و مشکلات موجود در هر یک از این ابعاد است که با کمک کارشناسان و خبرگان در حوزه پایش سلامت استخراج می‌شود. به‌علاوه در کارکرد توسعه دانش، اقدامات فنی نیز ارائه خواهند شد که ورودی آن‌ها راهبردهای ارائه شده در گزارش مرحله سوم می‌باشد.

ساختار این گزارش به این صورت است: در بخش اول درباره مبانی نظری تدوین سیاست‌ها و اقدامات در ادبیات سیاست‌گذاری فناوری صحبت می‌شود. سپس فرآیند تدوین سیاست‌ها و اقدامات سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق مورد بحث قرار می‌گیرد. در نهایت، سیاست‌ها و اقدامات تدوین شده برای رفع مشکلات توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ارائه خواهد شد.

۲- چارچوب نظری تدوین سیاست‌ها و اقدامات سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های

صنعت برق، روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه راهکارهای کاهش آنها

مبنای تدوین این سیاست‌ها و اقدامات در این سند نظام نوآوری فناورانه (TIS) است. بنا بر تعریف کارلسون و استانکیویکز نظام فناورانه عبارت است از: «شبکه‌ای پویا از عاملان^۱ که در یک ناحیه‌ی اقتصادی/صنعتی تحت زیرساخت‌های نهادی خاص با یکدیگر در تعامل بوده و در تولید، انتشار و بهره‌برداری از فناوری سهیم هستند»

نقطه آغاز تحلیل یک نظام فناورانه نوآوری بر یک منطقه جغرافیایی یا بخش صنعتی متمرکز نیست، بلکه بر یک تکنولوژی یا یک زمینه فناورانه متمرکز است. هدف بیشتر مطالعات نظام‌های نوآوری فناورانه، تحلیل و ارزیابی توسعه یک نوآوری فناورانه خاص در قالب ساختار یا فرآیندهای پشتیبان (یا مخرب) آن است. از این منظر، می‌توان به این رویکرد به‌عنوان یک گونه‌ی

خردنگر^۲ از مفهوم نظام‌های بخشی نوآوری نگر است. رویکرد نظام نوآوری فناورانه دارای مشخصه‌های عمومی رویکردهای نظام نوآوری است. با این وجود، دو مشخصه، این رویکرد را از رویکردهای دیگر متمایز می‌سازد. اولین مشخصه، تأکید رویکرد نظام نوآوری فناورانه بر نقش شایستگی اقتصادی، توانایی توسعه و استفاده از فرصت‌های جدید کسب و کار به‌عنوان جنبه‌ای مهم از نوآوری فناورانه می‌باشد. این رویکرد بر کافی نبودن تحریک جریان‌های دانش برای وقوع تغییرات فناورانه و عملکرد اقتصادی تأکید می‌کند. تحریک جریان‌های دانش برای تحریک فعالانه دانش‌های موجود به‌منظور ایجاد فرصت‌های جدید کسب و کار، لازم است. این جنبه رویکرد نظام نوآوری فناورانه بر اهمیت اشخاص به‌عنوان منابع نوآوری تأکید می‌کند. این موضوع توسط رویکردهای کل‌نگر^۳ نظام نوآوری مغفول واقع گردیده است. تمرکز بر فعالیت‌های کارآفرینانه، مکمل تأکید بر جریان‌های دانش است. مشخصه دوم متمایز کننده مطالعات مربوط به نظام نوآوری فناورانه از رویکردهای دیگر، تمرکز زیاد آن بر پویایی سیستم است. تمرکز بر اقدام کارآفرینانه، پژوهشگران حوزه نظام فناورانه نوآوری را تشویق به نگرستن به آن به‌عنوان چیزی کرده است که در طول زمان ایجاد می‌گردد.

۲-۱- کارکردها در نظام نوآوری فناورانه

هدف هر نظام نوآوری از جمله نظام نوآوری فناورانه، تحقق اهداف فرآیند نوآوری است. این اهداف شامل خلق، انتشار و بهره‌برداری از فناوری است که در قالب توسعه فناورانه، به‌ظهور می‌رسد. حال دسته‌های مختلف فعالیت‌هایی که بر توسعه فناوری اثر می‌گذارند، کارکردهای نظام نوآوری فناورانه نام می‌گیرند. کارکردها، فرایندهایی هستند که وجود آن‌ها در شکل‌گیری یک نظام نوآوری فناورانه ضروری است. هر یک از این کارکردها، می‌تواند از طریق فعالیت‌های گوناگون محقق شوند. در راستای شکل‌گیری نظام نوآوری فناورانه برای یک فناوری، ۷ کارکرد گوناگون باید محقق گردد. از طرفی، این کارکردها بر یکدیگر اثرگذار هستند و می‌توانند منجر به تقویت و یا تضعیف یکدیگر شوند. بنابراین، در ادامه به معرفی کارکردها و چگونگی اثرگذاری آن‌ها بر یکدیگر پرداخته خواهد شد.

1- Agents

2- Micro oriented

3- Macro oriented

اولین بار جانسون در سال ۲۰۰۱ شش کارکرد را پیشنهاد نمود. در سال ۲۰۰۷ هکرت این ۶ کارکرد را به صورت عملیاتی

تست کرد و در نهایت ۷ کارکرد زیر را پیشنهاد نمود:

← کار آفرینی

← توسعه دانش

← انتشار دانش

← جهت‌دهی به سیستم

← شکل‌دهی به بازار

← بسیج (تأمین و تسهیل) منابع

← مقبولیت‌بخشی (مشروعیت‌بخشی)

در سال ۲۰۰۸ برگگ نیز ۷ کارکرد را با تغییراتی بسیار کوچک نسبت به کارکردهای معرفی شده توسط هکرت پیشنهاد

نمود که در ادامه به توضیح آن پرداخته می‌شود [۳].

فعالیت‌های کارآفرینی

کارآفرینان از بازیگران کلیدی در نظام‌های نوآوری به‌شمار می‌روند. فعالیت‌های کارآفرینی را نیز می‌توان در قالب یکی از فرآیندهای اصلی نظام نوآوری جای داد. فعالیت کارآفرینی عبارت است از تبدیل دانش فنی موجود به کسب و کارهای جدید. این کار از طریق انجام پروژه‌های اجرایی صورت می‌گیرد. بنابراین، از لازمه‌های انجام فعالیت کارآفرینی، وجود دانش فنی است. نکته قابل بیان آن است که هر بازیگری (شامل هر بازیگری در بخش خصوصی یا عمومی و یا بازیگران دولتی، دانشگاهی و یا صنعتی) که به انجام فعالیت‌های کارآفرینی مبادرت ورزد، در آن مقطع خاص، به‌عنوان کارآفرین شناخته می‌شود. بنابراین، در برخی موارد، حتی دولت‌ها نیز می‌توانند در نقش کارآفرین ظاهر شوند.

به‌طور کلی می‌توان دو زیرکارکرد را برای فعالیت‌های کارآفرینی متصور شد؛ ایجاد فرصت‌های کاری جدید و شناساندن فرصت‌های کاری جدید. در ایجاد فرصت‌های کاری جدید، کسب سود به‌طور مستقیم مورد هدف قرار می‌گیرد. در حالیکه، در شناساندن فرصت‌های کاری جدید، ایجاد مشروعیت برای آن محصول یا خدمت (و در سطحی

بالاتر برای تکنولوژی) هدف اصلی فعالیت است. در این حالت، با ایجاد مشروعیت برای محصول یا خدمت ارائه شده، زمینه‌ای برای کسب سود فراهم می‌شود.

می‌توان گفت که فعالیت‌های کارآفرینی شامل تلاش‌هایی است که بطور مستقیم به تجاری‌سازی محصولات و خدمات ارائه شده بر پایه‌ی دانش فنی موجود می‌پردازند. درحقیقت، این فعالیت است که یک نظام نوآوری را از یک نظام تحقیقات متمایز می‌کند. لازم به ذکر است که انجام فعالیت‌های کارآفرینی می‌تواند منجر به شکل‌گیری دانش‌های جدید از تکنولوژی موجود گردد. بنابراین، توسعه دانش از یک سو لازمه انجام فعالیت‌های کارآفرینانه است و از سوی دیگر، فعالیت‌های کارآفرینانه با افزایش دانش فنی مرتبط با تکنولوژی همراه است.

در ادبیات مدیریت فناوری، نمونه‌هایی از فعالیت‌های مربوط به این کارکرد برشمرده شده‌اند. مانند:

- سرمایه‌گذاری‌های خطرپذیر صورت‌پذیرفته (پروژه‌های انجام شده) در تجاری‌سازی تکنولوژی

- ورود شرکت‌های نوآور در عرصه‌ی تجاری‌سازی تکنولوژی

- تأسیس شرکت‌های نوپا

- ورود شرکت‌های موجود در حوزه‌های دیگر به حوزه تکنولوژی

- ارائه‌ی محصولات و خدمات جدید در زمینه‌ی تکنولوژی

- فعالیت‌های انجام شده با هدف نمایش و توجیه‌پذیر ساختن تکنولوژی

- برگزاری نمایشگاه تکنولوژی

📍 خلق و توسعه دانش

کارکرد خلق و توسعه دانش، دربرگیرنده تمامی فعالیت‌هایی است که می‌توانند در فرایند یادگیری^۱ قرار گیرند. بدیهی است که این کارکرد در قلب فرآیند نوآوری و در نتیجه در قلب یک نظام نوآوری جای دارد. بنابراین، تحقق این کارکرد پیش‌نیاز توسعه نظام نوآوری فناورانه تلقی می‌گردد و جزء کارکردهایی است که می‌بایست پیش از کارکردهای دیگر محقق گردد. این یادگیری در رابطه با موضوعات مختلف مانند دانش فنی تکنولوژی نوظهور، بازار،

^۱ - برخی از محققان این کارکرد را کارکرد یادگیری نام نهاده‌اند.



شبکه‌ها و مصرف‌کنندگان صادق است. با این وجود، تأکید بیشتری در رابطه با یادگیری دانش فنی تکنولوژی نوظهور وجود دارد. از این منظر (دانش فنی مورد تمرکز) می‌توان کارکرد خلق دانش را به دو دسته تقسیم کرد: خلق دانش فنی و خلق دانش غیرفنی (مدیریتی).

فرایند یادگیری، به اقسام گوناگونی می‌تواند واقع شود. از مهم‌ترین انواع یادگیری رخ داده در راستای تحقق این کارکرد، یادگیری در حین جستجو^۱ (یادگیری کتابخانه‌ای)، یادگیری در حین انجام کار^۲، یادگیری در حین تعامل^۳ و یادگیری در حین استفاده^۴ می‌باشد. البته، می‌بایست به این موضوع توجه داشت که یادگیری در حین تعامل، در صورت وقوع، به صورت اشکال مختلف در قالب این کارکرد قرار می‌گیرد. از جمله تعامل موجود بین بازیگران موجود در سیستم در حالتی که هیچ یک از آنان دانش مورد نظر را ندارد (همگی آن‌ها برای رسیدن به یک دانش مشترک با یکدیگر تعامل دارند و بین آن‌ها جریان دانشی قابل توجهی وجود ندارد) و تعامل موجود بین بازیگران موجود در سیستم با بازیگران خارج از سیستم که دانش از بازیگر خارجی به بازیگر داخلی جریان می‌یابد.

می‌توان برای دانش موجود در سیستم، سطوح مختلفی را متصور شد. این سطوح عبارتند از سطح بنگاه، صنعت و جامعه. دانش موجود در سطح بنگاه عبارتست از دانشی که مختص بنگاه‌ها بوده و برای دستیابی به آن می‌بایست آن را درون بنگاه‌ها جستجو کرد. این دانش (که سهم بیشتر آن متعلق به دانش فنی است) در رابطه با محصولات و فرآیند تولید آن‌ها در حیطه تخصصی بنگاه‌ها است و معمولاً بنگاه‌ها حاضر به تسهیم آن با سایر بنگاه‌ها نمی‌شوند. دانش موجود در سطح صنعت (که سهم بیشتر آن متعلق به دانش غیرفنی است) متعلق به بنگاه خاصی نیست و حاصل از پارادایم موجود در سطح صنعت می‌باشد. برای دستیابی به دانش موجود در سطح یک صنعت می‌بایست وارد صنعت مورد نظر شد. دانش موجود در سطح جامعه نیز همچون دانش موجود در سطح صنعت متعلق به مجموعه‌ای از

¹ - Learning by searching

² - Learning by doing

³ - Learning by interacting

⁴ - Learning by using

بازیگران موجود در آن جامعه است. برای اکتساب این نوع از دانش نیز می‌بایست وارد جامعه مورد نظر شد. از طریق

ارزیابی شاخص‌ها و رخدادهای زیر می‌توان میزان برآورده شدن کارکرد خلق و توسعه دانش را بررسی کرد:

- تعداد مقالات ISI منتشر شده در زمینه فناوری
- تعداد حق اختراعات ثبت شده به صورت بین‌المللی در زمینه فناوری
- تعداد و اندازه نهادهای تحقیقاتی (R&D) فعال در زمینه فناوری
- تعداد و اندازه مطالعات علمی و فنی صورت گرفته درباره فناوری
- تعداد تست‌های آزمایشگاهی انجام شده بر روی فناوری
- تعداد انجام آزمایش و پیاده‌سازی فناوری در ناحیه‌ای از محیط به‌جای محدوده گسترده‌تر (پایلوت^۱)
- تعداد توسعه و ایجاد نمونه‌های آزمایشی و اولیه از فناوری (پروتوتایپ^۲)

انتشار دانش

کارکرد انتشار دانش دربرگیرنده مجموعه‌ای از فعالیت‌ها با هدف تسهیم^۳ و به اشتراک‌گذاری^۴ دانش^۵ و اطلاعات در میان بازیگران مختلف موجود در سیستم است. یک عامل ساختاری ضروری برای تحقق انتشار دانش، شبکه است. یکی از ویژگی‌های مهم نظام نوآوری فناورانه، وجود شبکه در ساختار آن است. مهم‌ترین نقشی که یک شبکه قادر به برآوردن آن است، فراهم‌آوری بستری برای ایجاد جریان دانش و اطلاعات در بین بازیگران موجود در سیستم است. دو نوع از شبکه‌ها را می‌توان متصور بود: شبکه‌های نرم و شبکه‌های سخت. در شبکه‌های نرم، لزوماً دانش موجود در منبع دانشی (بازیگر برخوردار از دانش)، به طور کامل به بازیگر خواهان دانش منتقل نمی‌شود. نمونه‌هایی از این نوع از شبکه عبارتند از کنفرانس‌ها، همایش‌ها، کارگاه‌ها و پایگاه‌های اطلاعاتی مشترک بین بازیگران موجود در نظام. از

^۱ - Pilot

^۲ - Prototype

^۳ - Dissemination

^۴ - Sharing

^۵ - همان‌طور که کارکرد خلق دانش مشتمل بر خلق دانش فنی و غیرفنی است، کارکرد انتشار دانش نیز قابل تقسیم به انتشار دانش فنی و انتشار دانش غیرفنی می‌باشد.

این پس، این نوع از انتشار دانش، تسهیم دانش نامیده می‌شود. در شبکه‌های سخت، دانش موجود در منبع دانشی، توسط بازیگر خواهان آن دریافت می‌شود. نمونه‌هایی از این نوع شبکه‌ها عبارتند از اتحادهای استراتژیک، هاب‌های تکنولوژی و سرمایه‌گذاری‌های مشترک^۱. این نوع از انتشار دانش، به اشتراک‌گذاری دانش نامیده می‌شود. نمونه‌ای از رخدادهای و شاخص‌های نشانگر تحقق این کارکرد عبارتند از:

- تعداد فعالیت‌های تحقیق و توسعه و نوآورانه مشترک صورت پذیرفته میان واحدهای مختلف (با هدف تسهیم دانش)

- میزان جابجایی نیروهای تحصیلکرده دانشگاهی با محوریت فناوری

- کنفرانس‌ها، کارگاه‌های آموزشی، پیمان‌ها و توافق‌نامه‌های بین بازیگران و سرمایه‌گذاری‌های مشترک صورت پذیرفته با موضوع فناوری

- تعداد و اندازه شبکه‌های متشکل از بازیگران موجود در نظام فناورانه

جهت‌دهی به سیستم

کارکرد جهت‌دهی به سیستم متشکل از فعالیت‌هایی است که به گزینش و محدود کردن گزینه‌های موجود در رابطه با فناوری، کاربرد آن‌ها و بازارشان در سطوح مختلف می‌پردازد. این سطوح عبارتند از سطح فراسیستم^۲ و سطوح کلان^۳ و خرد سیستم^۴. این فعالیت‌ها به منظور همگرا ساختن تلاش‌های انجام گرفته در توسعه فناوری انجام می‌شوند. می‌توان این فرآیند گزینشی را دربرگیرنده شناسایی فرصت‌های موجود در نظام نوآوری فناورانه دانست. برای توضیح بیشتر می‌توان گفت که به علت وجود محدودیت در منابع در دسترس، از میان گزینه‌های مختلف موجود باید دست به انتخاب زد و بر روی تعدادی از آن‌ها تمرکز نمود. بدون انجام این مرحله، نیاز و انتظارات بازیگران از

^۱ - Joint venture

^۲ - منظور از فراسیستم، سیستمی است که سیستم مورد مطالعه را در بر می‌گیرد. در ادبیات از این فراسیستم با نام Landscape یاد می‌شود.

^۳ - سطوح کلان سیستم مشتمل بر سطوحی است که نسبتاً در طول زمان پایدار هستند و با توسعه‌ی تکنولوژی تغییرات اندکی در آن‌ها حاصل می‌شود. این سطوح را Regime می‌نامند.

^۴ - این مجموعه از سطوح متأثر از تغییرات فراوانی هستند و به شدت متلاطم می‌باشند. در ادبیات این سطوح را Niche می‌نامند.

روند توسعه ناشناخته باقی مانده و منابع در دامنه وسیعی از گزینه‌های کاربردی و فناورانه پراکنده شده و به‌هدر می‌رود. در نتیجه، تعداد قابل توجهی از گزینه‌های توسعه با وجود تخصیص منبع، ناموفق باقی می‌مانند. برای جلوگیری از وقوع این رخداد، کارکرد جهت‌دهی به سیستم در روند توسعه فناورانه تعریف می‌گردد. می‌توان فعالیت‌های انجام شده‌ی مربوط به این کارکرد را به سه دسته تقسیم کرد: تنظیمی^۱، شناختی^۲ و هنجاری^۳. درحقیقت، فعالیت‌های رخ داده در این کارکرد منجر به ایجاد، تغییر و یا از میان برداشتن نهادهای موجود در سیستم می‌شود. برای توضیح بیشتر می‌توان گفت که برخی از رخدادها می‌توانند انتظارات را نسبت به برخی گزینه‌های پیش‌رو افزایش دهند (شناختی). برای مثال، عملکرد خوب یک گزینه فناوری منجر به افزایش انتظارات از آن گزینه می‌گردد. با افزایش انتظارات نسبت به آن گزینه، اولویت آن گزینه در اذهان بالاتر می‌رود. این رخداد به معنای تغییر در شناخت‌های پیشین و ایجاد شناخت جدید نسبت به گزینه‌های موجود است. برخی دیگر از رخدادها می‌توانند منجر به تغییر در هنجارهای موجود شوند. برای مثال، وقوع یک رخداد طبیعی ممکن است منجر به افزایش ارزش انواع خاصی از فناوری‌های تولید انرژی (مانند انرژی‌های تجدیدپذیر) گردد. با افزایش ارزش این نوع از تکنولوژی‌ها، پارادایم جدیدی در نظام موجود شکل می‌گیرد. در پارادایم جدید، هنجارهای جدیدی مطرح می‌شوند (گونه‌ی هنجاری جهت‌دهی به سیستم). ممکن است در نتیجه‌ی وقوع رخدادهای اثرگذار بر شناخت‌ها و هنجارهای سیستم، قوانین، مقررات، استانداردها، توافق‌نامه‌ها و بطور کلی، تصمیمات جدیدی (تنظیمی) اتخاذ گردند. اتخاذ این تصمیمات نیز می‌توانند منجر به هدایت سیستم به سوی گزینه‌های خاص شود.

نمونه‌های از رخدادهای مربوط به این کارکرد در ادامه آورده شده‌اند:

• وضع چشم‌اندازهای جدید برای توسعه فناوری و یا موارد دیگر که بر فناوری اثرگذارند

• شفاف‌سازی تقاضای کاربران اصلی

• رشد فناوری در کشورهای دیگر

¹ - Regulative

² - Cognitive

³ - Normative

• شکل‌گیری انتظاراتی درباره‌ی آینده‌ی فناوری

• هدف‌گذاری‌های انجام شده در سیاست‌گذاری‌های فناوری

• قانون‌گذاری در رابطه با تکنولوژی

• تدوین استانداردها

● شکل‌دهی به بازار

مجموعه‌ای از فعالیت‌ها با هدف رقابت‌پذیر ساختن فناوری نسبت به فناوری‌های موجود در بازار، در طول تحقق این کارکرد قرار می‌گیرند. نباید انتظار داشت که تکنولوژی‌های جدید توانایی رقابت با تکنولوژی‌های موجود را داشته باشند. بنابراین، نیاز است تا با هدف حمایت از نوآوری، شرایطی قابل رقابت در بازار برای تکنولوژی نوین پدید آورد. در واقع می‌بایست با انجام مجموعه‌ای از فعالیت‌ها، برای رقابت تکنولوژی جدید با سایر تکنولوژی‌ها، محیطی کنترل شده پدید آورد. نوع فعالیت‌ها و هدف میان‌مدت آن‌ها در طول دوره تکامل تکنولوژی متغیر است. به بیان دیگر، با توسعه تکنولوژی و افزایش قابلیت‌های آن، نوع فعالیت‌های مربوط به تکنولوژی و هدف آن‌ها برای توسعه استفاده در بازار نسبت به دیگر تکنولوژی‌ها تغییر می‌کند.

درحقیقت، یک تکنولوژی در مسیر رشد و توسعه خود نیازمند دستیابی به قابلیت‌هایی است که به واسطه آن‌ها بتواند در بازار نفوذ کرده و به‌سوی بلوغ خود حرکت نماید. شکل‌گیری بازار هر تکنولوژی با پیدایش سه قابلیت همراه خواهد بود. قابلیت‌های فنی^۱، قابلیت‌های اقتصادی^۲ و قابلیت‌های بازار^۳ (شکل ۱-۲). به عبارت دیگر، شکل‌گیری بازار تکنولوژی در قالب دستیابی به این سه قابلیت تجلی پیدا می‌نماید. با دستیابی به هر قابلیت، توانایی‌هایی از ابعاد گوناگون در تکنولوژی ایجاد می‌گردد و زمینه را برای نفوذ تکنولوژی در بازار آماده می‌کند. در این جا مناسب است تا منظور از هر دسته از قابلیت‌ها که پیش‌نیازی برای ورود تکنولوژی به بازار است روشن گردد:

¹- Technological Potential

²- Economical Potential

³- Market Potential

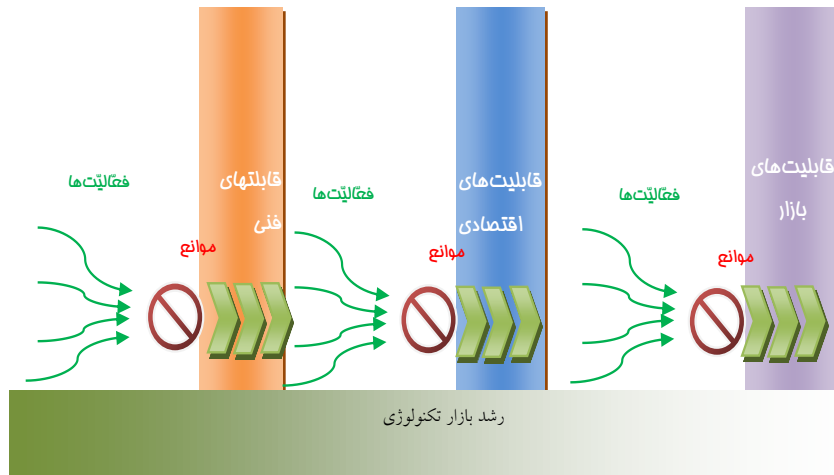
قابلیت‌های فنی اشاره به قابلیت‌هایی داشته که یک تکنولوژی با دارا بودن آن‌ها می‌تواند از لحاظ فناورانه، ممکن تلقی شود. به عبارت دیگر، زمانی که یک تکنولوژی از قابلیت فنی برخوردار باشد، دسترسی به زیرتکنولوژی‌های لازم برای تولید آن ممکن بوده، مواد اولیه و تجهیزات مکمل موردنیاز موجود می‌باشد، دانش کافی برای انتقال تکنولوژی در اختیار است، کلیه اجزای فنی آن با یکدیگر سازگاری داشته (هماهنگی میان اجزا)، تکنولوژی به خروجی قابل قبول خود دست یافته (تکنولوژی درست عمل می‌کند) و درنهایت تکنولوژی از قابلیت اطمینان^۱ بالایی برخوردار می‌باشد. بنابراین، با دارا بودن این قابلیت درمورد یک تکنولوژی مفروض، می‌توان از پشتیبانی کامل فناورانه در آن تکنولوژی اطمینان حاصل نموده و دستیابی به تکنولوژی را چه از بعد تولیدی و چه از بعد انتقال تکنولوژی ممکن دانست.

قابلیت اقتصادی به قابلیت‌هایی اشاره دارد که تکنولوژی با دارا بودن آن‌ها از لحاظ اقتصادی به صرفه تلقی می‌گردد. اگر یک تکنولوژی از قابلیت‌های اقتصادی برخوردار باشد، تحلیل هزینه-فایده^۲ در مورد آن تکنولوژی نتیجه‌ای مثبت (چیرگی فایده بر هزینه) به همراه داشته، هزینه‌های تولید، مونتاژ و یا انتقال آن به صرفه بوده، خروجی تولید شده از تکنولوژی دارای ارزش بالا بوده و در مجموع، ورود به بازار این تکنولوژی پربازده تلقی می‌گردد. به طور قطع، زمانی یک تکنولوژی قادر به دستیابی به این قابلیت خواهد بود که از قابلیت‌های فنی برخوردار شده باشد. به عبارت دیگر، دستیابی به قابلیت‌های فنی، پیش‌نیاز دستیابی به قابلیت‌های اقتصادی است.

قابلیت بازار در یک تکنولوژی به این معنی خواهد بود که علاوه بر دارا بودن قابلیت‌های فنی و اقتصادی، تکنولوژی، توانایی رقابت با سایر گزینه‌های موجود در بازار را داشته، با تمایلات مصرف‌کنندگان سازگار بوده و در نهایت قادر خواهد بود در کنار امکان‌پذیری فنی و اقتصادی، در بازار با موفقیت توسعه پیدا کند. زمانی که یک تکنولوژی بتواند به این قابلیت دست پیدا کند، تمام شرایط برای ورود به بازار در آن مهیا شده و از این پس با این تکنولوژی به صورت یک محصول تجاری برخورد می‌شود.

^۱ - Reliability

^۲ - Cost Benefit Analysis



شکل ۲-۱- نمایش مسیر توسعه بازار تکنولوژی

کارکرد شکل‌دهی به بازار، شامل فعالیت‌هایی (مانند حمایت مالی از مصرف تکنولوژی و یا سیاست‌های مالیاتی برای تکنولوژی‌های رقیب) است که منجر به ایجاد تقاضا برای تکنولوژی در راستای حمایت از آن می‌گردد. تفاوت میان این کارکرد و کارکرد جهت‌دهی به سیستم در آن است که، در این کارکرد، گزینش نهایی توسط مجریان و مصرف‌کنندگان تکنولوژی انجام می‌شود؛ درحالی‌که در کارکرد جهت‌دهی به سیستم، مجریان نقشی در فرآیند گزینش ایفا نمی‌کنند. بنابراین، می‌توان کارکرد شکل‌گیری بازار را حالت خاصی از کارکرد جهت‌دهی به سیستم دانست. با استفاده از شاخص‌ها و شناسایی فعالیت‌های مختلف، می‌توان میزان تحقق این کارکرد را سنجید. نمونه‌ای از این اقدام در ادامه آورده شده است:

- شناسایی مرحله بلوغ (دوره‌ی عمر) بازار
- شفاف‌سازی پتانسیل بازار
- تعداد و تنوع کاربران موجود برای تکنولوژی
- تعداد و تنوع نهادهای تنظیم شده برای شکل‌دهی به بازار
- میزان عدم قطعیت موجود در برابر تولیدکنندگان و یا سرمایه‌گذاران
- هزینه‌های مصرف تکنولوژی

مجموعه‌ای از فعالیت‌های مربوط به تأمین و هماهنگی ورودی‌های لازم برای توسعه نظام نوآوری در راستای تحقق کارکرد تأمین منابع قرار می‌گیرند. دسترسی به منابع مورد نیاز، یکی از ضروری‌ترین نیازهای توسعه نظام‌های نوآوری فناورانه است. فعالیت‌هایی که در این کارکرد صورت می‌پذیرد، بیشتر از جنس سرمایه‌گذاری‌هایی است که در فرآیند توسعه انجام می‌شوند. همچنین، گسترش زیرساخت‌های عمومی مورد نیاز پیشرفت تکنولوژی، مانند سیستم‌های آموزشی و تسهیلات تحقیق و توسعه نیز در زمره این کارکرد قرار می‌گیرد. در صورت عدم وجود منابع مالی و ابزارهای مورد نیاز و نیز بازیگرانی با توانایی و قابلیت‌های متمایز، یک تکنولوژی نوظهور به هیچ وجه مورد استقبال قرار نخواهد گرفت. بنابراین، این کارکرد دارای اهمیت فراوانی در روند توسعه می‌باشد. بنابراین، نگاشت کارکرد بسیج منابع در چهار بعد مختلف امکان‌پذیر است:

• منابع انسانی: تأمین و هماهنگ‌سازی افراد علمی یا فنی موردنیاز برای توسعه تکنولوژی

• منابع مالی: تأمین و هماهنگ‌سازی بودجه‌ها و اعتبارات موردنیاز برای توسعه تکنولوژی

• منابع مصرفی: تأمین و هماهنگ‌سازی مواد (و در پاره‌ای اوقات، قطعات) موردنیاز برای توسعه تکنولوژی

• منابع مکمل: تأمین و هماهنگ‌سازی زیرساخت‌ها، محصولات و یا خدمات مکمل^۱ موردنیاز برای توسعه

تکنولوژی

این کارکرد می‌تواند توسط دولت، صنعت و یا هر بازیگر دیگری که در روند توسعه فناوری مشغول است، برآورده گردد. هرچه سطح بلوغ تکنولوژی نوظهور بیشتر شود، انتظار می‌رود سهم بخش خصوصی در تأمین منابع مورد نیاز بیشتر گردد. نمونه‌ای از رخدادهایی که می‌تواند منجر به تحقق این کارکرد شود، در ادامه آورده شده است:

• کمک‌های بلاعوض دولتی (یارانه)

• سرمایه‌گذاری‌های بخش دولتی و خصوصی در گسترش فناوری

• توسعه زیرساخت‌های مورد نیاز تکنولوژی و محصولات و خدمات مکمل

• تأمین مواد اولیه مورد نیاز برای توسعه تکنولوژی از خارج از کشور

^۱ - منظور از این اقلام، مکمل‌هایی است که مختص نظام نوآوری مورد نظر نیستند و به راحتی می‌توان آنها را از نظام‌های دیگر تأمین کرد.

• در دسترس بودن نیروی انسانی فنی در رابطه با تکنولوژی مورد نظر

مشروعیت بخشی

آن دسته از فعالیت‌هایی که به دنبال ایجاد مقبولیت اجتماعی برای تکنولوژی جدید هستند و می‌توانند منجر به تغییر نهادهای موجود در جامعه و هم‌راستا شدن آن‌ها با نیازهای بازیگران موجود در نظام مورد نظر گردند را می‌توان محقق‌کننده این کارکرد دانست. برای توضیح بیشتر، می‌توان گفت که ظهور یک تکنولوژی جدید، اغلب با مخالفت بازیگرانی که دارای منافع در تکنولوژی‌های کنونی هستند، همراه می‌شود. بنابراین، نیاز است تا بازیگران تکنولوژی جدید، بر لختی^۱ موجود غلبه نمایند. این کارکرد، در توسعه تکنولوژی‌ها مانند یک کاتالیزگر عمل می‌کند و به فرایند توسعه نظام نوآوری سرعت می‌بخشد. این امر، از طریق تشویق قانون‌گذاران و سیاست‌گذاران، به ایجاد آرایش جدیدی از قواعد و مقررات مربوط به نظام نوآوری فناورانه منجر می‌شود. کارکرد مشروعیت‌بخشی و حمایت از سوی نهادهای پشتیبان، شامل لابی‌های سیاسی و رایزنی‌هایی است که بین گروه ذینفعان تکنولوژی صورت می‌پذیرد. لذا، شبکه‌ها و تعاملات، نقشی مهم را در تحقق این کارکرد ایفا می‌کنند. این کارکرد از اهمیت بالایی در توسعه نظام نوآوری برخوردار است؛ چراکه معمولاً در بدو توسعه یک نظام نوآوری، بازیگران موجود در آن به آسانی دست به ایجاد شبکه‌ای میان خود نمی‌زنند. از این رو، در ارتباط با تکنولوژی مطلوب و نیز روش دستیابی به آن اختلاف نظر وجود دارد و شناسایی یک موضع شفاف در این رابطه دشوار خواهد بود. بنابراین، ایجاد اتحاد برای توسعه تکنولوژی امر سهلی نمی‌باشد. در اینجا، وجود شبکه‌ها علاوه بر تسهیل انتشار دانش میان بازیگران، به همگرا ساختن آنان نیز کمک می‌کند. بنابراین، از یک سو، بازیگران موجود در نظام نوآوری با یکدیگر همکاری زیادی ندارند و از سوی دیگر، به علت آنکه توسعه تکنولوژی نوظهور منجر به کنار زده شدن برخی تکنولوژی‌های دیگر می‌گردد، بازیگران مربوط به تکنولوژی‌های موجود (رقیب تکنولوژی نوظهور) که دارای تعاملات قابل توجهی با یکدیگر هستند، با توسعه تکنولوژی نوظهور مخالفت می‌کنند. بنابراین، کارکرد مشروعیت‌بخشی برای توجیه کردن تکنولوژی نوظهور به عنوان

^۱ - نام دیگری که بر این کارکرد نهاده می‌شود، حذف مقاومت در برای تغییر (لختی یا اینرسی) است. بنابراین، علت وجودی این کارکرد غلبه بر اینرسی بازیگران موجود در نظام است.

بخشی از نظام فنی جدید و مقاومت در برابر مقابله‌های انجام گرفته از سوی بازیگران موجود اهمیت دارد. نمونه‌ای از

رخدادها و شاخص‌های نمایانگر تحقق این کارکرد در ادامه آورده شده است:

- میزان همگرایی نهادهای موجود و نظام نوآوری فناورانه در حال توسعه
- میزان مشروعیت سرمایه‌گذاری در توسعه 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
- میزان حمایت از تکنولوژی موردنظر در رسانه‌ها

۲-۲- ابعاد ساختاری نظام نوآوری فناورانه

در این بخش به چهار دسته از عوامل ساختاری موجود در نظام‌های نوآوری فناورانه پرداخته خواهد شد. این چهار دسته

عبارتند از بازیگران^۱، نهادها^۲، فناوری‌ها^۳ و روابط و شبکه‌ها^۴.

بازیگران

دسته بازیگران شامل تمام سازمان‌هایی است که به طور مستقیم به عنوان توسعه‌دهنده و یادگیرنده فناوری یا به طور غیرمستقیم به عنوان تنظیم‌کننده، تأمین‌کننده مالی و دیگر نقش‌ها در ظهور فناوری نقش دارند. در حقیقت، این بازیگران، یک نظام نوآوری تکنولوژیکی هستند که با انتخاب‌ها و تصمیمات خود، فناوری‌هایی را ایجاد، منتشر و بهره‌برداری می‌کنند. ایجاد یک نظام نوآوری فناورانه وابسته به وجود مهارت‌ها و اشتیاق بازیگران آن برای انجام اقدامات مختلف است.

¹ - Actors

² - Institution

³ - Technology

⁴ - Network

تنوع بالقوه بازیگران در یک نظام نوآوری فناورانه بسیار زیاد است و گستره‌ای از بازیگران بخش خصوصی، بازیگران دولتی، توسعه‌دهندگان فناوری و گیرندگان آن را در بر می‌گیرد. برخی از بازیگران در توسعه یک فناوری، نقش پیشرو^۱ را دارند و سایر بازیگران، پیرو^۲ هستند. بازیگران پیش‌رو آن‌هایی هستند که کاملاً در توسعه یک فناوری خاص وارد شده‌اند و به موفقیت آن فناوری وابسته می‌باشند. در طرف مقابل، بازیگران پیرو کاملاً در توسعه یک فناوری درگیر نشده‌اند و می‌توانند بین گزینه‌های مختلف، دست به انتخاب بزنند. به طور معمول، پیش‌روان توسعه یک فناوری، متشکل از واحدهای صنعتی و توسعه‌دهندگان فناوری کوچک هستند که تنها در حوزه یک فناوری به ایفای نقش مشغول هستند. در طرف مقابل، پیروان را می‌توان متشکل از تنظیم‌گران، تأمین‌کنندگان مالی، کاربران و بنگاه‌های بزرگ با قابلیت حمایت از انواع مختلفی از گزینه‌های تکنولوژیکی دانست.

در این مطالعه، برای تحلیل نظام نوآوری فناورانه، بازیگران (افراد، سازمان‌ها و شبکه‌ها) را برحسب نقش آن‌ها در فعالیت‌های اقتصادی تقسیم‌بندی کردیم: جامعه مدنی، سازمان‌های غیردولتی (NGO^۳)، شرکت‌ها (نوبنیان، بنگاه‌های کوچک و متوسط، شرکت‌های چندملیتی و نیز شرکت‌های بزرگ)، مؤسسات دانشی (دانشگاه‌ها، نهادهای فناورانه، مراکز تحقیقاتی و مدارس و دیگر بخش‌ها شامل سازمان‌های حقوقی، مؤسسات مالی، بانک‌ها، نهادهای واسطه‌ای، بیمه‌ها و مشاوران. این بازیگران مختلف همگی می‌توانند نقش‌های متفاوتی را در یک نظام ایفا نمایند.

نهادها

نهادها در نظام نوآوری فناورانه دو نوع هستند: نهادهای رسمی و نهادهای غیر رسمی [۲]. نهادهای رسمی قواعدی مدون شده هستند و توسط افراد ذیصلاح ملزم به اجرا می‌گردند. از طرفی، نهادهای غیررسمی ضمنی‌تر هستند و در نتیجه فرآیند تعامل بازیگران شکل می‌گیرند. نهادهای غیررسمی می‌توانند هنجاری یا شناختی باشند. قواعد هنجاری همان ارزش‌ها و هنجارهای اجتماعی با جنبه‌های اخلاقی هستند؛ درحالی‌که قواعد شناختی را می‌توان چارچوب‌های ذهنی و پارادایم‌های اجتماعی دانست [۳].

1- Enactor

2- Selector

3- Non Governmental Organization

مثال‌هایی از نهادهای رسمی عبارتند از قوانین دولتی و تصمیمات سیاستی و یا بخش‌نامه‌ها یا قراردادهای بنگاه‌ها. مثالی در رابطه با قواعد هنجاری، مسئولیت احساس شده توسط یک شرکت در رابطه با عدم تولید ضایعات و یا پاکیزه‌سازی آن‌ها است. نمونه‌هایی از قواعد شناختی نیز جستجوی ذهنی^۱ (ابتکاری) یا رویه‌های حل مسأله هستند [۲]، [۶]. همچنین، می‌توان نگاه‌ها و انتظارات بازیگران درون نظام را نیز در این دسته جای داد.

برای یک نظام نوآوری تکنولوژیکی که در مرحله‌ی سازندگی^۲ است، پیکربندی نهادی معمولاً توسعه نیافته است. این حرف‌بدان معناست که قواعد نهادی (به ویژه از نوع رسمی) کمی وجود دارند و حتی قواعد موجود با فناوری در حال ظهور ناسازگازی دارند. انتظار می‌رود که قواعد شناختی برای هدایت بازیگران، به‌ویژه پیروان، در مراحل اولیه حمایت از فناوری نوظهور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد. علاوه بر آن، نگاه‌ها و انتظارات، به‌جهتی، تنها علت حمایت از یک فناوری نوظهور است. این موضوع به مفهوم کارآفرین ریسک‌پذیر^۳ مربوط است که با نوعی فرصت‌تحریک می‌شود و برای برهم زدن ساختارهای موجود از طریق تطبیق دادن آن‌ها با حالت مطلوب خویش و یا ایجاد ساختارهای جدید، تلاش می‌کند. از منظر مداخله، عوامل نهادی به علت هدف واقع‌شدن توسط سیاست‌های حاکمیتی و حتی راهبردهای کسب و کار، از اهمیت بالایی برخوردار هستند. علاوه بر آن، حضور، مهارت‌ها و اشتیاق پیشروان و پیروان، تنها می‌تواند به صورت غیرمستقیم از طریق ساختار نهادی نوآوری فناورانه تحت تأثیر قرار گیرد. این ساختار از طریق برنامه‌ی حمایتی، مشوق‌های مالیاتی و موارد دیگر بر این بازیگران اثر می‌گذارد. همچنین، ماهیت ساختار فناورانه از دایره‌ی اثر مستقیم بسیاری از بازیگران، به‌ویژه حاکمیت، خارج است.

زیرساخت‌ها

زیرساخت‌ها متشکل از مصنوعات و زیرساخت‌های فناورانه (که خود آن‌ها نیز مصنوع به شمار می‌روند) به صورت یکپارچه هستند. عملکرد فنی اقتصادی این مصنوعات که شامل ساختارهای هزینه، ایمنی، قابلیت اطمینان، آثار افزایش مقیاس و موارد دیگر هستند، از اهمیت حیاتی برای فهم فرایند تغییر فناورانه برخوردار است. همچنین، در نظر

¹ - Heuristic

² - Formative

³ - Risk-taking

گرفتن وجوه غیرمادی تر فناوری همچون دانش موجود در آن و مشخصات زنجیره ارزش ایجاد شده توسط آن معنادارتر به نظر می‌رسد. به عنوان نمونه، در رابطه با مورد نوآوری‌ها در انرژی پایدار، در نظر گرفتن مشخصات آلاینده‌گی و دیگر اثرات جانبی زیست‌محیطی نیز از اهمیت فراوان برخوردار هستند. علاوه بر آن، در صورت تشخیص یک فناوری به عنوان فناوری با اثرات منفی زیست‌محیطی، ممکن است نظام نوآوری فناورانه با وجود جذاب بودن آن فناوری برای مجموعه بزرگی از بازیگران و توسعه یافتن نهادهایی در رابطه با آن، دست به توقف آن بزند. در صورت عدم در نظر گرفتن وجوه فناورانه به عنوان بخشی از نظام نوآوری فناورانه، یک مکانیزم بازخوردی مهم (بین تغییر فناورانه و تغییر نهادی) مغفول واقع می‌شود. برای مثال، در صورت ایجاد بهبود در ایمنی و قابلیت اطمینان در نتیجه ایجاد یک طرح، ارائه یارانه برای تحقیق و توسعه در حمایت از یک فناوری نوظهور راه را برای اجرای طرح‌های حمایتی با جزئیات بیشتر (شامل نمایش‌های علمی) هموار خواهد کرد. این اقدام نیز می‌تواند منجر به بهبودهای فناورانه بیشتر گردد.

روابط و شبکه‌ها

مؤلفه‌های موجود در نظام نوآوری فناورانه، صرفاً سنگ بنای آن محسوب می‌شوند. این بخش فراهم آورنده یک نگاه مفهومی به تمامی روابط ممکن است.

• روابط: روابط ممکن بین مؤلفه‌های ساختاری دارای انواع گوناگونی می‌باشند. می‌توان این روابط را به روابط بین بازیگران، بین نهادها، بین فناوری‌ها و همچنین بین بازیگران و نهادها، بین بازیگران و فناوری‌ها و بین فناوری‌ها و نهادها تقسیم کرد. برای فهم این موضوع، نهادها و فناوری‌ها را به عنوان بخش‌هایی از نظام قواعد در نظر بگیرید که در آن هر قاعده به قواعد دیگر اشاره دارد. قواعد موجود می‌توانند در رابطه با یک مسأله خاص یکدیگر را رد (ناهمگرایی^۱) یا تقویت کنند (همگرایی). از این طریق، نهادها می‌توانند به یک جنبه فناورانه سود (زیان) رسانند و بالعکس. برای مثال، یک بخشنامه برای کاهش آلودگی‌های خودرو می‌تواند به استفاده از فناوری پاک کمک کند. مثال دیگر نیز می‌تواند اثر زیرساخت‌های جاده‌ای بر الگوهای

¹ - Misalignment

مسافرت کاربران باشد. روابط بین بازیگران و نهادها و بین بازیگران و فناوری‌ها مشابه یکدیگر می‌باشند. هر دو این روابط از نوع روابط فاعل - مفعولی است. این موضوع با در نظر گرفتن اختلاف بین این روابط و روابط بین بازیگران بهتر فهمیده می‌شود.

• شبکه‌ها: در برخی موارد خاص، روابط موجود در یک گروه از بازیگران، نهادها و فناوری‌ها از روابط موجود در خارج از گروه، قوی‌تر است. در صورتی که این مؤلفه‌های ساختاری باعث ایجاد یک پیکربندی متراکم گردند، می‌توان آن را یک ساختار شبکه‌ای یا یک شبکه نامید. مثالی در این رابطه می‌تواند ائتلاف بنگاه‌هایی برای کاربرد یک فناوری نوظهور باشد (قواعد فناورانه) که به وسیله‌ی مجموعه‌ای از روش‌های حل مسأله هدایت می‌شود و توسط برنامه‌های یارانه‌ای حمایت می‌شود (قواعد نهادی). همچنین، انجمن‌های صنعتی^۱، جوامع تحقیقاتی، شبکه‌های سیاستی روابط عرضه‌کننده و کاربر نیز مثال‌هایی از این شبکه‌ها به‌شمار می‌روند. شبکه‌ها فراهم‌آورنده شکلی از همکاری است که در وضعیتی بین جهت‌مند بودن منعطف بازارها و صلب بودن سلسله مراتبی‌ها (برای مثال در بنگاه‌ها) قرار می‌گیرد [۲]. شبکه‌ها، همچنین، بین اعتماد و رقابت میان بازیگران مستقل با علائق ناهمگون تعامل برقرار می‌کنند. حفظ این تعامل در محیطی مهم تلقی می‌گردد که توسعه فناوری نوظهور وابسته به بازترکیب^۱ مفهومی و عملی دانش است. از آنجایی که تعاملات دینامیک و پویا است، در نظر گرفتن آن‌ها به عنوان یکی از عناصر ساختاری سیستم مشکل است. در بعضی از مقالات، برای توصیف ارتباط و روابط همکاری میان بازیگران از عبارت "شبکه" استفاده شده است ولی یک "شبکه" می‌تواند به عنوان یک شکل بزرگتر بازیگران سازمانی نیز در نظر گرفته شود. با این وجود، تعاملات محدود به اتفاق افتادن در درون شبکه‌ها نیست. در مراحل اولیه توسعه یک سیستم، شبکه‌هایی وجود ندارد ولی تعاملات دو طرفه میان بازیگران اتفاق می‌افتد. پس، تمرکز اصلی در این مطالعه بر "روابط" است که در دو سطح شبکه‌ها و تماس‌های فردی می‌تواند مورد تحلیل واقع شود.

جدول ۱-۲ تمامی ابعاد ساختاری TIS را به صورت خلاصه نشان می‌دهد.

¹ - Industry association

جدول ۱-۲- ابعاد ساختاری نظام نوآوری فناورانه

زیر بخش‌ها	ابعاد ساختاری
<ul style="list-style-type: none"> • دولت و جامعه مدنی • شرکت‌ها: شرکت‌های تازه تاسیس شده، بنگاه‌های کسب و کار کوچک و متوسط، کارخانجات بزرگ، شرکت‌های چند ملیتی • سازمان‌های مردم نهاد • بخش‌های دیگر: سازمان‌های قانونگذاری، بانک‌ها/ سازمان‌های مالی، نهادهای واسطه‌ای، کارگزاران دانشی مشاورین 	بازیگران
<ul style="list-style-type: none"> • سخت: قوانین، مقررات، دستورالعمل‌ها • نرم: هنجارها، عادت‌های رایج، رسوم، سنتی و انتظارات و... 	نهادهای
<ul style="list-style-type: none"> • در سطح شبکه • در سطح ارتباطات فردی 	تعاملات
<ul style="list-style-type: none"> • تجهیزاتی: ابزارهای فنی، ماشین‌ها، ساختمان‌ها، جاده‌ها، پل‌ها و ... • دانشی: دانش، تخصص، اطلاعات راهبردی 	زیرساخت‌ها

قابل ذکر است که چالش‌هایی که در ارتباط با ابعاد ساختاری نظام نوآوری فناورانه تحت عنوان مشکلات سیستمی بررسی می‌شوند، از دو منظر وجود ابعاد ساختاری و میزان قوت آنها مورد مطالعه قرار خواهند گرفت. مشکلات سیستمی و اهداف بررسی آنها در جدول ۲-۲ آمده است.

جدول ۲-۲- اهداف بررسی مشکلات سیستمی

هدف بررسی مشکل	نوع مشکل سیستمی	مشکل سیستمی
تحریک و سازمان‌دهی مشارکت بازیگران متنوع (NGOها، شرکت‌ها، دولت و ...)	وجود؟	مشکلات بازیگران
ایجاد فضا برای توسعه توانایی‌های بازیگران (به عنوان مثال از طریق یادگیری و آزمایش)	توانایی؟	
تحریک به وقوع انجامیدن تعاملات فی مابین بازیگران (به عنوان مثال مدیریت وجوه مشترک و ایجاد اجماع)	وجود؟	مشکلات تعاملات
ممانعت کردن از گره‌هایی که یا بیشتر از حد قوی هستند و تقویت گره‌های ضعیف	شدت؟	
تضمین وجود نهادها (سخت و نرم)	وجود؟	مشکلات نهادی
جلوگیری کردن از اینکه نهادها خیلی ضعیف یا خیلی قوی باشند.	توانایی؟	
تحریک ایجاد زیرساخت‌های فیزیکی، مالی و دانشی.	وجود؟	مشکلات زیرساختی
تضمین اینکه کیفیت زیر ساخت‌ها مناسب است.	کیفیت؟	

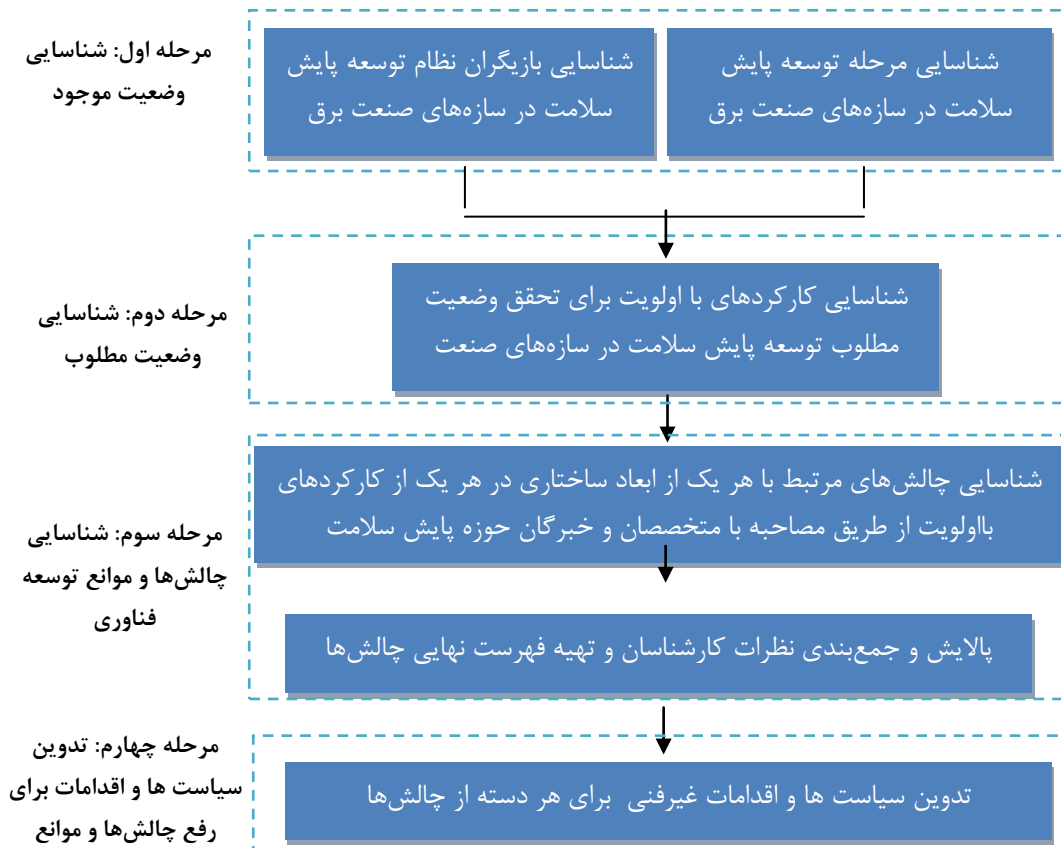
¹- Recombination

۳- تدوین سیاست‌ها و اقدامات توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

سیاست‌ها و اقدامات مجموعه‌ای از طرح‌ها و برنامه‌های اجرایی هستند که به تحقق راهبردها و دستیابی به اهداف کمک می‌کنند. و در حقیقت راهکارهایی جهت رفع موانع توسعه یک فناوری هستند. همان طور که در بخش مبانی نظری اشاره شد مبانی تدوین سیاست‌ها و اقدامات در این سند، نظام نوآوری فناورانه (TIS) است. همان طور که اشاره شد یک دسته سیاست و اقدام غیرفنی در پاسخ به چالش‌های موجود در کارکردهای نظام نوآوری فن‌آورانه و یک دسته اقدام فنی مورد نیاز برای کارکرد توسعه دانش، ارائه می‌شود که در ادامه فرایند تدوین هریک و نتایج آن‌ها ارائه می‌گردد.

۳-۱- فرایند تدوین سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی

فرایند تدوین این سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی در شکل ۳-۱ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱- فرایند تدوین سیاست‌ها و اقدامات غیرفنی توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

همان طور که در شکل ۳-۱ نشان داده شده است در مرحله اول، وضعیت موجود توسعه فناوری مشخص می‌شود. بدین منظور ابتدا مرحله توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق تعیین می‌شود. سپس، بازیگران نظام توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق شناسایی می‌شوند. در مرحله دوم، با توجه به خروجی حاصل از مرحله اول، کارکردهای با اولویت برای تحقق وضعیت مطلوب توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق مشخص می‌گردد. در مرحله سوم، موانع موجود مرتبط با هر یک از ابعاد ساختاری در کارکردهای با اولویت از طریق مصاحبه با متخصصان و خبرگان آشنا با پایش سلامت سازه‌ها تعیین می‌گردد. چالش‌های شناسایی شده پالایش و جمع‌بندی می‌شود و فهرست نهایی چالش‌های توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق مشخص می‌شود. در مرحله آخر، سیاست‌ها و اقدامات پیشنهادی برای رفع چالش‌ها و موانع توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ارائه می‌شود. مراحل ذکر شده در ادامه توضیح داده شده اند. لازم به ذکر است که نتایج به دست آمده در تمامی این مراحل از طریق مصاحبه با خبرگان و کارشناسان آشنا با حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق که اسامی آنها در بخش ۳-۱-۵ آمده است استخراج شده است.

۳-۱-۱- شناسایی وضعیت موجود توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

همان طور که اشاره شد در مرحله اول فرایند تدوین سیاست‌ها و اقدامات، وضعیت موجود توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق شناسایی می‌شود. این کار بر مبنای شناسایی مرحله توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق و نیز بازیگران نظام توسعه این فناوری در کشور انجام می‌شود که در ادامه توضیح داده می‌شود.

۳-۱-۲- بازیگران نظام توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

ساختار هر نظام نوآوری متشکل از بازیگران و ذینفعانی است که هر یک به طور مستقیم یا غیرمستقیم نقش‌هایی را ایفا می‌کنند. این بازیگران می‌توانند شامل بخش دولتی، شرکت‌های تولیدکننده، شرکت‌های مشاور، دانشگاه‌ها، مراکز پژوهشی، موسسات مالی، موسسات حقوقی و ... باشند. در این گام، بازیگران نظام توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در حوزه‌های تحقیق و توسعه، انتشار دانش، تأمین منابع انسانی، منابع مالی، مواد، قطعات و تجهیزات و سیاست‌گذاری و جهت‌دهی به فعالیت‌های توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق مشخص شده‌اند. در واقع پس از جست و جو در اینترنت و بررسی سازمان‌های موجود، لیست اولیه تهیه شد و این لیست در جلسه کمیته راهبری بر اساس نظرات اعضای کمیته نهایی شد. بر

اساس اطلاعات موجود، مهم‌ترین بازیگران شناسایی شده در ارتباط با فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، به شرح

جدول ۱-۳ هستند.

جدول ۱-۳- بازیگران توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

بازیگران	ابعاد کارکردها	
<p>دانشکده‌های عمران: دانشگاه صنعتی شریف، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشگاه علم و صنعت، دانشگاه تهران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، دانشگاه صنعتی سهند، دانشگاه تبریز، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشگاه سمنان، دانشگاه گیلان، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشگاه پیام نور، دانشگاه آزاد اسلامی، پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشگاه نیرو، شرکت‌های مهندسی داخلی (مرتبط با خارج از کشور)، شرکت‌های EPC، شرکت‌های زیرمجموعه وزارت نیرو</p>	توسعه دانش	
<p>دانشگاه‌ها (بند فوق)، پژوهشگاه نیرو، کنفرانس‌های عمران و مکانیک، کنفرانس‌های نگهداری و تعمیرات</p>	انتشار دانش	
<p>وزارت نیرو، شرکت مادر تخصصی توانیر، تسهیلات بانکی، صندوق‌های حمایت از فناوری</p>	منابع مالی	تامین منابع
<p>دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌ها (تحصیلات تکمیلی)،</p>	منابع انسانی	
<p>شرکت‌های مهندسی وارد کننده یا سازنده تجهیزات پایش و ابزار دقیق در داخل کشور (مانند شرکت رسیس افزار، شرکت مهندسی هوشمند حسگر پیش‌رو، شرکت ایران ترینکس و ...)، شرکت‌های خارجی تولید کننده تجهیزات پایش و ابزار دقیق</p>	مواد، قطعات و تجهیزات	
<p>وزارت نیرو، شرکت مادر تخصصی توانیر، شرکت‌های برق منطقه‌ای، شرکت‌های توزیع برق، شرکت‌های مدیریت تولید برق</p>	جهت دهی به سیستم	

۳-۱-۳- شناسایی مرحله توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

مرحله توسعه هر نظام فناورانه بر اساس وضعیت ساختاری نظام توسعه فناوری و مجموعه‌ای از شاخص‌ها یا نشانه‌های

تحقق مرحله توسعه تعیین می‌شود. این مراحل عبارتند از: پیش‌توسعه، توسعه، اوج‌گیری، سرعت‌گیری، تثبیت. نشانه‌های تحقق

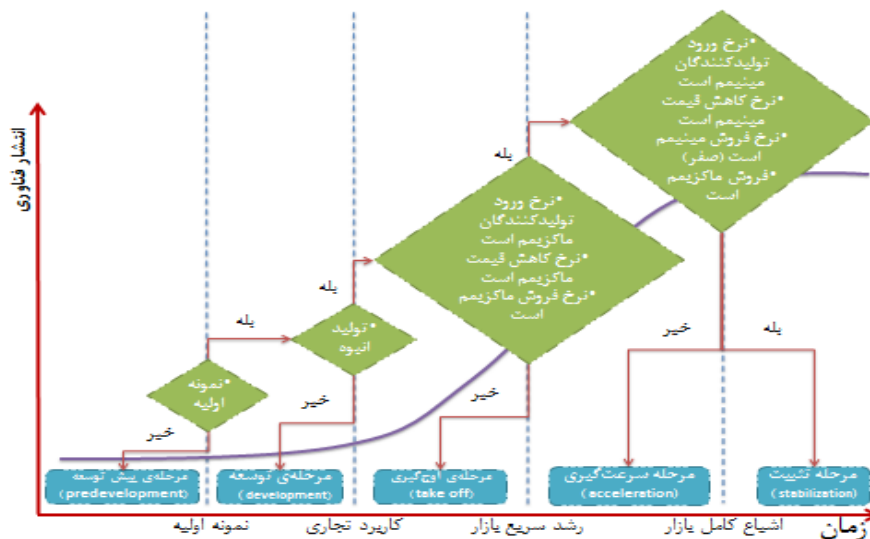
مراحل یا شاخص‌های تشخیص مرحله توسعه در جدول ۲-۳ ارائه شده است.

جدول ۳-۲- شاخص‌های شناسایی مرحله توسعه نظام نوآوری فناورانه

<ul style="list-style-type: none"> • آیا نمونه اولیه از فناوری (محصول یا فرایند) ساخته شده است؟ • بازیگران اصلی در این حوزه چه کسانی هستند؟ نقش دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی چیست؟ آیا شرکت‌های دانش‌بنیان به این حوزه وارد شده‌اند؟ آیا دولت به این حوزه وارد شده است؟ نقش آن (سیاست‌گذاری، تنظیم‌گری و ...) چیست؟ • آیا محصول فناوری بدون حمایت‌های دولتی در بازار به صورت آزاد فروخته می‌شود؟ • و یا: آیا تولید انبوه محصول فناوری (محصول یا خدمت) توجیه اقتصادی دارد؟ • و یا: آیا تولید انبوه محصول فناوری (محصول یا خدمت) آغاز شده است؟ • آیا شبکه‌های علمی و فناوری شکل گرفته‌اند؟ وضعیت آن‌ها چگونه است؟ • وضعیت بازار چگونه است؟ در حال رشد یا به اشباع کامل رسیده است؟ • نرخ ورود تولیدکنندگان محصول فناوری چگونه است؟ • نرخ کاهش قیمت محصول فناوری چگونه است؟ • نرخ فروش محصول فناوری چگونه است؟ • آیا انجمن‌ها و سندیکاهای مربوطه شکل گرفته‌اند؟

سوالات جدول ۳-۲ با توجه به شکل زیر پرسیده می‌شود؛ به این صورت که مثلاً اگر جواب سوال ابتدایی خیر بود، مرحله

توسعه نظام، پیش‌توسعه است و دیگر نیازی به پرسیدن بقیه سوالات نیست. دیگر مراحل نیز مشابه همین است.



شکل ۳-۲- نشانه‌های تحقق مراحل برای تعیین مرحله توسعه

با مشخص شدن جدول ۳-۲ در واقع ساختار موجود نظام نوآوری فناورانه مشخص می‌شود و می‌توان با استفاده از آن و

جدول ۳-۳ مرحله توسعه نظام را بر اساس ساختار موجود حول فناوری شناسایی کرد.

جدول ۳-۳- ویژگی مراحل توسعه به تفکیک عناصر ساختاری برای تعیین مرحله‌ی نظام نوآوری فناوریانه

تعادل	سرعت‌گیری	اوج‌گیری	توسعه	پیش توسعه	
<ul style="list-style-type: none"> تمام بازیگران در این حوزه‌ی فناوریانه به صورت فعال حضور دارند 	<ul style="list-style-type: none"> تعداد رقبای در حوزه‌ی توسعه فناوری به شدت افزایش می‌یابد نقش پررنگ بانکها و موسسات مالی نقش دولت در تنظیم گری پررنگ می‌شود 	<ul style="list-style-type: none"> انجمن‌ها و سندیکاها شکل گرفته‌اند افزایش شرکت‌های دانش‌بنیان نقش دولت در سیاست‌گذاری (قابل‌گیری) پررنگ می‌شود 	<ul style="list-style-type: none"> شرکت‌های دانش‌بنیان علاوه بر دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی شرکت‌های سرمایه‌گذاری خطرپذیر در این حوزه ورود می‌کنند نقش دولت در سیاست‌گذاری (حامله‌گیری) پررنگ می‌شود 	<ul style="list-style-type: none"> دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی تعداد محدود نقش تسهیل‌گری دولت کم‌کم شکل می‌گیرد. 	بازیگران
<ul style="list-style-type: none"> شبکه‌های علمی قوی شبکه‌های صنفی قوی 	<ul style="list-style-type: none"> شبکه‌های علمی قوی شبکه‌های صنفی در حال قوی شدن است 	<ul style="list-style-type: none"> شبکه‌های علمی در حال قوی شدن است شبکه‌های ضعیف صنفی کم‌کم شکل می‌گیرد 	<ul style="list-style-type: none"> شبکه‌های ضعیف علمی شکل می‌گیرد 	<ul style="list-style-type: none"> روابط فردی شکل گرفته است شبکه‌های مربوط به فناوری وجود ندارند 	تعاملات
<ul style="list-style-type: none"> نهادهای متنوعی وجود دارد 	<ul style="list-style-type: none"> افزایش تنوع نهادها یسته به نیازها 	<ul style="list-style-type: none"> نهادهای سخت شکل گرفته است 	<ul style="list-style-type: none"> نهادهای سخت در حال شکل‌گیری است 	<ul style="list-style-type: none"> نهادهای نرم شکل می‌گیرد نهاد سختی هنوز وجود ندارد 	نهادهای

با استفاده از جدول ۳-۳ می‌توان نتیجه گرفت، فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در مرحله پیش توسعه می‌باشد. بخش عمده بازیگران فعال کنونی در توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق را دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی تشکیل می‌دهند و هنوز شرکت‌های دانش‌بنیان برای توسعه فناوری پایش سلامت سازه‌ها، آن‌طور که باید شکل نگرفته‌اند. همچنین شبکه‌های علمی و تحقیقاتی در این حوزه هنوز شکل نگرفته است. قوانین، دستورالعمل‌ها و استانداردهای مربوط به این حوزه یا محدود است یا اصلاً تدوین نشده است. از طرف دیگر، بر اساس شاخص‌های موجود در جدول ۳-۳ و نشانه‌های تحقق مراحل در شکل ۲-۳ ابتدا بایستی وضعیت تولید نمونه اولیه را بررسی کرد. بر این اساس، هنوز پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در کشور به صورت عملیاتی اجرا نشده است. بنابراین بر اساس شکل ۲-۳ و جدول ۳-۳ می‌توان نتیجه گرفت که فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در مرحله «پیش توسعه» قرار دارد.

۳-۱-۴- شناسایی وضعیت مطلوب توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

فرایند نوآوری یک فرایند تکاملی است و همیشه در حال تغییر و تحول است و نمی‌توان یک سیستم بهینه برای فرایند نوآوری تعریف کرد، پس هدف نظام را باید در طول این فرایند تعریف کرد. هدف یک نظام نوآوری انتقال نظام مورد نظر از

یک مرحله توسعه به مرحله بعدی است. البته باید توجه داشت که لزوماً مرحله بعدی وضعیت بهینه نیست و فقط توسعه نظام نوآوری مد نظر است.

نکته اصلی در اینجا نحوه انتقال از یک مرحله به مرحله دیگر است. کارکردهای هر مرحله به سه دسته کارکرد کلیدی، حمایتی و حاشیه‌ای تقسیم می‌شود. تحقق کارکرد کلیدی به منزله انتقال به مرحله بعدی است. شکل ۳-۳ مراحل توسعه و کارکردهای کلیدی، حمایتی و حاشیه‌ای مرتبط با هر مرحله را نشان می‌دهد. در شکل زیر کارکردهای نظام نوآوری فناورانه با F_1 تا F_7 نشان داده شده است که عبارتند از:

• فناوری‌های کارآفرینی (F_1)

• توسعه دانش (F_2)

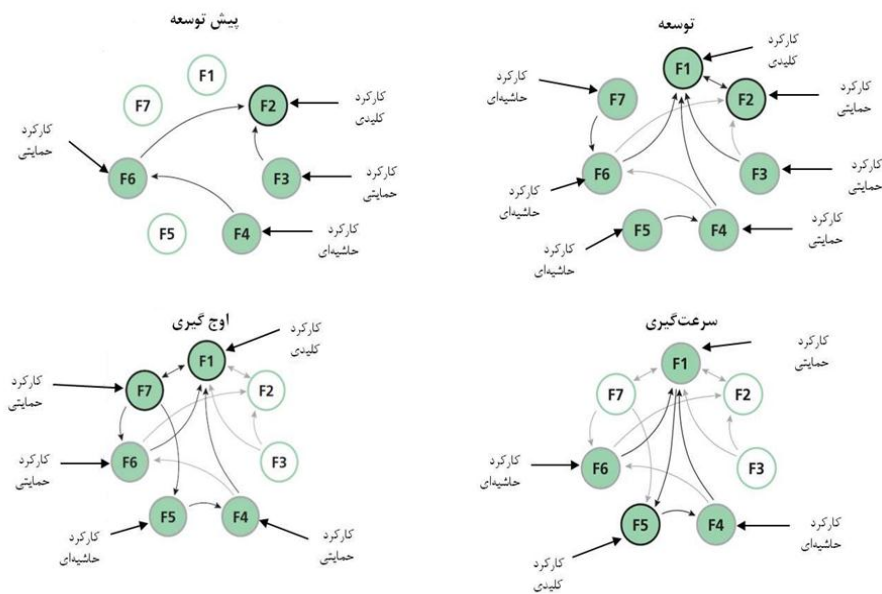
• انتشار دانش (F_3)

• جهت‌دهی به سیستم (F_4)

• شکل‌دهی به بازار (F_5)

• تامین و تسهیل منابع (F_6)

• مقبولیت بخشی (F_7)



شکل ۳-۳- مراحل توسعه و کارکردهای کلیدی، حمایتی و حاشیه‌ای

در بخش قبلی مشخص شد که نظام توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در مرحله «پیش‌توسعه» قرار دارد. بر اساس شکل فوق، زمانی که سیستم در مرحله پیش‌توسعه قرار داشته باشد و هدف ما رسیدن به مرحله بعدی نظام توسعه فناوری باشد چهار کارکرد توسعه دانش، انتشار دانش، تأمین منابع و جهت‌دهی به سیستم باید محقق شوند. در نتیجه کارکردهای مذکور به عنوان کارکردهای با اولویت شناخته می‌شوند. در بخش بعدی فرایند تدوین سیاست‌ها و اقدامات، چالش‌های مرتبط با هر یک از ابعاد ساختاری در این چهار کارکرد با اولویت شناسایی می‌شود.

۳-۱-۵- شناسایی چالش‌ها و موانع توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق و

تدوین سیاست‌ها و اقدامات

در گام قبلی کارکردهای توسعه دانش، انتشار دانش، تأمین منابع و جهت‌دهی به سیستم به عنوان کارکردهای با اولویت شناسایی شدند. در این گام با استفاده از یک تحلیل ساختاری-کارکردی، چالش‌ها و موانع پیش روی توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق شناسایی شده است. همان طور که پیشتر بیان شد این چالش‌ها از طریق مصاحبه با ۱۰ نفر از خبرگان و کارشناسان آشنا با این حوزه استخراج شده است. اسامی این افراد در ادامه ارائه شده است:

۱-جناب آقای دکتر علیپور (مدیر کل دفتر فنی انتقال توانیر-عضو کمیته راهبری)

۲-جناب آقای دکتر شاه‌حسینی (عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر-عضو کمیته راهبری)

۳-جناب آقای دکتر کرمی (عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی-عضو کمیته راهبری)

۴-جناب آقای دکتر حسینی (عضو هیأت علمی دانشگاه شهید بهشتی پردیس شهید عباسپور-عضو کمیته راهبری)

۵-جناب آقای دکتر رحیمزاده (عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی شریف)

۶-جناب آقای دکتر میرزا بزرگ (عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی-مدیر کل سابق دفتر

بهره‌برداری از سدهای کشور)

۷-جناب آقای مهندس آسایش (مدیر گروه تجهیزات دوار مکانیکی پژوهشگاه نیرو)

۸-جناب آقای دکتر اکبرنژاد (شرکت رسیس افزار)

۹-جناب آقای مهندس میزالی و همکاران (مجری طرح‌های نیروگاهی سازمان توسعه برق ایران)

۱۰-جناب آقای مهندس دوستی مهر (دفتر بهره‌برداری انتقال شرکت برق منطقه‌ای تهران)

در جداول ۳-۴ تا ۳-۱۳ به ترتیب نظرات افراد در رابطه با وضعیت پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در چهار کارکرد

اصلی که به آنها اشاره شده، آمده است.

جدول ۳-۴ - چالش‌ها و موانع توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق از نظر دکتر رحیم‌زاده

سوال	نظر خبره
مشکلات پیش‌رو برای خلق و توسعه دانش در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	<p>بحث پایش سلامت سازه، بحث جدیدی است و تحقیقات انجام شده در این حوزه هنوز کم است. دانش فنی لازم هنوز به میزان کافی وجود ندارد. هرچند دانشجویانی در این حوزه تربیت شده‌اند. بین اساتید در دانشگاه‌های مختلف، در حوزه پایش سلامت سازه، ارتباطات شخصی برای انتقال دانش وجود دارد اما یک مکانیزم ارتباطی که این ارتباطات را شکل داده و ساماندهی کند، وجود ندارد. دانشی که در حوزه پایش سلامت سازه در دانشگاه‌ها به وجود آمده، هنوز آن طور که باید به سمت عملیاتی شدن و اجرایی شدن پیش نرفته است. در دنیا به لحاظ اجرایی کارهای بسیاری انجام شده که از این نظر ما از دنیا بسیار عقب‌تر هستیم ولی از نظر تئوری دانشگاه‌های ما در سطح نسبتاً خوبی هستند. جهت استفاده از دانش ایجاد شده در کشورهای پیش‌رو در این حوزه، مکانیزم ارتباطی خاصی وجود نداشته و ارتباطات به صورت فردی می‌باشد.</p> <p>دانش ایجاد شده در بحث پایش سلامت سازه برای سازه‌های دیگر، در بعضی قسمت‌ها با سازه‌های برق متفاوت بوده اما می‌توان از آن نظر تئوری از این دانش تولید شده استفاده کرد که مکانیزم ارتباطی برای اشتراک دانش پایش سلامت سازه در بخش‌های مختلف وجود ندارد.</p>
مشکلات پیش‌رو برای انتشار دانش در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	<p>کنفرانس‌هایی در زمینه پایش سلامت سازه وجود دارد که می‌توان از ظرفیت آنها استفاده کرد.</p>
مشکلات پیش‌رو تامین منابع در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	<p>بخشی از بحث پایش سلامت سازه، تامین ابزار و تجهیزات است. برخی از سنسورهای مورد نیاز جهت بکارگیری سیستم پایش سلامت سازه در داخل کشور تولید می‌شود ولی سنسورهای ساخت داخل هنوز فاصله زیادی با سنسورهای تولید شده در کشورهای پیشرفته دارد. بنابراین از نظر تهیه تجهیزات و سنسورهای مورد نیاز، همچنان مشکلاتی در کشور وجود دارد.</p> <p>همچنین بودجه‌های تحقیقاتی ناکافی بوده و حمایت مالی از سوی دولت برای بحث پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق صورت نمی‌گیرد.</p>
مشکلات پیش‌رو برای جهت‌دهی به سیستم در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	<p>اهمیت پایش سلامت سازه، آنچنان که باید توسط دستگاه‌های اجرایی درک نشده است. به غیر از صنایع نظامی در بقیه مراکز این دانش آنچنان که باید کاربردی نشده است.</p> <p>طرح‌های تحقیقاتی که در وزارت نیرو تعریف می‌شود، با تغییر مدیران اغلب کنار گذاشته می‌شوند. همچنین وجود یک سیستم مدیریت دانش در سطح وزارت نیرو می‌تواند به حفظ دانش تولید شده در این حوزه کمک کند. زیرا در حال حاضر دانش در ذهن افراد بوده و با رفتن آنها از سازمان، دانش نیز از بین می‌رود.</p> <p>بحث پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، برای اجرایی شدن نیاز به یک متولی دارد.</p>

جدول ۳-۵- چالش‌ها و موانع توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق از نظر دکتر شاه حسینی

سوال	نظر خبره
مشکلات پیش‌رو برای خلق و توسعه دانش در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	دانشگاه‌ها توانایی تولید دانش در حوزه پایش سلامت سازه را داشته و از این لحاظ در حوزه پایش سلامت در کشور مشکلی احساس نمی‌شود.
مشکلات پیش‌رو برای انتشار دانش در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	از آنجا که رشته پایش سلامت سازه، یک رشته میان‌رشته‌ای می‌باشد ارتباط بین حوزه‌های مختلف پایش سلامت مانند نرم‌افزار، عمران(سازه) و... آن طور که باید در کشور شکل نگرفته و ارتباط‌ها در حال حاضر به صورت فردی می‌باشد. کنفرانس و انجمن خاصی به طور مستقیم در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق فعالیت نمی‌کند. ولی از آنجا که این دانش هنوز در کشور بسیار جوان می‌باشد، نیاز چندانی به تشکیل انجمن در این حوزه احساس نمی‌شود. زیرا وجود انجمن تا وقتی تعداد کافی فارغ‌التحصیل در این زمینه وجود نداشته باشد و دانش هم به اندازه کافی در کشور عملیاتی نشده باشد، فایده چندانی نخواهد داشت. لذا با توجه به این موضوع که هنوز بستر لازم وجود ندارد، صرف ایجاد و تشکیل انجمن کمکی نخواهد کرد. ولی در حد وجود یک سمینار در رابطه با بحث پایش سلامت سازه‌ها خوب بوده و می‌تواند زمینه آگاه‌سازی دانشجویان، اساتید و صنعت را با این حوزه فراهم نماید.
مشکلات پیش‌رو تامین منابع در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	بخشی از بحث پایش سلامت سازه، مربوط به تامین تجهیزات می‌باشد. از نظر تجهیزات دامنه خیلی گسترده می‌باشد که در داخل کشور در برخی از شرکت‌ها توانایی ساخت برخی سنسورها وجود دارد. همچنین از لحاظ تامین منابع مالی، بودجه‌ای از سوی دولت برای توسعه فناوری پایش سلامت سازه در نظر گرفته نشده است.
مشکلات پیش‌رو برای جهت‌دهی به سیستم در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	دانش تولید شده در دانشگاه‌ها به علت عدم وجود بازار برای این دانش در کشور، کاربردی نمی‌شود. بنابراین ابتدا می‌بایست نیاز به بکارگیری پایش سلامت سازه را در صنعت ایجاد کرد. لذا دولت باید برای صنایع بکارگیری پایش سلامت سازه را الزام کند. چون در این حوزه سازه‌ها مربوط به بخش‌های دولتی می‌باشد، در واقع دولت باید بازار را ایجاد کند. اگر دولت الزام را ایجاد کند، صنعت نیرو استخدام کرده و خود به خود دانشگاه نیز به تولید دانش در این زمینه علاقه‌مند می‌گردد. در واقع در کشور ما این طرز تفکر وجود دارد که تنها ساختن مهم بوده و ایجاد ارزش افزوده می‌نماید، در حالیکه می‌بایست این باور شکل بگیرد که جلوگیری از خسارات خرابی‌ها، اگرچه به ظاهر سودآور نبوده و از جنس هزینه می‌باشد ولی در طولانی‌مدت ایجاد ارزش افزوده می‌نماید. اهمیت بکارگیری پایش سلامت سازه وقتی روشن می‌گردد که عمر سازه تمام شده و سازه دچار آسیب یا خرابی گردد. بنابراین باید آیین‌نامه‌ای الزام‌آور از طرف سازمان مدیریت ابلاغ گردد که بحث بکارگیری پایش سلامت سازه را در برخی سازه‌ها الزامی نموده و بحث پایش سلامت سازه در بودجه‌ها و برنامه‌های سالیانه دیده شود.

جدول ۳-۶- چالش‌ها و موانع توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق از نظر دکتر حسینی

سوال	نظر خبره
مشکلات پیش‌رو برای خلق و توسعه دانش در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	بحث پایش سلامت سازه به صورت کلی در ایران بحث جدیدی بوده و آن طور که باید هنوز در کشور مطرح نشده است. با توجه به جدید بودن این موضوع، کارهای پژوهشی کمی در این حوزه در داخل کشور انجام پذیرفته و در دانشگاه‌ها هم هنوز تحقیقات زیادی در این حوزه صورت نگرفته است. همچنین تحقیقات و مطالعاتی که در دوره ارشد و دکترا در کشور صورت می‌گیرد، زنجیره‌وار نبوده و هر کس

سوال	نظر خبره
	<p>در هر حوزه‌ای مطالعه یا تحقیق می‌کند، به علت نبود یک بانک اطلاعاتی قوی، رها شده و کسی دیگر آن را دنبال نمی‌کند. مطالعات باید به صورت زنجیره‌ای دنبال هم انجام شوند تا به یک نتیجه درست برسند.</p> <p>مشکل دیگری که می‌توان گفت در کشور وجود دارد این است که مشخص نیست به طور خاص یک استاد روی چه موضوعی کار می‌کند. خوب است به طور مثال همایش سالانه در سطح عمران برگزار شود که در این همایش اساتید حاضر شده و هر کس زمینه فعالیت و پژوهش خود را عنوان کند، متولی برگزاری همایش هم می‌تواند انجمن یا سندیکای خاصی باشد. وجود یک سایت فعال هم که آخرین دستاوردهای تحقیقاتی و اجرایی را در زمینه پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق به طور کامل داشته باشد، می‌تواند مفید باشد.</p>
مشکلات پیش‌رو برای انتشار دانش در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	<p>در کشور کنفرانسی که اختصاصاً در رابطه با پایش سلامت در سازه‌های برق باشد، وجود ندارد. اما می‌توان از ظرفیت کنفرانس‌های دیگر نظیر کنفرانس برق که سالیانه برگزار می‌گردد استفاده کرده و پایش سلامت سازه‌های صنعت برق را به عنوان یکی از محورهای این کنفرانس در نظر گرفت.</p>
مشکلات پیش‌رو تامین منابع در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	<p>در دانشگاه‌ها برای سازه‌های خاص و شریان‌های حیاتی که برق هم جزء آنهاست، دانشجو تربیت نمی‌گردد. در صنعت برق، آب و گاز، مهندس عمران که متخصص طراحی، بهسازی و نگهداری سازه‌های این صنایع باشد وجود ندارد. هرچند، تربیت نیروی انسانی برای شریان خاص در دانشگاه‌ها در مقطع کارشناسی به صرفه نیست. بلکه می‌توان به طور مثال دوره‌های ضمن خدمت آشنایی با سازه‌های برق برای فارغ‌التحصیلان عمرانی که قرار است در صنعت برق مشغول به کار شود، برگزار گردد. همچنین وزارت نیرو می‌تواند به طور خاص برای دوره محدودی، از وزارت علوم بخواهد تا دانشجویانی را در دوره ارشد برای گرایش‌های خاص موردنیازش مانند پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق تربیت کند.</p> <p>تربیت نیروی انسانی به طور کلی در کشور انسجام لازم را نداشته و نیروی تربیت شده در دوره ارشد و دکترا در بعضی مواقع بیش از ظرفیت مورد نیاز بوده یا فارغ‌التحصیلان این مقاطع در جای مربوط به خود فعالیت نمی‌کنند.</p> <p>بحث پایش سلامت، از موضوعاتی است که در ابتدا نیاز به هزینه زیادی دارد و سود آن در دراز مدت خود را از طریق افزایش طول عمر سازه نشان می‌دهد. بنابراین باید از سوی دولت بودجه‌ای برای این موضوع در نظر گرفته شود تا بتوان آن را اجرایی کرد. زیرا ممکن است به علت هزینه اولیه بالای آن بخش خصوصی به این موضوع اهمیت ندهد و از آن غافل شود.</p>
مشکلات پیش‌رو برای جهت‌دهی به سیستم در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	<p>وزارت نیرو به علت مشکلات مالی که دارد دچار مدیریت روزمره شده و ممکن است از خیلی مسائل اصلی چشم‌پوشی کند. بحث پایش سلامت هم از آنجا که اثرات خود را در درازمدت نشان می‌دهد ممکن است مورد توجه مسئولین قرار نگیرد.</p> <p>در برخی مواقع درک مشترکی بین مدیران از مشکل وجود ندارد و ممکن است هر کس مشکل را به نوعی درک کند. در ابتدا لازم است درک مشترک مشکل به وجود آمده و بعد به دنبال راه حل برای مشکل بود.</p> <p>همچنین به علت دولتی بودن سازه‌ها، باید پروژه‌هایی از سوی بخش دولتی نظیر توانیر و شرکت‌های برق برای پایش سلامت سازه تعریف گردد. در این صورت خود به خود مراکز دانشگاهی به دنبال تعریف پایان‌نامه و تربیت دانشجو در این حوزه می‌روند.</p>

جدول ۳-۷- چالش‌ها و موانع توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق از نظر دکتر کریمی

سوال	نظر خبره
مشکلات پیش‌رو برای خلق و توسعه دانش در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	<p>کمیت و کیفیت مراکز دانشی در حوزه پایش سلامت سازه خوب بوده و مقاله‌های زیادی در دنیا در این حوزه وجود دارد که در ایران نیز قابل دسترس بوده و می‌توان از آنها استفاده کرد. کارهای تحقیقاتی خوبی هم در ایران در این حوزه در حال انجام است. عملاً چیزی نیست که در کشور دانش فنی‌اش را نتوان به</p>

سوال	نظر خبره
	دست آورد. پتانسیل داخلی از لحاظ دانشی برای سازه‌های برق کافی است. ولی تا کنون در بحث پایش سلامت، بیشتر جنبه مکانیکی‌اش مورد توجه گرفته تا جنبه سازه‌ای آن. به طور خاص در حوزه پایش سلامت دکل‌های برق در دنیا و ایران کارهای کمی صورت گرفته و نیاز به تحقیقات بیشتری در این زمینه وجود دارد. همچنین در بخش تفسیر داده‌ها در حوزه پایش سلامت سازه نسبت به سایر بخش‌های پایش سلامت سازه در داخل کشور تحقیقات کمتری صورت گرفته و نیاز به کار بیشتری در این حوزه وجود دارد. در حوزه پایش سلامت سازه در صنایع دیگر نظیر هوا و فضا کارهای خوبی صورت گرفته ولی ارتباط بین صنایع مختلف جهت انتقال دانش به وجود آمده، وجود ندارد.
مشکلات پیش‌رو برای انتشار دانش در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	در حوزه پایش سلامت سازه در کشور، شرکت‌های دانش‌بنیان کمی وجود دارد. شرکت‌های دانش‌بنیان در صورت وجود می‌توانند کمک قابل توجهی به توسعه دانش نمایند.
مشکلات پیش‌رو تامین منابع در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	بحث پایش سلامت سازه، در آنجا که یک موضوع میان‌رشته‌ای می‌باشد باید ارتباط بین رشته‌های مختلف نظیر برق، عمران، مکانیک و... در آن وجود داشته باشد که در حال حاضر هیچ مکانیزم ارتباطی خاصی برای این موضوع وجود ندارد.
مشکلات پیش‌رو تامین منابع در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	بخشی از بحث پایش سلامت سازه، تامین تجهیزاتی نظیر سنسور و... می‌باشد. که برخی از این تجهیزات در داخل کشور تولید می‌شود ولی هنوز از دقت و سرعت پردازش اطلاعات تجهیزات ساخته شده در خارج کشور برخوردار نمی‌باشد.
مشکلات پیش‌رو برای جهت‌دهی به سیستم در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	بحث پایش سلامت سازه در کشور باید به عنوان یک موضوع استراتژیک دیده شده و باید از سوی دولت قوانینی جهت الزام صنایع به بکارگیری پایش سلامت سازه در سازه‌های خاص تصویب گردد. از جمله دلایل عدم اجرایی شدن پایش سلامت سازه در کشور می‌توان به عدم آشنایی صنعت با مزایای بکارگیری این فناوری، هزینه بالای پیاده‌سازی آن و عدم تمایل صاحبان صنایع به شناسایی مشکلات اشاره کرد. به طور مثال در نیروگاه‌ها کسی نمی‌خواهد آسیب شناسایی شود بنابراین مدیران نیروگاه‌ها معمولاً تمایلی به پیاده‌سازی سیستم پایش سلامت سازه در نیروگاه ندارند. در صورتی که پروژه‌هایی از سوی صنعت در زمینه پایش سلامت سازه تعریف گردد، دانشگاه‌ها خود به سمت تعریف کارهای تحقیقاتی در حوزه پایش سلامت سازه خواهند رفت.

جدول ۳-۸- چالش‌ها و موانع توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق از نظر مهندس آسایش

سوال	نظر خبره
مشکلات پیش‌رو برای خلق و توسعه دانش در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	دانشگاه‌ها از نظر کمیت و کیفیت در رشته پایش سلامت خوب بوده و از لحاظ دانش تئوری در بحث پایش سلامت سازه در کشور مشکلی وجود ندارد.
مشکلات پیش‌رو تامین منابع در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	در بحث پایش سلامت سازه، ارتباط بین دانشگاه‌های داخل و کشورهای پیش‌رو در این حوزه به صورت یک شبکه وجود نداشته و ارتباطات موجود نیز به صورت فردی و شخصی می‌باشد. در حالیکه در بحث پایش وضعیت تجهیزات این مکانیزم و شبکه ارتباطی به خوبی شکل گرفته و ایجاد شده است.
مشکلات پیش‌رو برای انتشار دانش در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	در حوزه پایش سلامت سازه، انجمن و همایش مستقیمی وجود ندارد. اما در حوزه پایش سلامت تجهیزات ظرفیت‌های خوبی شکل گرفته که می‌توان از این ظرفیت‌ها استفاده کرد. از جمله می‌توان به انجمن تعمیرات و نگهداری اشاره کرد که می‌توان از ظرفیت‌های این انجمن در بحث پایش سلامت سازه‌های صنعت برق استفاده کرد.
مشکلات پیش‌رو تامین منابع در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	نیروی انسانی خاص پایش سلامت سازه در کشور تربیت نمی‌گردند و کرسی‌های پایش سلامت در عمران وجود ندارد. پایش سلامت یک رشته میان‌رشته‌ای است که در حال حاضر دانشجویی برای این رشته در عمران تربیت نمی‌شود در حالیکه در مکانیک دانشجویانی برای پایش وضعیت تجهیزات تربیت می‌گردند. اگر تخصص پایش سلامت سازه ایجاد گردد با تربیت دانشجو، بازار هم ایجاد می‌گردد. خیلی از رشته‌ها هستند که صنعت به آنها نیازی ندارد ولی در دانشگاه‌ها خیلی کار شده و مورد توجه قرار گرفته است. پایش سلامت سازه رشته‌ای است که نه تنها صنعت در حال حاضر به آن احتیاج دارد بلکه احتیاج به آن در سال‌های

سوال	نظر خبره
	آینده بیشتر نیز می‌شود. مشکل عمده‌ای که در بحث پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق وجود دارد این است که از آمار و اطلاعات خرابی‌های سازه‌های صنعت برق و هزینه‌های مالی و جانی ناشی از این خرابی‌ها اطلاعات دقیقی در دست نیست.
مشکلات پیش‌رو برای جهت‌دهی به سیستم در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	پایش سلامت از جنس هزینه و سرمایه‌گذاری است. در واقع در پایش سلامت یک سری هزینه اولیه صورت می‌گیرد تا از هزینه‌های بعدی جلوگیری شود. باید این دیدگاه در مدیران صنایع و دولت ایجاد شود که با بکارگیری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق می‌توان از هزینه‌های زیادی جلوگیری کرد. وزارت نیرو باید قوانین و آیین‌نامه‌های الزام‌آوری را جهت بکارگیری پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق تدوین نماید.

جدول ۳-۹- چالش‌ها و موانع توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق از نظر دکتر علیپور

سوال	نظر خبره
مشکلات پیش‌رو برای خلق و توسعه دانش در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	از نظر تولید دانش فنی پایش سلامت سازه در دانشگاه‌ها مشکل خاصی وجود نداشته و مراکز آموزشی و پژوهشی در این حوزه از لحاظ کمیت و کیفیت مناسب هستند.
مشکلات پیش‌رو برای انتشار دانش در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	پایش سلامت سازه‌های صنعت برق میان‌رشته‌ای بوده که این ارتباط بین رشته‌ای هنوز در کشور به وجود نیامده و مهندسین عمران آشنابه سازه‌های برق کم می‌باشند.
مشکلات پیش‌رو تامین منابع در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	در حوزه تجهیزات صنعت برق، دستورالعمل‌هایی تهیه شده و آیین‌نامه‌هایی برای تعمیرات و نگهداری تجهیزات وجود دارد. اما در بحث سازه‌های آیین‌نامه‌ای وجود نداشته که این عدم وجود دستورالعمل‌ها، به علت عدم اطلاعات در مورد سازه‌ها و انواع آسیب‌های آنها می‌باشد. در واقع هیچ اطلاعی از سازه در بخش توانیر وجود ندارد. لیست خرابی تجهیزات ماهیانه برای توانیر فرستاده می‌شود اما لیست خرابی سازه‌ها به علت عدم اطلاع از انواع خرابی سازه‌ها وجود ندارد.
مشکلات پیش‌رو برای جهت‌دهی به سیستم در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	از نظر متولی در بحث پایش سلامت سازه‌ها مشکلی وجود ندارد، توانیر به عنوان متولی وجود دارد اما به علت کمبود اطلاعات سازه‌ای در توانیر کار خاصی تا کنون صورت نگرفته است. همچنین در توانیر بودجه‌ای برای بهینه‌سازی و تعمیرات وجود دارد اگر سیستم پایش سلامت و مزایای بکارگیری آن به خوبی معرفی شود، می‌توان بخشی از این بودجه را به پایش سلامت سازه‌های صنعت برق اختصاص داد. در واقع اگر دستورالعمل برای بررسی سازه‌ها وجود داشته باشد، سازه‌ها نیز می‌توانند مانند تجهیزات بررسی شده و آسیب‌های آنها شناسایی گردد.

جدول ۳-۱۰- چالش‌ها و موانع توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق از نظر دکتر اکبرنژاد

سوال	نظر خبره
مشکلات پیش‌رو برای خلق و توسعه دانش در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	از نظر دانش تئوری پایش سلامت سازه در کشور مشکل خاصی نبوده و می‌توان حتی از لحاظ دانشی با دنیا رقابت کرد. در واقع دانشگاه‌های داخل از لحاظ کمیت و کیفیت در این حوزه مناسب می‌باشند. فقط دانش فنی پایش سلامت در دکل‌های برق نسبتاً جدید بوده که برای توسعه آن نیاز به تحقیقات بیشتری وجود دارد.

سوال	نظر خبره
مشکلات پیش‌رو برای انتشار دانش در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	شرکت‌های دانش‌بنیان در زمینه پایش سلامت کافی نبوده و باید به سمت تاسیس چنین شرکت‌هایی رفت، این شرکت‌ها به توسعه دانش فنی پایش سلامت
مشکلات پیش‌رو تامین منابع در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	ارتباط بین دانشگاه و صنعت آنچنان که باید شکل نگرفته و از دانش تولید شده در مراکز آموزشی و پژوهشی در صنعت استفاده نمی‌شود.
مشکلات پیش‌رو برای جهت‌دهی به سیستم در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	جهت بکارگیری پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق، نیاز به تجهیزات خاصی مانند سنسورها می‌باشد که برخی از آنها در داخل کشور تولید می‌گردند ولی برخی از آنها که امکان تولید در داخل نیز برای آنها وجود ندارد در تحریم قرار دارند که برای این موضوع نیز باید چاره‌ای اندیشیده شود. نیروی متخصص پایش سلامت سازه در کشور به اندازه کافی وجود دارد ولی جهت بکارگیری پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق، می‌بایست این نیروها آموزش ضمن خدمت دیده تا از این طریق با سازه‌های برق آشنا گردند. جهت تست سنسورها و پیاده‌سازی پایش سلامت سازه به عنوان نمونه در سازه‌های صنعت برق، خوب است آزمایشگاهی وجود داشته باشد.
مشکلات پیش‌رو جهت‌دهی به سیستم در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	یکی از دلایل اینکه پایش سلامت سازه آن طور که باید تا کنون اجرایی نشده، هزینه بالای آن است. در واقع سازه باید از لحاظ هزینه این قدر ارزشمند باشد که بکارگیری پایش سلامت سازه در آن صرفه اقتصادی داشته باشد.

جدول ۳-۱۱ - چالش‌ها و موانع توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق از نظر دکتر میرزا بزرگ

سوال	نظر خبره
مشکلات پیش‌رو برای خلق و توسعه دانش در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	از لحاظ دانش پایش سلامت سازه در کشور مشکلی وجود نداشته دانشگاه‌ها در صورت نیاز امکان تولید دانش در این زمینه را دارند
مشکلات پیش‌رو برای انتشار دانش در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	سمینار تخصصی در حوزه پایش سلامت در کشور برگزار نمی‌گردد. که نیاز به وجود چنین سمیناری در کشور نیز در شرایط حاضر چندان احساس نمی‌شود. پایش سلامت سازه یک حوزه میان‌رشته‌ای بوده که برای اجرایی شدن آن، می‌بایست ارتباطی بین رشته‌های مختلف نظیر برق، عمران و... شکل بگیرد که این ارتباط به صورت سیستماتیک در کشور وجود ندارد.
مشکلات پیش‌رو تامین منابع در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	از لحاظ بحث تامین منابع در کشور در این حوزه مشکلی وجود نداشته و در صورت توجه دولت به این حوزه و تغییر نگرش مدیران مشکل خاصی از لحاظ تامین منابع در کشور وجود نخواهد داشت.
مشکلات پیش‌رو برای جهت‌دهی به سیستم در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	مشکل اصلی عدم اجرایی شدن و توسعه پایش سلامت سازه در کشور، عدم درک اهمیت این حوزه در بین مدیران و دولتمردان می‌باشد. در کشور بحث پایش سلامت تعریف نشده است. آنچه برای مدیران به عنوان ارزش محسوب می‌شود، ساخت سازه یا تجهیزات می‌باشد. مواردی که از جنس برنامه‌ریزی و تعمیرات نگهداری باشد، برای برخی مدیران فقط از جنس هزینه بوده و تمایلی به سرمایه‌گذاری در این موارد ندارند، تا زمانیکه رویکرد مدیران به این شکل باشد، نمی‌توان انتظار داشت دانش پایش سلامت سازه در کشور اجرایی گردد. در واقع دانش در کشور وجود دارد ولی نیاز احساس نشده که این دانش در صنعت اجرایی گردد. حتی در صورت وجود دست‌و‌عالم‌هایی برای نگهداری سازه‌های صنعت برق، تا زمانی که یک متولی وجود نداشته باشد که پیگیری‌های لازم در این حوزه را انجام دهد، نمی‌توان انتظار داشت که پایش سلامت سازه در صنعت برق عملیاتی گردد. بنابراین اولین گام برای حل مشکلات پایش سلامت سازه، تغییر نگرش

سوال	نظر خبره
	و فرهنگ مدیران و تعیین متولی در صنعت برق برای بحث پایش سلامت سازه‌های صنعت برق می‌باشد.

جدول ۳-۱۲ - چالش‌ها و موانع توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق از نظر مهندس میزاد

سوال	نظر خبره
مشکلات پیش‌رو برای خلق و توسعه دانش در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	در دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی از نظر تولید دانش پایش سلامت سازه مشکلی وجود نداشته و در صورت نیاز، امکان تولید دانش در این زمینه وجود دارد.
مشکلات پیش‌رو برای انتشار دانش در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	کنفرانس‌ها و سمینارهای متعددی در صنعت برق وجود دارد که می‌توان از ظرفیت آنها برای ارائه دانش پایش سلامت سازه استفاده کرد.
مشکلات پیش‌رو تامین منابع در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	در بحث پایش سلامت سازه‌ها بودجه خاصی در کشور تعریف نشده و به علت عدم آشنایی با آسیب‌های سازه‌ای در نیروگاه‌ها تا کنون به بررسی آسیب‌های سازه‌ای در نیروگاه‌ها پرداخته نشده است.
مشکلات پیش‌رو برای جهت‌دهی به سیستم در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	متولی خاصی در کشور جهت توسعه فناوری پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق وجود ندارد.

جدول ۳-۱۳ - چالش‌ها و موانع توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق از نظر

مهندس دوستی مهر

سوال	نظر خبره
مشکلات پیش‌رو برای خلق و توسعه دانش در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	به علت آسیب‌های متعددی که در سازه‌های صنعت برق بالاخص سازه‌های مربوط به خطوط انتقال در کشور رخ می‌دهد، ضرورت توسعه دانش پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق به شدت احساس می‌شود که خوشبختانه در کشور از نظر تولید دانش پایش سلامت در دانشگاه‌ها مشکلی احساس نمی‌شود.
مشکلات پیش‌رو برای انتشار دانش در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	سمینارهایی در داخل کشور در صنعت برق برگزار می‌گردد که می‌توان از ظرفیت این سمینارها در انتشار دانش پایش سلامت استفاده کرد.
مشکلات پیش‌رو تامین منابع در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	به علت دولتی بودن سازه‌های صنعت برق و هزینه بالای بکارگیری سیستم پایش سلامت باید برای پیاده‌سازی آن حمایت از سوی دولت صورت گیرد.
مشکلات پیش‌رو برای جهت‌دهی به سیستم در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق چیست؟	نبود مرکزی جهت هماهنگی فعالیت‌های پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق، موجب موازی‌کاری می‌شود.



همان‌طور که در نظرات متخصصان فوق‌الذکر مشخص است، چالش‌های فراوانی به منظور توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در حوزه‌های مختلف خلق و توسعه دانش، انتشار دانش، جهت‌دهی به سیستم و تأمین منابع وجود دارد و لازمه توسعه این فناوری نگاه همه‌جانبه به این چالش‌ها و اتخاذ سیاست‌هایی مناسب جهت رفع این چالش‌ها است. در جداول ۳-۱۴ تا ۳-۱۷ با توجه به نظرات هر یک از خبرگان، چالش‌های توسعه فناوری پایش سلامت از نظر وجود و کیفیت بازیگران، قوانین، تعاملات و زیرساخت‌ها در هر یک از کارکردهای اشاره شده نظام نوآوری فناورانه شناسایی شده است.

جدول ۳-۱۴ - چالش‌ها و موانع توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در کارکرد خلق و توسعه دانش

زیرساخت‌ها	تعاملات	قوانین و مقررات و استانداردها	بازیگران	کارکرد خلق و توسعه دانش
عدم وجود پایگاه اطلاعاتی جامع از آخرین دستاوردهای کشور در حوزه پایش سلامت سازه‌ها برای عموم محققین، مسئولین و سیاست‌گذاران	عدم وجود مکانیزم ارتباطی جهت استفاده از تحقیقات و دانش تولید شده توسط محققین مختلف در حوزه پایش سلامت سازه‌ها	عدم حمایت دولت از تعریف پروژه‌های تحقیقاتی در حوزه پایش سلامت سازه	ناکافی بودن تحقیقات صورت گرفته در پایش سلامت سازه‌ها در کشور به علت جدید بودن این مبحث در کشور	
	مکانیزم ناکارآمد تبادل دانش مرتبط با پایش سلامت سازه بین صنعت برق با صنایع دیگر		تعداد محدود کارهای پژوهشی در حوزه پایش سلامت دکل‌ها در ایران و دنیا	
عدم وجود بانک اطلاعاتی از تخصص و سوابق افراد فعال در حوزه پایش سلامت سازه	ضعیف بودن ارتباطات بین دانشگاه‌های مختلف با یکدیگر در حوزه پایش سلامت سازه‌ها در صنعت برق		عدم وجود شرکت‌های دانش‌بنیان در زمینه پایش سلامت سازه	
زنجیره نبودن پایان‌نامه‌ها و کارهای تحقیقاتی در حوزه پایش سلامت سازه در ایران	عدم وجود مکانیزم ارتباطی در بهره‌گیری از دانش پایش سلامت سازه در دانشگاه‌های دنیا			
عدم استفاده از نتایج طرح‌های پیشین انجام گرفته در زمینه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق و فراوموش شدن آنها	شکاف بین ایران و کشورهای پیش‌رو در دانش عملیاتی شده پایش سلامت			

جدول ۳-۱۵ - چالش‌ها و موانع توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در کارکرد انتشار دانش

زیرساخت‌ها	تعاملات	قوانین و مقررات و استانداردها	بازیگران	
عدم وجود سمینار، کنفرانس تخصصی در زمینه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق			ارتباط ضعیف بین دانشگاه و صنعت و عملیاتی نشدن پایش سلامت سازه‌ها در صنعت (به علت عدم آشنایی با مزایای بکارگیری پایش سلامت سازه در صنعت و همچنین هزینه اولیه بالای بکارگیری این سیستم)	کارکرد انتشار دانش

جدول ۳-۱۶ - چالش‌ها و موانع توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در کارکرد جهت‌دهی به سیستم

زیرساخت‌ها	تعاملات	قوانین و مقررات و استانداردها	بازیگران	
عدم اجرایی شدن برخی طرح‌های تحقیقاتی که تا کنون در زمینه پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق تعریف شده به دلایل مختلف از جمله تغییر مدیران		عدم وجود قوانین و دستورالعمل جهت الزام در بکارگیری پایش سلامت سازه‌ها (به علت دولتی بودن تاسیسات صنعت برق که نیاز به پایش سلامت دارند، الزام باید از سوی دولت ایجاد شود)	نبود مرجعی به عنوان مغز متفکر که به پیگیری و شناسایی مشکلات موجود و تصمیم‌گیری منسجم برای رفع آنها بپردازد و از اختیارات کافی برخوردار باشد عدم آشنایی مدیران صنعت برق با مزایای بکارگیری پایش سلامت سازه‌ها توجه وزارت نیرو به حل مسائل روزمره به جای سرمایه‌گذاری برای آینده (به علت کمبود بودجه)	کارکرد جهت‌دهی به سیستم



زیرساخت‌ها	تعاملات	قوانین و مقررات و استانداردها	بازیگران
			عدم وجود فرهنگ هزینه کردن برای پیشگیری از آسیب

جدول ۳-۱۷- چالش‌ها و موانع توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در کارکرد تامین منابع

زیرساخت‌ها	تعاملات	قوانین و مقررات و استانداردها	بازیگران	کارکرد تامین منابع
عدم وجود اطلاعات آماری از آسیب‌های جانی و مالی ناشی از خرابی سازه‌ها	ضعف ارتباط بین رشته‌ای در پایش سلامت سازه‌های برق (عمران، برق و مکانیک)		عدم انسجام در تربیت نیروی انسانی در کشور	
مشکل در تامین برخی تجهیزات مورد نیاز در پایش سلامت سازه‌ها به علت تحریم			عدم تربیت نیروی انسانی آشنا به سازه‌های خاص در دانشگاه‌ها	
عدم توانایی کشور در تولید سنسورهای با دقت و سرعت بالا			عدم توجه دانشگاه‌ها به تربیت دانشجو در حوزه پایش سلامت سازه	
عدم تولید نرم‌افزارهای تخصصی مربوط به پایش سلامت سازه‌ها در کشور			کمبود متخصص سازه و عمران در حوزه‌های مختلف صنعت برق (تولید، انتقال و توزیع)	
عدم وجود آزمایشگاه در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق			ضعف در دانش بکارگیری و استفاده از سخت‌افزار مربوط به پایش سلامت	

۳-۲- فرایند تدوین اقدامات فنی

فرایند تدوین این اقدامات، به این شرح است که راهبردهای تهیه شده در مرحله‌ی سوم پروژه در جلسه‌ی کمیته‌ی راهبری مورد بررسی قرار می‌گیرد. در مرحله بعد با توجه به تاسیسات اصلی که بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه در آنها دارای اولویت شناخته شده است، اقدامات فنی تدوین می‌گردد. اقدامات تدوین شده در جلسه‌ای برای اعضای کمیته راهبری ارائه شده و در نهایت اقدامات با توجه به نظر اعضا نهایی می‌گردد.

۴- سیاست‌ها و اقدامات مورد نیاز برای توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت

برق

همان طور که در شکل ۳-۱ نشان داده شده است، سیاست‌ها و اقدامات مدیریتی مورد نیاز بر اساس فهرست چالش‌ها و موانع شناسایی شده در مرحله قبلی پیشنهاد می‌شود. این سیاست‌ها و اقدامات همان طور که پیش از این اشاره شد بر اساس چالش‌ها و موانع شناخته شده در چهار کارکرد نظام نوآوری فناورانه پیشنهاد می‌شوند. در ادامه، با توجه به اینکه برخی از سیاست‌های توسعه فناوری بسیار کلی می‌باشند، برخی از آنها به اقدامات لازم در جهت نیل به این سیاست‌های کلی تبدیل شده‌اند که در ادامه این اقدامات و سیاست‌ها مورد توجه قرار گرفته است. بعلاوه، اقدامات فنی اقداماتی هستند که ذیل دو دسته چالش‌های مختص فناوری در کارکرد توسعه دانش یعنی «انتقال فناوری» و «توسعه درون‌زا» تعریف شده و بنابراین از راهبردهای تهیه شده در فاز ۳ ورودی می‌گیرند. در ادامه فهرست این اقدامات نیز ارائه شده است.

۴-۱- سیاست‌ها و اقدامات غیر فنی

جهت تدوین اقدامات غیر فنی همان طور که اشاره شد، کلیه موانع و چالش‌های مورد نظر خبرگان و متخصصان استخراج شد و پس از پالایش و حذف موارد تکراری، فهرست نهایی چالش‌ها تهیه شد. در ادامه چالش‌های شناسایی شده و سیاست‌ها و اقدامات منتج شده از این چالش‌ها در جداول ۴-۱ تا ۴-۳ آمده است. این اقدامات در جلسه‌ای برای اعضای کمیته راهبری ارائه شده و نظرات اعضا در آنها اعمال شده و در نهایت اقداماتی که مورد تایید اعضای کمیته راهبری قرار دارد، ارائه گردیده است. اقدامات غیر فنی را می‌توان در دودسته اصلی اقدامات مدیریتی و اقدامات زیرساختی دسته‌بندی نمود. در ادامه سیاست‌ها و اقدامات غیر فنی نهایی با توجه به دو دسته‌بندی ذکر شده ارائه شده است.

جدول ۴-۱- چالش‌ها، سیاست‌ها و اقدامات زیرساختی رفع چالش‌های کارکرد توسعه و انتشار دانش

سیاست‌ها و اقدامات زیرساختی	چالش‌ها
حمایت از تعریف پایان‌نامه‌ها و طرح‌های پژوهشی کاربردی در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق	ناکافی بودن تحقیقات صورت گرفته در پایش سلامت سازه‌ها در کشور به علت جدید بودن این مبحث در کشور
	تعداد محدود کارهای پژوهشی در حوزه پایش سلامت دکل‌ها در ایران و دنیا
	عدم حمایت دولت از تعریف پروژه‌های تحقیقاتی در حوزه پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق
	عدم وجود شرکت‌های دانش‌بنیان در زمینه پایش سلامت سازه
تعریف پروژه‌های مشترک بین صنعت برق و دانشگاه‌های فعال در حوزه پایش سلامت سازه	ارتباط ضعیف بین دانشگاه و صنعت و عملیاتی نشدن پایش سلامت سازه‌ها در صنعت برق
ایجاد مکانیزم ارتباطی جهت بهره‌گیری از دانش پایش سلامت سازه در سایر صنایع	مکانیزم ناکارآمد تبادل دانش مرتبط با پایش سلامت سازه بین صنعت برق با صنایع دیگر
استفاده کارآمد از ظرفیت‌های ارتباطی موجود (سمینار، همایش، انجمن و ...) در سایر حوزه‌های مرتبط	عدم وجود سمینار، کنفرانس تخصصی در زمینه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق
ایجاد مکانیزم ارتباطی جهت بهره‌گیری از دانش پایش سلامت سازه در دانشگاه‌ها و شرکت‌های پیشرو در این حوزه در جهان	عدم وجود مکانیزم ارتباطی در بهره‌گیری از دانش پایش سلامت سازه در دانشگاه‌های دنیا
	شکاف بین ایران و کشورهای پیشرو در دانش عملیاتی شده پایش سلامت سازه
ایجاد بانک اطلاعاتی محققین و دستاوردهای دانشی در حوزه پایش سلامت سازه‌ها	عدم وجود پایگاه اطلاعاتی جامع از آخرین دستاوردهای کشور در حوزه پایش سلامت سازه‌ها برای عموم محققین، مسئولین و سیاست‌گذاران
	عدم استفاده از نتایج طرح‌های پیشین انجام گرفته در زمینه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق و فراوموش شدن آنها
	عدم وجود بانک اطلاعاتی از تخصص و سوابق افراد فعال در حوزه پایش سلامت سازه
	زنجیره نبودن پایان‌نامه‌ها و کارهای تحقیقاتی در حوزه پایش سلامت سازه در ایران
	عدم وجود مکانیزم ارتباطی جهت استفاده از تحقیقات و دانش تولید شده توسط محققین مختلف در حوزه پایش سلامت سازه‌ها
	ضعیف بودن ارتباطات بین دانشگاه‌های مختلف با یکدیگر در حوزه پایش سلامت سازه‌ها در صنعت برق

جدول ۴-۲- چالش‌ها، سیاست‌ها و اقدامات مدیریتی رفع چالش‌های کارکرد جهت‌دهی به سیستم

سیاست‌ها و اقدامات مدیریتی	چالش
تشکیل مرکز توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق جهت نظارت بر فعالیت‌ها، هماهنگی و جهت‌دهی به اقدامات سند در راستای تحقق اهداف و کاربردی شدن نتایج پروژه‌ها در صنعت برق	نبود مرجعی به عنوان مغز متفکر که به پیگیری و شناسایی مشکلات موجود و تصمیم‌گیری منسجم برای رفع آنها بپردازد و از اختیارات کافی برخوردار باشد
تدوین قوانین و دستورالعمل جهت ایجاد الزام در تاسیسات اصلی صنعت برق به بکارگیری فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق	عدم وجود قوانین و دستورالعمل جهت الزام در بکارگیری پایش سلامت سازه‌ها (به علت دولتی بودن تاسیسات صنعت برق که نیاز به پایش سلامت دارند، الزام باید از سوی دولت ایجاد شود)
<ul style="list-style-type: none"> آگاه‌سازی مدیران صنعت برق از مزایای بکارگیری پایش سلامت سازه در صنعت برق از طریق برگزاری سمینارها و همایش‌های تخصصی رایزنی جهت در نظر گرفتن شاخص اجرایی کردن دستورالعمل‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق، در ارزیابی عملکرد مدیران تاسیسات مختلف صنعت برق 	<p>عدم آشنایی مدیران صنعت برق با مزایای بکارگیری پایش سلامت سازه‌ها</p> <p>عدم وجود فرهنگ هزینه کردن برای پیشگیری از آسیب در بین مدیران</p>
رایزنی با مدیران وزارت نیرو جهت اولویت‌دهی به پایش سلامت سازه‌های صنعت برق در برنامه ریزی‌های کلان صنعت برق	توجه وزارت نیرو به حل مسائل روزمره به جای سرمایه‌گذاری برای آینده (پایش سلامت نیز چون در دراز مدت اثر خود را نشان می‌دهد لذا مورد توجه مدیران وزارت نیرو قرار ندارد)
چالش محیطی	عدم اجرایی شدن برخی طرح‌های تحقیقاتی که تا کنون در زمینه پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق تعریف شده به دلایل مختلف از جمله تغییر مدیران

جدول ۴-۳- چالش‌ها، سیاست‌ها و اقدامات زیرساختی رفع چالش‌های کارکرد تامین منابع

سیاست‌ها و اقدامات زیرساختی	چالش
برگزاری دوره‌های ضمن خدمت برای مهندسين عمران شاغل در بخش‌های مختلف در صنعت برق، جهت آشنایی با سازه‌های صنعت برق	عدم انسجام در تربیت نیروی انسانی در کشور
	عدم تربیت نیروی انسانی آشنا به سازه‌های خاص در دانشگاه‌ها
	کمبود متخصص سازه و عمران در حوزه‌های مختلف صنعت برق (تولید، انتقال و توزیع)
ارائه واحدهای درسی (اختیاری) میان رشته‌ای پایش سلامت سازه در دانشگاه‌ها	عدم توجه دانشگاه‌ها به تربیت دانشجو در حوزه پایش سلامت سازه
	ضعف ارتباط بین رشته‌ای در پایش سلامت سازه‌های برق (عمران، برق و مکانیک)
شناسایی و حمایت از تامین سخت‌افزار و نرم‌افزار مورد نیاز پایش سلامت سازه‌های صنعت برق	مشکل در تامین برخی تجهیزات مورد نیاز در پایش سلامت سازه‌ها به علت تحریم
	عدم توانایی کشور در تولید سنسورهای با دقت و سرعت بالا
	عدم تولید نرم‌افزارهای تخصصی مربوط به پایش سلامت سازه‌ها در کشور
ایجاد بانک اطلاعاتی آسیب‌های سازه‌ای در شبکه برق (تولید، انتقال و توزیع)	عدم وجود اطلاعات آماری از آسیب‌های جانی و مالی ناشی از خرابی سازه‌ها
	برگزاری دوره‌های آموزشی جهت آشنایی با نحوه بکارگیری سخت‌افزار مربوط به پایش سلامت سازه‌ها (تربیت اپراتور و تکنسین‌های پایش سلامت سازه)
امکان‌سنجی بکارگیری آزمایشگاه‌های موجود و نیازسنجی احداث آزمایشگاه	عدم وجود آزمایشگاه در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

۴-۲- اقدامات فنی

همان‌طور که اشاره شد، اقدامات فنی با توجه به راهبرد نهایی شده در فاز سوم که عبارت است دستیابی به دانش فنی پایش سلامت در نیروگاه بخاری، نیروگاه چرخه ترکیبی، نیروگاه گازی، خطوط انتقال، پست‌های انتقال، خطوط فوق توزیع، پست‌های فوق توزیع، خطوط توزیع، پست‌های توزیع و نیروگاه بادی ارائه شده‌اند.

۱- شناسایی انواع روش‌های پایش سلامت سازه در دنیا

۲- اولویت‌بندی اجرای پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

۳- تدوین دانش فنی پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های موجود و جدید بخش تولید به شرح زیر:

۳-۱- تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه برج خنک کننده

۳-۲- تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه یا فونداسیون نگهدارنده تجهیزات اصلی (توربین، ژنراتور، ترانس‌های اصلی و ...)

۳-۳- تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه نگهدارنده بویلر و کوره

۳-۴- تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه نگهدارنده دودکش

۳-۵- تدوین دانش فنی پایش سلامت در سیستم لوله‌ها (پایپینگ) و اتصالات آنها

۳-۶- تدوین دانش فنی پایش سلامت در پره توربین بادی

۳-۷- تدوین دانش فنی پایش سلامت در مخازن ذخیره سوخت و مخزن آب خام

۳-۸- تدوین دانش فنی پایش سلامت در برج و فونداسیون توربین بادی

۳-۹- تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه‌های ساختمانی نیروگاه‌ها (ساختمان کنترل اصلی و ساختمان‌های حاوی تجهیزات اصلی و مهم نیروگاه)

۳-۱۰- بازیابی و به‌روز رسانی استانداردهای سازه‌های بخش تولید

۴- تدوین دانش فنی پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های موجود و جدید بخش انتقال به شرح زیر:

۴-۱- تدوین دانش فنی پایش سلامت در دکل‌ها و فونداسیون انتقال برق

۴-۲- تدوین دانش فنی پایش سلامت در مقره‌ها

۴-۳- تدوین دانش فنی پایش سلامت در اجزای غیرسازه‌ای پست‌ها (مقره، بوشینگ و ...)

۴-۴- تدوین دانش فنی پایش سلامت در هادی‌های انتقال

۴-۵- تدوین دانش فنی پایش سلامت در گنتری پست‌ها

۴-۶- تدوین دانش فنی پایش سلامت در گالری‌های بتنی و منهول‌ها در خطوط انتقال زمینی

۴-۷- تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات پست‌ها

۴-۸- تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه‌های ساختمانی پست‌ها (ساختمان کنترل و ...)

۴-۹- بازیابی و به‌روز رسانی استانداردهای سازه‌های بخش انتقال

۵- دانش فنی پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های موجود و جدید بخش توزیع به شرح زیر:

۵-۱- تدوین دانش فنی پایش سلامت در پست‌های هوایی توزیع

۵-۲- تدوین دانش فنی پایش سلامت در پایه‌های توزیع برق

۵-۳- تدوین دانش فنی پایش سلامت در پست‌های زمینی و زیرزمینی توزیع

۵-۴- بازبینی و به‌روز رسانی استانداردهای سازه‌های بخش توزیع

۶- اجرا و راه‌اندازی سیستم پایش سلامت در سازه‌های اولویت‌دار صنعت برق در کشور

شایان ذکر است که بخشهایی از دانش فنی پایش سلامت در برخی از سازه‌ها مشترک و مشابه می‌باشند. به عبارت دیگر بخشهایی از دانش فنی و نرم افزارهای تدوین شده برای پایش سلامت یک سازه، در برخی از سازه‌های دیگر نیز قابل استفاده بوده و نیازی به تولید مجدد آنها نیست. بر این اساس، در اختصاص زمان و بودجه برای پروژه‌های مربوط به اقدامات تدوین دانش فنی (اقدامات ۳ و ۴ و ۵) که در مرحله پنجم ارائه شده است، تأثیر وجود بخشهای مشترک دانش فنی میان سازه‌های مورد نظر، تا حد امکان لحاظ شده است.

همچنین مرکز توسعه پایش سلامت باید در تدوین شرح خدمات پروژه‌های مربوط به اقدامات تدوین دانش فنی هنگام اجرای طرح در آینده، با توجه به دید و دانش حاصل از اقدام فنی شماره ۱، بخشهای مشترک دانش فنی در سازه‌های مختلف را مشخص نموده و مورد نظر قرار دهد تا از تعریف شرح خدمات مشترک و انجام فعالیتهای تکراری و غیرضروری در پروژه‌ها جلوگیری گردد.

۵- منابع

[۱]. «روش‌شناسی تدوین اسناد راهبردی توسعه فناوری‌های صنعت برق - راهنمای شماره ۱، ویرایش دوم»، پژوهشگاه نیرو،

آذر ۱۳۹۲

[2]. Carlsson, B. and Stankiewicz, R., *Evolutionary Economics*, pp. 93–118, 1991.

[3]. Bergek, A., Jacobsson, S., Carlsson, B., Lindmark, S., and Rickne, A., “Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis,” *Research policy*, vol. 37, no. 3, pp. 407–429, 2008.

[4]. North, D. C., *Institutions, institutional change and economic performance*. Cambridge university press, 1990.

[5]. Schot, J., “Towards new forms of participatory technology development,” *Technology Analysis & Strategic Management*, vol. 13, no. 1, pp. 39–52, 2001.

[6]. Dosi, G., “Sources, procedures, and microeconomic effects of innovation,” *Journal of economic literature*, pp. 1120–1171, 1988

فهرست مطالب

۱	مقدمه.....	۱-۱
۱	فرایند تدوین پروژه‌های اجرایی.....	۱-۲
۲	شکستن اقدامات به پروژه‌های اجرایی.....	۱-۲-۱
۴	مبنای شکستن اقدامات.....	۱-۲-۱-۱
۵	ابزارهای شکستن اقدامات.....	۱-۲-۱-۲
۸	بازنگری نهایی و انتخاب پروژه‌های اجرایی.....	۱-۲-۳
۸	فهرست پروژه‌های اجرایی توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق.....	۱-۲-۲
۱۹	تخصیص منابع.....	۳-۱
۳۶	تقسیم کار ملی (نگاشت‌نهادی مطلوب).....	۴-۱
۳۶	نگاشت نهادی.....	۴-۱-۱
۳۷	انواع نقش‌ها در نگاشت نهادی.....	۴-۱-۱-۱
۴۰	مراحل طراحی نگاشت نهادی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق.....	۴-۱-۲
۴۴	تحلیل نگاشت نهادی.....	۴-۱-۳
۴۵	تخصیص متولیان اقدامات.....	۴-۲
۵۷	ترسیم ره‌نگاشت.....	۵-۱
۶۶	پیوست ۱: شناسنامه اقدامات غیر فنی سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق.....	
۸۴	پیوست ۲: شناسنامه اقدامات فنی سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق.....	
	پیوست ۳: معرفی اجمالی نهادهای مرتبط با نگاشت نهادی توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق.....	
۱۱۳	برق.....	



ب

سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه راهکارهای کاهش آنها

ویرایش اول، مهر ۱۳۹۴

فاز ۵: برنامه تحلیلی و تهیه رهنماشت

۶- منابع و مراجع ۱۲۶



فهرست اشکال

- شکل (۱-۱): فرایند تدوین برنامه عملیاتی ۲
- شکل (۲-۱): نحوه شکستن اقدام X ۳
- شکل (۱-۵): رهنما توسعه نظام نوآوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۶۰
- شکل (۲-۵): رهنما توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۶۱
- شکل (۳-۵): رهنما زیراقدامهای اقدام تدوین دانش فنی پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های موجود و جدید بخش تولید، انتقال و توزیع ۶۲
- شکل (۴-۵): رهنما اقدام شناسایی انواع روش‌های پایش سلامت سازه در دنیا ۶۳
- شکل (۵-۵): رهنما اقدام اولویت‌بندی اجرای پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۶۴
- شکل (۶-۵): رهنما اقدام تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در برج خنک کننده ۶۵



فهرست جداول

- جدول (۱-۲): پروژه‌های مربوط به اقدام شناسایی انواع روش‌های پایش سلامت سازه در دنیا ۹
- جدول (۲-۲): پروژه‌های مربوط به اقدامات تدوین دانش فنی پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های موجود و جدید بخش تولید ۹
- جدول (۳-۲): پروژه‌های مربوط به اقدامات تدوین دانش فنی پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های موجود و جدید بخش انتقال و فوق توزیع ۱۳
- جدول (۴-۲): پروژه‌های مربوط به اقدامات تدوین دانش فنی پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های موجود و جدید بخش توزیع ۱۷
- جدول (۵-۲): پروژه‌های مربوط به اقدام اولویت‌بندی اجرای پایش سلامت در سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق ۱۸
- جدول (۶-۲): پروژه‌های مربوط به اقدام اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سامانه‌ها و سازه‌های اولویت‌دار صنعت برق در کشور ۱۸
- جدول (۱-۳): زمان‌بندی اقدامات غیر فنی توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۲۰
- جدول (۲-۳): زمان‌بندی پروژه‌های مربوط به اقدام شناسایی انواع روش‌های پایش سلامت سازه در دنیا ۲۱
- جدول (۳-۳): زمان‌بندی پروژه‌های مربوط به اقدامات تدوین دانش فنی پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های موجود و جدید بخش تولید ۲۲
- جدول (۴-۳): زمان‌بندی پروژه‌های مربوط به اقدامات تدوین دانش فنی پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های موجود و جدید بخش انتقال ۲۸
- جدول (۵-۳): زمان‌بندی پروژه‌های مربوط به اقدامات تدوین دانش فنی پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های موجود و جدید بخش توزیع ۳۲
- جدول (۶-۳): زمان‌بندی پروژه‌های مربوط به اقدام اولویت‌بندی اجرای پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۳۴
- جدول (۷-۳): زمان‌بندی پروژه‌های مربوط به اقدام اجرا و راه‌اندازی سیستم پایش سلامت در سازه‌های اولویت‌دار صنعت برق در کشور ۳۵



- جدول (۱-۴): نگاشت نهادی توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۴۳
- جدول (۲-۴): متولیان اقدامات غیر فنی توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۴۶
- جدول (۳-۴): متولیان پروژه‌های مربوط به اقدام شناسایی انواع روش‌های پایش سلامت سازه در دنیا ۴۷
- جدول (۴-۴): متولیان پروژه‌های مربوط به اقدامات تدوین دانش فنی پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های موجود و جدید بخش تولید ۴۷
- جدول (۵-۴): متولیان پروژه‌های مربوط به اقدامات تدوین دانش فنی پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های موجود و جدید بخش انتقال ۵۱
- جدول (۶-۴): متولیان پروژه‌های مربوط به اقدامات تدوین دانش فنی پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های موجود و جدید بخش توزیع ۵۴
- جدول (۷-۴): متولیان پروژه‌های مربوط به اقدام اولویت‌بندی اجرای پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۵۵
- جدول (۸-۴): متولیان پروژه‌های مربوط به اقدام اجرا و راه‌اندازی سیستم پایش سلامت در سازه‌های اولویت‌دار صنعت برق در کشور ۵۶

۱- مقدمه

در این بخش از سند با عنوان «تدوین رهنما و برنامه عملیاتی» با ارائه مدلی از گام‌های لازم جهت تکمیل فرایند برنامه عملیاتی و همچنین ابزارهای هرگام می‌پردازیم که در نهایت منجر به دستیابی به برنامه عملیاتی و رهنما^۱ در راستای چشم‌انداز سند خواهد شد. در مراحل ۳ و ۴ این پروژه ارکان جهت‌ساز (شامل چشم‌انداز، اهداف و راهبردهای توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق) و نیز اقدامات لازم برای تحقق آن تدوین شد.

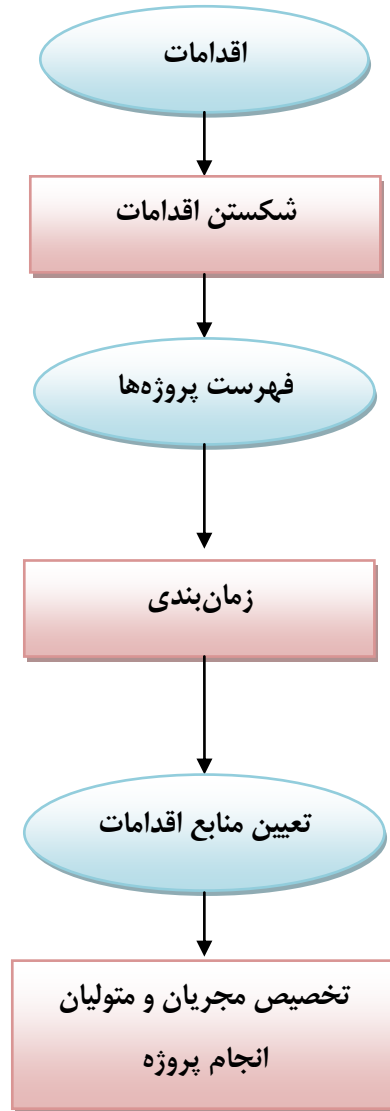
ساختار این گزارش به این صورت است. در ابتدا نحوه تقسیم اقدامات تدوین شده در مرحله ۴ به پروژه‌های اجرایی توضیح داده می‌شود و سپس فهرست پروژه‌های تعیین شده ارائه می‌گردد. در گام بعدی زمان لازم برای تکمیل پروژه‌ها مشخص می‌شود. در ادامه متولیان و مجریان انجام پروژه‌ها بر اساس نگاهت نهادی مشخص شده تعیین می‌گردد. در نهایت، نقشه راه (رهنما) مربوط به توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق بر اساس اقدامات تعیین شده ترسیم می‌شود.

۲- فرایند تدوین پروژه‌های اجرایی

در این بخش فرایند تدوین پروژه‌های اجرایی سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق توضیح داده می‌شود و در نهایت فهرست پروژه‌ها ارائه می‌شود. همان‌طور که اشاره شد، لازم است اقدامات تعیین شده در فاز ۴، به پروژه‌های اجرایی شکسته شود. در واقع در این بخش باید مشخص گردد که چه پروژه یا مجموعه پروژه‌هایی باید در سالیان مختلف اجرا گردد تا در صورت اجرای این پروژه‌ها بتوان اطمینان حاصل کرد که اقدامات، راهبردها، اهداف و در نهایت چشم‌انداز توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق محقق شده است. فرایند تدوین برنامه عملیاتی در شکل (۱-۱) نشان داده شده است. مطابق این شکل، ابتدا اقدامات شناسایی شده در مرحله ۴ بر اساس معیارهایی شکسته می‌شوند و فهرست پروژه‌ها استخراج می‌شود. سپس زمان مورد نیاز برای انجام هر یک از پروژه‌ها مشخص می‌شود و از این طریق منابع

^۱ - Road Map

لازم برای تحقق اقدامات تعیین می‌گردد. در نهایت با شناسایی نهادهای مرتبط در محیط داخلی و بیرونی و نقش آن‌ها، متولی و مجری انجام پروژه‌ها شناسایی می‌شود.

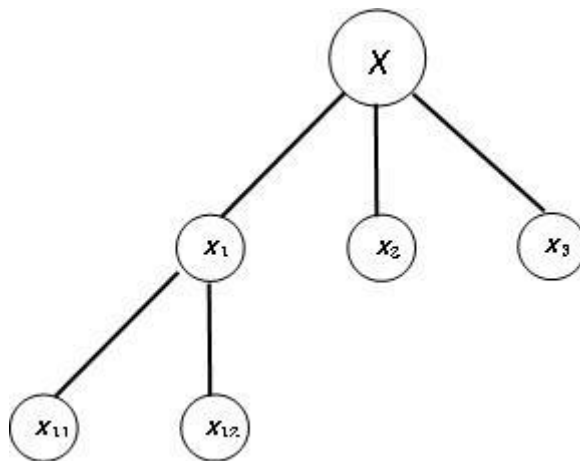


شکل (۱-۱): فرایند تدوین برنامه عملیاتی

۱-۲ - شکستن اقدامات به پروژه‌های اجرایی

مجموعه پروژه‌های اجرایی که از شکستن اقدامات به دست می‌آید، می‌بایست به نحوی جامع باشد که انجام صحیح آن‌ها منجر به تحقق اقدام مورد نظر شود و از همین‌رو در تعریف پروژه‌ها می‌باید جنبه‌های مختلف اقدام مورد توجه قرار گیرد. نکته

حائز اهمیت دیگر میزان شکسته شدن اقدامات می‌باشد. همان‌گونه که یک اقدام می‌تواند به مجموعه‌ای از پروژه‌ها شکسته شود، هر پروژه نیز قابل شکسته شدن به مجموعه‌ای از فعالیت‌ها می‌باشد و این روند را در مورد فعالیت‌ها نیز می‌توان ادامه داد. این مفهوم را می‌توان به صورت ملموس‌تری در شکل (۲-۱) مشاهده نمود که در آن اقدام X به سه پروژه و پروژه شماره ۱ به دو فعالیت شکسته شده است. حال می‌توان مجموعه کل پروژه‌هایی که برای انجام اقدام X اجرا شود را به دو صورت $X \equiv \{x_1, x_2, x_3\}$ و $X \equiv \{x_{11}, x_{12}, x_2, x_3\}$ ارائه نمود که تفاوت این دو در تعداد سطوح شکسته شدن اقدام می‌باشد. بنابراین لازم است معیارهای مناسبی برای تعیین تعداد سطح شکسته شدن اقدامات تعیین گردد [1]



شکل (۲-۱): نحوه شکستن اقدام X

در این بررسی دو معیار به شرح زیر مبنای عمل قرار می‌گیرد [1]:

الف) میزان منابع لازم برای انجام پروژه اجرایی قابل تخمین باشد. به عبارتی در سطح خاصی می‌توان برآورد مناسبی از میزان منابع مورد نیاز ارائه نمود^۱.

^۱ توضیحات بیشتر در مورد اقسام منابع در قسمت‌های آتی بیان خواهد شد.



ب) هر پروژه اجرایی در اندازه‌ای باشد که بتوان آن را به یک مجری محول نمود. به عبارتی اگر پروژه اجرایی به اندازه کافی جزء نشده باشد، به طوری که گستردگی ابعاد مختلف آن امکان اختصاص آن را به یک مجری سلب نماید، می‌باید پروژه اجرایی مربوط به فعالیت‌های دیگری شکسته شود تا تخصیص آن به مجری واحد امکان‌پذیر گردد. ساختار کلی شکستن اقدامات به پروژه‌های اجرایی مشابه WBS^۱ می‌باشد که در بحث مدیریت پروژه تاکنون تحقیقات فراوانی در مورد آن صورت پذیرفته است.

نکته دیگر حصول اطمینان از جامعیت پروژه‌های اجرایی در راستای تحقق اقدامات می‌باشد. تاکنون الگوریتمی که تضمین نماید مجموعه پروژه‌های اجرایی منتخب برای تحقق اقدام کفایت می‌نماید ارائه نشده است. تنها با بهره‌گیری از قضاوت خبرگان، استفاده از تجارب پیشین و در صورت امکان به‌کارگیری ابزارهایی چون شبیه‌سازی می‌توان امیدوار بود مجموعه پروژه‌های اجرایی شرایط کافی برای حصول اقدامات را فراهم سازند.

۲-۱-۱- مبنای شکستن اقدامات

یکی از مسائل کلیدی دیگر در فرآیند شکستن اقدامات به پروژه‌های اجرایی، تعیین مبنایی است که بر اساس آن اقدامات شکسته شوند. به عنوان نمونه اقدامی مثالی با عنوان تأسیس آزادراه را در نظر بگیرید. این اقدام می‌تواند بر دو مبنای جغرافیایی^۲ (راه‌سازی کوهستانی، بیابانی و جنگلی) و عملکردی^۳ (زیرسازی راه، روسازی و اسفالت، حفاظت حاشیه راه و ...) به پروژه‌های اجرایی زیرمجموعه خود شکسته شود. این که کدام مبنای برای شکستن اقدامات مورد توجه قرارگیرد بر اساس عوامل مختلفی تعیین می‌شود که در ادامه به مهم‌ترین آن‌ها اشاره می‌شود [1].

الف) ساختار و فرهنگ حاکم: اگر در ساختار موجود کشور تقسیم‌بندی ویژه و یا هنجارهای پذیرفته شده اثرگذاری وجود داشته باشد، می‌تواند مبنای شکستن پروژه‌های اجرایی را جهت‌دهی نماید. به عنوان نمونه در مورد مثال فوق اگر سیستم راه‌سازی کشور بر اساس مناطق جغرافیایی در بخش‌های راه‌سازی کوهستانی، بیابانی و جنگلی شکل گرفته باشد که هر

¹- Work-Breakdown-Structure

²- Geographical Base

³- Functional Base

بخش توانایی‌ها و قابلیت‌های کلیدی لازم در حوزه فعالیت خود به دست آورده است، و بنابراین تقسیم‌بندی مذکور می‌تواند مبنای شکستن اقدامات قرار گیرد.

ب) نیازمندی‌های فعلی: نیازمندی‌هایی که بر مبنای آن شکسته شدن اقدامات صورت می‌پذیرد در طول زمان قابل تغییر است. در مورد مثال اخیر ممکن است در فاز طراحی آزادراه‌ها نیازهای طراحی موجب شکستن پروژه‌های اجرایی بر مبنای جغرافیایی شود ولیکن در زمان اجرا نیازها تغییر کرده و مبنای عملکردی مورد استفاده قرار گیرد.

ج) منافع اقتصادی: میزان کسب درآمد از پروژه‌های اجرایی می‌تواند مبنایی برای شکستن اقدامات باشد. به عنوان مثال درآمدزا یا هزینه‌بر بودن پروژه‌های اجرایی از این جهت می‌تواند مبنای قرار گیرد که ابتدا پروژه‌های اجرایی درآمدزا انجام شوند و از درآمد حاصل برای انجام پروژه‌های اجرایی هزینه‌بر استفاده شود.

د) نظرات ذینفعان: از آنجایی که هدف از تحقق اقدامات در واقع برآوردن نیاز ذینفعان و کسب منافع توسط این گروه می‌باشد، ضروری است نظرات ذینفعان در بخش‌های مختلف فرآیند پیاده‌سازی از جمله چگونگی شکستن اقدامات مورد توجه قرار گیرد.

در صورتی که تصمیم گرفته شود که تعدادی از پروژه‌های اجرایی نیز به زیرفعالیت‌هایشان شکسته شود، می‌توان در شکستن دوم از مبنای دیگری استفاده نمود. به طور مثال در مرحله اول بر مبنای جغرافیایی و در مرحله دوم بر مبنای عملکردی عمل نمود.

۲-۱-۲- ابزارهای شکستن اقدامات

تاکنون مفاهیم و موضوعات کلیدی شکستن اقدامات مورد بحث و بررسی قرار گرفت. در این بخش چند ابزار برای انجام این مهم معرفی می‌گردد [1].

الف) تجزیه و تحلیل فرآیند استاندارد

در ادبیات برخی از اقدامات فرآیندی تجربه شده‌ای وجود دارد که به طور عام توسط نخبگان علمی آن حوزه مورد پذیرش قرار گرفته‌است. چنین فرآیندهایی فرآیند استاندارد نامیده می‌شود. در صورتی که در مورد اقدامات خاصی فرآیند استاندارد وجود داشته باشد، پروژه‌های اجرایی ارائه شده در آن به عنوان مجموعه پروژه‌های اجرایی استاندارد پذیرفته می‌شوند.

ب) بهینه‌کاوی

در صورتی که در راستای تحقق یک اقدام، فرایند استاندارد وجود نداشته باشد و یا به علت عدم دسترسی قابل استفاده نباشد، از ابزار بهینه‌کاوی استفاده می‌شود. بهینه‌کاوی به معنی بررسی تجربه‌های انجام شده و یادگیری می‌باشد. اگرچه در این حالت به علت عدم وجود الگویی استاندارد، انتظار می‌رود تجربه‌های پیشین در ابعاد مختلفی با یکدیگر تفاوت داشته باشند - که از علل اصلی آن خواستگاه منطقه‌ای و ویژگی‌های خاصی است که فرایند در قالب آن طراحی و اجرا شده است - یکی از مسائل کلیدی به کارگیری این ابزار چگونگی در کنار هم قرار دادن نتایج تجربه‌های مختلف برای دستیابی به الگویی مطلوب می‌باشد. اگر نتوان از این روش به مجموعه‌ای از پروژه‌های اجرایی قابل قبول دست یافت، از پروژه‌های اجرایی غیر نهایی به دست آمده می‌توان در ابزار علی - معلولی استفاده نمود.

ج) تحلیل علی معلولی

هدف این ابزار استفاده از نظرات خبرگان برای شکستن اقدامات به مجموعه پروژه‌های اجرایی می‌باشد. از همین رو ضروری است استفاده از این ابزار با حضور خبرگانی مسلط بر ابعاد مختلف اقدام مربوطه صورت گیرد. در ادامه چگونگی استفاده از این ابزار در جلسه‌ای با حضور خبرگان توضیح داده می‌شود.

گام ۱: در ابتدای جلسه توضیحات مربوط به معرفی اقدام ارائه می‌گردد تا کلیه افراد حاضر به نگرش یکسانی از اقدام مورد نظر دست یابند.

گام ۲: در یک طوفان فکری پروژه‌های اجرایی که از نظر خبرگان برای انجام اقدام مزبور ضروری به نظر می‌رسد مطرح شده و در معرض دید همگان قرار می‌گیرد.

حاضرین جلسه می‌باید این نکته را مد نظر قرار دهند که در مرحله اول صرفاً اقدامات به پروژه‌های اجرایی اساسی تشکیل دهنده اش شکسته می‌شوند. از همین رو بهتر است از بیان مواردی که خود زیرفعالیت پروژه‌های اجرایی اساسی به شمار می‌روند و یا قابل بیان شدن به شکل پروژه‌های اجرایی کلان‌تری هستند اجتناب ورزند. در صورتی که تصمیم گرفته شود برخی پروژه‌های اجرایی به زیرفعالیت‌های خود شکسته شوند، در مرحله دیگری فرایند جاری در مورد آن پروژه‌های اجرایی تکرار می‌شود. به عبارتی در هر مرحله از به کارگیری این ابزار، شکستن تنها در یک سطح انجام می‌پذیرد.

پس از انجام این گام فهرست اولیه‌ای از پروژه‌های اجرایی پیشنهادی به دست می‌آید. در تکمیل این فهرست می‌توان از اطلاعات به دست آمده از دو ابزار دیگر به‌ویژه بهینه‌کاو^۱ استفاده نمود.

گام ۳: کلیه موارد موجود در لیست اولیه تحت سه عنوان زیر دسته‌بندی می‌شوند:

الف) پروژه‌های اجرایی اصلی تکین: پروژه‌های اجرایی هستند که اولاً در راستای تحقق اقدام مورد نظر انجام آن‌ها ضروری بوده و ثانیاً در بین سایر پروژه‌های اجرایی پیشنهاد شده موارد مشابه قابل جایگزینی با آن وجود ندارد.

ب) پروژه‌های اجرایی جایگزین: این دسته شامل آن بخش از پروژه‌های اجرایی ضروری می‌باشد که در بین سایر پروژه‌های اجرایی، موارد مشابه قابل جایگزینی با آن‌ها یافت می‌شود. در این حالت هر گروه از پروژه‌های اجرایی مشابه را در مجموعه‌هایی جمع کرده که مجموعه‌های جایگزینی نامیده می‌شوند. سرانجام می‌باید از هر یک از مجموعه‌های جایگزینی یک پروژه اجرایی انتخاب شود.

مجموعه‌های جایگزینی نباید با یکدیگر دارای اشتراک باشند. همچنین در صورتی که پروژه اجرایی قابل تخصیص به بیش از یک مجموعه جایگزینی باشد، آن پروژه اجرایی به چند بخش تفکیک شده و هر بخش به مجموعه مربوطه اختصاص می‌یابد.

ج) پروژه‌های اجرایی پشتیبانی: پروژه‌های اجرایی که در راستای تحقق یک اقدام، ضروری نیستند ولی می‌توانند فرآیند انجام اقدام مورد نظر را تقویت کرده و آنرا تسریع بخشند.

در صورتی که پس از دسته‌بندی فوق مواردی وجود داشته باشند که به نوعی زیرفعالیت سایر پروژه‌های اجرایی اصلی یا پشتیبانی به حساب آیند حذف می‌گردند - در صورت لزوم در شکستن پروژه‌های اجرایی به زیرفعالیت‌ها در مراحل بعد مورد استفاده قرار می‌گیرند - و در غیراین صورت لازم است پروژه‌های اجرایی اصلی یا پشتیبان دیگری تعریف شود که دربرگیرنده زیرفعالیت مزبور باشد.

در نهایت پروژه‌های اجرایی دسته‌بندی شده می‌باید دارای دو ویژگی باشند:

↳ در یک سطح باشند

^۱ - ممکن است بتوان درمورد یک فعالیت از روش تحلیل فرآیند استاندارد و یا بهینه‌کاو به نتیجه رسید، علی‌رغم این که در مورد اقدام بالادست استفاده از این دو ابزار نتیجه‌بخش نبوده باشد.

غیر از پروژه‌های اجرایی درون یک مجموعه جایگزینی، سایر پروژه‌های اجرایی باید بدون همپوشانی باشند. در غیر

این صورت می‌باید تغییراتی در آن‌ها اعمال گردد که همپوشانی موجود حذف شود.

۳-۱-۲- بازنگری نهایی و انتخاب پروژه‌های اجرایی

قبل از نهایی شدن پروژه‌های اجرایی، به منظور ارزیابی جوانب مختلف پروژه‌های اجرایی ارائه شده و قضاوت در مورد موجه بودن یا عدم موجه بودن آن‌ها، هر پروژه اجرایی می‌باید بر اساس معیارهای مختلفی از جمله معیارهای فنی، مالی و اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی مورد ممیزی قرار گیرد. بر این اساس، پروژه‌های اجرایی به دست آمده در مرحله قبل مورد بازبینی قرار گرفته و پروژه‌هایی که از نظر معیارهای مختلف ناموجه باشند، کنار گذاشته می‌شوند. در واقع پروژه‌های اجرایی نهایی می‌بایست به نحو مطلوبی موجبات دستیابی به مقاصد سایر سطوح راهبردی را فراهم سازند. از همین رو ضروری به نظر می‌رسد با نگاهی اجمالی به گام‌های طی شده نواقص احتمالی مورد بازبینی قرار گیرد [1].

۲-۲- فهرست پروژه‌های اجرایی توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

با توجه به موارد مطرح شده در ابتدای این بخش در ارتباط با ضرورت و نحوه شکستن اقدامات به پروژه‌های اجرایی، در این بخش، پروژه‌هایی شناسایی می‌شود که اجرایی شدن آن‌ها منجر به تحقق اقدامات می‌گردد. با توجه به ابزارهای گوناگونی که جهت شکستن اقدامات در بخش قبل معرفی شده با بررسی‌های صورت گرفته این نتیجه حاصل شد که ابزار تحلیل علی معلولی بهترین ابزار برای شکستن اقدامات در این طرح می‌باشد.

همان‌طور که در گزارش مرحله چهارم سند اشاره شد اقدامات مربوط به این سند در دو دسته اقدامات فنی و غیر فنی (در دو دسته اقدامات مدیریتی و زیرساختی) تدوین شد. با توجه به سطح اقدامات غیر فنی تعریف شده در مرحله چهارم تصمیم گرفته شد تا این اقدامات به سطح پایین‌تر شکسته نشده و زمان‌بندی بر روی اقدامات انجام شود. اما برای درک بهتر هر کدام از اقدامات غیر فنی، شرح اقدام و فعالیت‌های اصلی که در راستای اجرایی شدن این اقدامات می‌بایست انجام گیرد مشخص شده که به عنوان شناسنامه اقدامات غیر فنی در پیوست ۱ آمده است. در ارتباط با اقدامات فنی، با توجه به امکان شکستن اقدامات تصمیم بر این شد تا پروژه‌های اجرایی ذیل هر یک از اقدامات فنی تعریف شود. برای تدوین پروژه‌های اجرایی، در جلسه‌ای با حضور آقایان دکتر جعفری، مهندس رهنورد و دکتر شاه‌حسینی (عضو کمیته راهبری)، پیش‌نویس پروژه‌ها تهیه شده و جهت استفاده از نظرات خبرگان، این پیش‌نویس برای اعضای کمیته راهبری ارسال شده و در نهایت در جلسه‌ای با حضور اعضای

کمیته راهبری نهایی گردید. همچنین برای درک بهتر هر کدام از اقدامات فنی، شرح اقدام و پروژه‌های ذیل هر اقدام فنی، به عنوان شناسنامه اقدامات فنی، در پیوست ۲ آمده است.

مجموعه پروژه‌های اجرایی که از شکستن اقدامات به دست می‌آید، می‌بایست به نحوی جامع باشد که انجام صحیح آن‌ها منجر به تحقق اقدام مورد نظر شود در این بخش تلاش شده است با استفاده از نظرات خبرگان و کارشناسان، جامعیت پروژه‌های اجرایی شناسایی شده برای هر اقدام حفظ شود. مورد دیگری که در رابطه با شکستن اقدامات می‌بایست مورد توجه قرار گیرد، سطح شکسته شدن اقدامات می‌باشد. در این طرح اقدامات تا سطحی شکسته شده‌اند که بتوان برای پروژه‌های اجرایی حاصل از شکستن آن‌ها زمان تخصیص داده و همچنین مجری جهت اجرای آن‌ها مشخص نمود. در ادامه پروژه‌های شناسایی شده برای هر یک از اقدامات فنی در جدول (۱-۲) الی (۶-۲) ارائه شده است.

جدول (۱-۲): پروژه‌های مربوط به اقدام شناسایی انواع روش‌های پایش سلامت سازه در دنیا

ردیف	عنوان پروژه‌ها
۱	شناسایی رویکردهای مختلف پایش سلامت در انواع سازه‌های موجود به منظور تشخیص آسیب‌ها
۲	شناسایی رویکردهای مختلف پایش سلامت در انواع سازه‌های موجود به منظور پیش‌بینی آسیب‌ها و تخمین عمر باقیمانده
۳	شناسایی رویکردهای مختلف پایش سلامت در انواع سازه‌های جدید به منظور تشخیص آسیب‌ها
۴	شناسایی رویکردهای مختلف پایش سلامت در انواع سازه‌های جدید به منظور پیش‌بینی آسیب‌ها و تخمین عمر باقیمانده
۵	شناسایی رویکردهای اکتساب و مدیریت داده‌ها جهت کاربرد در پایش سلامت سازه‌ها
۶	شناسایی ابزارهای مورد نیاز (سخت‌افزار و نرم‌افزار) برای پایش سلامت سازه‌ها و تأمین کنندگان اصلی آنها در دنیا

جدول (۲-۲): پروژه‌های مربوط به اقدامات تدوین دانش فنی پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های موجود و جدید بخش

تولید

اقدام ۱: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در برج خنک‌کننده	
ردیف	عنوان پروژه‌ها
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک مورد نیاز برای پایش سلامت سازه برج خنک‌کننده
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه برج خنک‌کننده
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه برج خنک‌کننده و تخمین عمر باقیمانده آن

۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه برج خنک‌کننده
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه برج خنک‌کننده بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو برج خنک‌کننده انتخابی بصورت پایلوت
۷	تدوین دستورالعمل نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه برج خنک‌کننده
اقدام ۲: تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه یا فونداسیون نگهدارنده تجهیزات اصلی (توربین، ژنراتور، ترانس و ...)	
ردیف	عنوان پروژه‌ها
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک مورد نیاز برای پایش سلامت سازه یا فونداسیون نگهدارنده تجهیزات
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه یا فونداسیون نگهدارنده تجهیزات
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه یا فونداسیون نگهدارنده تجهیزات و تخمین عمر باقیمانده آنها
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه یا فونداسیون نگهدارنده تجهیزات
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه یا فونداسیون نگهدارنده تجهیزات بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو نمونه انتخابی از سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات بصورت پایلوت
۷	تدوین دستورالعمل نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه یا فونداسیون نگهدارنده تجهیزات
اقدام ۳: تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه نگهدارنده بویلر و کوره	
ردیف	عنوان پروژه‌ها
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک مورد نیاز برای پایش سلامت سازه نگهدارنده بویلر و کوره
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه نگهدارنده بویلر و کوره
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه نگهدارنده بویلر و کوره و تخمین عمر باقیمانده آن
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه نگهدارنده بویلر و کوره
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه نگهدارنده بویلر و کوره بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو سازه نگهدارنده بویلر و کوره انتخابی بصورت پایلوت
۷	تدوین دستورالعمل نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه نگهدارنده بویلر و کوره
اقدام ۴: تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه نگهدارنده دودکش	

ردیف	عنوان پروژه‌ها
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک مورد نیاز برای پایش سلامت سازه نگهدارنده دودکش
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه نگهدارنده دودکش
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه نگهدارنده دودکش و تخمین عمر باقیمانده آن
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه نگهدارنده دودکش
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه نگهدارنده دودکش بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو سازه نگهدارنده دودکش انتخابی بصورت پایلوت
۷	تدوین دستورالعمل نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه نگهدارنده دودکش
اقدام ۵: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در سامانه لوله‌ها (پایپینگ) و اتصالات آنها	
ردیف	عنوان پروژه‌ها
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک مورد نیاز برای پایش سلامت سامانه لوله‌ها
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سامانه لوله‌ها
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سامانه لوله‌ها و تخمین عمر باقیمانده آن
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سامانه لوله‌ها
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سامانه لوله‌ها بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو سامانه لوله‌های انتخابی بصورت پایلوت
۷	تدوین دستورالعمل نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری سامانه لوله‌ها
اقدام ۶: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در پره توربین‌های بادی	
ردیف	عنوان پروژه‌ها
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک مورد نیاز برای پایش سلامت سازه در پره توربین‌های بادی
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در پره توربین‌های بادی
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در پره توربین‌های بادی و تخمین عمر باقیمانده آن
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در پره توربین‌های بادی
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری پره توربین‌های بادی بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو پره توربین‌های بادی انتخابی بصورت پایلوت
۷	تدوین دستورالعمل نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری پره توربین‌های بادی
اقدام ۷: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در مخازن ذخیره سوخت و آب خام	

ردیف	عنوان پروژه‌ها
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک مورد نیاز برای پایش سلامت سازه مخازن ذخیره سوخت
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه مخازن ذخیره سوخت
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه مخازن ذخیره سوخت و تخمین عمر باقیمانده آن
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه مخازن ذخیره سوخت
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه مخازن ذخیره سوخت بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو نمونه انتخابی از مخازن ذخیره سوخت بصورت پایلوت
۷	تدوین دستورالعمل نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه مخازن ذخیره سوخت
اقدام ۸: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در برج و فونداسیون توربین‌های بادی	
ردیف	عنوان پروژه‌ها
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک مورد نیاز برای پایش سلامت سازه برج توربین‌های بادی
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه برج خنک‌کننده
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه برج توربین‌های بادی و تخمین عمر باقیمانده آن
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه برج توربین‌های بادی
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه برج توربین‌های بادی بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو برج توربین بادی انتخابی بصورت پایلوت
۷	تدوین دستورالعمل نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه برج توربین‌های بادی
اقدام ۹: تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه‌های ساختمانی نیروگاه‌ها (ساختمان کنترل، ساختمان‌های حاوی تجهیزات اصلی و مهم نیروگاه و ...)	
ردیف	عنوان پروژه‌ها
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک مورد نیاز برای پایش سلامت سازه‌های ساختمانی نیروگاه‌ها
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه‌های ساختمانی نیروگاه‌ها
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه‌های ساختمانی نیروگاه‌ها و تخمین عمر

باقیمانده آن	
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه‌های ساختمانی نیروگاه‌ها
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه‌های ساختمانی نیروگاه‌ها بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو سازه ساختمانی انتخابی در نیروگاه بصورت پایلوت
۷	تدوین دستورالعمل نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه‌های ساختمانی نیروگاه‌ها
اقدام ۱۰: بازیابی و به‌روز رسانی استانداردهای سازه‌های بخش تولید	
ردیف	عنوان پروژه‌ها
۱	بازیابی و به‌روز رسانی استانداردهای بارگذاری سازه‌های بخش تولید
۲	بازیابی و به‌روز رسانی استانداردهای تحلیل و طراحی سازه‌های بخش تولید
۳	بازیابی و به‌روز رسانی استانداردهای اجرای سازه‌های بخش تولید

جدول (۲-۳): پروژه‌های مربوط به اقدامات تدوین دانش فنی پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های موجود و جدید بخش

انتقال و فوق توزیع

اقدام ۱: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در انواع دکل‌های انتقال برق و فونداسیون آنها	
ردیف	عنوان پروژه‌ها
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک مورد نیاز برای پایش سلامت سازه دکل‌های انتقال برق
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه دکل‌های انتقال برق
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه دکل‌های انتقال برق و تخمین عمر باقیمانده آن
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه دکل‌های انتقال برق
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه دکل‌های انتقال برق بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو نمونه انتخابی از دکل‌های انتقال برق بصورت پایلوت
۷	تدوین دستورالعمل نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه دکل‌های انتقال برق
اقدام ۲: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در مقره‌های خطوط انتقال	

ردیف	عنوان پروژه‌ها
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک مورد نیاز برای پایش سلامت سازه در مقره‌های خطوط انتقال
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در مقره‌های خطوط انتقال
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در مقره‌های خطوط انتقال و تخمین عمر باقیمانده آن
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در مقره‌های خطوط انتقال
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری مقره‌های خطوط انتقال بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو مقره خطوط انتقال انتخابی بصورت پایلوت
۷	تدوین دستورالعمل نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری مقره‌های خطوط انتقال
اقدام ۳: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در اجزای غیرسازه‌ای پست‌ها (مقره، بوشینگ و...)	
ردیف	عنوان پروژه‌ها
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک مورد نیاز برای پایش سلامت در اجزای غیرسازه‌ای پست‌ها
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در اجزای غیرسازه‌ای پست‌ها
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در اجزای غیرسازه‌ای پست‌ها و تخمین عمر باقیمانده آن
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در اجزای غیرسازه‌ای پست‌ها
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری اجزای غیرسازه‌ای پست‌ها بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو نمونه از هر جزء غیرسازه‌ای پست‌ها بصورت پایلوت
۷	تدوین دستورالعمل نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری اجزای غیرسازه‌ای پست‌ها
اقدام ۴: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در هادی‌های خطوط انتقال	
ردیف	عنوان پروژه‌ها
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک مورد نیاز برای پایش سلامت در هادی‌های خطوط انتقال
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در هادی‌های خطوط انتقال
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در هادی‌های خطوط انتقال و تخمین عمر باقیمانده آن

۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در هادی‌های خطوط انتقال
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری هادی‌های خطوط انتقال بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو نمونه انتخابی از هادی‌های خطوط انتقال بصورت پایلوت
۷	تدوین دستورالعمل نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری هادی‌های خطوط انتقال
اقدام ۵: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در گنتری پست‌ها	
ردیف	عنوان پروژه‌ها
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک مورد نیاز برای پایش سلامت سازه گنتری پست‌ها
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه گنتری پست‌ها
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه گنتری پست‌ها و تخمین عمر باقیمانده آن
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه گنتری پست‌ها
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه گنتری پست‌ها بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو گنتری پست انتخابی بصورت پایلوت
۷	تدوین دستورالعمل نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه گنتری پست‌ها
اقدام ۶: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در گالری‌های بتنی و منهول‌ها در خطوط انتقال زمینی	
ردیف	عنوان پروژه‌ها
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک مورد نیاز برای پایش سلامت سازه در گالری‌های بتنی و منهول‌ها
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه گالری‌های بتنی و منهول‌ها
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه گالری‌های بتنی و منهول‌ها و تخمین عمر باقیمانده آن
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه گالری‌های بتنی و منهول‌ها
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه گالری‌های بتنی و منهول‌ها بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو گالری بتنی و منهول انتخابی بصورت پایلوت
۷	تدوین دستورالعمل نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه گالری‌های بتنی و منهول‌ها
اقدام ۷: تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات پست‌ها	
ردیف	عنوان پروژه‌ها
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک مورد نیاز برای پایش سلامت در سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات

طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات	۲
طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات و تخمین عمر باقیمانده آن	۳
امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات	۴
ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	۵
اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو نمونه انتخابی از سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات بصورت پایلوت	۶
تدوین دستورالعمل نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات	۷
اقدام ۸: تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه‌های ساختمانی پست‌ها (ساختمان کنترل و ...)	
ردیف	عنوان پروژه‌ها
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک مورد نیاز برای پایش سلامت سازه‌های ساختمانی پست‌ها
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه‌های ساختمانی پست‌ها
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه‌های ساختمانی پست‌ها و تخمین عمر باقیمانده آن
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه‌های ساختمانی پست‌ها
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه‌های ساختمانی پست‌ها بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو سازه ساختمانی انتخابی بصورت پایلوت
۷	تدوین دستورالعمل نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه‌های ساختمانی پست‌ها
اقدام ۹: بازبینی و به‌روزرسانی استانداردهای سازه‌های بخش انتقال	
ردیف	عنوان پروژه‌ها
۱	بازبینی و به‌روزرسانی استانداردهای بارگذاری سازه‌های بخش انتقال
۲	بازبینی و به‌روزرسانی استانداردهای تحلیل و طراحی سازه‌های بخش انتقال
۳	بازبینی و به‌روزرسانی استانداردهای اجرای سازه‌های بخش انتقال

جدول (۲-۴): پروژه‌های مربوط به اقدامات تدوین دانش فنی پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های موجود و جدید بخش

توزیع

اقدام ۱: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در پست‌های هوایی توزیع	
ردیف	عنوان پروژه‌ها
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک مورد نیاز برای پایش سلامت سازه پست‌های هوایی توزیع
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در پست‌های هوایی توزیع
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه پست‌های هوایی توزیع و تخمین عمر باقیمانده آن
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در پست‌های هوایی توزیع
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری پست‌های هوایی توزیع بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو پست هوایی توزیع انتخابی بصورت پایلوت
۷	تدوین دستورالعمل نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری پست‌های هوایی توزیع
اقدام ۲: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در پایه‌های توزیع برق	
ردیف	عنوان پروژه‌ها
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک مورد نیاز برای پایش سلامت پایه‌های توزیع برق
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در پایه‌های توزیع برق
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در پایه‌های توزیع برق و تخمین عمر باقیمانده آن
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در پایه‌های توزیع برق
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه برج‌خنک‌کننده بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت پایه‌های توزیع برق
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو پایه توزیع برق انتخابی بصورت پایلوت
۷	تدوین دستورالعمل نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری پایه‌های توزیع برق
اقدام ۳: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در پست‌های زمینی و زیرزمینی توزیع	
ردیف	عنوان پروژه‌ها
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک مورد نیاز برای پایش سلامت سازه پست‌های زمینی و زیرزمینی توزیع
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه پست‌های زمینی و زیرزمینی توزیع
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه پست‌های زمینی و زیرزمینی توزیع و تخمین عمر باقیمانده آن
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه پست‌های زمینی و زیرزمینی توزیع

ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه پست‌های زمینی و زیرزمینی توزیع بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	۵
اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو نمونه سازه پست زمینی و زیرزمینی انتخابی بصورت پایلوت	۶
تدوین دستورالعمل نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه پست‌های زمینی و زیرزمینی توزیع	۷
اقدام ۴: بازبینی و به‌روز رسانی استانداردهای سازه‌های بخش توزیع	
ردیف	عنوان پروژه‌ها
۱	بازبینی و به‌روز رسانی استانداردهای بارگذاری سازه‌های بخش توزیع
۲	بازبینی و به‌روز رسانی استانداردهای تحلیل و طراحی سازه‌های بخش توزیع
۳	بازبینی و به‌روز رسانی استانداردهای اجرای سازه‌های بخش توزیع

جدول (۲-۵): پروژه‌های مربوط به اقدام اولویت‌بندی اجرای پایش سلامت در سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق

ردیف	عنوان پروژه‌ها
۱	تدوین مبانی نظری، ابزارهای مورد نیاز و شاخص‌های کمی برای اولویت‌بندی سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق بر مبنای قابلیت اطمینان و ریسک
۲	شناسایی مخاطرات آسیب رسان به سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق و پهنه‌بندی احتمالاتی توزیع مکانی و شدت آنها در سطح کشور
۳	تعیین و پهنه‌بندی شاخص‌های آسیب‌پذیری سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق در برابر مخاطرات در سطح کشور
۴	تعیین و پهنه‌بندی شاخص‌های اهمیت نسبی سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق در برابر مخاطرات در سطح کشور
۵	تعیین و پهنه‌بندی شاخص اولویت سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق در سطح کشور جهت اجرای سیستم پایش سلامت

جدول (۲-۶): پروژه‌های مربوط به اقدام اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سامانه‌ها و سازه‌های اولویت‌دار

صنعت برق در کشور

ردیف	عنوان پروژه‌ها
۱	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۰ واحد از نیروگاه‌های بخاری در کشور به ترتیب اولویت
۲	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۰ واحد از نیروگاه‌های چرخه ترکیبی در کشور به ترتیب اولویت
۳	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۱۰ واحد از نیروگاه‌های گازی در کشور به ترتیب اولویت

۴	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۰ عدد از توربین‌های بادی در کشور به ترتیب اولویت
۵	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۵٪ از خطوط انتقال در کشور به ترتیب اولویت
۶	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۵٪ از پست‌های انتقال در کشور به ترتیب اولویت
۷	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۵٪ از خطوط فوق توزیع در کشور به ترتیب اولویت
۸	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۱۰٪ از پست‌های فوق توزیع در کشور به ترتیب اولویت
۹	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۱٪ از خطوط توزیع در کشور به ترتیب اولویت
۱۰	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۱٪ از پست‌های توزیع در کشور به ترتیب اولویت

۳- تخصیص منابع

در برنامه‌ریزی عملیاتی تخصیص منابع فرایند تصمیم‌گیری در مورد چگونگی به‌کارگیری منابع موجود به منظور نیل به مقاصد تعیین شده، به‌ویژه در کوتاه‌مدت می‌باشد. تخصیص منابع در سطوح مختلف راهبردی از جمله اقدامات، پروژه‌های اجرایی، فعالیت‌ها و سایر سطوح بالاتر قابل تعریف می‌باشد. همانطور که در بخش قبل عنوان شد یکی از معیارهای مورد توجه در تعیین تعداد سطوحی که اقدامات شکسته می‌شوند، رسیدن به سطحی است که در آن بتوان منابع لازم را برآورد نمود. این برآورد بر دو مبنا صورت می‌پذیرد:

الف) تجربه‌های پیشین

ب) نظر خبرگان

منابعی که در برنامه عملیاتی این سند مورد توجه قرار خواهند گرفت، عبارتند از زمان و تأمین منابع انسانی با استفاده از هزینه اختصاص یافته توسط مجری فعالیت صورت می‌پذیرد. با توجه به محدود بودن زمان، جهت دستیابی به اهداف در زمان مورد نظر، می‌بایست مدت زمان لازم برای انجام هر پروژه، به عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع اجرایی شدن پروژه‌ها، به درستی مشخص گردد. لازم به ذکر است که در این پروژه تخصیص زمان یک فرآیند تخصیص منابع محدود می‌باشد. به عبارتی کل زمان در دسترس برای تحقق پروژه‌های اجرایی از قبل تعیین شده و هر پروژه می‌بایست در مدت زمان خاص خود به اتمام برسد. از طرف دیگر منابع مالی به عنوان منابع نامحدود در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین در مورد هر پروژه اجرایی هزینه لازم برآورد شده و اختصاص می‌یابد. همان گونه که در بخش قبلی اشاره شد اقدامات غیر فنی تعیین شده به سطح پایین‌تر شکسته

نشده است در نتیجه زمان هر یک از اقدامات غیر فنی برآورد می‌شود. در این بخش زمان تخمینی لازم برای انجام اقدامات غیر فنی و پروژه‌های مربوط به اقدامات فنی به ترتیب در جدول‌های (۳-۱) الی (۳-۷) ارائه شده است. زمان‌بندی دقیق پروژه‌ها می‌تواند به ترسیم صحیح رهنگاشت کمک کند.

جدول (۳-۱): زمان‌بندی اقدامات غیر فنی توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

ردیف	اقدامات	مدت زمان (ماه)
۱	حمایت از تعریف پایان نامه‌ها و طرح‌های پژوهشی کاربردی در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق	۶۰
۲	تعریف پروژه‌های مشترک بین صنعت برق و دانشگاه‌های فعال در حوزه پایش سلامت سازه	۶۰
۳	ایجاد مکانیزم ارتباطی جهت بهره‌گیری از دانش عملیاتی شده پایش سلامت سازه در سایر صنایع	۱۲۰
۴	استفاده کارآمد از ظرفیت‌های ارتباطی موجود (سمینار، همایش، انجمن و ...)	۱۲۰
۵	ایجاد مکانیزم ارتباطی جهت بهره‌گیری از دانش پایش سلامت سازه در دانشگاه‌ها و شرکت‌های پیشرو در این حوزه در جهان	۱۲۰
۶	ایجاد بانک اطلاعاتی محققین و دستاوردهای دانشی در حوزه پایش سلامت سازه‌ها	۱۸
۷	تشکیل مرکز توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق	۱۲
۸	تدوین قوانین و دستورالعمل جهت ایجاد الزام در تاسیسات اصلی صنعت برق به بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق	۶۰
۹	آگاه‌سازی مدیران صنعت برق از مزایای بکارگیری پایش سلامت سازه در صنعت برق از طریق برگزاری سمینارها و همایش‌های تخصصی	۶۰

ردیف	اقدامات	مدت زمان (ماه)
۱۰	رایزنی جهت در نظر گرفتن شاخص اجرایی کردن دستورالعمل‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق در ارزیابی عملکرد مدیران تاسیسات مختلف صنعت برق	۱۲
۱۱	رایزنی با مدیران وزارت نیرو جهت اولویت‌دهی به پایش سلامت سازه‌های صنعت برق در برنامه‌ریزی‌های کلان صنعت برق	۱۸
۱۲	برگزاری دوره‌های ضمن خدمت برای مهندسين عمران شاغل در بخش‌های مختلف در صنعت برق، جهت آشنایی با سازه‌های صنعت برق	۱۲۰
۱۳	ارائه واحدهای درسی (اختیاری) میان‌رشته‌ای پایش سلامت سازه در دانشگاه‌ها	۱۲
۱۴	شناسایی و حمایت از تامین سخت‌افزار و نرم‌افزار مورد نیاز پایش سلامت سازه‌های صنعت برق	۶۰
۱۵	ایجاد بانک اطلاعاتی آسیب‌های سازه‌ای در شبکه برق (تولید، انتقال و توزیع)	۱۸
۱۶	برگزاری دوره‌های آموزشی جهت آشنایی با نحوه بکارگیری سخت‌افزار مربوط به پایش سلامت سازه‌ها در سازه‌های صنعت برق (تربیت اپراتور و تکنسین‌های پایش سلامت سازه)	۶۰
۱۷	امکان‌سنجی بکارگیری آزمایشگاه‌های موجود و نیازسنجی احداث آزمایشگاه	۶

جدول (۲-۳): زمان‌بندی پروژه‌های مربوط به اقدام شناسایی انواع روش‌های پایش

سلامت سازه در دنیا

ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۱	شناسایی رویکردهای مختلف پایش سلامت در انواع سازه‌های موجود به منظور تشخیص آسیب‌ها	۱۲
۲	شناسایی رویکردهای مختلف پایش سلامت در انواع سازه‌های موجود به منظور پیش‌بینی آسیب‌ها و تخمین عمر باقیمانده	۱۲
۳	شناسایی رویکردهای مختلف پایش سلامت در انواع سازه‌های جدید به منظور تشخیص آسیب‌ها	۱۲
۴	شناسایی رویکردهای مختلف پایش سلامت در انواع سازه‌های جدید به منظور پیش‌بینی آسیب‌ها و تخمین عمر باقیمانده	۱۲
۵	شناسایی رویکردهای اکتساب و مدیریت داده‌ها جهت کاربرد در پایش سلامت سازه‌ها	۸

۸	شناسایی ابزارهای مورد نیاز (سخت‌افزار و نرم‌افزار) برای پایش سلامت سازه‌ها و تأمین کنندگان اصلی آنها در دنیا	۶
---	--	---

جدول (۳-۳): زمان‌بندی پروژه‌های مربوط به اقدامات تدوین دانش فنی پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های موجود و

جدید بخش تولید

اقدام ۱: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در برج خنک‌کننده		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه برج خنک‌کننده	۶
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه برج خنک‌کننده	۱۲
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه برج خنک‌کننده و تخمین عمر باقیمانده آن	۱۸
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه برج خنک‌کننده	۳
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه برج خنک‌کننده بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	۱۵
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو برج خنک‌کننده انتخابی بصورت پایلوت	۱۵
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه برج خنک‌کننده	۱۸

اقدام ۲: تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه یا فونداسیون نگهدارنده تجهیزات اصلی (توربین، ژنراتور، ترانس و ...)		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه یا فونداسیون نگهدارنده تجهیزات	۳
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه یا فونداسیون نگهدارنده تجهیزات	۶
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه یا فونداسیون نگهدارنده تجهیزات و تخمین عمر باقیمانده آنها	۹

اقدام ۲: تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه یا فونداسیون نگهدارنده تجهیزات اصلی (توربین، ژنراتور، ترانس و ...)		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه یا فونداسیون نگهدارنده تجهیزات	۲
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه یا فونداسیون نگهدارنده تجهیزات بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	۸
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو نمونه انتخابی از سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات بصورت پایلوت	۸
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه یا فونداسیون نگهدارنده تجهیزات	۹

اقدام ۳: تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه نگهدارنده بویلر و کوره		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه نگهدارنده بویلر و کوره	۶
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه نگهدارنده بویلر و کوره	۱۲
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه نگهدارنده بویلر و کوره و تخمین عمر باقیمانده آن	۱۸
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه نگهدارنده بویلر و کوره	۳
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه نگهدارنده بویلر و کوره بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	۱۵
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو سازه نگهدارنده بویلر و کوره انتخابی بصورت پایلوت	۱۵
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه نگهدارنده بویلر و کوره	۱۸

اقدام ۴: تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه نگهدارنده دودکش		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه نگهدارنده دودکش	۵
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه نگهدارنده دودکش	۱۰
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه نگهدارنده دودکش و تخمین عمر باقیمانده آن	۱۴
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه نگهدارنده دودکش	۳
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه نگهدارنده دودکش بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	۱۲
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو سازه نگهدارنده دودکش انتخابی بصورت پایلوت	۱۲
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه نگهدارنده دودکش	۱۴

اقدام ۵: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در سامانه لوله‌ها (پایینگ) و اتصالات آنها		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سامانه لوله‌ها	۲
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سامانه لوله‌ها	۴
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سامانه لوله‌ها و تخمین عمر باقیمانده آن	۵
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سامانه لوله‌ها	۱
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سامانه لوله‌ها بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	۴
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو سامانه لوله‌های انتخابی بصورت پایلوت	۴

اقدام ۵: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در سامانه لوله‌ها (پایپینگ) و اتصالات آنها		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سامانه لوله‌ها	۵

اقدام ۶: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در پره توربین‌های بادی		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه در پره توربین‌های بادی	۵
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در پره توربین‌های بادی	۱۰
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در پره توربین‌های بادی و تخمین عمر باقیمانده آن	۱۴
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در پره توربین‌های بادی	۳
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری پره توربین‌های بادی بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	۱۲
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو پره توربین‌های بادی انتخابی بصورت پایلوت	۱۲
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری پره توربین‌های بادی	۱۴

اقدام ۷: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در مخازن ذخیره سوخت و آب خام		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه مخازن ذخیره سوخت	۲
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه مخازن ذخیره سوخت	۴
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه مخازن ذخیره سوخت و تخمین عمر	۵

اقدام ۷: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در مخازن ذخیره سوخت و آب خام		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
	باقیمانده آن	
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه مخازن ذخیره سوخت	۱
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه مخازن ذخیره سوخت بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	۴
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو نمونه انتخابی از مخازن ذخیره سوخت بصورت پایلوت	۴
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه مخازن ذخیره سوخت	۵

اقدام ۸: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در برج توربین‌های بادی		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه برج توربین‌های بادی	۳
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه برج خنک‌کننده	۶
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه برج توربین‌های بادی و تخمین عمر باقیمانده آن	۹
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه برج توربین‌های بادی	۲
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه برج توربین‌های بادی بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	۸
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو برج توربین بادی انتخابی بصورت پایلوت	۸
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه برج توربین‌های بادی	۹

اقدام ۹: تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه‌های ساختمانی نیروگاه‌ها (ساختمان کنترل، ساختمان‌های حاوی تجهیزات اصلی و مهم نیروگاه و ...)		
زمان (ماه)	عنوان پروژه‌ها	ردیف
۵	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه‌های ساختمانی نیروگاه‌ها	۱
۱۰	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه‌های ساختمانی نیروگاه‌ها	۲
۱۴	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه‌های ساختمانی نیروگاه‌ها و تخمین عمر باقیمانده آن	۳
۳	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه‌های ساختمانی نیروگاه‌ها	۴
۱۲	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه‌های ساختمانی نیروگاه‌ها بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	۵
۱۲	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو سازه ساختمانی انتخابی در نیروگاه بصورت پایلوت	۶
۱۴	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه‌های ساختمانی نیروگاه‌ها	۷

اقدام ۱۰: بازبینی و به‌روزرسانی استانداردهای سازه‌های بخش تولید		
زمان (ماه)	عنوان پروژه‌ها	ردیف
۲۴	بازبینی و به‌روزرسانی استانداردهای بارگذاری سازه‌های بخش تولید	۱
۱۲	بازبینی و به‌روزرسانی استانداردهای تحلیل و طراحی سازه‌های بخش تولید	۲
۱۲	بازبینی و به‌روزرسانی استانداردهای اجرای سازه‌های بخش تولید	۳

جدول (۳-۴): زمان‌بندی پروژه‌های مربوط به اقدامات تدوین دانش فنی پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های موجود و

جدید بخش انتقال

اقدام ۱: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در انواع دکل‌های انتقال برق و فونداسیون آنها		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه دکل‌های انتقال برق	۶
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه دکل‌های انتقال برق	۱۲
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه دکل‌های انتقال برق و تخمین عمر باقیمانده آن	۱۸
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه دکل‌های انتقال برق	۳
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه دکل‌های انتقال برق بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	۱۵
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو نمونه انتخابی از دکل‌های انتقال برق بصورت پایلوت	۱۵
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه دکل‌های انتقال برق	۱۸

اقدام ۲: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در مقره‌های خطوط انتقال		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه در مقره‌های خطوط انتقال	۲
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در مقره‌های خطوط انتقال	۴
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در مقره‌های خطوط انتقال و تخمین عمر باقیمانده آن	۵
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در	۱

اقدام ۲: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در مقره‌های خطوط انتقال		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
	مقره‌های خطوط انتقال	
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری مقره‌های خطوط انتقال بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	۴
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو مقره خطوط انتقال انتخابی بصورت پایلوت	۴
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری مقره‌های خطوط انتقال	۵
اقدام ۳: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در اجزای غیرسازه‌ای پست‌ها (مقره، بوشینگ و...)		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت در اجزای غیرسازه‌ای پست‌ها	۳
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در اجزای غیرسازه‌ای پست‌ها	۶
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در اجزای غیرسازه‌ای پست‌ها و تخمین عمر باقیمانده آن	۹
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در اجزای غیرسازه‌ای پست‌ها	۳
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری اجزای غیرسازه‌ای پست‌ها بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	۸
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو نمونه از هر جزء غیرسازه‌ای پست‌ها بصورت پایلوت	۱۰
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری اجزای غیرسازه‌ای پست‌ها	۹

اقدام ۴: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در هادی‌های خطوط انتقال		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت در هادی‌های خطوط انتقال	۲

اقدام ۴: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در هادی‌های خطوط انتقال		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در هادی‌های خطوط انتقال	۴
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در هادی‌های خطوط انتقال و تخمین عمر باقیمانده آن	۵
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در هادی‌های خطوط انتقال	۱
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری هادی‌های خطوط انتقال بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	۴
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو نمونه انتخابی از هادی‌های خطوط انتقال بصورت پایلوت	۴
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری هادی‌های خطوط انتقال	۵

اقدام ۵: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در گنتری پست‌ها		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه گنتری پست‌ها	۲
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه گنتری پست‌ها	۴
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه گنتری پست‌ها و تخمین عمر باقیمانده آن	۵
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه گنتری پست‌ها	۱
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه گنتری پست‌ها بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	۴
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو گنتری پست انتخابی بصورت پایلوت	۴
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه گنتری پست‌ها	۵

اقدام ۶: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در گالری‌های بتنی و منهول‌ها در خطوط انتقال زمینی		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه در گالری‌های بتنی و منهول‌ها	۲
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه گالری‌های بتنی و منهول‌ها	۴
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه گالری‌های بتنی و منهول‌ها و تخمین عمر باقیمانده آن	۵
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه گالری‌های بتنی و منهول‌ها	۱
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه گالری‌های بتنی و منهول‌ها بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	۴
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو گالری بتنی و منهول انتخابی بصورت پایلوت	۴
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه گالری‌های بتنی و منهول‌ها	۵

اقدام ۷: تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات پست‌ها		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت در سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات	۳
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات	۶
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات و تخمین عمر باقیمانده آن	۹
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات	۳
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	۸
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو نمونه انتخابی از سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات بصورت پایلوت	۱۰
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات	۹

اقدام ۸: تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه‌های ساختمانی پست‌ها (ساختمان کنترل و ...)		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه‌های ساختمانی پست‌ها	۴
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه‌های ساختمانی پست‌ها	۱۰
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه‌های ساختمانی پست‌ها و تخمین عمر باقیمانده آن	۱۵
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه‌های ساختمانی پست‌ها	۳
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه‌های ساختمانی پست‌ها بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	۱۲
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو سازه ساختمانی انتخابی بصورت پایلوت	۱۲
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه‌های ساختمانی پست‌ها	۱۵

اقدام ۹: بازبینی و به‌روزرسانی استانداردهای سازه‌های بخش انتقال		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۱	بازبینی و به‌روزرسانی استانداردهای بارگذاری سازه‌های بخش انتقال	۲۴
۲	بازبینی و به‌روزرسانی استانداردهای تحلیل و طراحی سازه‌های بخش انتقال	۱۲
۳	بازبینی و به‌روزرسانی استانداردهای اجرای سازه‌های بخش انتقال	۱۲

جدول (۳-۵): زمان‌بندی پروژه‌های مربوط به اقدامات تدوین دانش فنی پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های موجود و

جدید بخش توزیع

اقدام ۱: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در پست‌های هوایی توزیع		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه پست‌های هوایی توزیع	۲
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در پست‌های هوایی توزیع	۴

اقدام ۱: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در پست‌های هوایی توزیع		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه پست‌های هوایی توزیع و تخمین عمر باقیمانده آن	۵
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در پست‌های هوایی توزیع	۱
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری پست‌های هوایی توزیع بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	۴
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو پست هوایی توزیع انتخابی بصورت پایلوت	۴
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری پست‌های هوایی توزیع	۵

اقدام ۲: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در پایه‌های توزیع برق		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت پایه‌های توزیع برق	۲
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در پایه‌های توزیع برق	۴
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در پایه‌های توزیع برق و تخمین عمر باقیمانده آن	۵
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در پایه‌های توزیع برق	۱
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه برج خنک‌کننده بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت پایه‌های توزیع برق	۴
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو پایه توزیع برق انتخابی بصورت پایلوت	۴
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری پایه‌های توزیع برق	۵

اقدام ۳: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در پست‌های زمینی و زیرزمینی توزیع		
---	--	--

ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه پست‌های زمینی و زیرزمینی توزیع	۲
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه پست‌های زمینی و زیرزمینی توزیع	۴
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه پست‌های زمینی و زیرزمینی توزیع و تخمین عمر باقیمانده آن	۵
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه پست‌های زمینی و زیرزمینی توزیع	۱
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه پست‌های زمینی و زیرزمینی توزیع بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	۴
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو نمونه سازه پست زمینی و زیرزمینی انتخابی بصورت پایلوت	۴
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه پست‌های زمینی و زیرزمینی توزیع	۵

اقدام ۴: بازبینی و به‌روز رسانی استانداردهای سازه‌های بخش توزیع		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۱	بازبینی و به‌روز رسانی استانداردهای بارگذاری سازه‌های بخش توزیع	۲۴
۲	بازبینی و به‌روز رسانی استانداردهای تحلیل و طراحی سازه‌های بخش توزیع	۱۲
۳	بازبینی و به‌روز رسانی استانداردهای اجرای سازه‌های بخش توزیع	۱۲

جدول (۳-۶): زمان‌بندی پروژه‌های مربوط به اقدام اولویت‌بندی اجرای پایش

سلامت در سازه‌های صنعت برق

ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۱	تدوین مبانی نظری، ابزارهای مورد نیاز و شاخص‌های کمی برای اولویت‌بندی سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق بر مبنای قابلیت اطمینان و ریسک	۱۲
۲	شناسایی مخاطرات آسیب رسان به سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق و پهنه‌بندی احتمالاتی توزیع مکانی و شدت آنها در سطح کشور	۲۰
۳	تعیین و پهنه‌بندی شاخص‌های آسیب‌پذیری سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق در برابر مخاطرات در سطح کشور	۲۰

ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۴	تعیین و پهنه‌بندی شاخص‌های اهمیت نسبی سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق در برابر مخاطرات در سطح کشور	۱۸
۵	تعیین و پهنه‌بندی شاخص اولویت سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق در سطح کشور جهت اجرای سیستم پایش سلامت	۱۲

جدول (۳-۷): زمان‌بندی پروژه‌های مربوط به اقدام اجرا و راه‌اندازی سیستم پایش سلامت در سازه‌های اولویت‌دار صنعت برق در

کشور

ردیف	عنوان پروژه‌ها	زمان (ماه)
۱	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۰ واحد از نیروگاه‌های بخاری در کشور به ترتیب اولویت	۲۴
۲	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۰ واحد از نیروگاه‌های چرخه ترکیبی در کشور به ترتیب اولویت	۲۴
۳	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۱۰ واحد از نیروگاه‌های گازی در کشور به ترتیب اولویت	۲۴
۴	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۰ عدد از توربین‌های بادی در کشور به ترتیب اولویت	۲۴
۵	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۵٪ از خطوط انتقال در کشور به ترتیب اولویت	۳۶
۶	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۵٪ از پست‌های انتقال در کشور به ترتیب اولویت	۳۶
۷	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۵٪ از خطوط فوق توزیع در کشور به ترتیب اولویت	۳۶
۸	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۱۰٪ از پست‌های فوق توزیع در کشور به ترتیب اولویت	۳۶
۹	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۱٪ از خطوط توزیع در کشور به ترتیب اولویت	۳۶
۱۰	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۱٪ از پست‌های توزیع در کشور به ترتیب اولویت	۳۶

۴- تقسیم کار ملی (نگاشت‌نهادی مطلوب)

پس از تعیین پروژه‌های اجرایی و محاسبه زمان لازم برای اجرایی شدن هر پروژه، در این بخش با یک نگاشت نهادی مطلوب، مجریان پروژه‌های اجرایی برای توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق شناسایی خواهند شد. جهت شناسایی مجریان انجام هر پروژه، ابتدا می‌بایست کلیه بازیگران در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق شناسایی شوند، لذا برای این کار می‌بایست نگاشت نهادی محیط داخلی و بیرونی ترسیم شده و با تحلیل وضع موجود، وضع مطلوب نهادی ترسیم گردد. در ادامه ابتدا توضیح مختصری در رابطه با نگاشت نهادی و کارکردهای آن آورده شده، سپس نگاشت نهادی توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ترسیم شده است. در انتها نیز متولیان پروژه‌های اجرایی با توجه به نگاشت نهادی مطلوب مشخص شده است.

۴-۱- نگاشت نهادی^۱

از یک سو، تعدد سازمان‌ها و نهادهای خصوصی و دولتی که هر یک به نوعی در توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق نقش‌آفرینی می‌کنند و از سوی دیگر تنوع نقش‌هایی که باید در توسعه این سیستم‌ها ایفا شود نیاز به بررسی و تحلیل دقیق توسعه این سیستم‌ها را از منظر نهادی (ساختاری) نمایان‌تر می‌کند. برای تحلیل وضعیت ساختاری می‌توان از روش‌های مختلفی نظیر نگاشت‌نهادی استفاده کرد، به کمک نگاشت نهادی به‌خوبی می‌توان 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؟

^۱- Institutional mapping

◀ 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؟

نگاشت نهادی یکی از ابزارهای مطالعه سیستم نوآوری می‌باشد. نظام ملی نوآوری مجموعه‌ای است از موسسات مجزا که بطور مشترک یا انفرادی به توسعه و انتشار فناوری‌های جدید کمک می‌کنند. این موسسات چهارچوبی فراهم می‌کنند که دولت‌ها بتوانند در آن چهارچوب، سیاست‌هایی جهت تاثیرگذاری بر فرایند نوآوری را شکل داده و اجرا کنند.

در یک سطح عمومی کارکرد اصلی یا کلی نظام‌های نوآوری، تعقیب و انجام فرایندهای نوآوری یا به عبارت دیگر «خلق، اشاعه و بهره‌برداری» از نوآوری‌هاست. بنابراین کارکرد اصلی هر نظام نوآوری تولید، اشاعه و بکارگیری دانش و نوآوری می‌باشد. از نظر ادکویست، عواملی که بر خلق، اشاعه و بهره‌برداری از نوآوری‌ها تاثیرگذار باشند، فعالیت محسوب می‌شوند. به عنوان مثال تحقیق و توسعه (به عنوان ابزاری برای تولید دانش)، یکی از فعالیت‌های نظام نوآوری است. تامین منابع مالی به منظور تجاری‌سازی دانش نیز یک فعالیت می‌باشد.

نگاشت نهادی چارچوبی است که با نمایی ساده و جامع وضعیت موجود سیستم نوآوری را نشان می‌دهد و با بررسی آن می‌توان نقایص موجود در اجزا و روابط میان اجزای سیستم را شناسایی و تحلیل نمود. در این روش سعی می‌شود تا میزان کیفیت روابط موجود میان نهادها در سیستم نوآوری ترسیم شده و همچنین چگونگی مشارکت میان بخش خصوصی و دولتی تبیین شود. با استفاده از این روش تحلیلی، نقش نسبی هر کدام از بازیگران فعال در نظام ملی نوآوری همچون دولت، دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی و همچنین بنگاه‌های خصوصی در فرایند نوآوری بدست می‌آید.

۴-۱-۱- انواع نقش‌ها در نگاشت نهادی

کارکردهای اصلی یک نظام ملی نوآوری به چهار دسته اصلی سیاست‌گذاری، تنظیم‌گری، تسهیل‌گری و ارائه خدمات تقسیم می‌شود. در فرایند توسعه صنعتی، یکی از پرسش‌های اساسی این است که کدام مجموعه از تصمیمات سیاست‌گذاری و نهادسازی و نیز اقدامات اجرایی در سطح کلان ملی و در سطح صنعت، به عنوان زمینه‌ساز موفقیت توسعه صنعتی باید مورد توجه قرار گیرد؟ نکته مهم در پاسخ به این سوال آن است که این مجموعه اقدامات، به خودی خود شکل نمی‌گیرد، بلکه

نیازمند نقش موثر دولت است. بنابراین تبیین جایگاه و حوزه وظایف دولت در فرآیند توسعه صنعتی به صورت یکی از مباحث جدال‌انگیز ادبیات جدید توسعه درآمده است. در ادامه به تبیین هر یک از نقش‌های چهارگانه پرداخته می‌شود.

الف) سیاست‌گذاری

یک سیاست‌گذار نهادی است که برنامه‌های پی‌گیری شده توسط دولت، کسب و کارها و غیره را تعیین می‌کند. سیاست‌گذاری به صورت فرایندی 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. در واقع، سیاست می‌تواند شکل‌های مختلفی مانند سیاست‌های غیر مداخله‌ای، تنظیم، تشویق تغییرات داوطلبانه (مانند کمک‌های مالی) و ارائه خدمات عمومی به خود بگیرد.

ب) تنظیم‌گری

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

↔ تعیین و جمع‌آوری مالیات‌ها و دیگر درآمدها و ...

در مجموع سه عامل اصلی بر شکل، کارکرد و دامنه سیاست‌های تنظیم‌گری تاثیر دارند:

۱- اهداف و منابع تنظیم‌گری

۲- ساختار نهادی محیط تنظیم‌گری

۳- شرایط مختلف صنعت در محیط تنظیم‌گری

اهداف مختلف تنظیم‌گری آثار مستقیم مختلفی بر نوع تنظیم‌گری مورد استفاده به جای می‌گذارند. اگر اهداف خاص در تنظیم‌گری مد نظر باشد، شکل، کارکرد و دامنه سیاست‌های تنظیم‌گری نیز تحت تاثیر آن قرار می‌گیرند. منابع محدود نیز می‌تواند بر ماهیت و طبیعت تنظیم‌گری اثر گذار باشد، این مسئله می‌تواند به واکنشی شدن سیاست‌های تنظیم‌گری بیانجامد.

ساختار نهادی و تشکیلاتی کشورها نیز بر قابلیت‌ها و توانایی‌های سازمان‌های تنظیم‌گر موثر است. در صورتی که محدودیت‌های اعمال شده از سوی حکومت بر نهاد تنظیم‌گر زیاد شود، توانایی‌های این نهاد برای اعمال جرائم و پاداش‌ها نیز کاهش می‌یابد. در شرایطی که فناوری‌های موجود در بازار، رقابت را میان عرضه‌کنندگان افزایش دهد، توانایی‌های تنظیم‌گران نیز تحت تاثیر قرار می‌گیرد. در این حالت‌ها تقاضاکنندگان در بازار نیز از قدرت خرید بالایی برخوردار هستند و عملاً سیاست‌های دستور و کنترل نمی‌تواند کارایی لازم را داشته باشد.

ج) تسهیل‌گری

سازمان‌های محلی یا بین‌المللی هستند که معمولاً توسط دولت سرمایه‌گذاری می‌شوند و هدف آن توسعه و بهبود بازار خدمات می‌باشد. یک تسهیل‌کننده، تامین‌کنندگان 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 تاثیر تامین‌کنندگان 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 غیردولتی، انجمن‌های صنعتی و کارفرمایان و عامل‌های دولتی باشد. در مجموع نقش تسهیل‌گری دارای زیرنقش‌های زیر می‌باشد:

↳ تسهیل‌گری در بعد فناوری

↳ تسهیل‌گری منابع دانشی

↳ تسهیل‌گری منابع مالی

↳ تسهیل‌گری ظرفیت سازی و ترویج

↳ تسهیل‌گری توسعه ارتباطات

د) ارائه‌دهنده کالا و خدمات

↳ ارائه‌کننده خدمات آموزشی و پژوهشی: تامین‌کننده خدمات آموزشی و پژوهشی شامل دانشگاه‌ها، پژوهشگاه‌ها و مؤسساتی هستند که در زمینه آموزش و پژوهش در حوزه توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق فعالیت می‌کنند.

ارائه‌کننده خدمات صنعتی: شامل شرکت‌هایی هستند که در زمینه تولید یا تأمین تجهیزات مورد نیاز پایش سلامت در

سازه‌های صنعت برق فعالیت می‌کنند.

۴-۱-۲- مراحل طراحی نگاشت نهادی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

با توجه به موارد ارائه شده در رابطه با نگاشت نهادی و کارکردهای اصلی آن، در این بخش مراحل اصلی طراحی نگاشت

نهادی توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ارائه می‌گردد.

الف) شناسایی سازمان‌ها و نهادهای مرتبط با توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در کشور

نهادهای اصلی مرتبط با توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق از طریق جستجو و بررسی اسناد، مدارک و گزارش‌های داخلی شناسایی شدند و سپس با مطالعه ساختار سازمانی هر یک از سازمان‌ها و مطالعه شرح وظایف و اهداف در نظر گرفته شده برای سازمان‌ها و نهادهای تابعه و وابسته هر یک از آنها نهادهای مختلف فعال در زمینه کارکردهای نظام نوآوری مورد شناسایی قرار گرفت. بر اساس مطالعات صورت گرفته، کنش‌گران شناسایی شده در حوزه توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق شامل موارد زیر می‌باشد که در پیوست ۳ توضیحی از وظایف هر کدام ارائه شده است.

۱- وزارت نیرو

۲- معاونت برق و انرژی (وزارت نیرو)

۳- معاونت برنامه‌ریزی و امور اقتصادی (وزارت نیرو)

۴- معاونت امور تحقیقات و منابع انسانی (وزارت نیرو)

۵- دفتر استانداردهای فنی، مهندسی، اجتماعی و زیست‌محیطی برق و انرژی (معاونت برق و انرژی وزارت نیرو)

۶- دفتر بازرسی و مدیریت عملکرد

۷- دفتر آموزش، تحقیقات و فناوری (معاونت امور تحقیقات و منابع انسانی وزارت نیرو)

۸- شرکت مادر تخصصی تولید، انتقال و توزیع نیروی برق (توانیر)

۹- معاونت هماهنگی تولید (توانیر)

- ۱۰- معاونت هماهنگی توزیع (توانیر)
 - ۱۱- دفتر فنی و نظارت بر انتقال (توانیر)
 - ۱۲- دفتر پشتیبانی فنی تولید (توانیر)
 - ۱۳- دفتر نظارت بر تولید (توانیر)
 - ۱۴- دفتر نظارت بر توزیع (توانیر)
 - ۱۵- دفتر امور تحقیقات برق (معاونت منابع انسانی و تحقیقات توانیر)
 - ۱۶- پژوهشگاه نیرو (وزارت نیرو)
 - ۱۷- سازمان توسعه برق ایران
 - ۱۸- مرکز توسعه فناوری صنعت برق و انرژی (پژوهشگاه نیرو)
 - ۱۹- دفتر گسترش آموزش عالی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
 - ۲۰- پارک‌های علم و فناوری (ریاست جمهوری)
 - ۲۱- بانک‌ها و صندوق‌های مالی
 - ۲۲- انجمن‌های علمی
 - ۲۳- دانشگاه‌ها و موسسات آموزشی
 - ۲۴- شرکت‌های مشاوره‌ای
 - ۲۵- شرکت‌های توزیع برق
 - ۲۶- شرکت‌های برق منطقه‌ای
 - ۲۷- شرکت‌های مدیریت تولید نیروی برق (نیروگاه‌ها)
 - ۲۸- نیروگاه‌های خصوصی و تجدیدپذیر
 - ۲۹- شرکت‌های تولیدکننده تجهیزات پایش سلامت سازه
- ب) شناخت روابط میان بنگاهی بین نهادهای موجود در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق:



در این بخش، تلاش شده‌است تا ضمن شناسایی و بررسی تعاملات موجود میان نهادهای مختلف و توجه به کارکرد اصلی آن‌ها در نظام توسعه این فناوری، نقاط ضعف، کاستی‌ها و گسستگی‌ها در این زمینه مشخص شود. کارکردهایی که با توجه به نظام نوآوری در نگاشت نهادی توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق به کار برده شده است شامل: سیاست‌گذاری، تنظیم‌گری، تسهیل‌گری، ارائه‌دهنده کالا و خدمات (آموزشی، پژوهشی و صنعتی) می‌باشد.

ج) تهیه ماتریس نهاد-کارکرد برای وضع موجود

باتوجه به اطلاعات جمع‌آوری شده در مراحل قبل می‌توان ماتریس نهاد-کارکرد را در حوزه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق تهیه کرد. همان‌گونه که از نام این ماتریس مشخص است دو عامل، نهادهای مختلف و کارکردهای شناسایی شده بر اساس ادبیات نظام نوآوری در کنار هم آمده‌اند.

جدول (۴-۱): نگاشت نهادی توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

ارائه دهنده کالا و خدمات			تسهیل‌گری	تنظیم‌گری	سیاست‌گذاری	کارکرد	نهاد
صنعتی	پژوهشی	آموزشی					
			*	*	*		وزارت نیرو
				*	*		معاونت برق و انرژی (وزارت نیرو)
				*	*		معاونت برنامه‌ریزی و امور اقتصادی (وزارت نیرو)
			*	*	*		معاونت امور تحقیقات و منابع انسانی (وزارت نیرو)
				*			دفتر استانداردهای فنی، مهندسی، اجتماعی و زیست‌محیطی برق و انرژی (معاونت برق و انرژی وزارت نیرو)
				*			دفتر بازرسی و مدیریت عملکرد
			*				دفتر آموزش، تحقیقات و فناوری (معاونت امور تحقیقات و منابع انسانی وزارت نیرو)
					*		شرکت مادر تخصصی تولید، انتقال و توزیع نیروی برق
			*	*			معاونت هماهنگی تولید (توانیر)
			*	*			معاونت هماهنگی توزیع (توانیر)
			*	*			دفتر فنی و نظارت بر انتقال (توانیر)
			*	*			دفتر پشتیبانی فنی تولید (توانیر)
			*	*			دفتر نظارت بر تولید (توانیر)
			*	*			دفتر نظارت بر توزیع (توانیر)
			*				دفتر امور تحقیقات برق (معاونت منابع انسانی و تحقیقات توانیر)
	*	*	*				پژوهشگاه نیرو (وزارت نیرو)
			*				سازمان توسعه برق ایران
			*				مرکز توسعه فناوری صنعت برق و انرژی (پژوهشگاه نیرو)
				*			دفتر گسترش آموزش عالی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
			*				پارک‌های علم و فناوری (ریاست جمهوری)
			*				بانک‌ها و صندوق‌های مالی
			*				انجمن‌های علمی
	*	*					دانشگاه‌ها و موسسات آموزشی
*	*						شرکت‌های مشاوره‌ای
*							شرکت‌های توزیع برق
*							شرکت‌های برق منطقه‌ای

ارائه دهنده کالا و خدمات			تسهیل‌گری	تنظیم‌گری	سیاست‌گذاری	کارکرد	نهاد
صنعتی	پژوهشی	آموزشی					
*							شرکت‌های مدیریت تولید نیروی برق (نیروگاه‌ها)
*							نیروگاه‌های خصوصی و تجدیدپذیر
*							شرکت‌های تولیدکننده تجهیزات پایش سلامت سازه

۴-۱-۳- تحلیل نگاشت نهادی

در این نگاشت ابتدا بازیگران و ذینفعان اصلی تاثیرگذار در توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق شناخته شده است و در ادامه کارکردهای اصلی هرکدام از این ذینفعان در توسعه این فناوری با توجه به چهار کارکرد اصلی ذکر شده مشخص شده است. در نگاشت نهادی، ۲۹ گروه تاثیرگذار اصلی شناسایی شده است که در ابتدا اهداف و وظایف هر یک بررسی شده است و سپس نگاشت نهادی کلی توسعه این فناوری بر اساس این وظایف و اهداف در جدول (۴-۱) بیان شده است که در این جدول نقشی که هر بازیگر در توسعه این فناوری متولی آن است، مشخص شده است.

با توجه به نگاشت ترسیم شده، هر چند نهادها و سازمان‌های مختلفی با کارکردهای مختلف سیاست‌گذاری، تنظیم‌گری، تسهیل‌گری و ارائه کالا و خدمات در حوزه توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق فعال هستند ولی نارسایی‌ها و خلایه‌هایی نیز در این نگاشت نهادی وجود دارد که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌گردد.

یکی از ضعف‌های نگاشت نهادی وضع موجود، عدم وجود یک نهاد متمرکز در حوزه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق می‌باشد. ایجاد یک نهاد با عنوان مرکز توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، که علاوه بر مشارکت با نهادهای سیاست‌گذار، دارای نقش تنظیم‌گری و تسهیل‌گری نیز باشد، می‌تواند به توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق کمک کند. این نهاد می‌تواند نقش تنظیم‌گر و تسهیل‌گر را ایفا کند.

نارسایی دیگری که در نگاشت نهادی وضع موجود در حوزه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق وجود دارد، عدم وجود یک انجمن یا تشکل مستقل در این حوزه می‌باشد. این انجمن می‌تواند ضمن مشارکت و همفکری با مراکز تصمیم‌گیری دولت در تدوین آیین‌نامه‌ها و مقررات مرتبط در توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق حمایت کند. با

توجه ظرفیت‌های موجود در انجمن‌های تعمیرات و نگهداری، انجمن مهندسی عمران و انجمن مهندسی مکانیک پیشنهاد می‌گردد، بحث پایش سلامت به عنوان یکی از حوزه‌های اصلی به حوزه‌های کاری یکی از انجمن‌های اشاره شده اضافه گردد.

۴-۲- تخصیص متولیان اقدامات

با توجه به نگاشت نهادی ترسیم شده، می‌توان مجریان هر یک از اقدامات را شناسایی کرد. در این راستا و به منظور شناخت مجریان بالقوه، با در نظر گرفتن میزان همسویی اقدام با مأموریت مجری، توان علمی و فنی، توان انسانی و مدیریتی و... مجریان فعال هر اقدام مشخص خواهد شد. در ادامه با توجه به موارد اشاره شده متولیان شناسایی شده برای اقدامات غیر فنی و فنی در جدول‌های (۴-۲) الی (۴-۸) ارائه شده است.

جدول (۴-۲): متولیان اقدامات غیر فنی توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

ردیف	اقدامات	متولی
۱	حمایت از تعریف پایان‌نامه‌ها و طرح‌های پژوهشی کاربردی در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق	مرکز توسعه فناوری پایش سلامت دانشگاه‌ها و موسسات آموزشی
۲	تعریف پروژه‌های مشترک بین صنعت برق و دانشگاه‌های فعال در حوزه پایش سلامت سازه	مرکز توسعه فناوری پایش سلامت دانشگاه‌ها و موسسات آموزشی دفتر آموزش، تحقیقات و فناوری (معاونت امور تحقیقات و منابع انسانی)
۳	ایجاد مکانیزم ارتباطی جهت بهره‌گیری از دانش عملیاتی شده پایش سلامت سازه در سایر صنایع	مرکز توسعه فناوری پایش سلامت
۴	استفاده کارآمد از ظرفیت‌های ارتباطی موجود (سمینار، همایش، انجمن و ...) در سایر حوزه‌های مرتبط	مرکز توسعه فناوری پایش سلامت
۵	ایجاد مکانیزم ارتباطی جهت بهره‌گیری از دانش پایش سلامت سازه در دانشگاه‌ها و شرکت‌های پیشرو در این حوزه در جهان	مرکز توسعه فناوری پایش سلامت دفتر آموزش، تحقیقات و فناوری (معاونت امور تحقیقات و منابع انسانی)
۶	ایجاد بانک اطلاعاتی محققین و دستاوردهای دانشی در حوزه پایش سلامت سازه‌ها	مرکز توسعه فناوری پایش سلامت پژوهشگاه نیرو دانشگاه‌ها و موسسات آموزشی
۷	تشکیل مرکز توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق	پژوهشگاه نیرو
۸	تدوین قوانین و دستورالعمل جهت ایجاد الزام در تاسیسات اصلی صنعت برق به بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق	مرکز توسعه فناوری پایش سلامت دفتر فنی و نظارت بر انتقال (توانیر) دفتر نظارت بر تولید (توانیر) دفتر نظارت بر توزیع (توانیر)
۹	آگاه‌سازی مدیران صنعت برق از مزایای بکارگیری پایش سلامت سازه در صنعت برق از طریق برگزاری سمینارها و همایش‌های تخصصی	مرکز توسعه فناوری پایش سلامت دفتر آموزش، تحقیقات و فناوری (معاونت امور تحقیقات و منابع انسانی)
۱۰	رایزنی جهت در نظر گرفتن شاخص اجرایی کردن دستورالعمل‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق در ارزیابی عملکرد مدیران تاسیسات مختلف صنعت برق	مرکز توسعه فناوری پایش سلامت دفتر بازرسی و مدیریت عملکرد
۱۱	رایزنی با مدیران وزارت نیرو جهت اولویت‌دهی به پایش سلامت سازه‌های صنعت برق در برنامه ریزی‌های کلان صنعت برق	مرکز توسعه فناوری پایش سلامت
۱۲	برگزاری دوره‌های ضمن خدمت برای مهندسین عمران شاغل در بخش‌های مختلف در صنعت برق، جهت آشنایی با سازه‌های صنعت برق	مرکز توسعه فناوری پایش سلامت دفتر آموزش، تحقیقات و فناوری (معاونت امور تحقیقات و منابع انسانی) دانشگاه‌ها و موسسات آموزشی
۱۳	ارائه واحدهای درسی (اختیاری) میان‌رشته‌ای پایش سلامت سازه در دانشگاه‌ها	مرکز توسعه فناوری پایش سلامت دفتر آموزش، تحقیقات و فناوری (معاونت امور تحقیقات و منابع انسانی) دفتر گسترش آموزش عالی وزارت علوم
۱۴	شناسایی و حمایت از تامین سخت‌افزار و نرم‌افزار مورد نیاز پایش سلامت سازه‌های صنعت برق	مرکز توسعه فناوری پایش سلامت

ردیف	اقدامات	متولی
۱۵	ایجاد بانک اطلاعاتی آسیب‌های سازه‌ای در شبکه برق (تولید، انتقال و توزیع)	مرکز توسعه فناوری پایش سلامت پژوهشگاه نیرو دفتر فنی و نظارت بر انتقال (توانیر) دفتر نظارت بر تولید (توانیر) دفتر نظارت بر توزیع (توانیر)
۱۶	برگزاری دوره‌های آموزشی جهت آشنایی با نحوه بکارگیری سخت‌افزار مربوط به پایش سلامت سازه‌ها در سازه‌های صنعت برق (تربیت اپراتور و تکنسین‌های پایش سلامت سازه)	مرکز توسعه فناوری پایش سلامت دفتر آموزش، تحقیقات و فناوری (معاونت امور تحقیقات و منابع انسانی) دانشگاه‌ها و موسسات آموزشی
۱۷	امکان‌سنجی بکارگیری آزمایشگاه‌های موجود و نیازسنجی احداث آزمایشگاه	مرکز توسعه فناوری پایش سلامت پژوهشگاه نیرو دانشگاه‌ها و موسسات آموزشی

جدول (۳-۴): متولیان پروژه‌های مربوط به اقدام شناسایی انواع روش‌های پایش سلامت سازه در دنیا

ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	شناسایی رویکردهای مختلف پایش سلامت در انواع سازه‌های موجود به منظور تشخیص آسیب‌ها	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکتهای صنعتی،
۲	شناسایی رویکردهای مختلف پایش سلامت در انواع سازه‌های موجود به منظور پیش‌بینی آسیب‌ها و تخمین عمر باقیمانده	
۳	شناسایی رویکردهای مختلف پایش سلامت در انواع سازه‌های جدید به منظور تشخیص آسیب‌ها	
۴	شناسایی رویکردهای مختلف پایش سلامت در انواع سازه‌های جدید به منظور پیش‌بینی آسیب‌ها و تخمین عمر باقیمانده	
۵	شناسایی رویکردهای اکتساب و مدیریت داده‌ها جهت کاربرد در پایش سلامت سازه‌ها	
۶	شناسایی ابزارهای مورد نیاز (سخت‌افزار و نرم‌افزار) برای پایش سلامت سازه‌ها و تأمین کنندگان اصلی آنها در دنیا	

جدول (۴-۴): متولیان پروژه‌های مربوط به اقدامات تدوین دانش فنی پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های موجود و جدید

بخش تولید

اقدام ۱: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در برج خنک‌کننده		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه برج خنک‌کننده	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه برج خنک‌کننده	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه برج خنک‌کننده و تخمین عمر باقیمانده آن	

تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه برج خنک‌کننده	۴
	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه برج خنک‌کننده بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	۵
	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو برج خنک‌کننده انتخابی بصورت پایلوت	۶
دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه برج خنک‌کننده	۷
اقدام ۲: تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه یا فونداسیون نگهدارنده تجهیزات اصلی (توربین، ژنراتور، ترانس و ...)		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه یا فونداسیون نگهدارنده تجهیزات	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه یا فونداسیون نگهدارنده تجهیزات	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه یا فونداسیون نگهدارنده تجهیزات و تخمین عمر باقیمانده آنها	
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه یا فونداسیون نگهدارنده تجهیزات	
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه یا فونداسیون نگهدارنده تجهیزات بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو نمونه انتخابی از سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات بصورت پایلوت	
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه یا فونداسیون نگهدارنده تجهیزات	
اقدام ۳: تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه نگهدارنده بویلر و کوره		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه نگهدارنده بویلر و کوره	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه نگهدارنده بویلر و کوره	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه نگهدارنده بویلر و کوره و تخمین عمر باقیمانده آن	
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه نگهدارنده بویلر و کوره	
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه نگهدارنده بویلر و کوره بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو سازه نگهدارنده بویلر و کوره انتخابی بصورت پایلوت	
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه نگهدارنده بویلر و کوره	
اقدام ۴: تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه نگهدارنده دودکش		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه نگهدارنده دودکش	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه نگهدارنده دودکش	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه نگهدارنده	

صنعت نفت و (...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکتهای صنعتی، شرکتهای دانش بنیان، شرکتهای مهندسی	دودکش و تخمین عمر باقیمانده آن	۴
	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه نگهدارنده دودکش	۵
	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه نگهدارنده دودکش بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	۶
	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو سازه نگهدارنده دودکش انتخابی بصورت پایلوت	۷
دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه نگهدارنده دودکش	
اقدام ۵: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در سامانه لوله‌ها (پایپینگ) و اتصالات آنها		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سامانه لوله‌ها	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سامانه لوله‌ها	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکتهای صنعتی، شرکتهای دانش بنیان، شرکتهای مهندسی
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سامانه لوله‌ها و تخمین عمر باقیمانده آن	
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سامانه لوله‌ها	
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سامانه لوله‌ها بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو سامانه لوله‌های انتخابی بصورت پایلوت	
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سامانه لوله‌ها	
اقدام ۶: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در پره توربین‌های بادی		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه در پره توربین‌های بادی	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در پره توربین‌های بادی	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکتهای صنعتی، شرکتهای دانش بنیان، شرکتهای مهندسی
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در پره توربین‌های بادی و تخمین عمر باقیمانده آن	
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در پره توربین‌های بادی	
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری پره توربین‌های بادی بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو پره توربین‌های بادی انتخابی بصورت پایلوت	
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری پره توربین‌های بادی	
اقدام ۷: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در مخازن ذخیره سوخت و آب خام		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه مخازن ذخیره سوخت	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه مخازن ذخیره سوخت	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه مخازن ذخیره سوخت و تخمین عمر باقیمانده آن	

تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه مخازن ذخیره سوخت	۴
	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه مخازن ذخیره سوخت بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	۵
	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو نمونه انتخابی از مخازن ذخیره سوخت بصورت پایلوت	۶
دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه مخازن ذخیره سوخت	۷
اقدام ۸: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در برج و فونداسیون توربین‌های بادی		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه برج توربین‌های بادی	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه برج خنک‌کننده	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه برج توربین‌های بادی و تخمین عمر باقیمانده آن	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه برج توربین‌های بادی	تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه برج توربین‌های بادی بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو برج توربین بادی انتخابی بصورت پایلوت	تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه برج توربین‌های بادی	دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو
اقدام ۹: تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه‌های ساختمانی نیروگاه‌ها (ساختمان کنترل، ساختمان‌های حاوی تجهیزات اصلی و مهم نیروگاه و ...)		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه‌های ساختمانی نیروگاه‌ها	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه‌های ساختمانی نیروگاه‌ها	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه‌های ساختمانی نیروگاه‌ها و تخمین عمر باقیمانده آن	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه‌های ساختمانی نیروگاه‌ها	تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه‌های ساختمانی نیروگاه‌ها بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو سازه ساختمانی انتخابی در نیروگاه بصورت پایلوت	تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه‌های ساختمانی نیروگاه‌ها	دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو
اقدام ۱۰: بازبینی و به‌روزرسانی استانداردهای سازه‌های بخش تولید		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	بازبینی و به‌روزرسانی استانداردهای بارگذاری سازه‌های بخش تولید	پژوهشگاه نیرو، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی،
۲	بازبینی و به‌روزرسانی استانداردهای تحلیل و طراحی سازه‌های بخش تولید	پژوهشگاه نیرو، واحدهای تحقیق و توسعه

شرکتهای صنعتی،		
پژوهشگاه نیرو، واحدهای تحقیق و توسعه شرکتهای صنعتی،	بازبینی و به‌روز رسانی استانداردهای اجرای سازه‌های بخش تولید	۳

جدول (۴-۵): متولیان پروژه‌های مربوط به اقدامات تدوین دانش فنی پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های موجود و جدید

بخش انتقال

اقدام ۱: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در انواع دکل‌های انتقال برق و فونداسیون آنها		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه دکل‌های انتقال برق	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه دکل‌های انتقال برق	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکتهای صنعتی، شرکتهای دانش بنیان، شرکتهای مهندسی
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه دکل‌های انتقال برق و تخمین عمر باقیمانده آن	
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه دکل‌های انتقال برق	
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه دکل‌های انتقال برق بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو نمونه انتخابی از دکل‌های انتقال برق بصورت پایلوت	
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه دکل‌های انتقال برق	
۷	دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو	
اقدام ۲: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در مقره‌های خطوط انتقال		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه در مقره‌های خطوط انتقال	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در مقره‌های خطوط انتقال	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکتهای صنعتی، شرکتهای دانش بنیان، شرکتهای مهندسی
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در مقره‌های خطوط انتقال و تخمین عمر باقیمانده آن	
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در مقره‌های خطوط انتقال	
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری مقره‌های خطوط انتقال بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو مقره خطوط انتقال انتخابی بصورت پایلوت	
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری مقره‌های خطوط انتقال	
۷	دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو	
اقدام ۳: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در اجزای غیرسازه‌ای پست‌ها (مقره، پوشینگ و...)		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت در اجزای غیرسازه‌ای پست‌ها	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)

۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در اجزای غیرسازه‌ای پست‌ها	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در اجزای غیرسازه‌ای پست‌ها و تخمین عمر باقیمانده آن	(پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در اجزای غیرسازه‌ای پست‌ها	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری اجزای غیرسازه‌ای پست‌ها بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو نمونه از هر جزء غیرسازه‌ای پست‌ها بصورت پایلوت	دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری اجزای غیرسازه‌ای پست‌ها	دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو
اقدام ۴: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در هادی‌های خطوط انتقال		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت در هادی‌های خطوط انتقال	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در هادی‌های خطوط انتقال	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در هادی‌های خطوط انتقال و تخمین عمر باقیمانده آن	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در هادی‌های خطوط انتقال	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری هادی‌های خطوط انتقال بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو نمونه انتخابی از هادی‌های خطوط انتقال بصورت پایلوت	دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری هادی‌های خطوط انتقال	دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو
اقدام ۵: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در گنتری پست‌ها		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه گنتری پست‌ها	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه گنتری پست‌ها	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه گنتری پست‌ها و تخمین عمر باقیمانده آن	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه گنتری پست‌ها	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه گنتری پست‌ها بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو گنتری پست انتخابی بصورت پایلوت	دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه گنتری پست‌ها	دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو
اقدام ۶: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در گالری‌های بتنی و منهول‌ها در خطوط انتقال زمینی		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه در گالری‌های بتنی و منهول‌ها	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)

۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه گالری‌های بتنی و منهول‌ها	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه گالری‌های بتنی و منهول‌ها و تخمین عمر باقیمانده آن	(پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه گالری‌های بتنی و منهول‌ها	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه گالری‌های بتنی و منهول‌ها بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	(پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو گالری بتنی و منهول انتخابی بصورت پایلوت	دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه گالری‌های بتنی و منهول‌ها	دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو
اقدام ۷: تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات پست‌ها		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت در سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات و تخمین عمر باقیمانده آن	(پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	(پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو نمونه انتخابی از سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات بصورت پایلوت	دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات	دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو
اقدام ۸: تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه‌های ساختمانی پست‌ها (ساختمان کنترل و ...)		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه‌های ساختمانی پست‌ها	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه‌های ساختمانی پست‌ها	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه‌های ساختمانی پست‌ها و تخمین عمر باقیمانده آن	(پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه‌های ساختمانی پست‌ها	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه‌های ساختمانی پست‌ها بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	(پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو سازه ساختمانی انتخابی بصورت پایلوت	دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه‌های ساختمانی پست‌ها	دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو
اقدام ۹: بازبینی و به‌روزرسانی استانداردهای سازه‌های بخش انتقال		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	بازبینی و به‌روزرسانی استانداردهای بارگذاری سازه‌های بخش انتقال	پژوهشگاه نیرو، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی

۲	بازبینی و به‌روز رسانی استانداردهای تحلیل و طراحی سازه‌های بخش انتقال	پژوهشگاه نیرو، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی،
۳	بازبینی و به‌روز رسانی استانداردهای اجرای سازه‌های بخش انتقال	پژوهشگاه نیرو، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی،

جدول (۴-۶): متولیان پروژه‌های مربوط به اقدامات تدوین دانش فنی پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های موجود و جدید

بخش توزیع

اقدام ۱: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در پست‌های هوایی توزیع		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه پست‌های هوایی توزیع	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در پست‌های هوایی توزیع	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه پست‌های هوایی توزیع و تخمین عمر باقیمانده آن	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در پست‌های هوایی توزیع	واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی،
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری پست‌های هوایی توزیع بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو پست هوایی توزیع انتخابی بصورت پایلوت	شرکت‌های مهندسی
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری پست‌های هوایی توزیع	دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو
اقدام ۲: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در پایه‌های توزیع برق		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت پایه‌های توزیع برق	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در پایه‌های توزیع برق	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در پایه‌های توزیع برق و تخمین عمر باقیمانده آن	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در پایه‌های توزیع برق	واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی،
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه برج خنک‌کننده بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت پایه‌های توزیع برق	شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو پایه توزیع برق انتخابی بصورت پایلوت	شرکت‌های مهندسی
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری پایه‌های توزیع برق	دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو

اقدام ۳: تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در پست‌های زمینی و زیرزمینی توزیع		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه پست‌های زمینی و زیرزمینی توزیع	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه پست‌های زمینی و زیرزمینی توزیع	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه پست‌های زمینی و زیرزمینی توزیع و تخمین عمر باقیمانده آن	
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه پست‌های زمینی و زیرزمینی توزیع	
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه پست‌های زمینی و زیرزمینی توزیع بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه	
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو نمونه سازه پست زمینی و زیرزمینی انتخابی بصورت پایلوت	
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه پست‌های زمینی و زیرزمینی توزیع	دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو
اقدام ۴: بازبینی و به‌روز رسانی استانداردهای سازه‌های بخش توزیع		
ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	بازبینی و به‌روز رسانی استانداردهای بارگذاری سازه‌های بخش توزیع	پژوهشگاه نیرو، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی،
۲	بازبینی و به‌روز رسانی استانداردهای تحلیل و طراحی سازه‌های بخش توزیع	پژوهشگاه نیرو، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی،
۳	بازبینی و به‌روز رسانی استانداردهای اجرای سازه‌های بخش توزیع	پژوهشگاه نیرو، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی،

جدول (۴-۷): متولیان پروژه‌های مربوط به اقدام اولویت‌بندی اجرای پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	تدوین مبانی نظری، ابزارهای مورد نیاز و شاخص‌های کمی برای اولویت‌بندی سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق بر مبنای قابلیت اطمینان و ریسک	دانشگاه‌ها
۲	شناسایی مخاطرات آسیب رسان به سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق و پهنه‌بندی احتمالاتی توزیع مکانی و شدت آنها در سطح کشور	پژوهشگاه نیرو، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی،
۳	تعیین و پهنه‌بندی شاخص‌های آسیب‌پذیری سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق در برابر مخاطرات در سطح کشور	
۴	تعیین و پهنه‌بندی شاخص‌های اهمیت نسبی سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق در برابر مخاطرات در سطح کشور	

ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
	سطح کشور	
۵	تعیین و پهنه‌بندی شاخص اولویت سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق در سطح کشور جهت اجرای سیستم پایش سلامت	

جدول (۴-۸): متولیان پروژه‌های مربوط به اقدام اجرا و راه‌اندازی سیستم پایش سلامت در سازه‌های اولویت‌دار صنعت برق در کشور

ردیف	عنوان پروژه‌ها	متولی
۱	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۰ واحد از نیروگاه‌های بخاری در کشور به ترتیب اولویت	واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی
۲	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۰ واحد از نیروگاه‌های چرخه ترکیبی در کشور به ترتیب اولویت	
۳	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۱۰ واحد از نیروگاه‌های گازی در کشور به ترتیب اولویت	
۴	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۰ عدد از توربین‌های بادی در کشور به ترتیب اولویت	
۵	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۵٪ از خطوط انتقال در کشور به ترتیب اولویت	
۶	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۵٪ از پست‌های انتقال در کشور به ترتیب اولویت	
۷	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۵٪ از خطوط فوق توزیع در کشور به ترتیب اولویت	
۸	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۱۰٪ از پست‌های فوق توزیع در کشور به ترتیب اولویت	
۹	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۱٪ از خطوط توزیع در کشور به ترتیب اولویت	
۱۰	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۱٪ از پست‌های توزیع در کشور به ترتیب اولویت	

۵- ترسیم رهنگاشت

آخرین گام در فرایند برنامه‌ریزی عملیاتی تدوین رهنگاشت است. رهنگاشت نمایانگر ارکان اساسی فرآیند پیاده‌سازی استراتژی و خروجی فرایند برنامه‌ریزی عملیاتی می‌باشد. نمایش کلیه سطوح راهبردی از چشم‌انداز تا فعالیت‌ها، تقدم و تأخر حاکم در سطوح مختلف به‌ویژه در سطح اقدامات، زمان‌بندی تحقق هر سطح به همراه منابع اختصاص یافته و در نهایت معرفی متولیان هر یک از سطوح اجزای تشکیل‌دهنده رهنگاشت می‌باشند.

تجربه انجام پروژه‌های تدوین برنامه استراتژیک در سازمان‌ها نشان می‌دهد که بسیاری از این استراتژی‌ها یا هیچگاه پیاده نشده‌اند و یا در مسیر پیاده‌سازی با موانع زیادی روبرو شده‌اند. در بررسی علل این موضوع دو دلیل عمده قابل تأمل است. اول اینکه سازمان‌ها معمولاً با قابلیت‌های مدیریتی اداره می‌شوند. حال آنکه پیاده‌سازی استراتژی در کنار توانمندی‌های مدیریتی نیازمند برنامه می‌باشد. دلیل دوم این امر، وجود شکافی است که بین لایه استراتژیک و لایه عملیاتی سازمان‌ها وجود دارد. آنچنان‌که در بسیاری از موارد، در حالی که استراتژی‌های ارزشمندی بر روی کاغذ آمده‌اند، تصمیمات و برنامه‌های اجرایی بدون توجه به استراتژی‌ها و سیاست‌ها به اجرا گذاشته می‌شود. هرچند این دو عامل تا اندازه زیادی با هم مرتبط است ولی فقدان یک سازوکار مناسب برای تبدیل استراتژی به برنامه و اهداف عملیاتی و روزمره نیز یک علت اصلی در ایجاد این شرایط به شمار می‌آید. بنابراین مرحله پایانی (و یا یکی از مراحل پایانی) در فرایند برنامه‌ریزی استراتژیک، تدوین برنامه عملیاتی است که یکی از مهمترین دستاوردها در این مرحله، تهیه نقشه راه می‌باشد که نمایانگر ارکان اساسی فرایند پیاده‌سازی استراتژی و خروجی اصلی فرایند برنامه‌ریزی است. هر چند باید تأکید کرد که هیچ‌گاه رهنگاشت نمی‌تواند جای راهبر را بگیرد و کلید به کارگیری این الگو در پیاده‌سازی استراتژی قابلیت‌های هنرمندانه راهبری است. آنچنان‌که استفاده از تکنیک‌ها و متدولوژی‌های تدوین و پیاده‌سازی استراتژی در فقدان قابلیت‌های راهبری نمی‌تواند به تحول سازمانی منجر شود.

نظر به اهمیت تهیه رهنگاشت در فرایند برنامه‌ریزی عملیاتی، در ادامه به ارائه تعاریف دقیق‌تری از رهنگاشت پرداخته و مولفه‌ها و شاخص‌های مورد توجه در تهیه رهنگاشت را بیان می‌کنیم.

تعاریف: در تلاش برای توصیف هر چه دقیق‌تر و کاربردی‌تر مفهوم رهنگاشت، تعاریف متعددی ارائه شده است. در تعریفی نسبتاً تفصیلی، رهنگاشت ابزار مناسبی جهت ایجاد ارتباط بین فعالیت‌های استراتژیک و طرح‌های کسب و کار سازمان محسوب می‌شود. همچنین تعاریف ذیل در تفسیر مفهوم رهنگاشت ارائه شده است:

الف) رهنگاشت ابزاری است برای ارتباط بین چشم‌انداز، ارزش‌ها و اهداف با اقدامات استراتژیکی که برای تحقق اهداف مورد نیاز است.

ب) رهنگاشت جدولی زمانی است که بخش‌های مختلف یک برنامه کاری را تعریف نموده و در عین حال سررسیدهای^۱ موجود در مسیر را نیز شامل می‌شود.

ج) رهنگاشت برنامه‌ای است برای شناسایی مسیر آینده که آنچه باید در آینده توسعه یابد را در بستر زمان نشان می‌دهد.

د) رهنگاشت آنچه را که باید در بین زمان‌های سررسید از زمان حال تا زمان تحقق هدف انجام شود نشان می‌دهد.

ه) رهنگاشت مجموعه‌ای است که شامل اهداف کمی و کیفی، استراتژی‌ها و تاکتیک‌ها (اقدامات، فعالیت‌ها و شاخص‌ها) بوده و بازه‌های زمانی و مجریان در نظر گرفته شده برای انجام این اقدامات را نشان می‌دهد.

لذا برای رسیدن به هدف، رهنگاشت باید سطح مطلوب و مناسبی از جزئیات را در بر گرفته تا در مجموع ابزار توانمندی را برای هدایت فعالیت‌ها در طول زمان در اختیار مدیران سازمان قرار دهد.

اگر چه برخی تعاریف کارکردهایی همچون توجیه اقتصادی اقدامات و معرفی پیچیدگی‌های موجود بین زیر سیستم‌های زیرساخت‌ها را نیز از مولفه‌های یک رهنگاشت می‌دانند، اما برخی تعاریف سعی در هر چه واقعی‌تر کردن انتظارات کاربران از کارکردهای رهنگاشت دارند و بیان می‌کنند همانطور که رهنگاشت نباید در صدد تشریح استراتژی‌ها برآید، نباید بصورت جزئی به تشریح زیر ساخت‌های فنی لازم در پیاده‌سازی یک فناوری اشاره کنند.

در یک جمع‌بندی، می‌توان اینگونه بیان نمود که رهنگاشت، نمایش کلانی از روش پیمودن مسیر تحقق اهداف را در زمان مشخص بیان می‌کند. اگر چه استفاده از مشخصه‌هایی همچون شاخص تحقق اقدام، مجری و نقاط خاص^۲ موجود در مسیر، به توصیف هر چه روشن‌تر این مسیر کمک می‌کند. لذا به نظر می‌رسد در نخستین گام، ترسیم گام‌های اصلی در مسیر پیاده‌سازی استراتژی لازم و ضروری است.

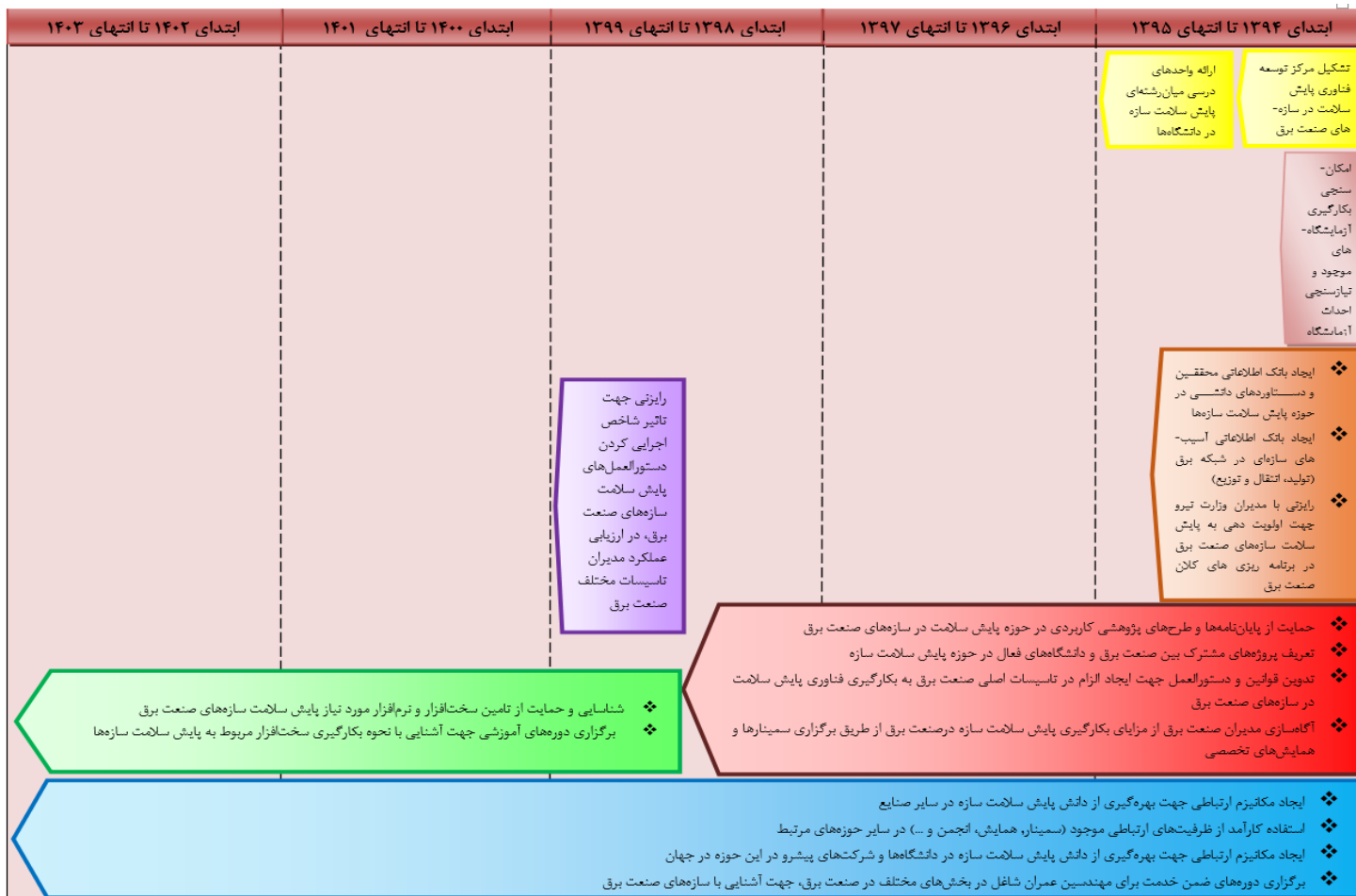
با توجه به موارد ذکر شده در بخش‌های قبل، رهنگاشت‌های توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در افق زمانی ۱۰ ساله ترسیم شده است. این رهنگاشت‌ها شامل نقشه راه توسعه نظام نوآوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

^۱ - Deadline

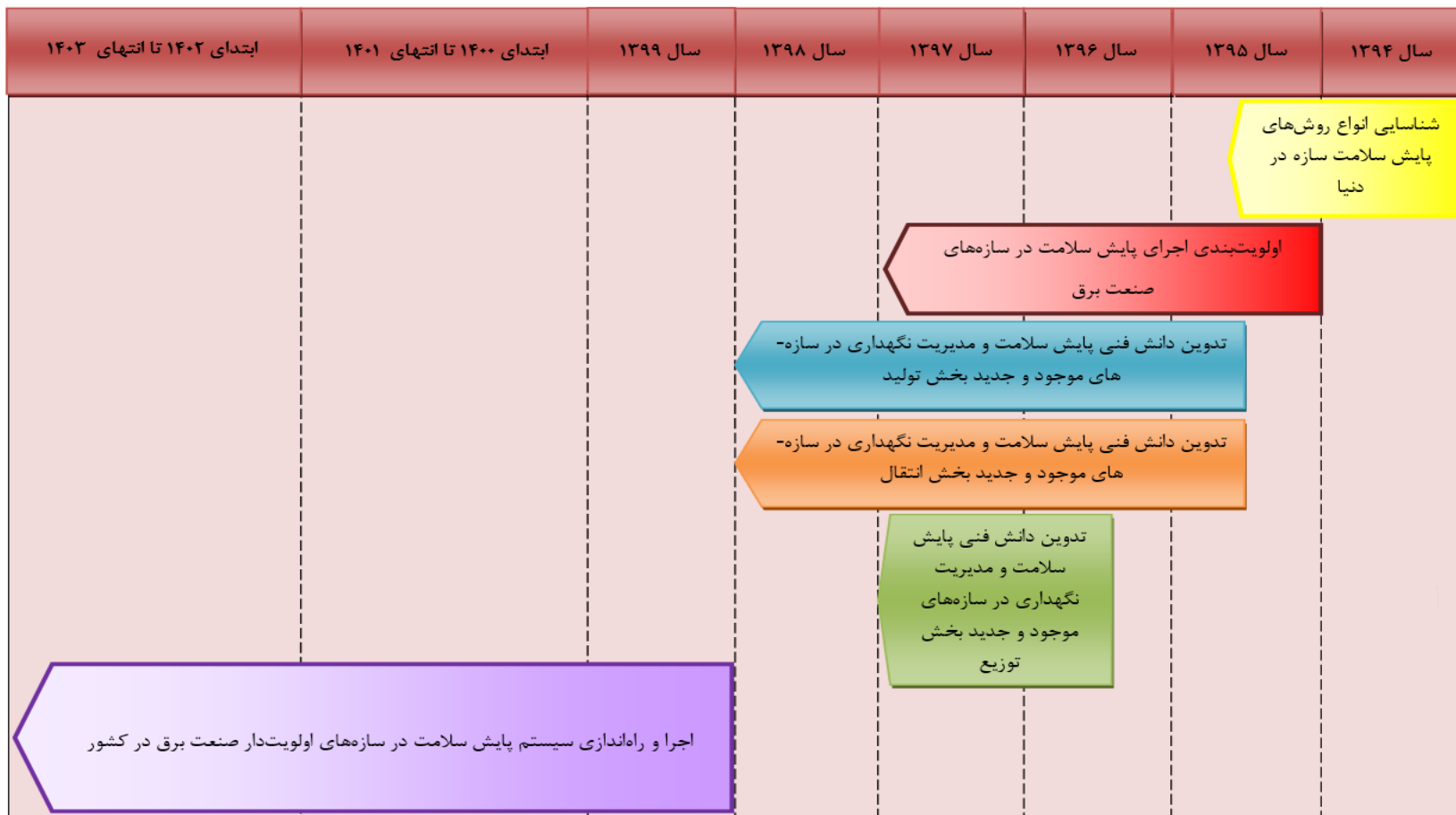
^۲ - Milestone

(مبتنی بر اقدامات غیر فنی) و نیز نقشه راه توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق (مبتنی بر اقدامات فنی) است. این رهنماها در شکل‌های (۱-۵) و (۲-۵) نشان داده شده است. همچنین جهت مشخص شدن ترتیب زمانی دستیابی به دانش فنی پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های موجود و جدید بخش تولید، انتقال و توزیع (زیر اقدام‌های اقدام‌های ۳، ۴ و ۵)، شکل (۳-۵) به تفکیک سازه‌های موجود در هر بخش و اولویت زمانی دستیابی به دانش فنی پایش سلامت سازه‌های آنها ترسیم شده است.

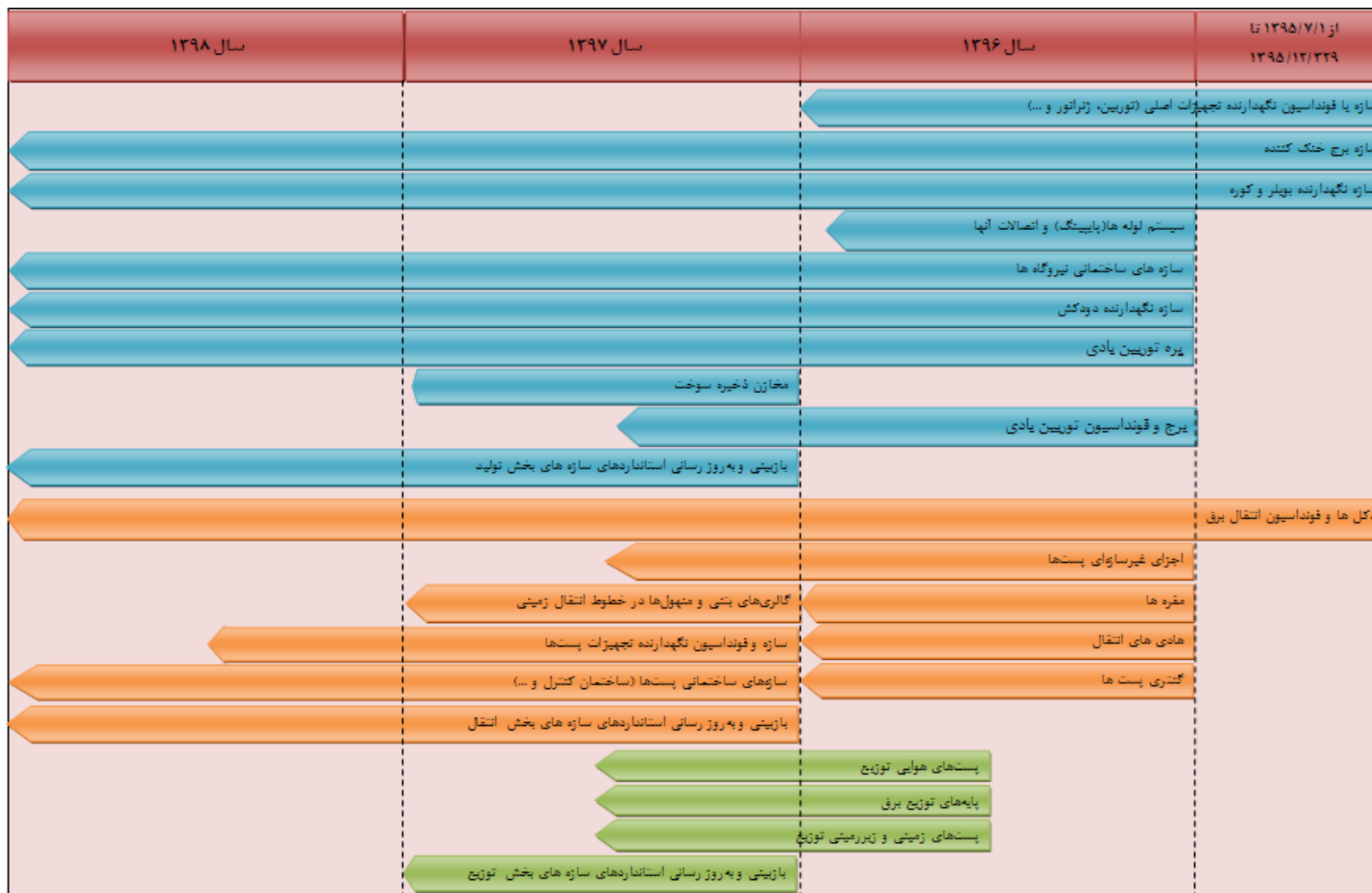
در شکل (۴-۵) رهنماها اقدام شناسایی انواع روش‌های پایش سلامت سازه در دنیا و در شکل (۵-۵) رهنماها اقدام اجرایی اقدام اولویت‌بندی اجرای پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق نشان داده شده است. برای ترسیم زمان‌بندی اجرایی اقدام تدوین دانش فنی پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های موجود و جدید بخش تولید، انتقال و توزیع، با توجه به اینکه ترتیب اجرایی پروژه‌ها برای سازه‌های مختلف یکسان است، رهنماها اقدام تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در برج خنک‌کننده، به عنوان نمونه در شکل (۶-۵) ترسیم شده است. ترتیب اجرایی پروژه‌های دستیابی به دانش فنی پایش سلامت در سایر سازه‌ها نیز به همین صورت بوده و فقط مدت زمان پروژه‌ها در سازه‌های مختلف متفاوت است.



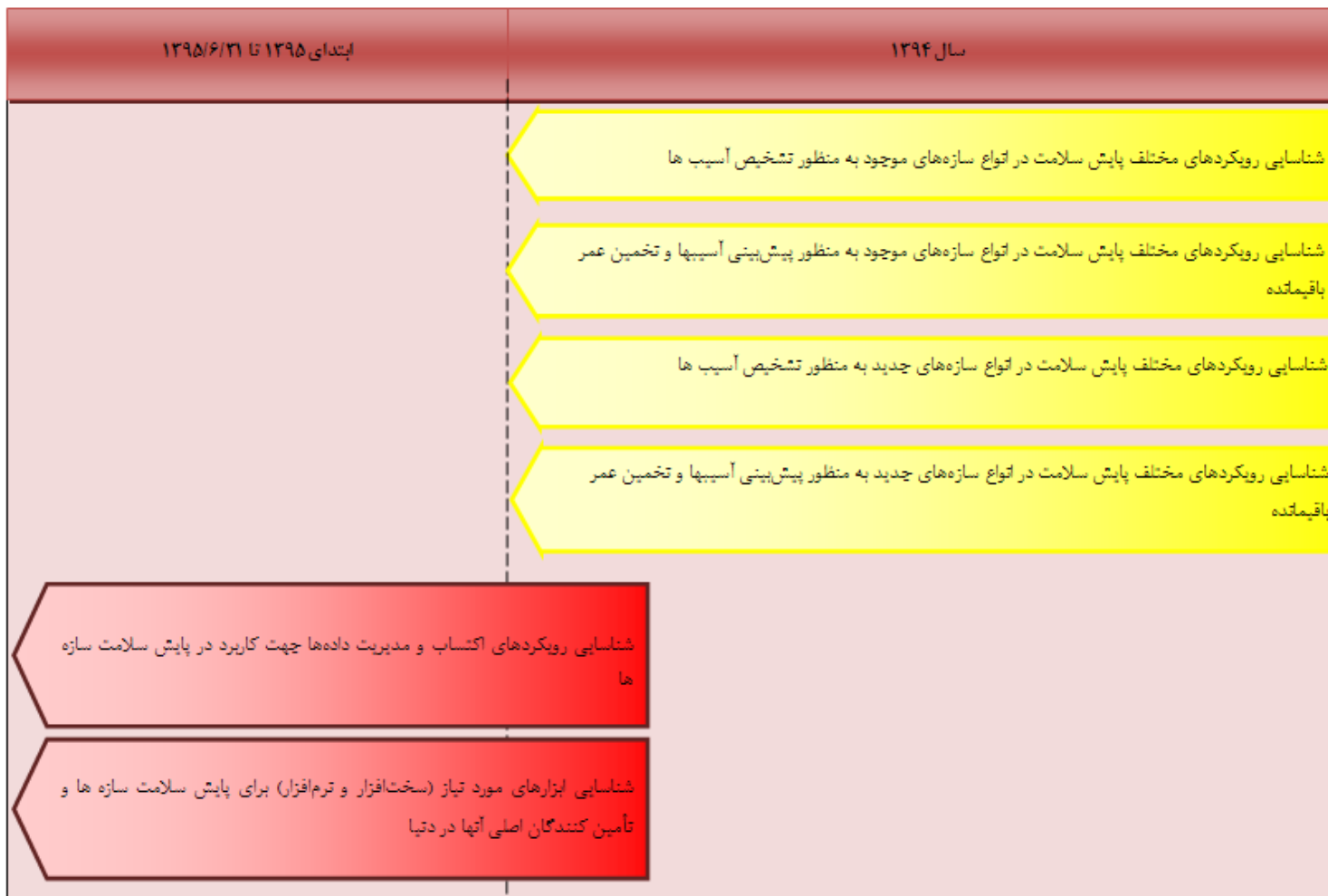
شکل (۵-۱): رهنگاشت توسعه نظام نوآوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق



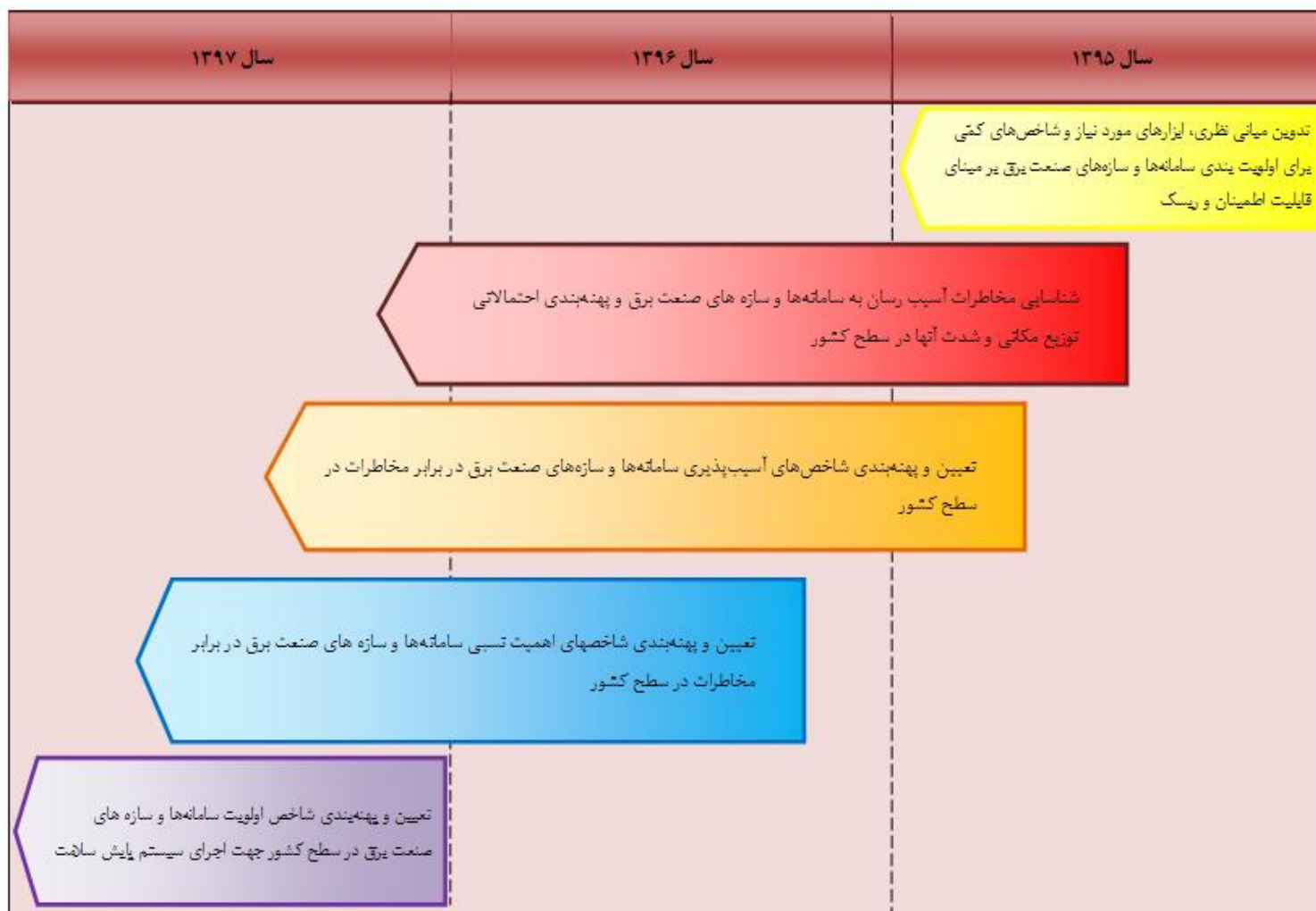
شکل (۵-۲): رهنگاشت توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق



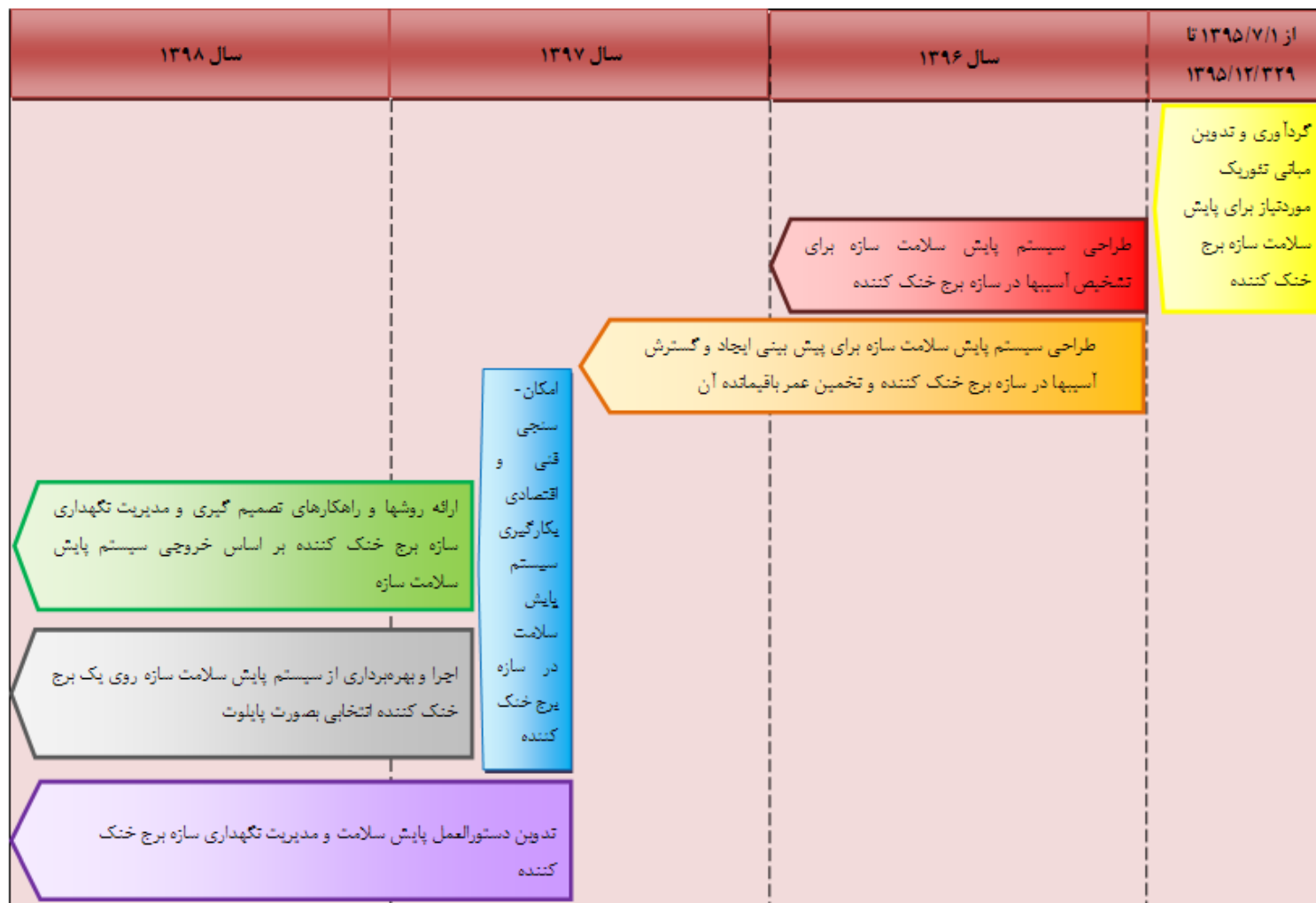
شکل (۵-۳): رهنگاشت زیر اقدام‌های اقدام تدوین دانش فنی پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های موجود و جدید بخش تولید، انتقال و توزیع



شکل (۴-۵): رهنگاشت اقدام شناسایی انواع روش‌های پایش سلامت سازه در دنیا



شکل (۵-۵): رهنگاشت اقدام اولویت‌بندی اجرای پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق



شکل (۵-۶): رهنگاشت اقدام تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه در برج خنک کننده



پیوست ۱: شناسنامه اقدامات غیر فنی سند توسعه فناوری پایش سلامت

در سازه‌های صنعت برق

اقدام ۱: حمایت از تعریف پایان‌نامه‌ها و طرح‌های پژوهشی کاربردی در حوزه پایش سلامت در

سازه‌های صنعت برق

همان‌طور که در فاز چهارم طرح اشاره گردید، به علت جدید بودن مبحث پایش سلامت سازه و بالاخص پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق در کشور، حجم کارهای پژوهشی و تحقیقاتی صورت گرفته در کشور در این حوزه بسیار کم می‌باشد لذا می‌بایست سازوکاری اندیشیده شود که از تعریف پایان‌نامه و طرح‌های پژوهشی در این حوزه حمایت گردد. حمایت از پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد، دکتری و طرح پژوهشی مرتبط با فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق می‌تواند صورت حمایت‌های مالی باشد که این حمایت در ۴ حوزه قابل انجام است:

↪ حمایت مالی از پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد به صورت کمک نقدی به دانشجو که البته در دو نوع مطالعاتی و

کاربردی صورت می‌گیرد و میزان کمک به پایان‌نامه‌های کاربردی بیش از مطالعاتی می‌باشد.

↪ حمایت مالی از پایان‌نامه‌های دکتری به صورت کمک نقدی به دانشجو

↪ حمایت مالی از طرح‌های پژوهشی تعریف شده در حوزه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق

↪ حمایت تشویقی از صنعتی شدن دستاوردهای پایان‌نامه‌ها بطوریکه در مواردی که پایان‌نامه کاملاً در صنعت قابل

اجراست فرد، مبلغی را به عنوان تشویقی دریافت کند.

به منظور ارتقای سطح پژوهش‌های صورت گرفته در این حوزه و جلوگیری از هدر رفت هزینه و انرژی حمایت از

پایان‌نامه‌ها و طرح‌ها باید به صورت گزینشی انجام پذیرد و با بررسی موضوعات مختلف مرتبط با پایش سلامت سازه در

سازه‌های صنعت برق، موضوعات کاربردی که نیاز اصلی صنعت برق بوده شناسایی شده و حمایت‌ها در محدوده این موضوعات

صورت گیرد. سپس جهت اطمینان از اجرایی شدن نتایج این تحقیقات در صنعت، پیگیری‌ها و حمایت‌های لازم می‌بایست در

کمیته پژوهش مرکز توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، تا عملیاتی شدن این طرح‌ها صورت پذیرد. در راستای

اجرای این اقدام فعالیت‌های مختلفی باید انجام شود، که لیست این فعالیت‌ها در جدول زیر ارائه شده است.

ردیف	فعالیت
۱	شناسایی موضوعات دارای اولویت مربوط به پایش سلامت سازه در صنعت برق

ردیف	فعالیت
۲	حمایت مالی از پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد
۳	حمایت مالی از پایان‌نامه‌های دکتری
۴	حمایت مالی از طرح‌های پژوهشی
۵	تشکیل کمیته‌ای جهت پیگیری عملیاتی شدن نتایج پایان‌نامه‌ها و طرح‌های پژوهشی در مرکز توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

اقدام ۲: تعریف پروژه‌های مشترک بین صنعت برق و دانشگاه‌های فعال در حوزه پایش سلامت سازه

مطابق با آمار و تحقیقات صورت گرفته حدود هشتاد درصد از نیروهای عالم و تحصیل کرده در دانشگاه‌ها هستند و کمتر از بیست درصد در مراکز تحقیقاتی؛ صنایع و شرکت‌ها مشغول به کار می‌باشند. بنابراین می‌توان گفت که نهاد علم در جامعه، دانشگاه است. ارتباط مناسب بین صنعت و دانشگاه یکی از عوامل مهم و ضروری در توسعه همه جانبه کشورها است و بدون ایجاد این ارتباط توسعه فناوری‌هایی که در مرحله پیش توسعه هستند بسیار دشوار خواهند بود. ارتباط صنعت و دانشگاه در واقع استفاده از توانمندی‌های دانشگاه در جهت رفع نیازهای صنعت است.

همان‌طور که در فاز چهارم مطرح شد، یکی از مشکل‌های پیش‌رو در توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، عدم توجه دولت به این حوزه و عدم تعریف طرح‌های در این زمینه می‌باشد. در واقع با توجه به دولتی بودن اغلب سازه‌های صنعت برق، جهت توسعه فناوری پایش سلامت در این سازه‌ها، می‌بایست ابتدا دولت با توجه به نیازهای خود در این حوزه، پروژه‌هایی را تعریف کرده و بعد از شناسایی دانشگاه‌های توانمند جهت انجام این پروژه‌ها، متولی پروژه را مشخص نماید. در واقع اغلب خبرگان حوزه پایش سلامت سازه معتقدند، در صورتی که دولت به عنوان مالک اصلی سازه‌های برق، پروژه‌هایی را در این حوزه تعریف کند، بسیاری از چالش‌های دیگر رفع شده و دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی در صورتی که مطمئن باشند در این حوزه می‌توان از نظر عملیاتی کارهایی انجام داد، خود به تولید دانش در این زمینه می‌پردازند.

از آنجایی که از جمله خروجی‌های این سند، پروژه‌های پژوهشی و عملیاتی اولویت‌دار و بر اساس نیازهای شناخته شده در صنعت برق می‌باشد. در مرحله بعد می‌توان با تعریف پروژه پتانسیل‌سنجی و شناسایی پتانسیل‌های هر دانشگاه در زمینه فناوری پایش سلامت سازه، متولی پروژه‌ها را شناسایی کرده و با تدوین آیین‌نامه همکاری، پروژه‌ها را به متولی‌های شناسایی شده و بر

اساس ضوابط موجود تخصیص داد. سیاست اجرایی نحوه کار با دانشگاه‌ها و نحوه تخصیص پروژه به آنها، در زمان تعریف و تخصیص پروژه‌ها مشخص شده و در صورت نیاز، برخی پروژه‌های اجرایی به صورت پایلوت تعریف خواهند شد.

ردیف	فعالیت
۱	انجام پروژه پژوهشی پتانسیل سنجی دانشگاه‌های فعال در حوزه پایش سلامت سازه
۲	تدوین آیین‌نامه همکاری بین صنعت برق و دانشگاه‌های شناسایی شده در مرحله قبل و ابلاغ آن به این نهادها

اقدام ۳: ایجاد مکانیزم ارتباطی جهت بهره‌گیری از دانش پایش سلامت سازه در سایر صنایع

همان‌طور که در فاز اول طرح اشاره گردید، در مورد تجهیزات شبکه برق (مانند توربین‌ها، ژنراتورها، پاپینگ، ترانس‌ها و...) روند پایش سلامت که از آن در ادبیات فنی به پایش وضعیت (CM)^۱ تعبیر می‌گردد، متداول بوده و استفاده می‌شود. اما در مورد سازه‌های موجود در بخش‌های مختلف صنعت برق، بحث پایش سلامت مانند سازه‌های موجود در سایر بخش‌های صنعتی و کاربردی، نسبتاً جوان بوده و بیشتر در حوزه‌های تحقیقاتی به آن پرداخته شده است.

در میان انواع سازه‌های موجود در صنعت برق، سدها (نیروگاه‌های برق آبی)، برج و فونداسیون در توربین‌های بادی و برخی از سازه‌های موجود در نیروگاه‌های هسته‌ای از بخش تولید، بیشترین حجم فعالیت‌های تحقیقاتی و اجرایی در زمینه پایش سلامت در کشور و سایر نقاط دنیا را به خود اختصاص داده‌اند.

همچنین در رابطه با سازه‌های خارج از صنعت برق، پایش سلامت سازه در حوزه‌های تحقیقاتی و اجرایی (عملیاتی) در بخش‌های زیر اجرا شده است:

- ↔ انواع پل‌های شهری و بین شهری
- ↔ برخی سازه‌های موجود در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی (مانند خطوط لوله)
- ↔ سازه‌های خاص (مانند برج میلاد تهران)

^۱- Condition Monitoring

از آنجا که بخش‌هایی از دانش پایش سلامت در بین سازه‌های مختلف مشترک می‌باشد، لذا در صورت وجود یک مکانیزم ارتباطی بین صنعت برق و سایر صنایع که پایش سلامت سازه در آنها به صورت عملیاتی به اجرا در آمده است، می‌توان از تجربیات آنها استفاده کرده و از برخی دوباره‌کاری‌ها جلوگیری نمود.

در این راستا لازم است ابتدا صناعی که پایش سلامت سازه در آنها کاربردی شده، بطور کامل و جامع شناسایی شده و با تشکیل کمیته‌ای در مرکز توسعه فناوری پایش سلامت و دعوت از مجریان پایش سلامت سازه در سایر صنایع و برگزاری جلسات منظم، از تجربیات علمی و عملی آنها استفاده نمود.

ردیف	فعالیت
۱	تعریف پروژه شناسایی صناعی در کشور که پایش سلامت سازه در آنها عملیاتی شده است
۲	تشکیل کمیته هماهنگی بین دستگاهی، در مرکز توسعه فناوری پایش سلامت، جهت پیگیری و هماهنگی با متولیان پیاده‌سازی پایش سلامت سازه در سایر صنایع
۳	برگزاری نشست‌های مشترک موضوعی جهت استفاده از تجربیات علمی و عملی در حوزه پایش سلامت سازه در سایر صنایع

اقدام ۴: استفاده کارآمد از ظرفیت‌های ارتباطی و دانشی موجود در سایر حوزه‌های مرتبط (سمینار،

همایش، انجمن و ...)

ایجاد انجمن‌های دانشی در داخل کشور یکی از راهکارهای پیشنهادی برای کمک به توسعه دانش در زمینه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق می‌باشد. انجمن‌های علمی و دانشی از جمله مراکزی هستند که به منظور پرورش استعدادهای علمی، مدیریتی، تقویت نشاط علمی و اجرای برنامه‌های تکمیلی همسو با نیازهای حوزه مدنظر ایجاد می‌شوند. بسترسازی و ایجاد انجمن‌های علمی-دانشی در جوامع امروزی از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. به طور کلی فعالیت‌های انجمن‌های علمی دانشی در چند بخش کلی خلاصه می‌شود، که عبارتند از:

۱- فعالیت در زمینه کمک به برگزاری سمینارها و کارگاه‌های علمی در سطح منطقه‌ای، ملی و بین‌المللی

۲- برگزاری دوره‌های آموزشی تکمیلی و تقویتی و تشکیل کارگاه‌های تخصصی برای انجام

۳- برگزاری و همکاری در اجرای جشنواره‌ها، کنفرانس‌ها و مسابقات علمی (داخلی و خارجی)

۴- تولید و انتشار نشریه علمی، کتاب و نشریات الکترونیکی، نرم افزارهای رایانه‌ای و فیلم‌های علمی - آموزشی

۵- حمایت و تشویق مادی و معنوی از ابتکارات، خلاقیت‌های علمی، فعالیت‌های پژوهشی و اختراعات مرتبط

با توجه به شرح فعالیت‌های یاد شده مشخص است که ایجاد چنین انجمن‌هایی می‌تواند به تولید دانش، افزایش تحقیق و توسعه در زمینه فناوری کمک کند.

همچنین یکی از عوامل موثر در فرآیند توسعه ملی، برگزاری همایش و سمینار می‌باشد. اهمیت برگزاری همایش در جهت شناسایی معضلات و تنگناها و در نتیجه، ارائه راه حل‌هایی به منظور رفع آنها می‌باشد. برگزاری سمینارها و نشست‌های علمی فرصتی مناسب جهت آشنایی هرچه بیشتر محققین و دانشجویان با پیشرفت‌ها و دستاوردهای روزآمد علمی و نیز محملی برای آشنایی آنان با محیط‌های صنعتی می‌باشد. برگزاری سمینارها فرصتی بسیار معتتم برای ارتباط صاحبان صنایع با دستاوردهای علمی محیط دانشگاه می‌باشد. لذا یکی از راه کارهای برطرف نمودن موانع و مشکلات در راه ارتباط صنعت و دانشگاه برگزاری سمینارها و همایش‌ها می‌باشد. از جمله اهداف اصلی برگزاری سمینار، همایش و کنفرانس‌های تخصصی، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ۱- ایجاد بستری مناسب جهت آشنایی روزافزون دانشجویان و اساتید دانشگاه‌های سراسر کشور با ظرفیت‌های موجود در کشور جهت استفاده عملی از دانش خود
- ۲- ایجاد ارتباط هرچه بیشتر و فراهم آوردن بستری مناسب برای ایجاد تعاملات علمی و صنعتی پویا.
- ۳- ایجاد پویایی و انگیزه مشارکت در فعالیت‌های علمی دانشجویی برای دانشجویان.
- ۴- گسترش دانش فنی، ارائه آخرین یافته‌های پژوهشی و ایجاد محیطی علمی و فنی جهت تبادل اطلاعات
- ۵- فراهم نمودن بستر مناسب برای کنکاش، تبادل افکار و اندیشه‌های محققان، استادان، مدیران، کارشناسان و خبرگان علمی و صنعتی
- ۶- ارائه دستاوردهای اندیشمندان و صاحب‌نظران به جامعه علمی و صنعتی
- ۷- فراهم نمودن امکانات و شرایط لازم برای شناخت اصولی و گسترده متقابل صنعت و دانشگاه
- ۸- معرفی متخصصین و صاحب‌نظران این حوزه به مسئولین، مدیران و سیاست‌گذاران
- ۹- ایجاد همسویی و هماهنگی بین متخصصان و پژوهشگران
- ۱۰- کشف استعدادهای نهفته و استفاده از تجارب و اندیشه بزرگان

لذا با توجه به اهداف و مزایای ذکر شده در ایجاد انجمن‌های دانشی، همچنین برگزاری همایش، سمینار و کنفرانس‌های تخصصی، وجود چنین ظرفیت‌هایی در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق می‌تواند به توسعه و انتشار این دانش کمک کند. در حال حاضر کنفرانس و انجمن خاصی به طور مستقیم در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق فعالیت نمی‌کند. ولی از آنجا که به گفته خبرگان، این دانش هنوز در کشور بسیار جوان می‌باشد، وجود انجمن یا کنفرانس مستقل در این حوزه هنوز چندان احساس نمی‌شود. زیرا وجود انجمن تا وقتی تعداد کافی فارغ‌التحصیل در این زمینه وجود نداشته باشد و دانش فنی نیز به اندازه کافی در کشور عملیاتی نشده باشد، فایده چندان نخواهد داشت. لذا با توجه به عدم وجود بستر لازم، صرف ایجاد و تشکیل انجمن و برگزاری کنفرانس، کمکی نخواهد کرد. اما می‌توان با شناسایی انجمن‌ها و همایش‌های مرتبط با بحث پایش سلامت نظیر انجمن تعمیرات و نگهداری، انجمن مهندسين مکانیک و... و همچنین سمینارها و همایش‌هایی که پتانسیل اضافه کردن مبحث پایش سلامت را به عنوان یکی از حوزه‌های اصلی خود دارند نظیر کنفرانس بین‌المللی برق ...، به گسترش این دانش در کشور و ارتباط هر چه بیشتر بازیگران این حوزه کمک کرد.

لذا لازم است ابتدا، پتانسیل‌های موجود در کشور در این زمینه شناخته شده و با رایزنی با انجمن‌ها و دبیرخانه کنفرانس‌های شناسایی شده، از ظرفیت‌های آنها در جهت توسعه و انتشار دانش این فناوری استفاده کرد.

ردیف	فعالیت
۱	شناسایی انجمن‌ها، سمینارها و کنفرانس‌های مرتبط با پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق
۲	تشکیل کمیته رایزنی با انجمن و دبیرخانه سمینار یا کنفرانس منتخب
۳	انعقاد قرارداد همکاری با انجمن و دبیرخانه سمینار یا کنفرانس

اقدام ۵: ایجاد مکانیزم ارتباطی جهت بهره‌گیری از دانش پایش سلامت سازه در دانشگاه‌ها و

شرکت‌های پیشرو در این حوزه در جهان

امروزه پایش سلامت سازه‌ها در بسیاری از کشورهای دنیا نقش مهمی پیدا کرده است. سیستم‌های پایش سلامت هم در سازه‌های قدیمی و ساخته شده و هم در سازه‌های جدید نصب می‌شوند تا علاوه بر مدیریت نگهداری و تشخیص خرابی، اطلاعات ذی‌قیمتی از وضعیت کارکرد و عملکرد سازه بصورت آنلاین در اختیار محققین قرار دهند. در این میان، بخش‌های تحقیقاتی در توسعه و ارائه الگوریتمها و روش‌های جدید و کاربردی پایش سلامت، توسعه و ارتقاء سیستم‌های اندازه‌گیری و سنسورها، توسعه تجهیزات و نرم افزارهای کاربردی، یکپارچه سازی و تدوین استانداردها و ... نقش مهمی را ایفا می‌نمایند. امروزه حجم قابل توجهی از فعالیت‌های مرتبط با پایش سلامت سازه‌ها در دنیا، مربوط به بخش‌های تحقیقاتی بوده و از نتایج و خروجیهای پروژه‌های اجرایی نیز، در بخش تحقیقات استفاده می‌شود.

متأسفانه در کشور، یک مکانیزم ارتباطی منسجم جهت برقراری ارتباط با دانشگاه‌ها و شرکت‌های پیشرو در زمینه پایش سلامت سازه وجود نداشته و در صورت وجود ارتباط هم، این ارتباطات بصورت فردی می‌باشد. در صورت وجود یک شبکه می‌توان از دانش پایش سلامت تولید شده در مراکز تحقیقاتی معتبر و دانش فنی اجرایی شده در سازه‌های مختلف، به خوبی بهره‌برداری کرده و از برخی دوباره‌کاری‌ها جلوگیری نمود.

یکی از روش‌های برقراری ارتباط با دانشگاه‌ها و شرکت‌های پیشرو در زمینه پایش سلامت سازه، عضویت در مؤسسات بین‌المللی فعال در این زمینه می‌باشد. در این خصوص مؤسسات تحقیقاتی بسیاری در دنیا مشغول به فعالیت در زمینه مدیریت و تولید علوم و تکنولوژیهای مربوط به پایش سلامت سازه‌ها هستند که می‌توان به عضویت هر کدام از آنها در آمد. یکی از مهمترین مؤسسات بین‌المللی فعال در زمینه پایش سلامت سازه‌ها، مؤسسه^۱ ISHMII است که بصورت غیرانتفاعی فعالیت می‌کند. [۱۶] هدف این مؤسسه، ایجاد توسعه و پیشرفت در درک و کاربرد فرایند پایش سلامت در سازه‌ها و ایجاد ارتباط میان محققین و فعالان و به اشتراک گذاری دانش فنی در زمینه‌های مرتبط (از طریق نشر ژورنال تخصصی و برپایی کنفرانس‌ها و کارگاه‌ها) می‌باشد.

¹- International Society for Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure.

یکی دیگر از مؤسسات مرتبط با پایش سلامت سازه‌ها که فعالترین شبکه در این زمینه در اروپا است، شبکه ای موسوم به SAMCO^۱ می‌باشد. شبکه SAMCO در خلال سالهای ۲۰۰۱ الی ۲۰۰۶ به مرور تشکیل و تکمیل شده و اکنون دارای حدود ۸۵ عضو از ۲۵ کشور مختلف جهان بوده و با ISHMII نیز مرتبط است. این شبکه ارتباط میان شرکت‌های ساخت و ساز، مدیران و مالکان سازه‌ها، خبرگان صنعت پایش، مؤسسات تحقیقاتی، مقامات محلی و دولت‌ها و سایر بخش‌های مرتبط با پایش سلامت سازه‌ها را در کل اروپا برقرار می‌کند. این شبکه، تبادل و انتقال دانش فنی و تکنولوژی در زمینه ارزیابی، پایش و کنترل هوشمند سازه‌ها را پشتیبانی می‌کند. فعالیت‌های غالب این شبکه در مورد پایش سازه‌های پل‌ها، ساختمانها، نیروگاه‌ها و ساختمانهای صنعتی تحت شرایط محیطی مختلف بوده و تمامی کنشگران مرتبط از محققین و خبرگان تا استفاده کنندگان نهایی و مالکان را پوشش می‌دهد. این شبکه در زمینه مدیریت تکنولوژی و تهیه برنامه‌های استراتژیک پایش سلامت سازه‌ها نیز فعال است. همچنین این شبکه برنامه‌های دوره‌ای در راستای ارائه آموزش و انتقال دانش به بخش‌های مختلف مرتبط با پایش سلامت را ارائه می‌دهد.

یک شبکه بین‌المللی دیگر در زمینه پایش سلامت سازه‌ها که در سال ۲۰۰۷ بصورت یک پروژه مشترک (کنسرسیوم) با هدف ارائه نوآوری‌ها در پایش سلامت (بخصوص در تکنولوژی‌های اندازه‌گیری و سنسورها) در انگلستان ایجاد گردید، شبکه موسوم به CEASA^۲ می‌باشد.

می‌توان با شناسایی شبکه‌های معتبر و انتخاب شبکه‌ای که به بهترین نحو نیاز داخلی را تامین کند، رایزنی‌های لازم را جهت عضویت در این شبکه انجام داده و در نهایت با عضویت در این شبکه، از دانش به روز دنیا و تجربیات شرکت‌ها در زمینه پیاده‌سازی دانش پایش سلامت سازه استفاده کرد.

ردیف	فعالیت
۱	تعریف پروژه مطالعاتی شناسایی مؤسسات بین‌المللی فعال در زمینه پایش سلامت سازه‌ها
۲	عضویت در موسسه منتخب شناسایی شده در مرحله قبل

اقدام ۶: ایجاد بانک اطلاعاتی محققین و دستاوردهای دانشی در حوزه پایش سلامت سازه‌ها

^۱- Structural Assessment, Monitoring and Control.

^۲- Consortium of Excellence in Advanced Sensors and their Applications.

همان طور که در فاز چهارم طرح عنوان گردید، از چالش‌های اساسی پیش‌روی توسعه فناوری پایش سلامت سازه، عدم وجود مکانیزم ارتباطی جهت استفاده از تحقیقات و دانش تولید شده توسط محققین مختلف در حوزه پایش سلامت سازه‌ها، ضعیف بودن ارتباطات بین دانشگاه‌های مختلف با یکدیگر، عدم اطلاع محققین، مسئولین و سیاستگذاران از آخرین دستاوردهای کشور در حوزه پایش سلامت سازه‌ها، عدم وجود بانک اطلاعاتی از تخصص و سوابق افراد فعال در حوزه پایش سلامت سازه و زنجیره نبودن پایان‌نامه‌ها و کارهای تحقیقاتی در حوزه پایش سلامت سازه در ایران می‌باشد. در واقع در حال حاضر به صورت کلی مشخص نیست، چه افرادی در زمینه پایش سلامت سازه‌ها فعالیت می‌کنند، کدام اساتید در کدام دانشگاه‌ها بر روی چه موضوعاتی فعالیت می‌کنند، همچنین فعالیت‌ها و تحقیقات صورت گرفته زنجیره‌وار نبوده و در صورت انجام پژوهشی در یک زمینه خاص، در اغلب موارد نتایج آن‌ها شده و توسط محقق دیگری تکمیل نمی‌گردد. یکی از اقدام‌های مهم و قابل اجرا برای رفع این چالش‌ها و توسعه دانش در زمینه فناوری پایش سلامت سازه ایجاد یک بانک اطلاعاتی کامل و جامع از دستاوردهای دانشی در حوزه فناوری پایش سلامت سازه‌ها می‌باشد.

یک بخش مهم که باید در این سامانه در نظر گرفته شده و همواره به روز شود، بخش اولویت‌های تحقیقاتی صنعت برق، پروژه‌های انجام شده و در حال اجرا در این حوزه می‌باشد. بخش ذکر شده می‌تواند به تطبیق تحقیقات با اولویت‌ها و جلوگیری از دوباره‌کاری و هدر رفت منابع مالی کمک کند. اطلاعات مربوط به حوزه پایش سلامت سازه پس از جمع‌آوری به منظور دستیابی عموم بازیگران این حوزه در سیستم نرم‌افزاری طراحی شده قرار می‌گیرند.

ردیف	فعالیت
۱	انجام پروژه گردآوری و دسته‌بندی محتوای مناسب برای ارائه در بانک اطلاعاتی
۲	انجام پروژه طراحی سیستم نرم‌افزاری مورد نیاز
۳	ایجاد امکان دسترسی بازیگران و ذینفعان مختلف این حوزه به اطلاعات
۴	انجام پروژه به‌روزرسانی اطلاعات ارائه شده در بانک اطلاعاتی

اقدام ۷: تشکیل مرکز توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق جهت نظارت بر

فعالیت‌ها، هماهنگی و جهت‌دهی به اقدامات سند

یکی از چالش‌های اصلی شناسایی شده در فاز چهارم طرح، نبود یک مرجع مشخص جهت ایجاد هماهنگی بین بازیگران مختلف پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق است. از این‌رو لازم است به منظور تحقق اهداف سند، ساز و کاری اندیشیده

شود. لذا پیشنهاد می‌گردد مرکز توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در وزارت نیرو تشکیل شده و بر نحوه اجرای این سند نظارت کرده و بازنگری‌های لازم در سند و گزارش کلان مربوطه را در فواصل زمانی مشخص به وزارت نیرو ارائه نماید. این مرکز 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 بر عهده خواهد داشت. از جمله وظایف اصلی این مرکز می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

↪ سیاست‌گذاری اجرایی، راهبری، هماهنگی و ایجاد ارتباطات بین دستگاهی لازم برای توسعه سیستم‌های انتقال برق با

ظرفیت بالا

↪ نظارت و پیگیری اجرای دقیق و کامل مفاد سند

↪ پایش شاخص‌های عملکردی و اثربخشی

↪ بررسی طرح‌ها و برنامه‌های بخشی و فرابخشی، و نظارت بر اجرای صحیح اقدامات

↪ تصمیم‌گیری برای تخصیص بودجه‌ها به پروژه‌های اجرایی

↪ تدوین و پیشنهاد مجموعه قوانین و مقررات

↪ استمرار بخشیدن به انجام مطالعات راهبردی مورد نیاز در خصوص توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت

برق

↪ نظارت کلان بر پروژه‌های توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

↪...

پس از تشکیل مرکز و مطالعه تدوین اهداف و مأموریتها و طراحی ساختار سازمانی مرکز، لازم است کمیته‌هایی جهت پیگیری و نظارت بر اجرای اقدامات سند در حوزه‌های مختلف تشکیل گردد. لذا ابتدا باید کمیته‌های موردنیاز، اعضای آنها و شرح وظایف هر کمیته به طور دقیق مشخص گردد. کمیته‌ها می‌بایست در فواصل زمانی منظم، تشکیل جلسه داده و گزارشی از فعالیت‌های خود آماده کرده و در زمان مشخص به اطلاع رییس مرکز برسانند تا در صورت لزوم اقدامات لازم صورت گیرد. در ادامه فعالیت‌های لازم برای تشکیل مرکز آورده شده است.

ردیف	فعالیت
۱	انجام پروژه مطالعه تدوین اهداف و مأموریت‌ها و طراحی ساختار سازمانی مرکز
۲	اخذ موافقت تأسیس مرکز از مراجع ذیربط
۳	تامین محل استقرار دبیرخانه مرکز
۴	تشکیل کمیته‌های ذیربط و انجام مطالعات مورد نیاز اقدامات سند

اقدام ۸: تدوین قوانین و دستورالعمل جهت ایجاد الزام در تاسیسات اصلی صنعت برق به بکارگیری

فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

یکی از دلایل اصلی عنوان شده از سوی خبرگان برای عدم بکارگیری فناوری پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق، عدم وجود الزام قانونی برای آن می‌باشد. در واقع هیچ الزامی از سوی وزارت نیرو وجود ندارد که تاسیسات اصلی موجود در بخش‌های مختلف صنعت برق که در فاز سوم شناسایی شده و شامل (نیروگاه بخاری، نیروگاه چرخه ترکیبی، نیروگاه گازی، خطوط انتقال، پست‌های انتقال، خطوط فوق توزیع، پست‌های فوق توزیع، خطوط توزیع، پست‌های توزیع و نیروگاه‌های بادی) می‌باشند را ملزم به بکارگیری پایش سلامت در سازه‌های اصلی خود کند. از این رو یکی از خروجی‌های اصلی این سند بعد از تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه‌های اصلی هر کدام از تاسیسات، تدوین دستورالعمل برای هر سازه می‌باشد. این دستورالعمل‌ها می‌بایست توسط یک مرجع ذیصلاح (توانیز، وزارت نیرو) به تصویب رسیده تا بتوان از این طریق مدیران صنعت برق را ملزم به بکارگیری فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق نمود.

ردیف	فعالیت
۱	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه‌های صنعت برق
۲	تصویب دستورالعمل تدوین شده در مرجع ذیصلاح
۳	ابلاغ دستورالعمل به تاسیسات اصلی صنعت برق

اقدام ۹: آگاه‌سازی مدیران صنعت برق از مزایای بکارگیری پایش سلامت سازه در صنعت برق از

طریق برگزاری سمینارها و همایش‌های تخصصی

یکی از دلایل اصلی عدم عملیاتی شدن پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق، عدم وجود فرهنگ هزینه کردن برای پیشگیری از آسیب در بین مدیران و عدم اطلاع مدیران و سیاست‌گذاران اصلی صنعت برق با مزایای بکارگیری پایش سلامت

در سازه‌های صنعت برق می‌باشد. لذا جهت ایجاد نگرش و فرهنگ هزینه کردن برای مواردی نظیر پایش سلامت که می‌تواند در آینده از هزینه‌های زیادی جلوگیری کند، می‌بایست سمینارها و همایش‌هایی با حضور مدیران و مسئولان اصلی بخش‌های تولید، انتقال و توزیع برگزار گردد. در ادامه فعالیت‌های اصلی جهت تحقق این اقدام آورده شده است.

ردیف	فعالیت
۱	تعریف پروژه مطالعاتی به منظور مشخص شدن انواع همایش‌های مورد نیاز و محتوای همایش‌ها
۲	فراهم کردن مقدمات برگزاری همایش‌ها
۳	اعلام فراخوان برای افراد واجد شرایط

اقدام ۱۰: رایزنی جهت در نظر گرفتن شاخص اجرایی کردن دستورالعمل‌های پایش سلامت سازه‌های

صنعت برق، در ارزیابی عملکرد مدیران تاسیسات مختلف صنعت برق

پس از اتمام مراحل اولیه سند و تدوین دانش فنی پایش سلامت در سازه‌های مختلف صنعت برق، می‌بایست مکانیزمی در نظر گرفته شود که از اجرایی شدن فناوری پایش سلامت در سازه‌ها مختلف اطمینان حاصل گردد. هرچند تدوین قوانین و دستورالعمل‌ها می‌تواند تا حدی به اجرایی شدن این موضوع کمک کند، اما با توجه به عدم وجود فرهنگ هزینه کردن برای پیشگیری از آسیب، همانطور که پیشتر نیز اشاره گردید، لازم است علاوه بر تدوین قوانین و دستورالعمل‌ها ساز و کاری اندیشیده شود که مدیران بخش‌های مختلف صنعت برق را ملزم به بکارگیری پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق کند. از این رو با می‌توان با رایزنی با دفتر بازرسی و مدیریت عملکرد وزارت نیرو، شاخص اجرایی شدن دستورالعمل‌های پایش سلامت سازه را برای تاسیسات مختلف صنعت برق به عنوان یکی از شاخص‌های فرم‌های ارزیابی عملکرد مدیران تاسیسات اصلی صنعت برق در نظر گرفت.

ردیف	عنوان فعالیت
۱	رایزنی با دفتر بازرسی و مدیریت عملکرد وزارت نیرو
۲	ابلاغ اضافه شدن شاخص اجرایی شدن دستورالعمل‌های پایش سلامت سازه به مدیران صنعت برق

اقدام ۱۱: رایزنی با مدیران وزارت نیرو جهت اولویت‌دهی به پایش سلامت سازه‌های صنعت برق در

برنامه ریزی های کلان صنعت برق

یکی از چالش‌هایی که در حال حاضر در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق وجود دارد این است که بحث پایش سلامت، از موضوعاتی است که به علت بالا بودن هزینه تامین تجهیزات مورد نیاز آن، در ابتدا هزینه زیادی داشته و سود آن در دراز مدت خود را از طریق افزایش طول عمر سازه نشان می‌دهد. بنابراین با توجه به هزینه اولیه بالای آن، مدیران صنعت برق معمولاً تمایل چندانی جهت بکارگیری پایش سلامت سازه ندارند و این امر جزء برنامه‌های اصلی وزارت نیرو نبوده و به همین دلیل نیز بودجه‌ای در برنامه‌های سالانه وزارت نیرو، برای این موضوع در نظر گرفته نشده است. در واقع وزارت نیرو در حال حاضر بیشتر به دنبال حل مسائل و مشکلات روزمره می‌باشد و پایش سلامت نیز به علت اینکه در دراز مدت اثر خود را نشان می‌دهد لذا مورد توجه مدیران وزارت نیرو قرار ندارد. از این رو جهت ایجاد الزام برای مدیران تاسیسات اصلی صنعت برق و همچنین تامین بودجه اولیه پیاده‌سازی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، لازم است با مدیران وزارت نیرو رایزنی صورت گرفته تا با توجه به اهمیت بحث پایش سلامت سازه‌های صنعت برق، در برنامه‌های سالانه وزارت نیرو بدان توجه کنند.

اقدام ۱۲: برگزاری دوره‌های ضمن خدمت برای مهندسين عمران شاغل در بخش‌های مختلف در

صنعت برق، جهت آشنایی با سازه‌های صنعت برق

یکی از چالش‌های اصلی عنوان شده توسط خبرگان حوزه پایش سلامت سازه، عدم آموزش مباحث مربوط به سازه‌های شریان‌های حیاتی، از جمله سازه‌های صنعت برق در دانشگاه‌های کشور می‌باشد. در واقع دانشجویان عمران تربیت شده در دانشگاه‌های مختلف با سازه‌های صنعت برق آشنا نبوده و پس از استخدام در بخش‌های مختلف صنعت برق، به مرور زمان و معمولاً بر اساس تجربه با سازه‌های مختلف صنعت برق آشنا می‌شوند. بنابراین از آنجا که این آشنایی معمولاً به صورت علمی نبوده و بر اساس تجربه می‌باشد در اغلب موارد نیز کامل نمی‌باشد. لذا می‌بایست برای حل این چالش، دوره‌هایی برای مهندسين عمران شاغل در بخش‌های مختلف صنعت برق جهت آشنایی با سازه‌های صنعت برق برگزار گردد. در ادامه فعالیت‌های اصلی جهت تحقق این اقدام آورده شده است.

ردیف	عنوان فعالیت
۱	انجام مطالعات به منظور مشخص شدن انواع دوره‌های مورد نیاز و محتوای دوره‌ها
۲	فراهم کردن مقدمات برگزاری دوره‌ها
۴	اعلام فراخوان برای افراد واجد شرایط
۵	کمک به برگزاری دوره‌ها

اقدام ۱۳: ارائه واحدهای درسی (اختیاری) میان‌رشته‌ای پایش سلامت سازه در دانشگاه‌ها

یکی از چالش‌های عنوان شده از سوی خبرگان پایش سلامت سازه، عدم توجه دانشگاه‌ها به تربیت دانشجوی در حوزه پایش سلامت سازه می‌باشد. در حوزه پایش وضعیت تجهیزات، رشته‌ای مجزا با این عنوان وجود داشته که سالیانه تعدادی دانشجوی نیز تربیت می‌کند. در بحث پایش سلامت سازه از آنجا که ایجاد یک رشته جدید منجر به تربیت دانشجوی شده در حالیکه بحث پایش سلامت سازه هنوز آنچنان که باید در کشور عملیاتی نشده، بنا به نظر خبرگان، تدوین دروس اختیاری مرتبط با پایش سلامت سازه و ارائه آن در دانشگاه‌ها کافی بوده می‌تواند کمک شایانی به تربیت دانشجویانی آشنا به پایش سلامت سازه نماید. در ادامه فعالیت‌های اصلی جهت تحقق این اقدام آورده شده است.

ردیف	عنوان فعالیت
۱	تعریف پروژه مطالعاتی نیازسنجی آموزشی و شناسایی دروس مورد نیاز
۲	تعریف پروژه مطالعاتی تهیه محتوای دروس اختیاری در نظر گرفته شده
۳	رایزنی با دفتر گسترش و برنامه ریزی آموزش عالی جهت تصویب دروس اختیاری
۴	تصویب دروس اختیاری مورد نظر و ابلاغ آن به مراکز آموزشی و دانشگاه‌ها

اقدام ۱۴: شناسایی و حمایت از تامین سخت‌افزار و نرم‌افزار مورد نیاز پایش سلامت سازه‌های صنعت

برق

یکی از ملزومات اصلی جهت بکارگیری پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق، تجهیزات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری می‌باشد. در واقع سیستم‌های تجاری پایش سلامت سازه موجود شامل بخش‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری است. بخش‌های سخت‌افزاری شامل سنسورها، کابل‌ها، واحدهای گیرنده داده‌ها (DAUs)، کامپیوترهای سرور و سایر تجهیزات حفاظتی و انتقال نیرو سیستم است. بخش نرم‌افزاری شامل سیستم‌های تبدیل داده‌های آنالوگ به دیجیتال، نرم‌افزارهای نظارت بر کنترل

و سیستم گیرنده داده‌ها (SCADA)، پایش پردازش و پردازش اتوماتیک داده‌ها مانند تراکم، تبدیل و نگهداری مجموعه داده‌های دریافت شده، که با استفاده از الگوریتم‌های خاص پردازش و آنالیز طراحی شده‌اند، نرم افزار بایگانی، تهیه نسخه پشتیبان بصورت دوره‌ای، ذخیره مداوم داده‌ها، نرم افزارهای هماهنگ‌سازی آنلاین داده‌ها همچنین انتقال داده‌ها از طریق شبکه برای سیستم‌های بیسیم می‌باشد.

تامین سخت‌افزار و نرم‌افزار لازم جهت بکارگیری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، یکی از چالش‌های توسعه این فناوری در صنعت برق می‌باشد. لذا برای رفع این چالش می‌بایست ابتدا کلیه تجهیزات سخت‌افزاری مورد نیاز شناسایی شده و بعد از اولویت‌بندی آنها، راه‌های ممکن جهت تامین منابع مالی جهت تهیه تجهیزات بررسی گردد، تعریف پروژه مطالعاتی شناسایی تجهیزات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری مورد نیاز در بکارگیری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در پروژه ۶ از اولین اقدام فنی انجام خواهد گرفت لذا در این اقدام سایر فعالیت‌های مورد نیاز صورت خواهد گرفت که در ادامه فعالیت‌های اصلی جهت تحقق این اقدام آورده شده است.

ردیف	عنوان فعالیت
۱	تعریف پروژه مطالعاتی اولویت‌بندی تجهیزات مورد نیاز
۲	انجام پروژه تحقیقاتی امکان‌سنجی مالی تامین تجهیزات
۳	تشکیل کمیته جهت رایزنی با بانک‌ها و سایر صندوق‌ها و موسسات مالی جهت حمایت از تامین مالی تجهیزات با اولویت

اقدام ۱۵: ایجاد بانک اطلاعاتی آسیب‌های سازه‌ای در شبکه برق (تولید، انتقال و توزیع)

یکی از چالش‌های اصلی در توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، عدم وجود آمار و اطلاعات دقیق و جامع از خرابی‌ها و آسیب‌های رخ داده در سازه‌های صنعت برق کشور در سال‌های گذشته و هزینه‌های مالی و جانی ناشی از این خرابی‌ها است. مهمترین اطلاعات مورد نیاز در این زمینه شامل وقوع آسیب یا خرابی سازه‌ای، مکان و زمان وقوع یا شناسایی آسیب یا خرابی، منشأ یا علل وقوع آن، میزان شدت یا اندازه یا ارزش آسیب یا خرابی، پی‌آمدها و خسارت‌های جانبی مالی، جانی، زیست محیطی و ... ناشی از آسیب و خرابی می‌باشند که برای هر مورد مشاهده شده از آسیب یا خرابی در یک سازه مشخص باید ثبت و گردآوری شده و با انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری، تبدیل به اطلاعات مفید شده و در سایر

بخش‌های طرح (بخصوص در اقدام اولویت‌بندی سازه‌ها از جهت نیاز به اجرای پایش و نگهداری و برنامه‌ریزی اجرایی) مورد استفاده قرار گیرند.

لذا از مهم‌ترین اقداماتی که می‌بایست بعد از تدوین این سند و در ابتدای اجرای طرح صورت پذیرد، ایجاد بانک اطلاعاتی کامل و جامع از خرابی‌ها و آسیب‌های سازه‌های رخداده در گذشته در بخش‌های مختلف صنعت برق (تولید، انتقال و توزیع) می‌باشد. در ادامه فعالیت‌های اصلی مربوط به این اقدام ارائه شده است.

ردیف	عنوان فعالیت
۱	گردآوری و دسته‌بندی محتوای مناسب برای گردآوری و ارائه در بانک اطلاعاتی
۲	طراحی سامانه نرم‌افزاری مورد نیاز
۳	جمع‌آوری داده‌های خرابی‌ها و آسیب‌های سازه‌های در بخش تولید
۴	جمع‌آوری داده‌های خرابی‌ها و آسیب‌های سازه‌های در بخش انتقال
۵	جمع‌آوری داده‌های خرابی‌ها و آسیب‌های سازه‌های در بخش توزیع
۶	تحلیل و تفسیر آماری داده‌های جمع‌آوری شده و تدوین شاخص‌های ارزیابی آسیب‌ها و خرابی‌ها
۷	طراحی و ایجاد سازوکار به روز رسانی داده‌ها و اطلاعات

اقدام ۱۶: برگزاری دوره‌های آموزشی جهت آشنایی با نحوه بکارگیری سخت‌افزار مربوط به پایش

سلامت سازه‌ها در سازه‌های صنعت برق (تربیت اپراتور و تکنسین‌های پایش سلامت سازه)

به منظور برگزاری دوره‌های آموزشی جهت آشنایی با نحوه بکارگیری سخت‌افزار مربوط به پایش سلامت سازه‌ها، اولین قدم شناسایی نیاز یا نیازسنجی است. در ابتدا لازم است شناسایی مواد و محتوای آموزشی مورد نیاز صورت گیرد. پس از شناسایی نیازها و مشخص شدن مباحث علمی مورد نیاز، مراکزی که در این زمینه فعالیت می‌کنند شناسایی شده و با توجه به ملاک‌های انتخاب، تعدادی از مراکز انتخاب می‌شوند و مذاکراتی با آنها صورت گرفته و در صورت قطعی شدن، قراردادی جهت برگزاری دوره‌های آموزشی با آنها بسته می‌گردد. پس از طی این قدم‌ها و تنظیم دوره‌ها، به افراد واجد شرایط اطلاع‌رسانی شده و متناسب با تعداد افراد، مقدمات برگزاری دوره از قبیل تأمین امکانات صورت می‌پذیرد. در نهایت نیز دوره‌ها به صورت دوره‌های کوتاه‌مدت برگزار خواهد گردید.

ردیف	عنوان فعالیت
۱	انجام مطالعات به منظور مشخص شدن انواع دوره‌های مورد نیاز و شناسایی مراکز معتبر
۲	فراهم کردن مقدمات برگزاری دوره‌ها

ردیف	عنوان فعالیت
۳	انجام مذاکره و عقد قرارداد با مراکز انتخاب شده
۴	اعلام فراخوان برای افراد واجد شرایط
۵	کمک به برگزاری دوره‌های کوتاه‌مدت

اقدام ۱۷: امکان‌سنجی بکارگیری آزمایشگاه‌های موجود و نیازسنجی احداث آزمایشگاه

به منظور تدوین دانش فنی پایش سلامت سازه‌ها، علاوه بر مباحث نظری نیاز به انجام فعالیتهای عملی در مقیاس کوچک (آزمایشگاه) و در مقیاس بزرگ (پایلوت) وجود دارد. در حال حاضر آزمایشگاهی که بطور خاص مربوط به پایش سلامت در سازه‌ها باشد در کشور وجود ندارد و تحقیقات آزمایشگاهی معدودی نیز که در این زمینه صورت می‌گیرد، در آزمایشگاه‌های مربوط به سایر حوزه‌های مهندسی سازه (بخصوص آزمایشگاه‌های ارتعاش و مهندسی زلزله) انجام می‌شود. بنابراین لازم است تا با بررسی نیازهای آزمایشگاهی تدوین دانش پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق و همچنین ارزیابی وضعیت و امکانات موجود و در دسترس در کشور، قابلیت بکارگیری آنها در این طرح و میزان نیاز به احداث و راه‌اندازی آزمایشگاه جدید مورد بررسی قرار گیرد که این موارد در اقدام حاضر انجام خواهند گردید.

ردیف	عنوان فعالیت
۱	بررسی و تعیین نیازهای آزمایشگاهی و امکانات و تجهیزات مورد نیاز
۲	بررسی آزمایشگاه‌های پایش سلامت سازه در سایر کشورها
۳	بررسی آزمایشگاه‌های موجود در داخل کشور
۴	امکان‌سنجی استفاده از آزمایشگاه‌های داخل کشور برای تحقیقات پایش سلامت سازه
۵	نیازسنجی احداث آزمایشگاه جدید برای تحقیقات پایش سلامت سازه‌های صنعت برق
۶	برآورد هزینه و زمان و برنامه ریزی برای احداث آزمایشگاه در صورت احراز نیاز به آن

پیوست ۲: شناسنامه اقدامات فنی سند توسعه فناوری پایش سلامت در

سازه‌های صنعت برق

اقدام ۱: شناسایی انواع روش‌های پایش سلامت سازه در دنیا

همان‌طور که در فازهای قبلی طرح اشاره گردید، مبحث پایش سلامت سازه‌ها با استفاده از فناوری‌های نوین اندازه‌گیری و تشخیص که به اختصار SHM نام دارد، در کشور بسیار جدید بوده و در دنیا نیز نسبتاً (نسبت به روش‌های سنتی و ساده‌تر پایش و نگهداری) جدید است. رویکردها و روش‌های مختلفی برای انجام پایش سلامت تاکنون توسط محققین ارائه شده و در برخی از سازه‌ها مانند پلها، سدها، تونل‌ها و ... مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به جدید بودن این مباحث، حجم عمده دانش موجود در این زمینه بصورت مکتوبات علمی (مقاله، گزارش تحقیقاتی، پایان نامه و ...) بوده و بصورت یکپارچه، جامع و قابل استفاده تدوین نشده است. معدود کتابهای درسی نیز که در این زمینه نوشته و ارائه شده‌اند، بصورت جامع و یکپارچه به تمامی مسائل و ابعاد این مباحث پرداخته‌اند.

بر این اساس، ضرورت تدوین یک مرجع کامل و جامع بصورت State of the Art یا کتاب دستی (Handbook) که تمامی رویکردهای موجود پایش سلامت در انواع سازه‌ها، به همراه تمامی ملزومات، نکات و تجهیزات مورد نیاز برای اجرای آنها را بصورت یکجا و یکپارچه ارائه کند، احساس می‌شود که هدف اصلی اقدام حاضر نیز، تهیه چنین مرجع کاملی است تا در مراحل بعدی انجام طرح (و سایر فعالیت‌های مشابه در سایر سازه‌ها در کشور) مورد استفاده قرار گیرد. خروجی نهایی این اقدام می‌تواند در آینده به عنوان کتاب مرجع درسی نیز مورد استفاده قرار گیرد.

پایش سلامت سازه‌ها با اهداف مختلفی می‌تواند انجام شود که دو هدف عمده آن که در مورد سازه‌های صنعت برق بیشتر مورد نیازند، عبارت از تشخیص آسیب‌های سازه‌ای و پیش‌بینی گسترش آسیب‌ها و تخمین عمر باقیمانده سازه می‌باشند. بر این اساس، با توجه به تفاوت‌های ساختاری میان دانش فنی پایش سلامت با دو هدف فوق، فعالیت‌های مربوط به اقدام حاضر، به این دو حوزه کلی تفکیک شده است. همچنین این فعالیت‌ها در دو حوزه کلی سازه‌های موجود و سازه‌های جدید (با امکان پایش درون سازه‌ای) نیز تفکیک شده‌اند. بدین ترتیب، لیست کلی فعالیت‌ها (پروژه‌ها) در این اقدام در جدول زیر ارائه شده است.

ردیف	پروژه
۱	شناسایی رویکردهای مختلف پایش سلامت در انواع سازه‌های موجود به منظور تشخیص آسیب‌ها
۲	شناسایی رویکردهای مختلف پایش سلامت در انواع سازه‌های موجود به منظور پیش‌بینی آسیب‌ها و تخمین عمر باقیمانده
۳	شناسایی رویکردهای مختلف پایش سلامت در انواع سازه‌های جدید به منظور تشخیص آسیب‌ها
۴	شناسایی رویکردهای مختلف پایش سلامت در انواع سازه‌های جدید به منظور پیش‌بینی آسیب‌ها و تخمین عمر باقیمانده
۵	شناسایی رویکردهای اکتساب و مدیریت داده‌ها جهت کاربرد در پایش سلامت سازه‌ها

ردیف	پروژه
۶	شناسایی ابزارهای مورد نیاز (سخت‌افزار و نرم‌افزار) برای پایش سلامت سازه‌ها و تأمین کنندگان اصلی آنها در دنیا

شناسنامه پروژه‌های این اقدام به شرح زیر می‌باشد:

پروژه ۱: شناسایی رویکردهای مختلف پایش سلامت در انواع سازه‌های موجود به منظور تشخیص آسیب‌ها:

در این پروژه، رویکردها و روش‌های مختلفی که در دنیا برای پایش سلامت انواع سازه‌های موجود (ساخته شده) با هدف تشخیص وجود آسیب‌ها و تعیین مشخصات آسیب‌های موجود تدوین و توسعه پیدا کرده، با استفاده از مراجع مختلف علمی، تحقیقاتی و اجرایی شناسایی شده و بصورت یک مرجع (کتاب دستی) بصورت یکپارچه تدوین می‌گردد. رویکردها و روش‌های مختلف با تمام جزئیات شامل روندها و الگوریتم‌های ریاضی مربوطه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

مشخصات این پروژه به شرح زیر می‌باشد:

اقدام پیش‌نیاز	زمان (ماه)	مجری	شاخص
-	۱۲	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکتهای صنعتی،	- گزارش پروژه - کتاب دستی تشخیص آسیب در سازه‌های موجود

پروژه ۲: شناسایی رویکردهای مختلف پایش سلامت در انواع سازه‌های موجود به منظور پیش‌بینی آسیب‌ها و تخمین عمر

باقیمانده:

در این پروژه، رویکردها و روش‌های مختلفی که در دنیا برای پایش سلامت انواع سازه‌های موجود (ساخته شده) با هدف پیش‌بینی آسیب‌ها و تخمین عمر باقیمانده آنها تدوین و توسعه پیدا کرده، با استفاده از مراجع مختلف علمی، تحقیقاتی و اجرایی شناسایی شده و بصورت یک مرجع (کتاب دستی) بصورت یکپارچه تدوین می‌گردد. رویکردها و روش‌های مختلف با تمام جزئیات شامل روندها و الگوریتم‌های ریاضی مربوطه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

مشخصات این پروژه به شرح زیر می‌باشد:

شخص	مجری	زمان (ماه)	اقدام پیش‌نیاز
<ul style="list-style-type: none"> - گزارش پروژه - کتاب دستی تخمین عمر در سازه‌های موجود 	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکتهای صنعتی،	۱۲	-

پروژه ۳: شناسایی رویکردهای مختلف پایش سلامت در انواع سازه‌های جدید به منظور تشخیص آسیب‌ها:

در این پروژه، رویکردها و روش‌های مختلفی که در دنیا برای پایش سلامت انواع سازه‌های جدید (در حال ساخت) با هدف تشخیص وجود آسیب‌ها و تعیین مشخصات آسیب‌های موجود تدوین و توسعه پیدا کرده، با استفاده از مراجع مختلف علمی، تحقیقاتی و اجرایی شناسایی شده و بصورت یک مرجع (کتاب دستی) بصورت یکپارچه تدوین می‌گردد. رویکردها و روش‌های مختلف با تمام جزئیات شامل روندها و الگوریتم‌های ریاضی مربوطه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

مشخصات این پروژه به شرح زیر می‌باشد:

شخص	مجری	زمان (ماه)	اقدام پیش‌نیاز
<ul style="list-style-type: none"> - گزارش پروژه - کتاب دستی تشخیص آسیب در سازه‌های جدید 	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکتهای صنعتی،	۱۲	-

پروژه ۴: شناسایی رویکردهای مختلف پایش سلامت در انواع سازه‌های جدید به منظور پیش‌بینی آسیب‌ها و تخمین عمر

باقیمانده:

در این پروژه، رویکردها و روش‌های مختلفی که در دنیا برای پایش سلامت انواع سازه‌های جدید (در حال ساخت) با هدف پیش‌بینی آسیب‌ها و تخمین عمر باقیمانده آنها تدوین و توسعه پیدا کرده، با استفاده از مراجع مختلف علمی،

تحقیقاتی و اجرایی شناسایی شده و بصورت یک مرجع (کتاب دستی) بصورت یکپارچه تدوین می‌گردد. رویکردها و

روش‌های مختلف با تمام جزئیات شامل روندها و الگوریتم‌های ریاضی مربوطه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

مشخصات این پروژه به شرح زیر می‌باشد:

اقدام پیش نیاز	زمان (ماه)	مجری	شاخص
-	۱۲	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکتهای صنعتی،	- گزارش پروژه - کتاب دستی تخمین عمر در سازه‌های جدید

پروژه ۵: شناسایی رویکردهای اکتساب و مدیریت داده‌ها جهت کاربرد در پایش سلامت سازه‌ها:

در این پروژه، رویکردها و روش‌های مختلفی که در دنیا برای گردآوری، اکتساب و مدیریت داده‌ها (شامل پردازش و

اصلاح، ذخیره سازی، دسته بندی، انتقال و فراخوانی) مورد استفاده قرار می‌گیرند شناسایی شده و اصول حاکم بر آنها

بررسی و استخراج شده و بصورت یک مرجع (کتاب دستی) تهیه و ارائه می‌گردد.

مشخصات این پروژه به شرح زیر می‌باشد:

اقدام پیش نیاز	زمان (ماه)	مجری	شاخص
-	۸	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکتهای صنعتی،	- گزارش پروژه - کتاب دستی مدیریت داده‌ها در پایش سلامت سازه‌ها

پروژه ۶: شناسایی ابزارهای مورد نیاز (سخت‌افزار و نرم‌افزار) برای پایش سلامت سازه‌ها و تأمین کنندگان اصلی آنها در دنیا:

در این پروژه، کلیه تجهیزات و ابزارهای مورد استفاده در دنیا برای پایش سلامت انواع سازه‌ها با انواع رویکردها و الگوریتم‌ها، اعم از سخت افزاری و نرم افزاری مورد بررسی و شناسایی قرار گرفته و سازندگان و تأمین‌کنندگان اصلی آنها در دنیا شناسایی خواهند شد.

مشخصات این پروژه به شرح زیر می‌باشد:

شاخص	مجری	زمان (ماه)	اقدام پیش‌نیاز
<ul style="list-style-type: none"> - گزارش پروژه - کتاب دستی تجهیزات پایش سلامت سازه‌ها 	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی،	۸	-

اقدام ۲: تدوین دانش فنی پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های موجود و جدید صنعت برق

(در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع)

با استفاده از نتایج و خروجی حاصل از اقدام فنی اول، می‌توان دانش فنی مورد نیاز برای انجام پایش سلامت و مدیریت نگهداری را در مورد هر یک از سازه‌های صنعت برق (که فهرست آنها در ادامه ارائه شده است) تدوین نموده و مورد استفاده قرار داد. در این بخش نیز تفکیک دانش فنی به دو حوزه کلی "تشخیص آسیب" و "پیش‌بینی آسیب و تخمین عمر" از یک طرف و به دو حوزه کلی "سازه‌های موجود" و "سازه‌های جدید" از طرف دیگر، تقسیم بندی شده و برای هر یک از آنها، دانش فنی مورد نیاز تدوین خواهد گردید. بدین ترتیب، لیست کلی فعالیت‌های مورد نیاز در این اقدام در جدول زیر ارائه شده است.

ردیف	فعالیت
۱	گردآوری و تدوین مبانی تئوریک مورد نیاز برای پایش سلامت سازه مورد نظر
۲	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه مورد نظر
۳	طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه مورد نظر و تخمین عمر باقیمانده آن
۴	امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه مورد نظر
۵	ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه مورد نظر بر اساس خروجی سیستم پایش سلامت سازه
۶	اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو نمونه انتخابی از سازه مورد نظر بصورت پایلوت
۷	تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه مورد نظر

ردیف	فعالیت
۸	بازبینی و به‌روز رسانی استانداردهای بارگذاری سازه‌های بخش‌های تولید، انتقال و توزیع
۹	بازبینی و به‌روز رسانی استانداردهای تحلیل و طراحی سازه‌های بخش‌های تولید، انتقال و توزیع
۱۰	بازبینی و به‌روز رسانی استانداردهای اجرای سازه‌های بخش‌های تولید، انتقال و توزیع

فهرستی از سازه‌های مورد نظر در این اقدام نیز در جدول زیر ارائه شده است.

ردیف سازه	سازه
۱	سازه برج خنک‌کننده
۲	سازه یا فونداسیون نگهدارنده تجهیزات اصلی (توربین، ژنراتور، ترانس و ...)
۳	سازه نگهدارنده بویلر و کوره
۴	سازه نگهدارنده دودکش
۵	سامانه لوله‌ها (پایپینگ) و اتصالات آنها
۶	پره توربین بادی
۷	مخازن ذخیره سوخت و آب خام
۸	برج و فونداسیون توربین بادی
۹	سازه‌های ساختمانی نیروگاه‌ها (ساختمان کنترل، ساختمان‌های حاوی تجهیزات اصلی و مهم نیروگاه و ...)
۱۰	دکل‌ها و فونداسیون انتقال برق
۱۱	مقره‌های خطوط انتقال*
۱۲	اجزای غیرسازه‌ای پست‌ها (مقره، بوشینگ و...)*
۱۳	هادی‌های انتقال*
۱۴	گنتری پست‌ها
۱۵	گالری‌های بتنی و منهول‌ها در خطوط انتقال زمینی
۱۶	سازه و فونداسیون نگهدارنده تجهیزات پست‌ها
۱۷	سازه‌های ساختمانی پست‌ها (ساختمان کنترل و ...)

ردیف سازه	سازه
۱۸	پست‌های هوایی توزیع
۱۹	پایه‌های توزیع برق
۲۰	پست‌های زمینی و زیرزمینی توزیع

* در مورد این اجزا، تنها مسائل مربوط به مقاومت مکانیکی آنها مورد نظر بوده و سایر مسائل تخصصی (الکتریکال) در حوزه این پروژه‌ها مطرح

نمی‌باشند.

این نکته قابل توجه است که بخش‌هایی از دانش فنی پایش سلامت در حوزه‌های نظری و نرم‌افزاری، میان سازه‌های مختلف مشترک می‌باشند. این موضوع در تخصیص زمان برای پروژه‌های تدوین دانش فنی در سازه‌های مورد نظر در این بخش، تا حد امکان مورد نظر قرار گرفته است. بدین ترتیب برای پروژه‌های تدوین دانش فنی برای سازه‌هایی که از نظر زمانی دیرتر اجرا می‌گردند، زمان و هزینه کمتری نسبت به پروژه‌های مربوط به سازه‌های تقریباً مشابه که زودتر اجرا می‌شوند، تخصیص داده شده است. همچنین در هنگام تدوین شرح خدمات پروژه‌ها توسط مرکز توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در زمان اجرای طرح، باید بخش‌های مشترک دانش فنی مشخص شده و از تکرار آنها در پروژه‌های مربوط به سازه‌های مختلف جلوگیری گردد.

شناسنامه پروژه‌های این اقدام به شرح زیر می‌باشد:

پروژه ۱: گردآوری و تدوین مبانی تئوریک موردنیاز برای پایش سلامت سازه مورد نظر:

این پروژه، شامل تهیه و تدوین مبانی تئوریک پایش سلامت در هر یک از سازه‌های مورد نظر با استفاده از خروجی اقدام اول می‌باشد. در این پروژه، عمدتاً بخش‌های غیرمشترک از دانش فنی پایش سلامت در هر یک از سازه‌ها، مورد نظر بوده و باید تولید و تدوین گردد.

مشخصات این پروژه (در سازه‌های مختلف) به شرح زیر می‌باشد:

ردیف سازه	اقدام پیش نیاز	زمان (ماه)	مجری	شاخص
۱	۱	۶	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)	گزارش پروژه
۲	۱	۳		گزارش پروژه
۳	۱	۶		گزارش پروژه
۴	۱	۵		گزارش پروژه
۵	۱	۲		گزارش پروژه
۶	۱	۵		گزارش پروژه
۷	۱	۲		گزارش پروژه
۸	۱	۳		گزارش پروژه
۹	۱	۵		گزارش پروژه
۱۰	۱	۶		گزارش پروژه
۱۱	۱	۲		گزارش پروژه
۱۲	۱	۳		گزارش پروژه
۱۳	۱	۲		گزارش پروژه
۱۴	۱	۲		گزارش پروژه
۱۵	۱	۲		گزارش پروژه
۱۶	۱	۳		گزارش پروژه
۱۷	۱	۴		گزارش پروژه
۱۸	۱	۲		گزارش پروژه
۱۹	۱	۲		گزارش پروژه
۲۰	۱	۲		گزارش پروژه

پروژه ۲: طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای تشخیص آسیب‌ها در سازه مورد نظر:

در این پروژه، سیستم پایش سلامت با هدف تشخیص وقوع و تعیین مشخصات آسیب‌های مختلف در سازه‌های مورد نظر، طراحی می‌شود. آسیب‌های وارده بر سازه‌های صنعت برق شامل طیف وسیعی از آسیب‌های ناشی از مخاطرات طبیعی (مانند سیل و زلزله و پدیده‌های جوی)، شرایط محیطی و عملکردی (مانند وجود مواد خورنده، رطوبت، حرارت، ارتعاش) و مخاطرات انسانی (مانند حوادث و دزدی) می‌باشند که در طراحی سیستم پایش سلامت باید مورد نظر قرار گیرند. طراحی سیستم پایش سلامت بطور کلی شامل موارد زیر است:

- تعیین و تدوین رویکرد و روش مورد استفاده برای اکتساب، مدیریت و تفسیر داده‌ها؛ تئوری‌ها، مدل‌ها و الگوریتم‌های مورد نیاز؛ پارامترهای مورد نیاز و ...
 - تعیین شبکه سنسورهای مورد نیاز به همراه تجهیزات، سخت افزارها و نرم افزارهای مورد نیاز آنها
 - طراحی روش مناسب برای اعلام و ثبت خروجیهای سیستم پایش
 - طراحی سیستم کالیبراسیون، ارزیابی، نگهداری و بروزرسانی سخت‌افزارها و تجهیزات
- با توجه به اینکه سازه‌های مورد نظر در صنعت برق دارای طیف وسیعی از نظر اهمیت و اولویت نیاز به سیستم پایش می‌باشند، سیستم‌های سنتی و ساده‌تر پایش سلامت شامل بازرسی و ارزیابی غیر مخرب (NDT) نیز علاوه بر سیستم پیشرفته SHM، در این مرحله برای آنها مورد نظر قرار داشته و دانش فنی مورد نیاز آن تدوین می‌گردد.
- مشخصات این پروژه (در سازه‌های مختلف) به شرح زیر می‌باشد:

ردیف سازه	اقدام پیش نیاز	زمان (ماه)	مجری	شاخص
۱	۱	۱۲	دانشگاه‌ها	- گزارش پروژه - نرم افزار تشخیص آسیب
۲	۱	۶	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکتهای صنعتی، شرکتهای دانش بنیان، شرکتهای مهندسی	- گزارش پروژه - نرم افزار تشخیص آسیب
۳	۱	۱۲		- گزارش پروژه - نرم افزار تشخیص آسیب
۴	۱	۱۰		- گزارش پروژه - نرم افزار تشخیص آسیب
۵	۱	۴		- گزارش پروژه - نرم افزار تشخیص آسیب
۶	۱	۱۰		- گزارش پروژه - نرم افزار تشخیص آسیب
۷	۱	۴		- گزارش پروژه - نرم افزار تشخیص آسیب
۸	۱	۶		- گزارش پروژه - نرم افزار تشخیص آسیب
۹	۱	۱۰		- گزارش پروژه - نرم افزار تشخیص آسیب

شاخص	مجری	زمان (ماه)	اقدام پیش نیاز	ردیف سازه
- گزارش پروژه - نرم افزار تشخیص آسیب	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی	۱۲	۱	۱۰
- گزارش پروژه - نرم افزار تشخیص آسیب		۴	۱	۱۱
- گزارش پروژه - نرم افزار تشخیص آسیب		۶	۱	۱۲
- گزارش پروژه - نرم افزار تشخیص آسیب		۴	۱	۱۳
- گزارش پروژه - نرم افزار تشخیص آسیب		۴	۱	۱۴
- گزارش پروژه - نرم افزار تشخیص آسیب		۴	۱	۱۵
- گزارش پروژه - نرم افزار تشخیص آسیب		۶	۱	۱۶
- گزارش پروژه - نرم افزار تشخیص آسیب		۱۰	۱	۱۷
- گزارش پروژه - نرم افزار تشخیص آسیب		۴	۱	۱۸
- گزارش پروژه - نرم افزار تشخیص آسیب		۴	۱	۱۹
- گزارش پروژه - نرم افزار تشخیص آسیب	۴	۱	۲۰	

پروژه ۳: طراحی سیستم پایش سلامت سازه برای پیش‌بینی ایجاد و گسترش آسیب‌ها در سازه مورد نظر و تخمین عمر

باقیمانده آن:

در این پروژه، سیستم پایش سلامت با هدف پیش‌بینی گسترش آسیب‌های مختلف و تخمین عمر باقیمانده سازه‌های مورد نظر، طراحی می‌شود. تخمین عمر باقیمانده کل سامانه (سازه‌ها و تجهیزات) برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی، با توجه به عمر عملکرد اقتصادی سامانه (علاوه بر عمر مفید سازه‌ها) صورت خواهد گرفت. ویژگی‌ها و مشخصات پروژه مشابه با پروژه ۲ است.

مشخصات این پروژه (در سازه‌های مختلف) به شرح زیر می‌باشد:

شاخص	مجری	زمان (ماه)	اقدام پیش‌نیاز	ردیف سازه
- گزارش پروژه - نرم افزار تخمین عمر	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکتهای صنعتی، شرکتهای دانش بنیان، شرکتهای مهندسی	۱۸	۱	۱
- گزارش پروژه - نرم افزار تخمین عمر		۹	۱	۲
- گزارش پروژه - نرم افزار تخمین عمر		۱۸	۱	۳
- گزارش پروژه - نرم افزار تخمین عمر		۱۴	۱	۴
- گزارش پروژه - نرم افزار تخمین عمر		۵	۱	۵
- گزارش پروژه - نرم افزار تخمین عمر		۱۴	۱	۶
- گزارش پروژه - نرم افزار تخمین عمر		۵	۱	۷
- گزارش پروژه - نرم افزار تخمین عمر		۹	۱	۸
- گزارش پروژه - نرم افزار تخمین عمر		۱۴	۱	۹
- گزارش پروژه - نرم افزار تخمین عمر		۱۸	۱	۱۰
- گزارش پروژه - نرم افزار تخمین عمر		۵	۱	۱۱
- گزارش پروژه - نرم افزار تخمین عمر		۹	۱	۱۲
- گزارش پروژه - نرم افزار تخمین عمر		۵	۱	۱۳
- گزارش پروژه - نرم افزار تخمین عمر		۵	۱	۱۴
- گزارش پروژه - نرم افزار تخمین عمر		۵	۱	۱۵
- گزارش پروژه - نرم افزار تخمین عمر		۹	۱	۱۶
- گزارش پروژه - نرم افزار تخمین عمر		۱۵	۱	۱۷
- گزارش پروژه - نرم افزار تخمین عمر		۵	۱	۱۸
- گزارش پروژه - نرم افزار تخمین عمر		۵	۱	۱۹

گزارش پروژه		۵	۱	۲۰
نرم افزار تخمین عمر				

پروژه ۴: امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری سیستم پایش سلامت در سازه مورد نظر :

در این پروژه، امکان‌سنجی فنی و اقتصادی بکارگیری از سیستم‌های پایش طراحی شده (در سه رده بازرسی، NDT و SHM) برای هریک از سازه‌های مورد نظر با توجه به ویژگیهای خاص آن انجام شده و سیستم پایش مناسب برای سازه مورد نظر انتخاب می‌گردد.

مشخصات این پروژه (در سازه‌های مختلف) به شرح زیر می‌باشد:

ردیف سازه	اقدام پیش‌نیاز	زمان (ماه)	مجری	شاخص
۱	۱	۳	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه، شرکتهای صنعتی، شرکتهای دانش بنیان، شرکتهای مهندسی	گزارش پروژه
۲	۱	۲		گزارش پروژه
۳	۱	۳		گزارش پروژه
۴	۱	۳		گزارش پروژه
۵	۱	۱		گزارش پروژه
۶	۱	۳		گزارش پروژه
۷	۱	۱		گزارش پروژه
۸	۱	۲		گزارش پروژه
۹	۱	۳		گزارش پروژه
۱۰	۱	۳		گزارش پروژه
۱۱	۱	۱		گزارش پروژه
۱۲	۱	۳		گزارش پروژه
۱۳	۱	۱		گزارش پروژه
۱۴	۱	۱		گزارش پروژه
۱۵	۱	۱		گزارش پروژه
۱۶	۱	۳		گزارش پروژه
۱۷	۱	۳		گزارش پروژه
۱۸	۱	۱		گزارش پروژه
۱۹	۱	۱		گزارش پروژه
۲۰	۱	۱		گزارش پروژه

پروژه ۵: ارائه روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری و مدیریت نگهداری سازه مورد نظر بر اساس خروجی سیستم پایش

سلامت سازه:

در این پروژه، با توجه به خروجی‌های حاصل از سیستم پایش انتخاب شده، روش‌ها و راهکارهای تصمیم‌گیری ریسک مبنا و مدیریت نگهداری (که از اهداف اصلی پایش است) برای سازه مورد نظر تدوین خواهد گردید. در این پروژه، روش‌ها و رویکردهای موجود و نوین در راستای افزایش طول عمر و بهبود سلامت سازه‌های صنعت برق (با استفاده از نتایج حاصل از سیستم پایش سلامت) تدوین و ارائه خواهند شد.

مشخصات این پروژه (در سازه‌های مختلف) به شرح زیر می‌باشد:

ردیف سازه	اقدام پیش نیاز	زمان (ماه)	مجری	شاخص
۱	۱	۱۵	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکتهای صنعتی، شرکتهای دانش بنیان، شرکتهای مهندسی	- گزارش پروژه - نرم افزار مدیریت نگهداری
۲	۱	۸		- گزارش پروژه - نرم افزار مدیریت نگهداری
۳	۱	۱۵		- گزارش پروژه - نرم افزار مدیریت نگهداری
۴	۱	۱۲		- گزارش پروژه - نرم افزار مدیریت نگهداری
۵	۱	۴		- گزارش پروژه - نرم افزار مدیریت نگهداری
۶	۱	۱۲		- گزارش پروژه - نرم افزار مدیریت نگهداری
۷	۱	۴		- گزارش پروژه - نرم افزار مدیریت نگهداری
۸	۱	۸		- گزارش پروژه - نرم افزار مدیریت نگهداری
۹	۱	۱۲		- گزارش پروژه - نرم افزار مدیریت نگهداری
۱۰	۱	۱۵		- گزارش پروژه - نرم افزار مدیریت نگهداری
۱۱	۱	۴		- گزارش پروژه - نرم افزار مدیریت نگهداری
۱۲	۱	۸		- گزارش پروژه - نرم افزار مدیریت نگهداری
۱۳	۱	۴		- گزارش پروژه - نرم افزار مدیریت نگهداری
۱۴	۱	۴		- گزارش پروژه - نرم افزار مدیریت نگهداری

گزارش پروژه نرم افزار مدیریت نگهداری	۴	۱	۱۵
گزارش پروژه نرم افزار مدیریت نگهداری	۸	۱	۱۶
گزارش پروژه نرم افزار مدیریت نگهداری	۱۲	۱	۱۷
گزارش پروژه نرم افزار مدیریت نگهداری	۴	۱	۱۸
گزارش پروژه نرم افزار مدیریت نگهداری	۴	۱	۱۹
گزارش پروژه نرم افزار مدیریت نگهداری	۴	۱	۲۰

پروژه ۶: اجرا و بهره‌برداری از سیستم پایش سلامت سازه روی دو نمونه انتخابی از سازه مورد نظر بصورت پایلوت:

در این پروژه، سیستم پایش طراحی شده روی یک نمونه از سازه مورد نظر بصورت پایلوت اجرا خواهد شد تا کارایی

آن در عمل مورد آزمون قرار گرفته و کاستی‌ها و موارد اشکال احتمالی موجود در آن مشخص شده و رفع گردد.

مشخصات این پروژه (در سازه‌های مختلف) به شرح زیر می‌باشد:

ردیف سازه	اقدام پیش نیاز	زمان (ماه)	مجری	شاخص
۱	۱	۱۵	دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی (پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه صنعت نفت و ...)، واحدهای تحقیق و توسعه شرکتهای صنعتی، شرکتهای دانش بنیان، شرکتهای مهندسی	گزارش اجرای پایلوت کارایی سیستم پایش
۲	۱	۸		گزارش اجرای پایلوت کارایی سیستم پایش
۳	۱	۱۵		گزارش اجرای پایلوت کارایی سیستم پایش
۴	۱	۱۲		گزارش اجرای پایلوت کارایی سیستم پایش
۵	۱	۴		گزارش اجرای پایلوت کارایی سیستم پایش
۶	۱	۱۲		گزارش اجرای پایلوت کارایی سیستم پایش
۷	۱	۴		گزارش اجرای پایلوت کارایی سیستم پایش
۸	۱	۸		گزارش اجرای پایلوت کارایی سیستم پایش
۹	۱	۱۲		گزارش اجرای پایلوت کارایی سیستم پایش

ردیف سازه	اقدام پیش‌نیاز	زمان (ماه)	مجری	شاخص
۱۰	۱	۱۵		- گزارش اجرای پایلوت - کارآیی سیستم پایش
۱۱	۱	۴		- گزارش اجرای پایلوت - کارآیی سیستم پایش
۱۲	۱	۱۰		- گزارش اجرای پایلوت - کارآیی سیستم پایش
۱۳	۱	۴		- گزارش اجرای پایلوت - کارآیی سیستم پایش
۱۴	۱	۴		- گزارش اجرای پایلوت - کارآیی سیستم پایش
۱۵	۱	۴		- گزارش اجرای پایلوت - کارآیی سیستم پایش
۱۶	۱	۱۰		- گزارش اجرای پایلوت - کارآیی سیستم پایش
۱۷	۱	۱۲		- گزارش اجرای پایلوت - کارآیی سیستم پایش
۱۸	۱	۴		- گزارش اجرای پایلوت - کارآیی سیستم پایش
۱۹	۱	۴		- گزارش اجرای پایلوت - کارآیی سیستم پایش
۲۰	۱	۴		- گزارش اجرای پایلوت - کارآیی سیستم پایش

پروژه ۷: تدوین دستورالعمل پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه مورد نظر:

در این پروژه، دانش فنی و آموزه‌های کسب شده طی فعالیت‌های انجام شده در پروژه‌های قبلی برای هریک از سازه‌های مورد نظر، در قالب یک دستورالعمل کاربردی تدوین شده و جهت استفاده عملی در اختیار مجریان مربوطه قرار خواهد گرفت.

مشخصات این پروژه (در سازه‌های مختلف) به شرح زیر می‌باشد:

ردیف سازه	اقدام پیش‌نیاز	زمان (ماه)	مجری	شاخص
۱	۱	۱۸	دانشگاه‌ها، پژوهشگاه	- گزارش پروژه - دستورالعمل پایش سلامت
۲	۱	۹	نیرو	- گزارش پروژه - دستورالعمل پایش سلامت

گزارش پروژه - دستورالعمل پایش سلامت	۱۸	۱	۳
گزارش پروژه - دستورالعمل پایش سلامت	۱۴	۱	۴
گزارش پروژه - دستورالعمل پایش سلامت	۵	۱	۵
گزارش پروژه - دستورالعمل پایش سلامت	۱۴	۱	۶
گزارش پروژه - دستورالعمل پایش سلامت	۵	۱	۷
گزارش پروژه - دستورالعمل پایش سلامت	۹	۱	۸
گزارش پروژه - دستورالعمل پایش سلامت	۱۴	۱	۹
گزارش پروژه - دستورالعمل پایش سلامت	۱۸	۱	۱۰
گزارش پروژه - دستورالعمل پایش سلامت	۵	۱	۱۱
گزارش پروژه - دستورالعمل پایش سلامت	۹	۱	۱۲
گزارش پروژه - دستورالعمل پایش سلامت	۵	۱	۱۳
گزارش پروژه - دستورالعمل پایش سلامت	۵	۱	۱۴
گزارش پروژه - دستورالعمل پایش سلامت	۵	۱	۱۵
گزارش پروژه - دستورالعمل پایش سلامت	۹	۱	۱۶
گزارش پروژه - دستورالعمل پایش سلامت	۱۵	۱	۱۷
گزارش پروژه - دستورالعمل پایش سلامت	۵	۱	۱۸
گزارش پروژه - دستورالعمل پایش سلامت	۵	۱	۱۹
گزارش پروژه - دستورالعمل پایش سلامت	۵	۱	۲۰

پروژه ۸: بازبینی و به‌روز رسانی استانداردهای بارگذاری سازه‌های بخش‌های تولید، انتقال و توزیع:

در این پروژه، استانداردهای بارگذاری کلیه سازه‌ها در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع جهت طراحی سازه‌های جدیدالاحداث، بازبینی و به روزرسانی خواهند شد. در این بازبینی، شرایط و ضوابط بارگذاری با وجود و عدم وجود سیستم پایش مورد لحاظ قرار خواهد گرفت.

مشخصات این پروژه (در بخش‌های مختلف) به شرح زیر می‌باشد:

بخش	اقدام پیش نیاز	زمان (ماه)	مجری	شاخص
تولید	۱	۲۴	پژوهشگاه نیرو، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی،	- گزارش پروژه - استاندارد بارگذاری
انتقال	۱	۲۴		- گزارش پروژه - استاندارد بارگذاری
توزیع	۱	۲۴		- گزارش پروژه - استاندارد بارگذاری

پروژه ۹: بازبینی و به روز رسانی استانداردهای تحلیل و طراحی سازه‌های بخش‌های تولید، انتقال و توزیع:

در این پروژه، استانداردهای تحلیل و طراحی کلیه سازه‌ها در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع جهت طراحی سازه‌های جدیدالاحداث، بازبینی و به روزرسانی خواهند شد. در این بازبینی، شرایط و ضوابط تحلیل و طراحی با وجود و عدم وجود سیستم پایش مورد لحاظ قرار خواهد گرفت.

مشخصات این پروژه (در بخش‌های مختلف) به شرح زیر می‌باشد:

بخش	اقدام پیش نیاز	زمان (ماه)	مجری	شاخص
تولید	۱	۱۲	پژوهشگاه نیرو، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی،	- گزارش پروژه - استاندارد طراحی
انتقال	۱	۱۲		- گزارش پروژه - استاندارد طراحی
توزیع	۱	۱۲		- گزارش پروژه - استاندارد طراحی

پروژه ۱۰: بازبینی و به روز رسانی استانداردهای اجرای سازه‌های بخش‌های تولید، انتقال و توزیع:

در این پروژه، استانداردهای اجرا و نصب کلیه سازه‌ها در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع جهت طراحی سازه‌های جدیدالاحداث، بازبینی و به‌روزرسانی خواهند شد. در این بازبینی، شرایط و ضوابط اجرایی با وجود و عدم وجود سیستم پایش مورد لحاظ قرار خواهد گرفت.

مشخصات این پروژه (در بخش‌های مختلف) به شرح زیر می‌باشد:

بخش	اقدام پیش‌نیاز	زمان (ماه)	مجری	شاخص
تولید	۱	۱۲	پژوهشگاه نیرو، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی،	- گزارش پروژه - استاندارد اجرا
انتقال	۱	۱۲		- گزارش پروژه - استاندارد اجرا
توزیع	۱	۱۲		- گزارش پروژه - استاندارد اجرا

اقدام ۳: اولویت‌بندی اجرای پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

با توجه به تعداد و تنوع زیاد سازه‌های موجود در بخش‌های مختلف صنعت برق کشور و محدودیت‌های منابع (مالی، انسانی، امکانات و ...) بررسی میزان نیاز سازه‌ها و سامانه‌های (یا تأسیسات) مختلف صنعت برق در نقاط مختلف کشور به سیستم پایش و نگهداری در سطح مختلف، و اولویت‌بندی آنها برای اجرای آن، ضروری است. اولویت‌بندی کلی و اولیه (بدون لحاظ توزیع جغرافیایی و وضعیت موجود سازه‌ها در کشور) از سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق در فاز سوم این پروژه انجام شده و مبنای تعیین راهبردهای توسعه پایش سلامت در این سازه‌ها قرار گرفته است. ولیکن برای اجرای سیستم پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های مختلف کشور (جهت تحقق چشم‌انداز و اهداف سند) می‌بایست اولویت‌بندی دقیق‌تری از سازه‌ها و سامانه‌های مذکور صورت گیرد.

اولویت نسبی نیاز یک سازه به پایش و نگهداری به عوامل مختلفی وابسته است که در اولین مرحله این اقدام تعیین می‌شوند. مهمترین این عوامل عبارتند از:

↪ وجود و شدت مخاطرات آسیب‌رسان در منطقه که سازه در معرض آنها قرار دارد. (شامل انواع مخاطرات طبیعی مانند

مواد خورنده، پدیده‌های جوی، سیل و زلزله و مخاطرات غیرطبیعی مانند شرایط محیطی خاص، آسیب‌های انسانی

نظیر حوادث، دزدی و ...)

↪ میزان آسیب‌پذیری سازه‌ها در برابر مخاطرات موجود.

↪ میزان اهمیت نسبی سازه یا سامانه در شبکه برق.

↪ میزان ارزش سازه یا سامانه.

↪ روش و سطح پایش مورد نظر و هزینه‌های آن.

برای هر یک از عوامل فوق و سایر عواملی که در این اقدام شناسایی می‌شوند، شاخص‌هایی تعریف شده و با انجام اندازه‌گیری‌ها و بررسی‌های میدانی در سازه‌ها در سطح کشور در ترکیب با داده‌های موجود، مقادیر شاخص‌های مذکور در سطح کشور (بصورت پهنه‌بندی) با استفاده از روش‌های آماری مبتنی بر مفاهیم قابلیت اطمینان و ریسک (که در مرحله اول این اقدام، تدوین شده‌اند)، تعیین شده و در نهایت با ترکیب آنها با یکدیگر با استفاده از روش مناسب، شاخص اولویت سازه‌ها و سامانه‌های مختلف صنعت برق در سطح کشور تعیین شده و نتایج حاصله، در اقدامات بعدی (اجرای سیستم پایش در سازه‌ها) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بدین ترتیب، لیست کلی فعالیت‌های مورد نیاز در این اقدام در جدول زیر ارائه شده است.

ردیف	فعالیت
۱	تدوین مبانی نظری، ابزارهای مورد نیاز و شاخص‌های کمی برای اولویت‌بندی سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق بر مبنای قابلیت اطمینان و ریسک
۲	شناسایی مخاطرات آسیب‌رسان به سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق و پهنه‌بندی احتمالاتی توزیع مکانی و شدت آنها در سطح کشور
۳	تعیین و پهنه‌بندی شاخص‌های آسیب‌پذیری سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق در برابر مخاطرات در سطح کشور
۴	تعیین و پهنه‌بندی شاخص‌های اهمیت نسبی سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق در برابر مخاطرات در سطح کشور
۵	تعیین و پهنه‌بندی شاخص اولویت سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق در سطح کشور جهت اجرای سیستم پایش سلامت

شناسنامه پروژه‌های این اقدام به شرح زیر می‌باشد:

پروژه ۱: تدوین مبانی نظری، ابزارهای مورد نیاز و شاخص‌های کمی برای اولویت‌بندی سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق بر

مبنای قابلیت اطمینان و ریسک:

در این پروژه، مبانی نظری مورد نیاز برای شناسایی و تعیین شاخص‌های اولویت‌بندی سازه‌ها و سامانه‌های صنعت

برق بر مبنای قابلیت اطمینان و ریسک به همراه پارامترهای مؤثر بر آنها و نحوه گردآوری این پارامترها در سطح

کشور بررسی و تدوین خواهد شد.

مشخصات این پروژه به شرح زیر می‌باشد:

شاخص	مجری	زمان (ماه)	اقدام پیش نیاز
گزارش پروژه	دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی،	۱۲	۱

پروژه ۲: شناسایی مخاطرات آسیب رسان به سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق و پهنه‌بندی احتمالاتی توزیع مکانی و شدت

آنها در سطح کشور:

در این پروژه، وجود و شدت کلیه مخاطرات آسیب رسان به سازه‌های صنعت برق در مناطق مختلف کشور که سازه در معرض آنها قرار دارد. (شامل انواع مخاطرات طبیعی مانند مواد خورنده، پدیده‌های جوی، سیل و زلزله و مخاطرات غیرطبیعی مانند شرایط محیطی خاص، آسیب‌های انسانی نظیر حوادث، دزدی و ...) شناسایی شده و بصورت نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه و ارائه خواهند شد.

مشخصات این پروژه به شرح زیر می‌باشد:

شاخص	مجری	زمان (ماه)	اقدام پیش نیاز
گزارش پروژه - نقشه‌های پهنه‌بندی مخاطرات	دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو، واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی،	۲۰	۱

پروژه ۳: تعیین و پهنه‌بندی شاخص‌های آسیب‌پذیری سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق در برابر مخاطرات در سطح کشور:

در این پروژه، برای تعیین میزان آسیب‌پذیری سازه‌ها در برابر مخاطرات شناسایی شده در پروژه ۲، شاخص‌هایی تعریف شده و با انجام اندازه‌گیری‌ها و بررسی‌های میدانی در سازه‌ها در سطح کشور در ترکیب با داده‌های موجود، مقادیر شاخص‌های مذکور در سطح کشور (بصورت پهنه‌بندی) با استفاده از روش‌های آماری مبتنی بر مفاهیم قابلیت اطمینان و ریسک (که در پروژه اول این اقدام، تدوین شده‌اند)، تعیین می‌گردند.

مشخصات این پروژه به شرح زیر می‌باشد:

شاخص	مجری	زمان (ماه)	اقدام پیش نیاز
گزارش پروژه نقشه‌های پهنه‌بندی آسیب‌پذیری	دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو، واحدهای تحقیق و توسعه شرکتهای صنعتی،	۲۰	۱

پروژه ۴: تعیین و پهنه‌بندی شاخص‌های اهمیت نسبی سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق در برابر مخاطرات در سطح کشور:

در این پروژه، برای تعیین میزان اهمیت نسبی سامانه‌ها و سازه‌های موجود در بخش‌های مختلف صنعت برق، شاخص‌هایی تعریف شده و با انجام اندازه‌گیری‌ها و بررسی‌های میدانی در سطح کشور در ترکیب با داده‌های موجود، مقادیر شاخص‌های مذکور در سطح کشور (بصورت پهنه‌بندی) با استفاده از روش‌های آماری مبتنی بر مفاهیم قابلیت اطمینان و ریسک (که در پروژه اول این اقدام، تدوین شده‌اند)، تعیین می‌گردند.

مشخصات این پروژه به شرح زیر می‌باشد:

شاخص	مجری	زمان (ماه)	اقدام پیش نیاز
گزارش پروژه نقشه‌های پهنه‌بندی اهمیت	دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو، واحدهای تحقیق و توسعه شرکتهای صنعتی،	۱۸	۱

پروژه ۵: تعیین و پهنه‌بندی شاخص اولویت سامانه‌ها و سازه‌های صنعت برق در سطح کشور جهت اجرای سیستم پایش

سلامت:

در این پروژه، با ترکیب شاخص‌های تعیین شده در پروژه‌های قبلی این اقدام با یکدیگر با استفاده از روش مناسب، شاخص اولویت سازه‌ها و سامانه‌های مختلف صنعت برق در سطح کشور تعیین شده و نتایج حاصله، در اقدام بعدی (اجرای سیستم پایش در سازه‌ها) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مشخصات این پروژه به شرح زیر می‌باشد:

شاخص	مجری	زمان (ماه)	اقدام پیش نیاز
گزارش پروژه نقشه‌های پهنه‌بندی	دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو، واحدهای تحقیق و توسعه	۱۲	۱

اولویت	شرکت‌های صنعتی،		
--------	-----------------	--	--

اقدام ۴: اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت در سازه‌های اولویت‌دار صنعت برق در کشور

در این اقدام، سیستم پایش سلامت و مدیریت نگهداری طراحی شده (در اقدام دوم) برای سازه‌های موجود و جدید واقع در تعداد محدود و مشخصی از سامانه‌های مختلف شبکه برق کشور، به ترتیب اولویت نیاز (بر اساس خروجی اقدام سوم) اجرا، پیاده‌سازی و راه‌اندازی شده و جهت بهره‌برداری به متولی مربوطه تحویل خواهد گردید. همچنین داده‌ها و اطلاعات حاصل از اجرای این سیستم روی سازه‌ها، به مرور گردآوری شده و برای به روز رسانی و افزایش کارایی آن در آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

لیست کلی فعالیت‌های مورد نیاز در این اقدام در جدول زیر ارائه شده است.

ردیف	فعالیت
۱	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۰ واحد از نیروگاه‌های بخاری در کشور به ترتیب اولویت
۲	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۰ واحد از نیروگاه‌های چرخه ترکیبی در کشور به ترتیب اولویت
۳	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۱۰ واحد از نیروگاه‌های گازی در کشور به ترتیب اولویت
۴	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۰ عدد از توربین‌های بادی در کشور به ترتیب اولویت
۵	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۵٪ از خطوط انتقال در کشور به ترتیب اولویت
۶	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۵٪ از پست‌های انتقال در کشور به ترتیب اولویت
۷	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۵٪ از خطوط فوق توزیع در کشور به ترتیب اولویت
۸	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۱۰٪ از پست‌های فوق توزیع در کشور به ترتیب اولویت
۹	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۱٪ از خطوط توزیع در کشور به ترتیب اولویت
۱۰	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۱٪ از پست‌های توزیع در کشور به ترتیب اولویت

شناسنامه پروژه‌های این اقدام به شرح زیر می‌باشد:

پروژه ۱: اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۰ واحد از نیروگاه‌های بخاری در کشور به

ترتیب اولویت :

در این پروژه، نظام (سیستم) پایش سلامت و مدیریت نگهداری طراحی شده (در اقدام دوم) برای سازه‌های موجود و جدید واقع در تعداد ۲۰ واحد از نیروگاه‌های بخاری در کشور، به ترتیب اولویت نیاز (بر اساس خروجی اقدام سوم) اجرا، پیاده‌سازی و راه‌اندازی شده و جهت بهره‌برداری به متولی مربوطه تحویل خواهد گردید. همچنین داده‌ها و

اطلاعات حاصل از اجرای این سیستم روی سازه‌ها، به مرور گردآوری شده و برای به روز رسانی و افزایش کارایی آن در آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

مشخصات این پروژه به شرح زیر می‌باشد:

شاخص	مجری	زمان (ماه)	اقدام پیش نیاز
<ul style="list-style-type: none"> - گزارش اجرای پروژه - کارایی سیستم پایش 	<ul style="list-style-type: none"> واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی 	۲۴	۳ و ۲ و ۱

پروژه ۲: اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۰ واحد از نیروگاه‌های چرخه ترکیبی در کشور به ترتیب اولویت :

در این پروژه، سیستم پایش سلامت و مدیریت نگهداری طراحی شده (در اقدام دوم) برای سازه‌های موجود و جدید واقع در تعداد ۲۰ واحد از نیروگاه‌های چرخه ترکیبی در کشور، به ترتیب اولویت نیاز (بر اساس خروجی اقدام سوم) اجرا، پیاده‌سازی و راه‌اندازی شده و جهت بهره‌برداری به متولی مربوطه تحویل خواهد گردید. همچنین داده‌ها و اطلاعات حاصل از اجرای این سیستم روی سازه‌ها، به مرور گردآوری شده و برای به روز رسانی و افزایش کارایی آن در آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

مشخصات این پروژه به شرح زیر می‌باشد:

شاخص	مجری	زمان (ماه)	اقدام پیش نیاز
<ul style="list-style-type: none"> - گزارش اجرای پروژه - کارایی سیستم پایش 	<ul style="list-style-type: none"> واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی 	۲۴	۳ و ۲ و ۱

پروژه ۳: اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۰ واحد از نیروگاه‌های گازی در کشور به ترتیب اولویت :

در این پروژه، سیستم پایش سلامت و مدیریت نگهداری طراحی شده (در اقدام دوم) برای سازه‌های موجود و جدید واقع در تعداد ۲۰ واحد از نیروگاه‌های گازی در کشور، به ترتیب اولویت نیاز (بر اساس خروجی اقدام سوم) اجرا، پیاده‌سازی و راه‌اندازی شده و جهت بهره‌برداری به متولی مربوطه تحویل خواهد گردید. همچنین داده‌ها و اطلاعات حاصل از اجرای این سیستم روی سازه‌ها، به مرور گردآوری شده و برای به روز رسانی و افزایش کارایی آن در آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

مشخصات این پروژه به شرح زیر می‌باشد:

شاخص	مجری	زمان (ماه)	اقدام پیش نیاز
<ul style="list-style-type: none"> - گزارش اجرای پروژه - کارایی سیستم پایش 	<ul style="list-style-type: none"> واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی 	۲۴	۳ و ۲۰

پروژه ۴: اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۰ عدد از توربین‌های بادی در کشور به

ترتیب اولویت :

در این پروژه، سیستم پایش سلامت و مدیریت نگهداری طراحی شده (در اقدام دوم) برای سازه‌های موجود و جدید در تعداد ۲۰ عدد از **توربین‌های بادی** در کشور، به ترتیب اولویت نیاز (بر اساس خروجی اقدام سوم) اجرا، پیاده‌سازی و راه‌اندازی شده و جهت بهره‌برداری به متولی مربوطه تحویل خواهد گردید. همچنین داده‌ها و اطلاعات حاصل از اجرای این سیستم روی سازه‌ها، به مرور گردآوری شده و برای به روز رسانی و افزایش کارایی آن در آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

مشخصات این پروژه به شرح زیر می‌باشد:

شاخص	مجری	زمان (ماه)	اقدام پیش‌نیاز
- گزارش اجرای پروژه - کارآیی سیستم پایش	واحدهای تحقیق و توسعه شرکتهای صنعتی، شرکتهای دانش بنیان، شرکتهای مهندسی	۲۴	۳و۲و۱

پروژه ۵: اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۵٪ از خطوط انتقال در کشور به ترتیب

اولویت:

در این پروژه، سیستم پایش سلامت و مدیریت نگهداری طراحی شده (در اقدام دوم) برای سازه‌های موجود و جدید واقع در ۵٪ از خطوط انتقال در کشور، به ترتیب اولویت نیاز (بر اساس خروجی اقدام سوم) اجرا، پیاده‌سازی و راه‌اندازی شده و جهت بهره‌برداری به متولی مربوطه تحویل خواهد گردید. همچنین داده‌ها و اطلاعات حاصل از اجرای این سیستم روی سازه‌ها، به مرور گردآوری شده و برای به روز رسانی و افزایش کارآیی آن در آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

مشخصات این پروژه به شرح زیر می‌باشد:

شاخص	مجری	زمان (ماه)	اقدام پیش‌نیاز
- گزارش اجرای پروژه - کارآیی سیستم پایش	واحدهای تحقیق و توسعه شرکتهای صنعتی، شرکتهای دانش بنیان، شرکتهای مهندسی	۳۶	۳و۲و۱

پروژه ۶: اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۵٪ از پست‌های انتقال در کشور به ترتیب

اولویت:

در این پروژه، سیستم پایش سلامت و مدیریت نگهداری طراحی شده (در اقدام دوم) برای سازه‌های موجود و جدید واقع در ۲۵٪ از پست‌های انتقال در کشور، به ترتیب اولویت نیاز (بر اساس خروجی اقدام سوم) اجرا، پیاده‌سازی و راه‌اندازی شده و جهت بهره‌برداری به متولی مربوطه تحویل خواهد گردید. همچنین داده‌ها و اطلاعات حاصل از

اجرای این سیستم روی سازه‌ها، به مرور گردآوری شده و برای به روز رسانی و افزایش کارایی آن در آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

مشخصات این پروژه به شرح زیر می‌باشد:

شاخص	مجری	زمان (ماه)	اقدام پیش نیاز
- گزارش اجرای پروژه - کارایی سیستم پایش	واحدهای تحقیق و توسعه شرکتهای صنعتی، شرکتهای دانش بنیان، شرکتهای مهندسی	۳۶	۳و۲و۱

پروژه ۷: اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۵٪ از خطوط فوق توزیع در کشور به ترتیب اولویت :

در این پروژه، سیستم پایش سلامت و مدیریت نگهداری طراحی شده (در اقدام دوم) برای سازه‌های موجود و جدید واقع در ۵٪ از خطوط فوق توزیع در کشور، به ترتیب اولویت نیاز (بر اساس خروجی اقدام سوم) اجرا، پیاده‌سازی و راه‌اندازی شده و جهت بهره‌برداری به متولی مربوطه تحویل خواهد گردید. همچنین داده‌ها و اطلاعات حاصل از اجرای این سیستم روی سازه‌ها، به مرور گردآوری شده و برای به روز رسانی و افزایش کارایی آن در آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

مشخصات این پروژه به شرح زیر می‌باشد:

شاخص	مجری	زمان (ماه)	اقدام پیش نیاز
- گزارش اجرای پروژه - کارایی سیستم پایش	واحدهای تحقیق و توسعه شرکتهای صنعتی، شرکتهای دانش بنیان، شرکتهای مهندسی	۳۶	۳و۲و۱

پروژه ۸: اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۱۰٪ از پست‌های فوق توزیع در کشور به ترتیب اولویت:

در این پروژه، سیستم پایش سلامت و مدیریت نگهداری طراحی شده (در اقدام دوم) برای سازه‌های موجود و جدید واقع در ۱۰٪ از پست‌های فوق توزیع در کشور، به ترتیب اولویت نیاز (بر اساس خروجی اقدام سوم) اجرا، پیاده‌سازی و راه‌اندازی شده و جهت بهره‌برداری به متولی مربوطه تحویل خواهد گردید. همچنین داده‌ها و اطلاعات حاصل از اجرای این سیستم روی سازه‌ها، به مرور گردآوری شده و برای به روز رسانی و افزایش کارایی آن در آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

مشخصات این پروژه به شرح زیر می‌باشد:

اقدام پیش نیاز	زمان (ماه)	مجری	شاخص
۳ و ۲ و ۱	۳۶	واحدهای تحقیق و توسعه شرکت‌های صنعتی، شرکت‌های دانش بنیان، شرکت‌های مهندسی	- گزارش اجرای پروژه - کارایی سیستم پایش

پروژه ۹: اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۱٪ از خطوط توزیع در کشور به ترتیب اولویت:

در این پروژه، سیستم پایش سلامت و مدیریت نگهداری طراحی شده (در اقدام دوم) برای سازه‌های موجود و جدید واقع در ۱٪ از خطوط توزیع در کشور، به ترتیب اولویت نیاز (بر اساس خروجی اقدام سوم) اجرا، پیاده‌سازی و راه‌اندازی شده و جهت بهره‌برداری به متولی مربوطه تحویل خواهد گردید. همچنین داده‌ها و اطلاعات حاصل از اجرای این سیستم روی سازه‌ها، به مرور گردآوری شده و برای به روز رسانی و افزایش کارایی آن در آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

مشخصات این پروژه به شرح زیر می‌باشد:

شاخص	مجری	زمان (ماه)	اقدام پیش نیاز
- گزارش اجرای پروژه - کارآیی سیستم پایش	واحدهای تحقیق و توسعه شرکتهای صنعتی، شرکتهای دانش بنیان، شرکتهای مهندسی	۳۶	۳و۲و۱

پروژه ۱۰: اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۱٪ از پست‌های توزیع در کشور به ترتیب اولویت:

در این پروژه، سیستم پایش سلامت و مدیریت نگهداری طراحی شده (در اقدام دوم) برای سازه‌های موجود و جدید واقع در ۱٪ از پست‌های توزیع در کشور، به ترتیب اولویت نیاز (بر اساس خروجی اقدام سوم) اجرا، پیاده‌سازی و راه‌اندازی شده و جهت بهره‌برداری به متولی مربوطه تحویل خواهد گردید. همچنین داده‌ها و اطلاعات حاصل از اجرای این سیستم روی سازه‌ها، به مرور گردآوری شده و برای به روز رسانی و افزایش کارآیی آن در آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

مشخصات این پروژه به شرح زیر می‌باشد:

شاخص	مجری	زمان (ماه)	اقدام پیش نیاز
- گزارش اجرای پروژه - کارآیی سیستم پایش	واحدهای تحقیق و توسعه شرکتهای صنعتی، شرکتهای دانش بنیان، شرکتهای مهندسی	۳۶	۳و۲و۱



پیوست ۳: معرفی اجمالی نهادهای مرتبط با نگاشت نهادی توسعه فناوری

پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

وزارت نیرو

وزارت نیرو یکی از مهمترین وزارتخانه‌های اقتصادی دولت محسوب می‌شود. 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 می‌شود. اما می‌توان 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 اقبال 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 جمع‌آوری و تصفیه‌خانه‌های فاضلاب.

تامین نیازهای انرژی با کیفیت مطلوب و تمام وقت برای انواع مصارف شهروندان

دیدگاه بلند مدت (دورنگر) به صیانت از منابع آب و انرژی و انتقال آن به نسل‌های آینده

وظایف و مأموریت‌های 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 آیین‌نامه‌های صنعت برق و

تعرفه‌های بهای مصرف و اشتراک برق به طور سالیانه جهت ارائه 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

معاونت برق و انرژی (وزارت نیرو)

وظایف حاکمیتی بخش انرژی:

سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی در زمینه صیانت و بهره‌برداری بهینه از منابع انرژی کشور

برنامه‌ریزی کلان انرژی کشور به منظور حصول اطمینان از تأمین و عرضه انرژی مورد نیاز بخش‌های گوناگون

سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی برای شناسایی و در اختیار گرفتن انرژی‌های دست نیافته (انرژی‌های نو) و حمایت و

ترویج کاربرد آن

نظارت بر نحوه استفاده از انواع انرژی به منظور رعایت رفاه مردم و حفظ منابع انرژی کشور

تعیین الگوی مصرف انواع انرژی با رعایت مصالح کشور و حفظ حقوق مردم

سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی به منظور مدیریت مصرف انرژی

تدوین استانداردها و مقررات لازم برای تولید، مصرف و تبدیل انرژی در کلیه بخش‌های اقتصادی و اجتماعی

حمایت از توسعه تحقیقات کاربردی، فناوری و منابع انسانی در بخش انرژی

تولید آمار و اطلاعات پایه بخش انرژی و تسهیل دسترسی به آنها

برنامه‌ریزی برای اصلاح ساختار مصرف انرژی و اعطای تسهیلات مالی و فنی لازم در بخش انرژی

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

تهیه، تدوین و پیشنهاد قوانین مرتبط با بخش انرژی

تعیین نرخ انواع انرژی

کاهش، شفاف‌سازی و هدفمند کردن یارانه

ارزیابی رضایت مشترکین و سیاست‌های بهبود آن

وظایف حاکمیتی بخش برق :

↪ سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی کلان و نظارت بر اجرای طرح‌های توسعه در حد حصول اطمینان از تامین برق مورد نیاز

↪ 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

↪ کاهش، شفاف‌سازی و هدف‌مند کردن یارانه‌ها

↪ تصویب تعرفه‌های فروش برق

↪ تهیه و تصویب مقررات و آئین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های ناظر بر روابط شرکت‌های فعال در بازار برق و نظارت بر اجرای

آن‌ها

↪ ایجاد و توسعه رقابت بر آن بخش از امور صنعت برق که امکان رقابت در آن‌ها وجود دارد

↪ تشویق و حمایت از سرمایه‌گذاری بخش غیردولتی در صنعت برق

↪ تسهیل دسترسی عمومی به آمار و اطلاعات صنعت برق

↪ 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

↪ حمایت از توسعه تحقیقات کاربردی، فناوری و منابع انسانی در صنعت برق

↪ ظرفیت‌سازی و حمایت از صنایع داخلی

↪ تهیه، تدوین و پیشنهاد قوانین و مقررات مرتبط

↪ ارزیابی رضایت مشترکین و سیاست‌های بهبود آن

✚ 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:

↔ تاثیرگذاری مثبت بر کیفیت زندگی مردم

↔ 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:

↔ حفاظت از حقوق متقابل مشتریان و بخش عرضه برق

↔ حفظ پایایی و امنیت سیستم قدرت کشور

↔ بهره‌وری بخش عرضه برق

↔ مدیریت تقاضای برق

↔ تعاملات صنعت برق با محیط‌زیست

↔ خوداتکایی علمی و فنی صنعت برق

↔ بازرگانی برق (بازرگانی داخلی و خارجی)

↔ توازن و پایداری اقتصادی صنعت برق

ابزار معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو برای نظارت عالییه 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 نمی‌پذیرد 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

↔ معاونت برنامه‌ریزی و امور اقتصادی وزارت نیرو

وظایف حاکمیتی بخش برنامه‌ریزی و امور اقتصادی :

- ↪ مطالعات و آینده‌نگری همه جانبه شرایط محیطی و جهانی صنعت آب و برق
- ↪ تدوین برنامه دوربرد و راهبردی وزارت نیرو
- ↪ تلفیق برنامه‌های کوتاه‌مدت و میان‌مدت بخش‌های مختلف صنعت آب و برق
- ↪ تلفیق، تدوین و ارائه لایحه بودجه وزارت نیرو
- ↪ نظارت دقیق، مستمر و مؤثر بر اجرای برنامه
- ↪ تهیه و تدوین گزارش عملکرد برنامه
- ↪ تدوین سیاست‌های تشویقی و حمایت از بخش خصوصی و سرمایه‌گذاری غیردولتی و خارجی
- ↪ برنامه‌ریزی جهت اجرای اصل ۴۴ قانون اساسی و خصوصی‌سازی صنعت
- ↪ مطالعات و بررسی ظرفیت‌های داخلی صنعت آب و برق
- ↪ تدوین سیاست‌های توسعه کارآفرینی در وزارت نیرو
- ↪ انجام امور مربوطه به دبیرخانه مجامع عمومی شرکت‌های تابعه
- ↪ نظارت بر قراردادهای مرتبط با صنعت آب و برق
- ↪ مطالعات و بررسی اقتصاد کلان صنعت آب و برق
- ↪ مطالعات و بررسی بازار بین‌المللی مرتبط با وزارت نیرو
- ↪ تنظیم سیاست‌ها و روابط اقتصاد خارجی وزارت نیرو
- ↪ تدوین سیاست‌های تشویقی و حمایتی از صادرکنندگان مرتبط با صنعت آب و برق
- ↪ تدوین سیاست‌های راهبردی بازار آب و برق
- ↪ تنظیم مقررات مربوط به بازار آب و برق
- ↪ تدوین و استقرار سیاست‌های توسعه رقابت در بازارهای آب و برق

✚ معاونت امور تحقیقات و منابع انسانی

وظایف حاکمیتی بخش تحقیقات و منابع انسانی:

- ↪ برنامه‌ریزی جامع منابع انسانی صنعت آب و برق
 - ↪ تدوین سیاست‌ها و راهبری منابع انسانی
 - ↪ مطالعه و بررسی و تنظیم سیاست‌های افزایش انگیزش و کارآمدی منابع انسانی
 - ↪ بررسی و تدوین راهکارهای استقرار ارزش‌های انسانی در سازمان
 - ↪ مطالعات، برنامه‌ریزی و ساماندهی امر مدیریت و ارائه الگوی مناسب مدیریتی
 - ↪ راهبری تحول اداری صنعت آب و برق و ارتقاء سلامت اداری
 - ↪ مطالعات، تدوین، اصلاح و استقرار ساختار سازمانی، سیستم‌ها و روش‌های کارآمد در وزارت نیرو
 - ↪ تدوین و ارائه طرح‌های ارتقاء کیفیت و بهبود بهره‌وری صنعت آب و برق
 - ↪ تدوین سیاست‌های آموزش و تحقیقات صنعت آب و برق
 - ↪ ساماندهی ارتباطات با مراکز آموزشی و پژوهشی درون و برون صنعت آب و برق
 - ↪ تدوین سیاست‌ها و استراتژی توسعه فناوری
 - ↪ تدوین و استقرار نظام راهبری و توسعه آموزش
 - ↪ راهبری برنامه‌های آموزش‌های تخصصی مورد نیاز صنعت
 - ↪ هدایت هیات‌های امانت مراکز آموزشی و پژوهشی صنعت آب و برق
 - ↪ مطالعه و بررسی مستمر فناوری‌های نوین اطلاعاتی مورد نیاز صنعت
 - ↪ تدوین نظام ارتباطات بهنگام در صنعت آب و برق
 - ↪ تدوین و استقرار نظام آماری و اطلاعاتی در وزارت نیرو
 - ↪ مدیریت و راهبری اطلاعات علمی، اسناد و کتابخانه
 - ↪ ایجاد بانک اطلاعاتی صنعت و بروزرسانی آن
 - ↪ مطالعه و ارائه سیستم‌های مکانیزه جهت ارائه خدمات به مشترکین صنعت آب و برق
- ✚ 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

توانیر

موضوع فعالیت شرکت توانیر: 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 که برای تحقق اهداف شرکت لازم می‌باشد از طریق شرکت‌های زیرمجموعه و یا در صورت لزوم با تصویب مجمع عمومی توسط خود شرکت موارد زیر از جمله وظایف شرکت می‌باشد.

↪ بررسی و تدوین پیشنهادهای لازم در زمینه راهبردها و سیاست‌ها و برنامه‌های بلندمدت و میان مدت صنعت برق و

ارایه آن به وزارت نیرو

↪ اجرای سیاست‌ها، برنامه‌ها و مصوبات وزارت نیرو

↪ تهیه طرح‌های لازم برای توسعه تأسیسات تولید، انتقال و توزیع برق و ارایه آن به وزارت نیرو جهت اخذ مجوز

↪ سرمایه‌گذاری در تأسیسات تولید و انتقال و توزیع صنعت برق

↪ اتخاذ تدابیر و راهکارهای لازم به منظور حصول اطمینان از اجرای صحیح و به‌موقع طرح‌های توسعه و بهینه‌سازی

تأسیسات

- ↪ 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
- ↪ تدوین و پیشنهاد تعرفه‌های برق به وزارت نیرو
- ↪ خرید و فروش عمده برق در داخل و خارج کشور از طریق شرکت‌های زیرمجموعه
- ↪ 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
- ↪ مدیریت، توسعه و تأمین منابع مالی صنعت برق و استفاده بهینه از این منابع از طریق برقراری تسهیلات و گردش منابع مالی فی‌مابین شرکت و شرکت‌های زیرمجموعه
- ↪ 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
- ↪ بررسی، مطالعه و سایر اقدامات لازم برای توسعه فناوری، انتقال دانش فنی و اطلاع‌رسانی تأمین کالا و ساخت تجهیزات موردنیاز صنعت برق کشور
- ↪ حمایت از توسعه فعالیت‌های آموزشی و پژوهشی در زمینه‌های تخصصی مرتبط با صنعت برق و پشتیبانی از برنامه‌های تربیت متخصصان موردنیاز صنعت برق کشور.
- ↪ حمایت از تحقیقات و فعالیت‌های علمی و توسعه منابع انسانی و سایر عوامل موثر در بهبود مدیریت و بهره‌وری صنعت برق کشور
- ↪ 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
- ↪ نظارت بر امور مدیریت و نظام مالی شرکت‌های زیرمجموعه و انجام بازرسی و حسابرسی‌های لازم
- ↪ تدوین مقررات و استانداردها و دستورالعمل‌های لازم برای حسن اجرای امور و استفاده بهینه از امکانات و تأسیسات صنعت برق و آرایه آن‌ها به وزارت نیرو و همچنین انجام عملیات لازم به منظور نظارت بر اجرای آن‌ها به نمایندگی وزارت نیرو

↪ 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

↪ مبادرت به هرگونه فعالیت که با هدف شرکت مرتبط باشد

↪ دفتر امور تحقیقات برق (توانیر)

شرح وظایف دفتر امور تحقیقات برق :

↪ حمایت، هدایت، راهبری مؤسسات و مراکز علمی و پژوهشی به منظور انجام تحقیقات و پژوهش‌های کاربردی در

صنعت برق

↪ کمک به توسعه و رشد مراکز تحقیقاتی

↪ ترغیب مؤسسات و مراکز علمی به تدوین طرح‌ها و پژوهش‌های کاربردی

↪ تدوین نظام‌های اصلاح و بهبود فرایندها

↪ 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 و استاندارد)

↪ نظارت عالیه و راهبردی بر شرکت‌های زیرمجموعه

↪ تعامل با دستگاه‌ها و سازمان‌ها برای پیشبرد امور تحقیقات

↪ شناسایی پتانسیل‌ها و ظرفیت‌های ارتقاء و بهبود فرایندهای پژوهش و تحقیقاتی در شرکت‌های موفق داخلی و خارجی

(benchmark)

↪ 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 زیرمجموعه 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

پژوهشگاه نیرو

پژوهشگاه نیرو به منظور تحقق بخشی از وظایف پژوهشی وزارت نیرو و نیز ارتقاء کیفی امور آن وزارتخانه، تاسیس گردید. پژوهشگاه نیرو سازمانی دولتی است که مسئولیت راهبری تحقیقات وابسته به صنعت برق و انرژی ایران را برعهده دارد. پژوهشگاه نیرو در سال ۱۳۷۶ با اخذ مجوز سه پژوهشکده "برق"، "تولیدنیرو" و "انتقال و توزیع نیرو" از شورای گسترش آموزش عالی به‌طور 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 "مراکزشیمی و مواد"، توسعه فناوری توربین‌های بادی و "آزمایشگاه‌های مرجع" فعالیت‌های خویش را توسعه بخشید.

با توجه به نقش زیربنایی 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، چشم‌انداز 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 چشم‌انداز را هموار نموده است.

فلسفه وجودی ماموریت پژوهشگاه نیرو شامل ارتقاء فناوری، توسعه پژوهش و نوآوری جهت افزایش توانمندی، رقابت‌پذیری 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 موارد زیر است.

- ↪ 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
- ↪ آینده‌نگاری، سیاست‌پژوهی و برنامه‌ریزی 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

✚ مرکز توسعه فناوری صنعت برق و انرژی (پژوهشگاه نیرو):

از جمله اهداف و ماموریت‌های 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 تجاری‌سازی و حرکت نتیجه‌محور در فعالیت‌های علمی و پژوهشی
- ↪ استقرار چهارچوب‌های 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 راه‌اندازی و مدیریت صندوق‌های حمایت مالی ریسک‌پذیری

↪ پارک‌های علم و فناوری

یک "پارک علمی" سازمانی است که بوسیله متخصصین 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.

↪ گسترش و تقویت روح پژوهش و تفکر علمی در جامعه

↪ تلاش منظم و مستمر به منظور رویارویی با نیازهای حال و آینده

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

↪ رشد و پرورش خلاقیت‌ها و ایجاد روحیه کارآفرینی در فارغ‌التحصیلان

↪ زمینه‌سازی مناسب جهت تجاری نمودن تحقیقات

وظایف پارک‌های علم و فناوری

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

صنعتی

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

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

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

↪ ارتقاء دانش فنی متخصصین برای بروز خلاقیت‌ها و نوآوری‌ها در زمینه فناوری

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

جهانی

↪ 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

۶- منابع و مراجع

[۱]. روش شناسی تدوین اسناد راهبردی توسعه فناوری‌های صنعت برق، مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور

فهرست مطالب

- ۱- مقدمه ۱
- ۲- فرایند ارزیابی سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۱
 - ۲-۱- تدوین شاخص‌های عملکردی و اثربخشی ۲
 - ۲-۱-۱- تعریف شاخص‌های سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۳
- ۳- تدوین ساختار نظارت، به روزرسانی و مکانیزم ارزیابی ۶
 - ۳-۱- ساختار نظارت و به‌روز رسانی ۶
 - ۳-۲- مکانیزم عملکرد ۹
- ۴- منابع و مراجع ۱۰
- پیوست ۱: کاربرد فناوری پایش سلامت سازه‌ها در رفع نیازهای صنعت برق ۱۱



ب

سند راهبردی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، روش‌های پیش‌بینی بروز اشکالات و ارائه

راهکارهای کاهش آنها

ویرایش اول، مهر ۱۳۹۴

فاز ۶: تدوین برنامه ارزیابی و بروزرسانی

فهرست اشکال

شکل (۱-۳): ساختار مرکز توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق ۷

فهرست جداول

جدول (۱-۲): شاخص شناسایی شده برای چشم انداز سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق..... ۳

جدول (۲-۲): شاخص‌های شناسایی شده برای اهداف کلان سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت

برق ۳

جدول (۳-۲): شاخص‌های شناسایی شده برای اقدامات غیرفنی توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

..... ۴

جدول (۴-۲): شاخص‌های شناسایی شده برای اقدامات فنی سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

..... ۵

۱- مقدمه

هر برنامه‌ریزی نیازمند ارزیابی بوده و بدون آن نمی‌توان از اجرای برنامه اطمینان حاصل نمود. در سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق نیز نمی‌توان بدون ارزیابی، به نحوه عملکرد و اثربخشی ارکان مختلف سند (که براساس نقشه‌راه این سند صورت می‌گیرد) پی برد. به منظور ارزیابی لازم است شاخص‌های عملکردی و اثربخشی تعریف شده تا بتوان در طول زمان با بررسی وضعیت شاخص‌ها، میزان پیشرفت ارکان مختلف سند را مشخص کرد. علاوه بر تعیین شاخص‌ها، می‌بایست مشخص گردد که چه ساختارهای نظارتی، در چه مقاطع زمانی و چگونه باید ایجاد شوند تا پروژه‌های اجرایی مختلفی را که برای حصول به اهداف نقشه‌راه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق صورت می‌گیرد مورد ارزیابی قرار دهند. همچنین با توجه به اینکه نقشه‌راه یک سند زنده و پویا برای تحرکات بخش‌های مختلف صنعت برق کشور در جهت حصول به اهداف این صنعت می‌باشد، ضرورت دارد در بازه‌های زمانی مشخصی به بازنگری و بروزرسانی این سند پرداخته شود. در این بخش از طرح، برنامه‌ریزی لازم جهت انجام این بازنگری‌ها نیز مشخص خواهد شد. در ادامه به ترتیب، فرایند ارزیابی سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق و ساختار نظارت و به‌روزرسانی آن بررسی شده است.

۲- فرایند ارزیابی سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

مکانیزمی که در این سند برای ارزیابی تحقق برنامه‌های سند در نظر گرفته شده است شامل مراحل اصلی زیر می‌باشد:

۱- تدوین شاخص‌های عملکردی و اثربخشی

۲- شناسایی منابع اطلاعاتی برای اندازه‌گیری شاخص‌ها

۳- جمع‌آوری اطلاعات و مقایسه با معیارهای کمی تعیین شده

۴- 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 ارکان مختلف سند که شامل چشم‌انداز، اهداف و اقدامات می‌باشد تعدادی شاخص تعریف می‌شود. پس از آغاز اجرایی شدن سند و تشکیل مرکز توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، 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 سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق و نحوه دستیابی به آنها مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۲- 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 همین رو شاخص‌ها می‌بایست ابعاد مختلف سطوح راهبردی را مورد توجه قرار دهند به شکلی که پیشرفت امور بر اساس شاخص‌ها تضمین‌کننده تحقق کامل اقدامات گردد. در همین راستا شاخص‌ها می‌باید مشخص‌کننده ابعاد ذیل باشند [1]:

(الف) کمیت (چقدر)

(ب) کیفیت (چگونه)

(ج) زمان (چه موقع)

(د) محل (کجا)

در برخی از شاخص‌ها ممکن است ابعاد چهارگانه فوق قابل تعریف نباشند، به عنوان مثال ممکن است محل در مورد یک شاخص فنی تعریف پذیر نباشد که در این حالت از بررسی این بعد خاص صرف‌نظر می‌شود.

شاخص‌ها باید با ملاحظه ویژگی‌های زیر تعریف شوند:

(الف) اساسی بودن: یعنی جنبه اساسی یک سطح خاص را منعکس نماید.

(ب) واقعی بودن: هر شاخص باید منعکس‌کننده یک واقعیت - و نه تصور ذهنی - بوده و برای همگان مفهوم واحدی را القا نماید.

(ج) قابل قبول بودن: باید بتوان تغییرات شاخص را به تحقق یا عدم تحقق مقصود منتسب نمود.

(د) مبتنی بر داده‌های قابل کسب بودن: داده‌های لازم برای اندازه‌گیری شاخص می‌بایست در دسترس باشد. [1]

۱-۱-۲- تعریف شاخص‌های سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

با توجه به موارد مطرح شده، در این بخش شاخص‌ها در دو سطح کلان و خرد طراحی شده‌اند. با پیمایش شاخص‌های کلان می‌توان تحقق چشم‌انداز و اهداف کلان را بررسی کرده و با تعریف شاخص‌های خرد در سطح اقدامات می‌توان میزان تحقق اقدامات را ارزیابی نمود. در ادامه شاخص‌های تعیین شده برای بررسی تحقق چشم‌انداز، اهداف و اقدامات در جدول (۲-۱) (۱) الی (۲-۴) آورده شده‌اند:

جدول (۲-۱): شاخص شناسایی شده برای چشم‌انداز سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

معیار ارزیابی	شاخص	ردیف
اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۰ واحد از نیروگاه‌های بخاری در کشور به ترتیب اولویت	استقرار سیستم پایش سلامت سازه در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع در پهنه جغرافیایی کشور	۱
اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۰ واحد از نیروگاه‌های چرخه ترکیبی در کشور به ترتیب اولویت		
اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۱۰ واحد از نیروگاه‌های گازی در کشور به ترتیب اولویت		
اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۰ عدد از توربین‌های بادی در کشور به ترتیب اولویت		
اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۵٪ از خطوط انتقال در کشور به ترتیب اولویت		
اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۲۵٪ از پست‌های انتقال در کشور به ترتیب اولویت		
اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۵٪ از خطوط فوق توزیع در کشور به ترتیب اولویت		
اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۱۰٪ از پست‌های فوق توزیع در کشور به ترتیب اولویت		
اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۱٪ از خطوط توزیع در کشور به ترتیب اولویت		
اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های ۱٪ از پست‌های توزیع در کشور به ترتیب اولویت		

جدول (۲-۲): شاخص‌های شناسایی شده برای اهداف کلان سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

معیار ارزیابی	شاخص	ردیف
از ابتدای سال ۱۴۰۰ باید خرابی‌های سازه‌های تولید، انتقال و توزیع (در سازه‌هایی پایش سلامت سازه در آنها اجرایی شده) سالانه به میزان ۵ درصد کاهش یابد	خرابی‌های سازه‌های تولید، انتقال و توزیع	۱

ردیف	شاخص	معیار ارزیابی
۲	طول عمر سازه‌های تولید، انتقال و توزیع	از ابتدای سال ۱۴۰۰ باید طول عمر سازه‌های تولید، انتقال و توزیع (در سازه‌هایی پایش سلامت سازه در آنها اجرایی شده) سالانه به میزان ۱۰ الی ۳۰ درصد افزایش یابد
۳	صرفه جویی در هزینه خسارت شبکه برق	از ابتدای سال ۱۴۰۰ باید هزینه مورد انتظار خسارت در سازه های صنعت برق با توجه به کاهش خرابیها، کاهش یابد. روش محاسبه هزینه مورد انتظار خسارت می‌تواند طبق پیوست ۲ این گزارش باشد.

جدول (۲-۳): شاخص‌های شناسایی شده برای اقدامات غیرفنی توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

ردیف	شاخص	معیار ارزیابی
۱	تعداد پایان نامه‌ها و طرح‌های پژوهشی حمایت شده در سال (تا اول سال ششم اجرای سند)	۱۰ پایان نامه کارشناسی ارشد در سال ۸ پایان نامه دکترا در سال ۲ طرح پژوهشی در سال (تا انتهای سال پنجم)
۲	تعداد پروژه‌های مشترک بین صنعت برق و دانشگاه‌های فعال در حوزه پایش سلامت سازه در سال	۲۰ پروژه در سال (تا انتهای سال پنجم)
۳	تعداد نشست‌های برگزار شده در سال با متولیان پیاده‌سازی پایش سلامت در سازه‌های صنایع دیگر	برگزاری ۴ نشست در سال
۴	تعداد کنفرانس‌های تخصصی برگزار شده در سال که پایش سلامت سازه در سازه‌های صنعت برق از حوزه‌های اصلی آن است	برگزاری ۱ کنفرانس در سال
۵	تعداد موسسات بین‌المللی پایش سلامت سازه که ایران به عضویت آنها در آمده است	عضویت در یک موسسه بین‌المللی
۶	وضعیت بانک اطلاعاتی محققین و دستاوردهای دانشی در حوزه پایش سلامت سازه	نرم‌افزار پایگاه داده طراحی شده
۷	وضعیت قوانین و دستورالعمل‌های بکارگیری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق	تدوین و ابلاغ قوانین به تاسیسات اصلی صنعت برق
۸	تعداد همایش‌های برگزار شده در سال جهت آگاه‌سازی مدیران از مزایای بکارگیری پایش سلامت سازه	برگزاری یک همایش در سال
۹	وضعیت تاثیر شاخص اجرایی کردن دستورالعمل‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق، در ارزیابی عملکرد مدیران تاسیسات مختلف صنعت برق	اضافه کردن شاخص اجرایی کردن دستورالعمل‌های پایش سلامت سازه‌های صنعت برق به فرم‌های ارزیابی عملکرد
۱۰	تعداد دوره‌های آموزشی برگزار شده در سال برای مهندسين عمران شاغل در صنعت برق	برگزاری دو دوره آموزشی در سال
۱۱	وضعیت دروس اختیاری میان‌رشته‌ای اضافه شده به دروس مهندسی عمران	اضافه شدن یک درس میان‌رشته‌ای
۱۲	شناسایی و حمایت از تامین سخت‌افزار و نرم‌افزار مورد نیاز پایش سلامت سازه‌های صنعت برق	انجام پروژه مطالعاتی اولویت‌بندی تجهیزات مورد نیاز انجام پروژه تحقیقاتی امکان‌سنجی مالی تامین تجهیزات
۱۳	وضعیت بانک اطلاعاتی آسیب‌های سازه‌ای در شبکه برق (تولید، انتقال و توزیع)	نرم‌افزار پایگاه داده طراحی شده
۱۴	میزان کمک مالی به توسعه فناوری پایش سلامت	۱۴ میلیارد در سال
۱۵	تعداد دوره‌های آموزشی برگزار شده جهت آشنایی با نحوه بکارگیری سخت‌افزار مربوط	برگزاری دو دوره آموزشی در سال (از سال

معیار ارزیابی	شاخص	ردیف
(ششم)		به پایش سلامت سازه‌ها

جدول (۲-۴): شاخص‌های شناسایی شده برای اقدامات فنی سند توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

شاخص	اقدامات فنی	ردیف
کتاب دستی (Hand Book) جامع یا گزارش مروری (State of the Art) پایش سلامت سازه‌ها	شناسایی انواع روش‌های پایش سلامت سازه در دنیا	۱
• گزارش پروژه‌ها • نرم افزار پایش و مدیریت نگهداری • اجرای پایلوت	تدوین دانش فنی پایش سلامت و مدیریت نگهداری در سازه‌های موجود و جدید صنعت برق (در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع)	۲
• گزارش پروژه‌ها • پهنه بندی اولویت سامانه‌ها و سازه‌ها	اولویت‌بندی اجرای پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق	۳
اجرا و راه اندازی سیستم پایش و نگهداری در تعداد مشخص شده در سامانه‌های صنعت برق کشور	اجرا و راه‌اندازی نظام پایش سلامت در سازه‌های اولویت‌دار صنعت برق در کشور	۴

شاخص‌های مربوط به پروژه‌های هریک از اقدامات فوق، در پیوست شناسنامه اقدامات فنی در گزارش مرحله پنجم ارائه

شده‌اند.

شاخص کلی پیشرفت سند توسعه، با وزن دهی به پروژه‌های تدوین دانش فنی (اقدامات ۱ و ۲ و ۳ جدول فوق) و اجرا

(اقدام ۴) بر مبنای هزینه و اولویت هریک از آنها، باید توسط مرکز توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق،

تدوین و در طول اجرای طرح، ارزیابی و پایش گردد. فرم کلی شاخص پیشرفت سند I بر حسب درصد، بصورت رابطه زیر قابل

بیان است:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^N W_i P_i}{100} \quad (1-2)$$

در رابطه فوق، W_i وزن هریک از پروژه‌ها به درصد، P_i درصد پیشرفت هر پروژه و N تعداد کل پروژه‌های طرح می‌باشند.

مقدار مطلوب I در مقاطع زمانی مختلف در طول اجرای طرح، باید توسط مرکز توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های

صنعت برق مشخص گردد.

۳- تدوین ساختار نظارت، به روزرسانی و مکانیزم ارزیابی

۳-۱- ساختار نظارت و به‌روز رسانی

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 بر عهده دارد. مرکز توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق بر نحوه اجرای این سند نظارت می‌کند و بازنگری‌های لازم در سند و گزارش کلان مربوطه را در فواصل زمانی مشخص به وزارت نیرو ارائه خواهد نمود. این مرکز 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 بر عهده دارد. از جمله وظایف اصلی این مرکز می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

↔ سیاست‌گذاری اجرایی، راهبری، هماهنگی و ایجاد ارتباطات بین دستگاهی لازم برای توسعه فناوری پایش سلامت

در سازه‌های صنعت برق و تدوین دستورالعمل‌های مربوطه

↔ نظارت و پیگیری اجرای دقیق و کامل مفاد سند

↔ تدوین و پایش شاخص‌های عملکردی و اثربخشی

↔ بررسی طرح‌ها و برنامه‌های بخشی و فرابخشی، و نظارت بر اجرای صحیح اقدامات

↔ تصمیم‌گیری برای تخصیص بودجه‌ها به پروژه‌های اجرایی

مرکز توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در پژوهشگاه نیرو تشکیل می‌شود و اعضای اصلی آن به شرح

زیر پیشنهاد می‌گردند:

↔ نماینده معاون وزیر نیرو در بخش برق و انرژی

↔ نماینده معاون وزیر نیرو در امور تحقیقات و منابع انسانی

↔ نماینده مدیر عامل توانیر

↔ نماینده معاونت پژوهشی پژوهشگاه نیرو

↔ نماینده معاونت فناوری پژوهشگاه نیرو

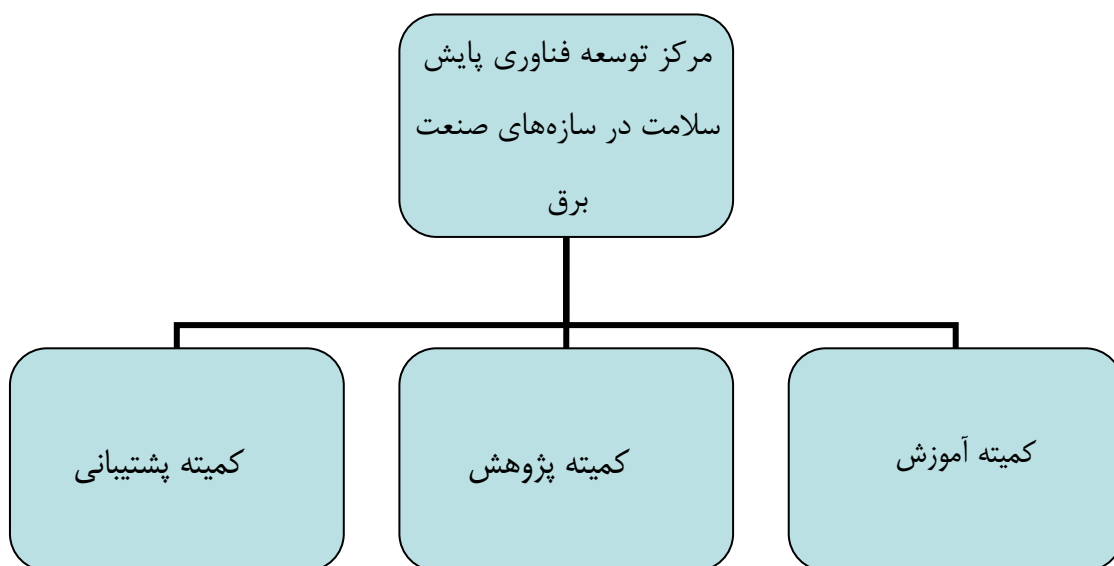
↔ سه نفر از صاحب‌نظران و خبرگان حوزه پایش سلامت سازه از دانشگاه‌های برتر کشور با حکم رئیس مرکز

← نمایندگانی از بخش‌های تولید، انتقال و توزیع صنعت برق

← دبیر مرکز به انتخاب رئیس مرکز

جهت انجام وظایف در نظر گرفته شده برای مرکز، لازم است ساختاری برای مرکز در نظر گرفته شود، که این ساختار در

شکل (۱-۳) نشان داده شده است.



شکل (۱-۳): ساختار مرکز توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

همان‌طور که در شکل (۱-۳) نشان داده شده است. سه کمیته اصلی در ذیل این مرکز می‌بایست تشکیل گردد، که هر

کمیته وظیفه رسیدگی به یکی از حوزه‌های مورد نظر مرکز را بر عهده دارند. این کمیته‌ها عبارتند از:

← کمیته آموزش

← کمیته پژوهش

← کمیته پشتیبانی

در ادامه شرح وظایف هر کدام از کمیته‌ها آورده شده است:

شرح وظایف کمیته آموزش:

← نیازسنجی و برنامه‌ریزی آموزشی برای توسعه دانش فنی پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

← کمک به برگزاری دوره‌های آموزشی

← حمایت از برگزاری همایش‌ها و کنفرانس‌ها

شرح وظایف کمیته پژوهش:

← تدوین برنامه جامع جهت‌دهی به فعالیت‌های تحقیق و توسعه و تهیه دستورالعمل‌های مورد نیاز و نظارت بر اجرای

آن

← شناسایی پایان‌نامه‌ها و طرح‌های پژوهشی کاربردی در حوزه پایش سلامت سازه‌های صنعت برق و حمایت از آنها تا

مرحله عملیاتی شدن آنها

← پایش و ارزیابی مستمر وضعیت دانش فنی موجود در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

← نظارت بر انتخاب مشاورین مناسب برای انجام پروژه‌های تعریف شده در سند

← ارزیابی عملکرد محققین، پیمانکاران و مشاورین در قبل، حین و بعد از انجام پروژه‌ها

← ارائه سیستم جامع ارزیابی مجریان طرح‌ها و پروژه‌های و نظارت بر صحت انجام کار

← نظارت بر رعایت تمامی استانداردها در اجرای پروژه‌ها

← تدوین و ارزیابی شاخص‌های عملکردی و اثربخشی چشم‌انداز، اهداف و اقدامات

← تهیه، تحلیل و به‌روزرسانی بانک‌های اطلاعاتی مورد نیاز

← جمع‌آوری و جمع‌بندی نتایج پروژه‌ها

شرح وظایف کمیته پشتیبانی:

← رایزنی با نهادهای دولت جهت انجام اصلاحات مورد نیاز در قوانین و مقررات مرتبط

← رایزنی با نهادهای سیاست‌گذار جهت تسهیل دسترسی بازیگران توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت

برق

← ارتباط با وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به منظور اعمال تغییرات مورد نظر در محتوای آموزشی

← پیگیری ابلاغ و اجرایی شدن دستورالعمل‌های نظام پایش سلامت و مدیریت نگهداری سازه‌ها در تاسیسات اصلی

صنعت برق

← زمینه‌سازی همکاری میان شرکت‌ها و مراکز تحقیقاتی داخلی با شرکت‌ها و مراکز تحقیقاتی معتبر خارجی

↔ ایجاد ارتباط بین صنعت برق و دانشگاه‌ها و مراکز علمی-تحقیقاتی

↔ تسهیل ارتباط با انجمن‌های بین‌المللی جهت آگاهی از آخرین دستاوردها در زمینه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

↔ کمک به تأمین مواد و تجهیزات مورد نیاز جهت بکارگیری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق

↔ تهیه قرارداد های تیپ برای مناقصات

تبصره ۱: مصوبات یاد شده در چارچوب این سند و ابلاغ رئیس مرکز برای کلیه دستگاه‌های مرتبط لازم الاجرا می‌باشد.

تبصره ۲: مرکز توسعه فناوری پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق در صورت نیاز به اصلاح ساختارها و ساز و کارهای نهادی ذیربط، گردش کار لازم را از طریق مراجع ذیصلاح انجام خواهد داد.

تبصره ۳: با توجه به روند سریع تحولات لازم است در صورت تشخیص، ساختار و نحوه فعالیت‌های مرکز مورد بازبینی و تجدیدنظر قرار گیرد.

۳-۲- مکانیزم عملکرد

با توجه به وظایف مطرح شده برای این کمیته‌ها، می‌بایست مکانیزمی اندیشیده شود که به عنوان چارچوبی برای انجام فعالیت‌های ارزیابی در نظر گرفته شود. همان‌طور که اشاره شد، از جمله وظایف اصلی اعضای مرکز توسعه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق، نظارت و پیگیری اجرای دقیق و کامل مفاد سند و پایش شاخص‌های عملکردی و اثربخشی می‌باشد. لذا اعضای مرکز جهت انجام وظایف در نظر گرفته شده می‌بایست جلسات منظم (۶ ماه یکبار) 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 مرکز موظفند طبق نتایج حاصل از ارزیابی شاخص‌ها، اقدامات لازم را جهت اطمینان از تحقق سند در افق ۱۰ ساله، اتخاذ کنند. مرکز در صورت نیاز به اصلاح ساختارها و ساز و کارهای نهادی ذیربط، از طریق مراجع ذیصلاح گردش کار را انجام خواهد داد.

همچنین مرکز موظف است به رصد فناوری‌های مرتبط و در حال توسعه در حوزه پایش سلامت در سازه‌های صنعت برق بپردازد و گزارش آن را طی دوره‌های زمانی ۲ ساله به وزارت نیرو ارائه نماید.

با توجه به روند تحولات و نیز وضعیت پیشرفت سند، لازم است چهار سال پس از اجرایی شدن سند با توجه به نتایج به دست آمده از آمار خرابی‌ها و همچنین نتایج حاصل از پروژه‌های تدوین دانش فنی، سند مورد بازبینی و تجدیدنظر قرار گیرد. همچنین در صورتی که در انتهای هر سال پس از آغاز اجرای طرح، مقدار شاخص کلی پیشرفت سند (I از رابطه ۶-۱) بیش از ۲۵٪ نسبت به مقدار آن طبق برنامه کاهش داشت، لازم است که سند مورد بازبینی قرار گیرد.

۴- منابع و مراجع

[۱]. روش شناسی تدوین اسناد راهبردی توسعه فناوری‌های صنعت برق، مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور

پیوست ۱: کاربرد فناوری پایش سلامت سازه‌ها در رفع نیازهای صنعت

برق

در این پیوست، موارد کاربرد سیستم پایش سلامت آنلاین (SHM) در رفع نیازهای بلند مدت و کوتاه مدت صنعت برق بطور اجمالی ارائه شده است.

۱. نیازهای بلند مدت:

↔ بهینه سازی مدیریت نگهداری و کاهش هزینه ها: کارکرد اصلی سیستم پایش سلامت، تشخیص و شناسایی آسیبهای سازه ای در مراحل اولیه و اقدام به موقع در جهت رفع آنها است. در نتیجه از خسارتهای نسبتاً سنگین اقتصادی ناشی از خرابی سازه ها یا انجام اقدامات غیرضروری نگهداری اجتناب شده و فرآیند مدیریت نگهداری بصورت بهینه و با حداقل هزینه صورت خواهد گرفت. (میزان تقریبی صرفه جویی در هزینه های صنعت برق در صورت بکارگیری این سیستم در پیوست ۲ ارائه شده است)

۲. نیازهای کوتاه مدت:

↔ تشخیص وقوع سرقت در خطوط انتقال: یکی از معضلات فعلی صنعت برق بخصوص در خطوط انتقال هوایی، وقوع سرقت اعضای خط (بخصوص دکلها) می باشد که منجر به ضعیف شدن دکل و افزایش چشمگیر احتمال فروریختن آن خواهد شد که نمونه های بسیاری نیز در نقاط مختلف کشور مشاهده شده است. متأسفانه در شرایط عادی وقوع سرقت از دکلها قابل تشخیص نبوده و پس از فروریختن آن در شرایط اعمال بار مشخص می گردد که علت آن سرقت بوده است. با استفاده از سیستم پایش سلامت آنلاین (SHM) می توان با استفاده از تغییرات ایجاد شده در الگوهای رفتاری دکل (در اثر کم شده اعضای آن) وقوع سرقت را تشخیص داده و قبل از فروریختن دکل نسبت به ترمیم آن اقدام نمود.

↔ تشخیص سریع آسیبهای حاصل از حوادث طبیعی: پس از وقوع حوادث طبیعی مانند سیل و زلزله (بخصوص حوادث با شدت متوسط و کم) ممکن است آسیبهای موضعی و پنهان در سازه ها ایجاد گردد که در صورت عدم رفع آنها، می توانند به مرور زمان گسترش یافته و موجب فروریزش و تخریب سازه گردند. با استفاده از سیستم پایش سلامت (بطور پیوسته یا گسسته و پرتابل) می توان سازه ها را بعد از وقوع حوادث مورد بررسی قرار داده و آسیبهای احتمالی ایجاد شده در آنها را شناسایی و نسبت به رفع آنها اقدام نمود.



↔ تشخیص وقوع نشست و رانش در زمین: وقوع نشست و رانش در انواع زمینها معمولاً بصورت تدریجی اتفاق افتاده و می‌تواند موجب وقوع خسارت در سازه‌ها و تأسیسات صنعتی گردد. عوامل مختلفی نظیر تغییر در پوشش گیاهی و برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی می‌توانند سبب وقوع این تغییرات در زمین گردند. یکی از راه‌های مناسب برای تشخیص و اندازه‌گیری میزان و نرخ وقوع تغییرمکانهای زمین، استفاده از سیستم پایش سلامت در سازه‌ها (SHM) است.