

# خبرنامه گروه پژوهشی سامانه‌های کنترل شبکه

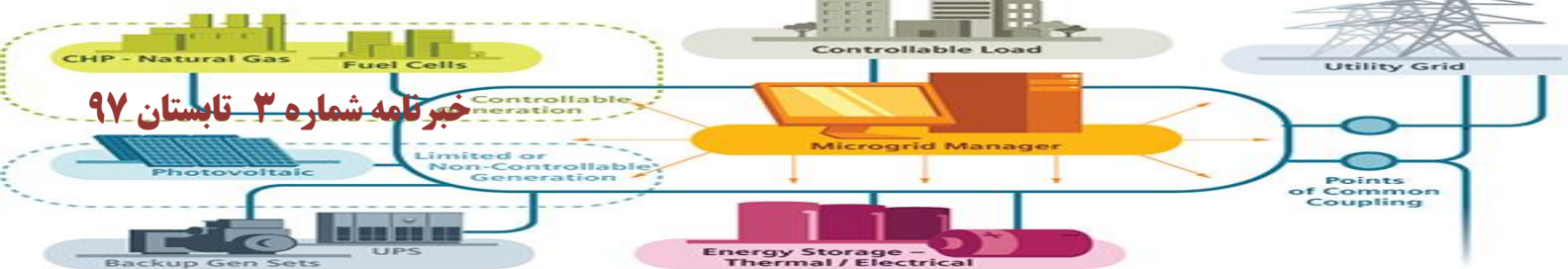


خبرنامه شماره ۳۰  
تابستان ۹۷

مطالب این شماره



معرفی پروژه طراحی مفهومی سامانه بومی کنترل و مدیریت ریز شبکه‌ها



## مشخصات خبرنامه:

صاحب امتیاز: گروه پژوهشی سامانه‌های کنترل شبکه

مدیر مسئول: مهران سلیمانی فر

همکاران این شماره: لیلا ظفری، مهران سلیمانی فر، عطیه کشاورز

گرافیکست و صفحه‌آرا: فرزانه دشتی

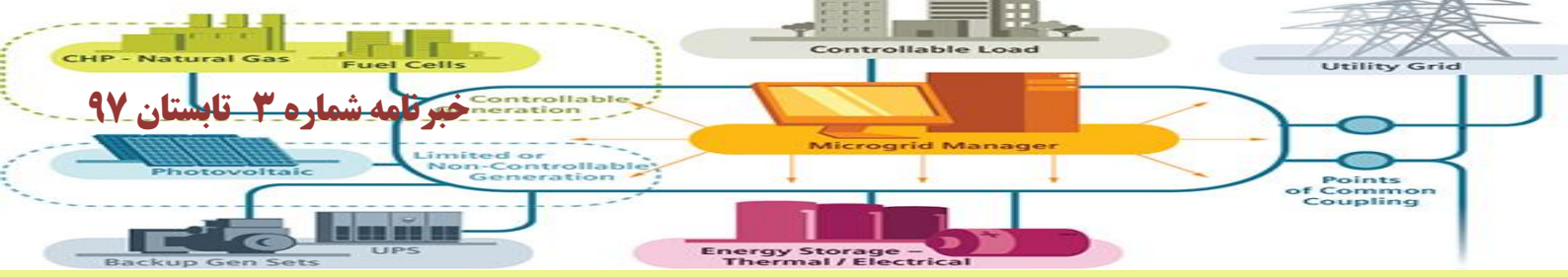
ویراستار: مهران سلیمانی فر

## اهداف و رویکرد خبرنامه:

خبرنامه تخصصی گروه سامانه‌های کنترل شبکه با هدف فراهم آوردن بستری مناسب برای تبادل اطلاعات و انتشار مطالب مرتبط با حوزه دیسپاچینگ و تله‌متری در صنعت برق به صورت داخلی منتشر می‌شود.

این مجموعه از هرگونه پیشنهاد یا انتقاد برای هرچه بهتر شدن مطالب استقبال می‌کند و استفاده از مطالب آن با ذکر منبع بلامانع است.

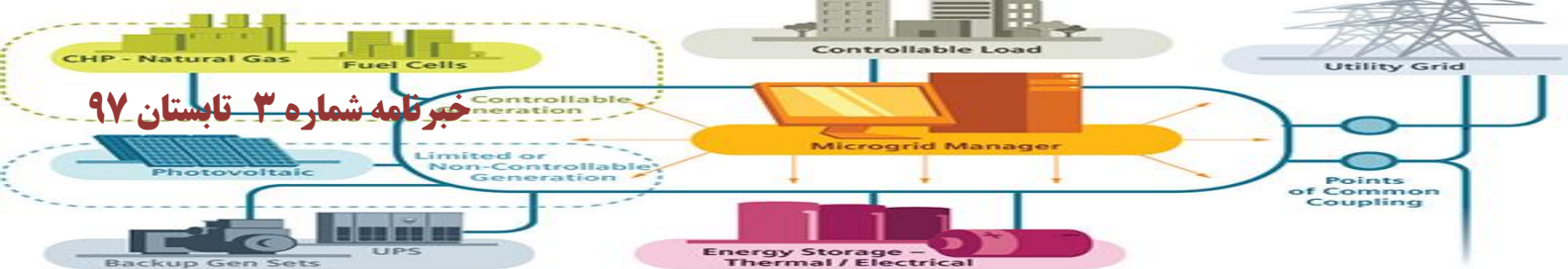
مسئولیت مطالب و پژوهش‌های درج شده بر عهده نویسندگان است.



خبرنامه شماره ۳ تابستان ۹۷

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۴	۱- پیشگفتار
۶	۲- مقدمه
۸	۳- معرفی ریز شبکه
۱۱	۴- مدهای عملیاتی ریز شبکه
۱۲	۵- انواع ریز شبکه ها
۲۳	۶- مراجع



## خبرنامه شماره ۳ تابستان ۹۷

### معرفی پروژه: طراحی مفهومی سامانه بومی کنترل و مدیریت ریز شبکه‌ها

پروژه با عنوان " طراحی مفهومی سامانه بومی کنترل و مدیریت ریز شبکه‌ها " در گروه پژوهشی سامانه‌های کنترل شبکه در حال انجام است.

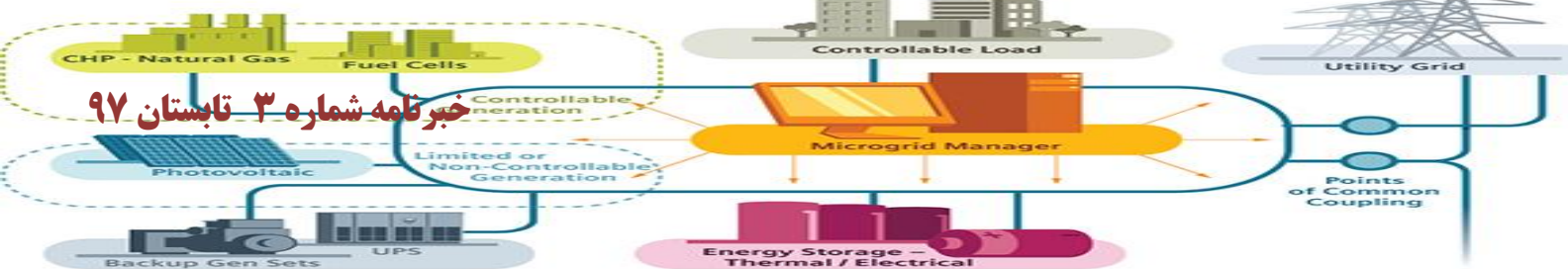
بندهای کلی این پروژه عبارتند از:

- تعیین نیازمندی‌های طراحی مفهومی سامانه‌ی کنترل مرکزی ریز شبکه
- طراحی مفهومی و ماژولار نرم‌افزار مرکز کنترل ریز شبکه
- بررسی پروتکل‌های ارتباطی در سامانه‌ی کنترل ریز شبکه
- طراحی سخت‌افزاری سامانه‌های کنترل ریز شبکه

در این خبرنامه، اهداف پروژه، کلیات و مفاهیم مرتبط با ریز شبکه جهت آشنایی بیشتر همکاران محترم، ارائه گردیده است و به تدریج و با پیشرفت پروژه، اهم نتایج در اختیار ایشان قرار خواهد گرفت.







## پیشگفتار

در سال‌های اخیر، روند رو به رشد مصرف انرژی از یک سو و محدودیت‌ها و مشکلات اقتصادی و زیست‌محیطی ناشی از استفاده‌ی زیاد از منابع انرژی فسیلی، مسئله‌ی مدیریت انرژی را به یکی از مسائل چالش‌برانگیز مبدل ساخته است. احداث نیروگاه‌های بزرگ و توسعه‌ی خطوط انتقال و توزیع علاوه بر محدودیت‌های اقتصادی، تأثیرات زیست‌محیطی جبران‌ناپذیری را نیز ایجاد می‌کند. با توجه به منافع بسیار زیاد مولدهای تجدیدپذیر هم برای مصرف‌کنندگان و هم برای تولیدکنندگان انرژی، در دهه‌های اخیر روند استفاده از منابع تولید پراکنده به شدت افزایش یافته است.

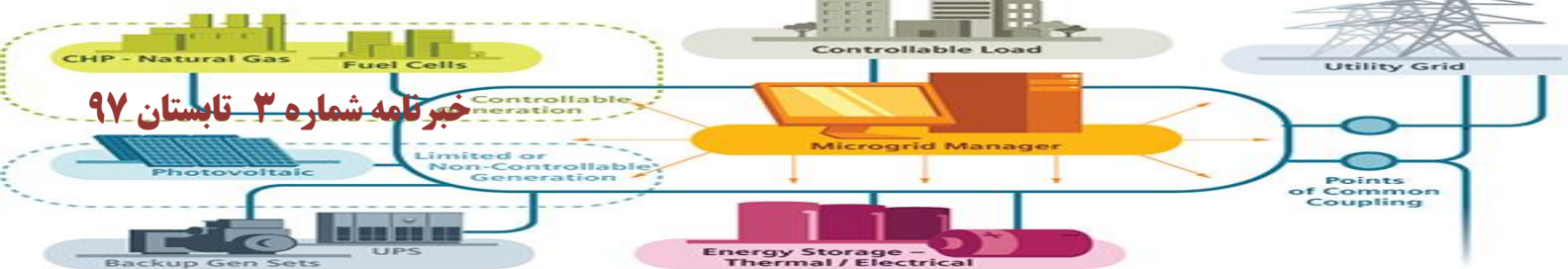


با توجه به ویژگی‌های خاص منابع کوچک پراکنده، کنترل و مدیریت آن‌ها به صورت متمرکز امری بسیار پیچیده و علناً غیرممکن خواهد بود؛ این موضوع موجب ایجاد مفهوم جدیدی تحت عنوان ریزشبکه‌های هوشمند گردیده است. در ساختار آتی شبکه‌های قدرت، ریزشبکه‌ها، به عنوان یکی از عناصر کلیدی شبکه‌های هوشمند شناخته و به صورت سامانه‌های توزیع قدرت تجمیع شده با منابع انرژی پراکنده و بارهای قابل کنترل، که قابلیت عملکرد به صورت متصل به شبکه و منفصل از آن را دارند، تعریف می‌شوند. در یک شبکه‌ی هوشمند، ریز شبکه پایین‌ترین هرم مدیریتی در شبکه است که پایین‌تر از سیستم مدیریت توزیع و در نزدیک‌ترین سطح به مصرف‌کننده قرار می‌گیرد.

در کشور عزیزمان ایران نیز، با توجه به سیاست‌ها و طرح‌های وزارت نیرو جهت پیاده‌سازی شبکه‌های هوشمند برق در کشور و همچنین استفاده‌ی بیش‌ازپیش از تولیدات پراکنده و با توجه به رسالت پژوهشگاه در تأمین منافع آتی صنعت برق، لازم است، این موضوع تحقیقاتی که به عنوان یکی از موضوعات پایه‌ای در طرح هوشمندسازی شبکه‌ی برق کشور محسوب می‌شود، و نتیجه‌ی آن ایجاد طرح مناسبی از سامانه‌ی کنترل مرکزی ریز شبکه به عنوان مغز سیستم است، را به صورت مفهومی تهیه و تدوین نماید. این پژوهش به عنوان بستری مناسب در مطالعات شبکه‌های هوشمند خصوصاً در سطح توزیع، می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد.

ادغام منابع تولید پراکنده و بارهای کنترل‌پذیر فرستی فوق‌العاده جهت بالا بردن بازدهی و قابلیت اطمینان سیستم قدرت، فراهم می‌آورد. مدیریت منابع پراکنده و بارها توسط سیستم مدیریت ریز شبکه می‌تواند مزایایی همچون، کاهش هزینه‌های تولید برق در شبکه به دلیل کاهش سطح بار در شبکه، کاهش هزینه‌های عملیاتی برای توسعه‌ی سامانه‌های قدرت در سطح تولید، انتقال و توزیع، افزایش طول عمر تجهیزات شبکه، کاهش تلفات اکتیو و راکتیو خطوط، فراهم آوردن سرویس‌های جانبی مانند تأمین توان راکتیو مورد نیاز شبکه و غیره را فراهم آورد.

در کنار مزایای بیان شده، متناوب و متغیر بودن انرژی‌های تجدیدپذیر و محدود بودن این منابع، در مدیریت آن‌ها در ریز شبکه و ایجاد توازن بین عرضه و تقاضا چه در زمان‌های اتصال به شبکه و چه در زمان‌های منفصل از شبکه،



چالش‌های جدی ایجاد می‌کند که این شبکه‌های کوچک را از شبکه‌های بزرگ متمایز خواهد کرد، از جمله این چالش‌ها می‌توان به موارد مهم زیر اشاره کرد:

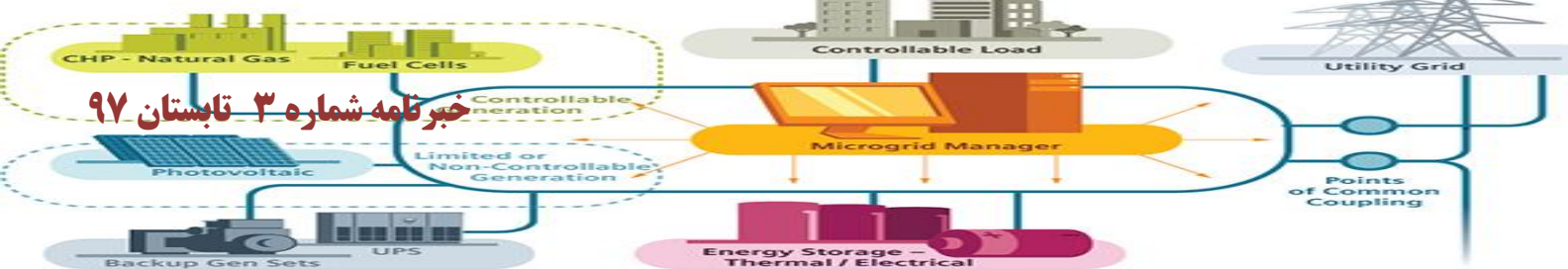
- ۱- تغییرات اندک در بارها و بانک‌های خازنی تأثیرات عمیقی روی سیستم دارد.
  - ۲- پایداری سیستم به شدت به بارهای دینامیکی نسبتاً بزرگ و مولدهای با اینرسی محدود، مرتبط است.
  - ۳- تغییرات اعمال شده توسط کنترل‌کننده‌ها ممکن است سبب گذارهای غیر قابل قبول شود و منجر به قطع واحد تولید پراکنده در سیستم شود که اصلاً مطلوب نیست.
- موارد بیان شده نشان از دینامیک سریع یک ریزشبکه دارد، که این امر، کنترل آن را امری پیچیده خواهد کرد. در نتیجه برخلاف شبکه‌های قدرت بزرگ، که اغلب، اپراتورها فرصت کافی برای اتخاذ تصمیم مناسب در مواقع بحران را دارند، در ریزشبکه‌ها این فرصت به چندین ثانیه و حتی کم‌تر (بسته به اندازه و نوع ریزشبکه) محدود می‌شود و عملاً اپراتور انسانی قادر به حفظ ریزشبکه‌ها در مواقع بحرانی نیست.

با توجه به موضوعات بیان شده، مشخص است که مهم‌ترین چالش در حوزه‌ی ریزشبکه‌ها را می‌توان مربوط به عملکرد کنترل‌کننده در حفظ پایداری و امنیت آن خصوصاً در مواقع حساس دانست. سامانه‌ی کنترل ریز شبکه‌ها برخلاف سامانه‌های کنترل شبکه‌های بزرگ که تنها نقش تحلیل را ایفا می‌کنند و عملاً تصمیم‌گیری نهایی بر عهده‌ی اپراتور انسانی است، باید قادر باشند در یک بازه‌ی زمانی کوچک عملیات تحلیل و تصمیم‌گیری را به صورت خودکار انجام دهند. از این رو هدف اصلی در این پروژه بررسی چالش‌های مربوط به کنترل خودکار ریزشبکه و پیشنهاد یک معماری مفهومی برای سامانه‌ی کنترل مرکزی ریزشبکه است.

در این پروژه سعی بر این است که در ابتدا چالش‌های بهره‌برداری از ریزشبکه‌ها و کنترل و مدیریت آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد و سپس با توجه به طرح‌های موفق آزمایشگاهی و پیاده‌سازی شده‌ی جهانی، آخرین پژوهش‌های انجام گرفته در این حوزه و نیز با توجه به شبکه‌ی برق ایران، یک طراحی مفهومی برای سامانه‌ی کنترل مرکزی، براساس شرایط عملکردی متفاوت ریزشبکه ارائه شود. در این پروژه سعی خواهد شد از نظر صاحب‌نظران در این حوزه استفاده شود.

نتایج مورد انتظار از این پروژه عبارتند از:

- تعیین استاندارد مناسب ارتباطی براساس ساختار شبکه‌ی برق ایران
- طراحی مفهومی نرم‌افزار سامانه‌ی کنترل مرکزی در ریزشبکه
- تعیین سخت‌افزارهای مرتبط و طراحی مفهومی سخت‌افزاری مرکز کنترل ریزشبکه



## ۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر، مفهوم ریزشبکه<sup>۱</sup> مورد توجه طیف وسیعی از پژوهشگران و صنعتگران واقع شده است. علت این امر را می‌توان در توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر، پیشرفت فن‌آوری و سیاست دولت‌ها برای کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و بهبود شرایط زیست‌محیطی خلاصه نمود.

مسائلی مانند افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی، گرمایش جهانی<sup>۲</sup> کره زمین و رو به اتمام بودن منابع سوخت‌های فسیلی همگی باعث شده‌اند تا استفاده از واحدهای تولید پراکنده (DG<sup>۳</sup>) مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر موضوع پژوهش و فعالیت پژوهشگران و صنعتگران قرار گیرد. این منابع به دلیل نزدیکی به مصرف‌کننده مزایایی مانند کاهش خطوط انتقال، کاهش تلفات توان و افزایش قابلیت اطمینان<sup>۴</sup> دارند. از طرف دیگر، استفاده از واحدهای تولید پراکنده چالش‌های جدیدی را در بهره‌برداری، کنترل، حفاظت<sup>۵</sup> و امنیت شبکه قدرت ایجاد می‌کند. تلاش‌های پژوهشگران در راستای افزایش توانایی فنی و اقتصادی واحدهای تولید پراکنده و بهبود قابلیت اطمینان و کیفیت توان تولیدی توسط این منابع، منجر به پیدایش مفهوم جدیدی به نام ریز شبکه‌ها شده است. مفهوم ریز شبکه اولین بار توسط کنسرسیوم CERTS<sup>۶</sup> و به منظور بهبود قابلیت اطمینان، کارایی<sup>۷</sup> و پایایی<sup>۸</sup> شبکه قدرت مدرن معرفی شده است.

یک ریز شبکه، اجتماعی از واحدهای تولید پراکنده، واحدهای ذخیره انرژی پراکنده (DES<sup>۹</sup>)، بارهای حساس<sup>۱۰</sup> و غیر حساس<sup>۱۱</sup> و سیستم کنترلی متمرکز<sup>۱۲</sup> یا غیرمتمرکز<sup>۱۳</sup> است که به صورت یک زیرسیستم کنترل‌پذیر از شبکه برق عمل کرده و می‌تواند در دو حالت متصل به شبکه<sup>۱۴</sup> و جزیره‌ای<sup>۱۵</sup> (جدا از شبکه) عمل کند. ریز شبکه‌ها جهت تولید توان در سطح ولتاژ توزیع از ژنراتورها یا منابع کوچک تولید انرژی، که عمدتاً از نوع تجدیدپذیر هستند، استفاده می‌کنند. ریز شبکه‌ها منافع زیادی هم برای مصرف‌کننده و هم برای شرکت‌های تولید برق خواهند داشت. از دید مصرف‌کننده،

<sup>۱</sup> Microgrid

<sup>۲</sup> Global Warming

<sup>۳</sup> Distributed Generation

<sup>۴</sup> Reliability

<sup>۵</sup> Protection

<sup>۶</sup> Consortium for Electric Reliability Technology Solutions

<sup>۷</sup> Efficiency

<sup>۸</sup> Sustainability

<sup>۹</sup> Distributed Energy Storage

<sup>۱۰</sup> Sensitive

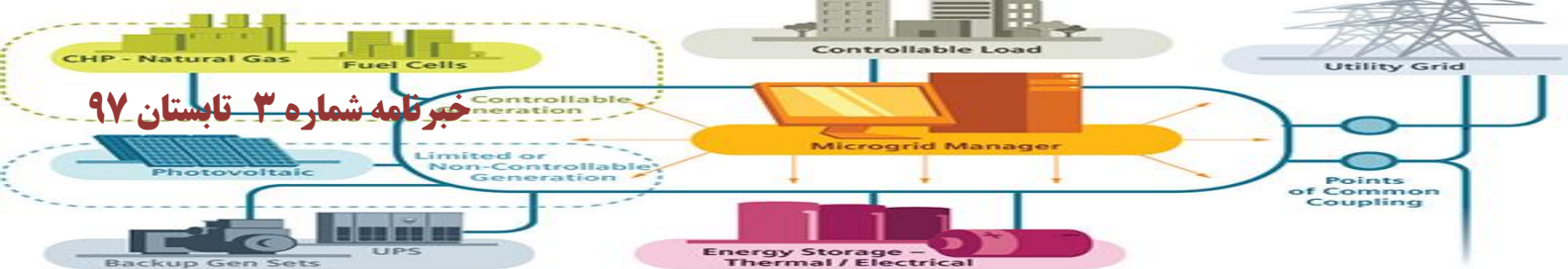
<sup>۱۱</sup> Non-Sensitive

<sup>۱۲</sup> Centralized

<sup>۱۳</sup> Decentralized

<sup>۱۴</sup> Grid-Connected

<sup>۱۵</sup> Islanded



## خبرنامه شماره ۳ تابستان ۹۷

ریزشبکه قابلیت فراهم ساختن همزمان برق و حرارت (CHP<sup>۱</sup>)، افزایش قابلیت اطمینان، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و بهبود کیفیت را دارد. از دید شرکت‌های برق نیز، به کارگیری ریز شبکه‌ها منجر به کاهش تقاضا و بنابراین کاهش تسهیلات توسعه خطوط انتقال و علاوه بر آن منجر به حذف نقاط اوج<sup>۲</sup> مصرف خواهد شد.

در حالت اتصال به شبکه، ولتاژ و فرکانس ریزشبکه توسط شبکه سراسری برق تعیین می‌شوند. هنگامی که به دلیل وقوع یک خطا<sup>۳</sup> (عیب) و یا دلایل فنی دیگر، ریزشبکه وارد حالت جزیره‌ای شده و از شبکه سراسری جدا می‌شود، ولتاژ و فرکانس ریزشبکه باید توسط یک روش کنترلی مناسب تنظیم شوند تا از ناپایداری آن‌ها جلوگیری شود.

با وجود تمامی مزایایی که برای ریز شبکه‌ها ذکر شد، چالش‌های فنی مختلفی بر سر راه به کارگیری گسترده ریز شبکه‌ها وجود دارد. از این میان می‌توان به مسئله کنترل ولتاژ و فرکانس، حفاظت، امنیت، کیفیت توان، مدیریت انرژی و پایداری ریزشبکه اشاره نمود.

همان‌طور که گفته شد، یکی از چالش‌های مهم در به کارگیری ریز شبکه‌ها مسئله کنترل آن‌ها است. در کنترل یک ریزشبکه، پارامترهای اصلی که باید کنترل شوند عبارت از ولتاژ، فرکانس و توان اکتیو<sup>۴</sup> و راکتیو<sup>۵</sup> هستند. در نتیجه، سیستم کنترلی ریزشبکه باید بتواند تحت شرایط عملیاتی مختلف به تنظیم ولتاژ و فرکانس پرداخته و در هر دو مد جزیره‌ای و متصل به شبکه به کنترل توان اکتیو و راکتیو بپردازد. از دیگر اهداف کنترل ریزشبکه می‌توان به گذار نرم<sup>۶</sup> ریزشبکه از مد متصل به شبکه به جزیره‌ای (و بالعکس) اشاره نمود. مشارکت در بازار برق، تغذیه بدون وقفه بارهای حساس و تبادل بهینه توان با شبکه برق از دیگر اهداف سیستم کنترلی ریزشبکه به شمار می‌روند. برای دستیابی به این اهداف، روش‌های کنترلی مختلفی برای ریز شبکه‌ها معرفی و پیشنهاد شده‌اند که در این پروژه به بررسی آن‌ها پرداخته می‌شود.

یکی دیگر از چالش‌های مهم در به کارگیری ریز شبکه‌ها مسئله حفاظت آن‌ها است. در طراحی یک روش حفاظتی برای ریز شبکه‌ها، دو مسئله مهم وجود دارد. یکی از این مسائل این است که ریز شبکه‌ها شبکه‌هایی دینامیک هستند. به این معنا که ممکن است یکی از بارها و یا یکی از واحدهای تولید پراکنده در ریزشبکه در هر لحظه از ریزشبکه جدا شده و یا به آن متصل شوند. مسئله دیگر این است که ریزشبکه می‌تواند در دو مد عملیاتی<sup>۷</sup> جزیره‌ای و متصل به

<sup>۱</sup> Combined Heat and Power

<sup>۲</sup> Peak

<sup>۳</sup> Fault

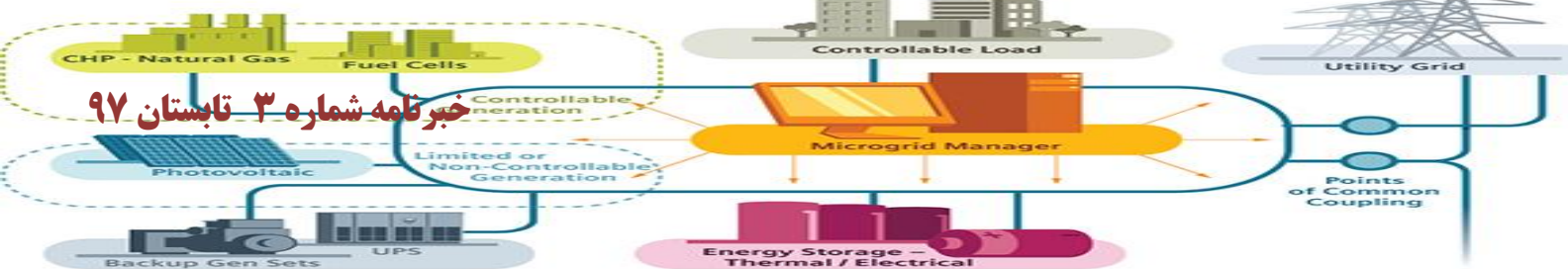
<sup>۴</sup> Active Power

<sup>۵</sup> Reactive Power

<sup>۶</sup> Seamless Transition

<sup>۷</sup> Operational Mode





شبکه عمل کند. در نتیجه، سیستم حفاظتی ریزشبکه باید بتواند در هر دو مد عملیاتی در برابر خطاهای سیستم به خوبی عمل کند. سطح جریان خطا ۱ در ریزشبکه بسته به شرایط ریزشبکه مانند مد عملیاتی و نوع منابع انرژی پراکنده (DER<sup>۲</sup>) متغیر است. بنابراین، انتظار می‌رود که روش‌های حفاظتی اضافه جریان متداول قادر به محافظت از ریز شبکه‌ها در برابر عیوب مختلف احتمالی نباشند. از این رو، طراحی یک روش حفاظتی مناسب برای ریز شبکه‌ها از اهمیت بسیار ویژه‌ای برخوردار است و از جمله موارد اصلی است که در این پروژه مورد انجام قرار خواهد گرفت.

## ۲- معرفی ریزشبکه

مفهوم ریزشبکه در دهه‌های اخیر مورد توجه طیف وسیعی از پژوهشگران و صنعتگران واقع شده است. علت این امر را می‌توان در توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر، پیشرفت فن‌آوری و سیاست دولت‌ها برای کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و بهبود شرایط زیست‌محیطی خلاصه نمود.

در زمینه منابع انرژی تجدیدپذیر می‌توان به انرژی خورشیدی، بادی، زمین‌گرایی<sup>۳</sup>، جزر و مد<sup>۴</sup>، پیل سوختی<sup>۵</sup> و زیست توده<sup>۶</sup> اشاره نمود. نور خورشید به‌عنوان یکی از منابع مهم انرژی تجدیدپذیر هم به‌صورت مستقیم و توسط سلول‌های فتوولتائیک<sup>۷</sup> و هم به‌صورت غیرمستقیم و با جوشاندن آب برای توربین بخار<sup>۸</sup> قابل تبدیل به انرژی الکتریکی است. انرژی بادی نیز یکی از مهم‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر به شمار می‌رود. از آنجا که توان خروجی توربین‌های بادی با سرعت باد متناسب است، این توربین‌ها در مناطقی که وزش باد شدید و مستمر دارند نصب می‌شوند. در این زمینه، می‌توان به نصب توربین‌ها در سواحل (توربین‌های بادی ساحلی<sup>۹</sup>) و یا نصب آن‌ها در آب‌های کم‌عمق (توربین‌های بادی دریایی یا فراساحلی<sup>۱۰</sup>) اشاره نمود. میانگین سرعت باد در آب‌های کم‌عمق حدود ۹۰ درصد بیش‌تر از ساحل است. در نتیجه، با وجود پرهزینه بودن ساخت نیروگاه‌های بادی فراساحلی، کشورهای مختلفی به ساخت این نیروگاه‌ها روی آورده‌اند. اعتقاد بر این است که پتانسیل فنی بلندمدت انرژی بادی چندین برابر بیشتر از تولید فعلی انرژی در جهان است [۱]. از فن‌آوری زمین‌گرایی نیز معمولاً برای تولید انرژی الکتریکی یا گرمایی استفاده می‌شود. تولید برق

<sup>۱</sup> Fault Current

<sup>۲</sup> Distributed Energy Resources

<sup>۳</sup> Geothermal

<sup>۴</sup> Tidal

<sup>۵</sup> Fuel Cell

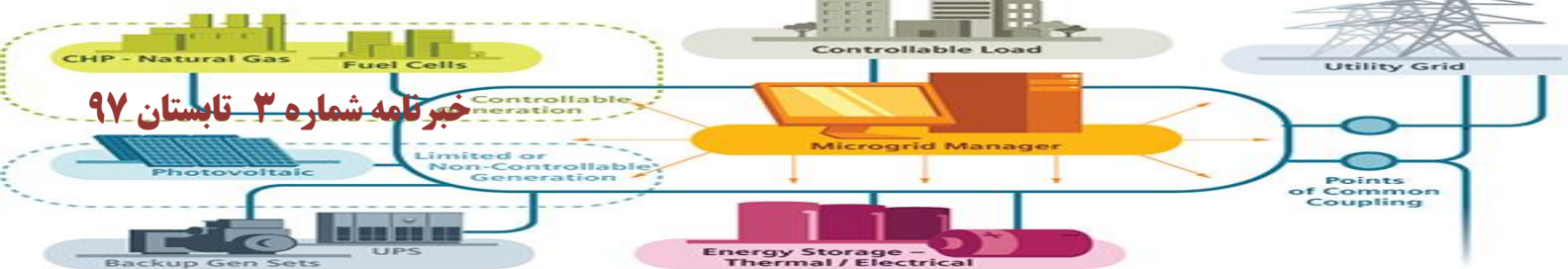
<sup>۶</sup> Biomass

<sup>۷</sup> Photovoltaic Cells

<sup>۸</sup> Steam Turbine

<sup>۹</sup> Onshore

<sup>۱۰</sup> Offshore



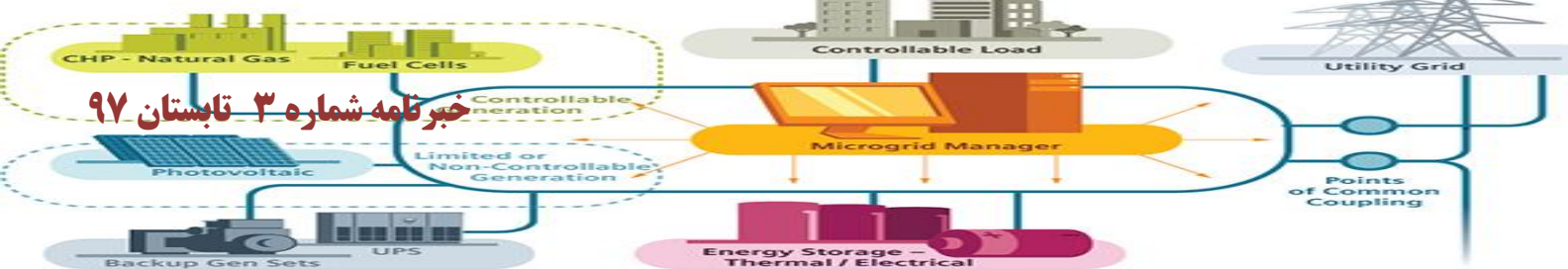
به روش زمین گرمایی در برخی کشورها مانند آمریکا، فیلیپین و اندونزی به صورت عملی انجام می‌شود. در ژانویه سال ۲۰۱۸، ظرفیت نصب شده نیروگاه‌های زمین گرمایی در جهان ۱۴۰۶۰ مگاوات بوده است. کشورهای پیشگام با بیشترین ظرفیت تولید در این زمینه در ژانویه سال ۲۰۱۸ به ترتیب عبارت از آمریکا، فیلیپین، اندونزی، ترکیه، نیوزیلند، مکزیک، ایتالیا، ایسلند، کنیا و ژاپن هستند [۲]. در کشور ایسلند، حدود ۹۰ درصد از انرژی گرمایی مورد نیاز ساختمان‌های مسکونی و ۲۷ درصد برق کشور توسط انرژی زمین گرمایی تولید می‌شود [۳]. در ایران نیز مناطق مختلفی مانند مشکین‌شهر، تفتان، طبس، نیشابور، زابل و زاهدان دارای ذخایر بالای انرژی زمین گرمایی هستند. نیروگاه زمین گرمایی مشکین‌شهر، اولین نیروگاه زمین گرمایی ایران در استان اردبیل و در دامنه کوه سبلان با ظرفیت تولید ۵۵ مگاوات است [۴].

علاوه بر کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر در نیروگاه‌ها، در واحدهای تولید پراکنده نیز از انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده می‌شود. مسائلی مانند افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی، گرمایش جهانی کره زمین و رو به اتمام بودن منابع سوخت‌های فسیلی همگی باعث شده‌اند تا استفاده از واحدهای تولید پراکنده مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر موضوع پژوهش و فعالیت پژوهشگران و صنعتگران قرار گیرد.

واحد تولید پراکنده به واحد تولید انرژی کوچکی گفته می‌شود که در نزدیکی محل مصرف به تولید انرژی می‌پردازد [۵]. طبق "دستورالعمل اتصال به شبکه منابع تولید پراکنده"، واحد تولید پراکنده (یا مولد مقیاس کوچک) به یک واحد تولید برق گفته می‌شود که بهره‌برداری از آن به صورت متصل به شبکه برق از نظر فنی امکان‌پذیر بوده و ظرفیت عملی آن در محل اتصال به شبکه برق از ۲۵ مگاوات بیشتر نباشد [۶]. در واحدهای تولید پراکنده، عموماً از انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده می‌شود.

واحدهای تولید پراکنده به دلیل نزدیکی به مصرف‌کننده، نتایج مثبت فنی و اقتصادی با ارزیابی را در پی دارند. در این زمینه می‌توان به کاهش هزینه‌های مربوط به استقرار این واحدها، کاهش تلفات توان در انتقال و توزیع و کاهش هزینه احداث خطوط انتقال اشاره نمود. علاوه بر این، استفاده از واحدهای تولید پراکنده امکان استفاده از گرمای تلف شده در بخش‌های صنعتی، تجاری و خانگی را فراهم آورده و در نتیجه منجر به صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش آلودگی‌های حرارتی محیط زیست خواهد شد [۷]. به طور کلی می‌توان گفت که این واحدها مزایایی مانند بهبود کیفیت توان، کاهش خاموشی‌ها، صرفه‌جویی بیشتر، افزایش قابلیت اطمینان و کاهش هزینه‌های انتقال برق را در پی دارند.

از طرف دیگر، استفاده از واحدهای تولید پراکنده چالش‌های جدیدی را در بهره‌برداری، کنترل، حفاظت و امنیت شبکه قدرت ایجاد می‌کند. به دلیل غیرقابل پیش‌بینی بودن رفتار این واحدها مانند توربین‌های بادی، سلول‌های فتوولتائیک و پیل‌های سوختی، فرکانس و توان تولیدی توسط این واحدها متغیر بوده و در نتیجه، این واحدها قابلیت اتصال به



## خبرنامه شماره ۳ تابستان ۹۷

شبکه به صورت مستقیم را ندارند. به همین دلیل، از مبدل‌های الکترونیک قدرت<sup>۱</sup> برای اتصال این واحدها به شبکه برق استفاده می‌شود. این مبدل‌ها قادر هستند که ولتاژ DC یا AC با فرکانس متغیر را به ولتاژ AC با کیفیت مطلوب تبدیل کنند. با وجود این، به منظور دستیابی به قابلیت اطمینان و کیفیت هرچه بالاتر توان تولیدی این واحدها، راه‌حل‌های مختلفی برای بهره‌برداری و کنترل آن‌ها پیشنهاد شده است. تلاش‌های پژوهشگران در راستای افزایش توانایی فنی و اقتصادی واحدهای تولید پراکنده و بهبود قابلیت اطمینان و کیفیت توان تولیدی توسط این منابع، منجر به پیدایش مفهوم جدیدی به نام ریز شبکه‌ها شده‌اند [۷].

مفهوم ریز شبکه اولین بار توسط کنسرسیوم CERTS و به منظور بهبود قابلیت اطمینان، کارایی و پایایی شبکه قدرت مدرن معرفی شد [۸]. یک ریز شبکه اجتماعی از واحدهای تولید پراکنده، واحدهای ذخیره انرژی، بارهای حساس (یا بحرانی)<sup>۲</sup> و غیر حساس (یا غیر بحرانی)<sup>۳</sup> و سیستم کنترلی متمرکز یا غیر متمرکز است که به صورت یک زیر سیستم کنترل پذیر از شبکه برق عمل کرده و می‌تواند در دو حالت متصل به شبکه و جزیره‌ای (جدا از شبکه) عمل کند [۹]. واحدهای ذخیره انرژی پراکنده به واحدهایی مانند باتری‌ها، چرخ‌لنگرها<sup>۴</sup> و ابرخازن‌ها<sup>۵</sup> گفته می‌شود. منظور از بار حساس نیز بارهایی هستند که در مقابل انحرافات ولتاژ و فرکانس برق آسیب پذیرتر بوده و کیفیت نامطلوب توان و یا قطعی برق در آن‌ها منجر به نتایج منفی و غیر قابل جبرانی در زمینه‌های مختلف مانند اقتصاد، سلامت، محیط زیست و یا امنیت جانی می‌شود. در این زمینه می‌توان به مدارس، بیمارستان‌ها، مراکز اورژانس، پلنت‌های صنعتی، مراکز داده<sup>۶</sup> و اماکن اجتماع عمومی اشاره نمود [۱۰]، [۱۱]، [۱۲].

در ادامه، دو تعریف رسمی برای ریز شبکه‌ها به شرح زیر ارائه می‌شود.

طبق تعریف گروه Microgrid Exchange در وزارت انرژی آمریکا<sup>۷</sup>، یک ریز شبکه گروهی از بارها و منابع انرژی پراکنده متصل به هم است که مرزهای الکتریکی آن به وضوح تعریف شده و به صورت یک نهاد واحد کنترل پذیر نسبت به شبکه برق عمل می‌کند. یک ریز شبکه می‌تواند برای عمل در دو حالت متصل به شبکه و جزیره‌ای به شبکه برق متصل شده و یا از آن جدا شود [۱۳].

<sup>۱</sup> Power Electronic Converter

<sup>۲</sup> Critical

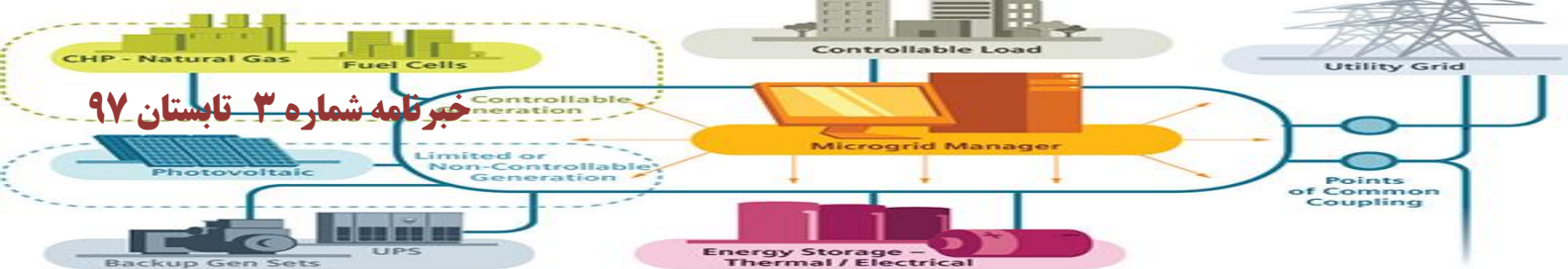
<sup>۳</sup> Non-Critical

<sup>۴</sup> Flywheel

<sup>۵</sup> Ultra Capacitor

<sup>۶</sup> Data Center

<sup>۷</sup> U.S. Department of Energy's Microgrid Exchange Group



## خبرنامه شماره ۳ تابستان ۹۷

طبق تعریف "نقشه‌راه" توسعه ریزشبکه " گروه کاری C6.22 سیگره<sup>۲</sup>، ریز شبکه‌ها سامانه‌های توزیع برقی هستند که شامل بارها و منابع انرژی پراکنده (مانند ژنراتورهای پراکنده، واحدهای ذخیره انرژی و یا بارهای کنترل‌پذیر) بوده و قادر به عمل به صورت کنترل‌شده و هماهنگ چه در حالت متصل به شبکه برق و چه در حالت جزیره‌ای هستند [۱۴].

ریز شبکه‌ها جهت تولید توان در سطح ولتاژ توزیع از ژنراتورها یا منابع کوچک تولید انرژی، که عمدتاً از نوع تجدیدپذیر هستند، استفاده می‌کنند. ریز شبکه‌ها منافع زیادی هم برای مصرف‌کننده و هم برای شرکت‌های تولید برق خواهند داشت. از دید مصرف‌کننده، ریز شبکه قابلیت فراهم ساختن همزمان برق و حرارت، افزایش قابلیت اطمینان، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و بهبود کیفیت را دارد. از دید شرکت‌های برق، به‌کارگیری ریز شبکه‌ها منجر به کاهش تقاضا و بنابراین کاهش تسهیلات توسعه خطوط انتقال و علاوه بر آن منجر به حذف نقاط اوج مصرف خواهد شد. در واقع می‌توان گفت که ریز شبکه‌ها راه‌حل مناسبی برای افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در شبکه توزیع برق هستند. از طرف دیگر، ریز شبکه قادر است که بارهای محلی و حساس را تغذیه کند. این ویژگی به همراه قابلیت بهره برداری از ریز شبکه در دو مد عملیاتی جزیره‌ای و متصل به شبکه، منجر به افزایش قابلیت اطمینان شبکه برق از دید مصرف‌کننده خواهد شد [۱].

### ۳- مدهای عملیاتی ریز شبکه

همان‌طور که پیش‌ازین گفته شد، ریز شبکه‌ها در دو مد عملیاتی جزیره‌ای و متصل به شبکه عمل می‌کنند، که در ادامه به توضیح کوتاهی در خصوص آن‌ها پرداخته شده است.

#### ۳-۱- مد متصل به شبکه

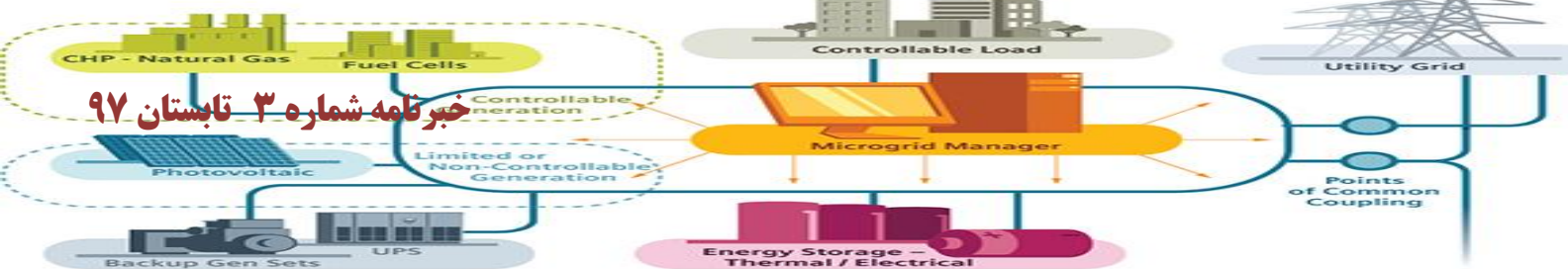
در شرایط نرمال، ریز شبکه به شبکه توزیع برق متصل است. در این مد عملیاتی که مد متصل به شبکه نام دارد، ممکن است بخشی از بارهای ریز شبکه توسط شبکه توزیع تأمین شوند و یا ممکن است ریز شبکه بخشی از توان تولیدی خود را به شبکه توزیع تزریق نماید. در مد متصل به شبکه، مقدار مرجع ولتاژ<sup>۳</sup> RMS توسط شبکه توزیع تعیین می‌شود. در این حالت، واحدهای تولید پراکنده در مد P-Q قرار می‌گیرند [۱].

<sup>۱</sup> Roadmap

<sup>۲</sup> Cigre

<sup>۳</sup> Root Mean Square





### ۳-۲- مد جزیره‌ای

مد عملیاتی دیگری که در بهره‌برداری از ریز شبکه‌ها کاربرد دارد، مد جزیره‌ای است. در مواردی مانند نیاز به انجام برخی تعمیرات یا تغییرات و یا وقوع یک خطا در شبکه توزیع، ریز شبکه از شبکه توزیع جدا می‌شود. به این حالت، مد جزیره‌ای ریز شبکه گفته می‌شود. در این شرایط، لازم است که ولتاژ و فرکانس ریز شبکه کنترل شوند. در این حالت، و در مد کنترلی تابع-متبوع<sup>۱</sup> (که در فصل آینده تشریح خواهد شد)، واحد تولید پراکنده تابع در مد V-F و سایر واحدهای تولید پراکنده (متبوع) در مد P-Q قرار می‌گیرند [۱].

### ۴- انواع ریز شبکه‌ها

در این بخش، به دسته‌بندی ریز شبکه‌ها بر اساس معیارهای مختلف پرداخته می‌شود.

#### ۴-۱- بر اساس مرزهای جغرافیایی

ریز شبکه‌ها را می‌توان بر اساس مرزهای جغرافیایی آن‌ها به دو نوع اصلی دسته‌بندی نمود. دسته اول عبارت از ریز شبکه‌های حقیقی<sup>۲</sup> (μgrid) و دسته دوم ریز شبکه‌های صنایع همگانی<sup>۳</sup> یا میلی‌گریدها<sup>۴</sup> (mgrid) هستند [۱۵]. این دو نوع شبکه در ادامه شرح داده شده‌اند.

#### ۴-۱-۱- ریز شبکه حقیقی

ریز شبکه حقیقی ریز شبکه‌ای است که واحدهای تشکیل دهنده آن (واحدهای تولید، ذخیره یا بار) همگی بخش پایین دستی یک نقطه اتصال مشترک (PCC<sup>۵</sup>) هستند. این ریز شبکه‌ها در یک مکان با مرز جغرافیایی مشخص قرار می‌گیرند. بیشتر ریز شبکه‌های شناخته‌شده و موجود در دنیا از این نوع هستند. درک مفهومی این ریز شبکه‌ها ساده‌تر بوده و سازگاری بیشتری با ساختار کنونی شبکه برق و فن‌آوری روز دارند. این ریز شبکه‌ها همانند یک مشترک

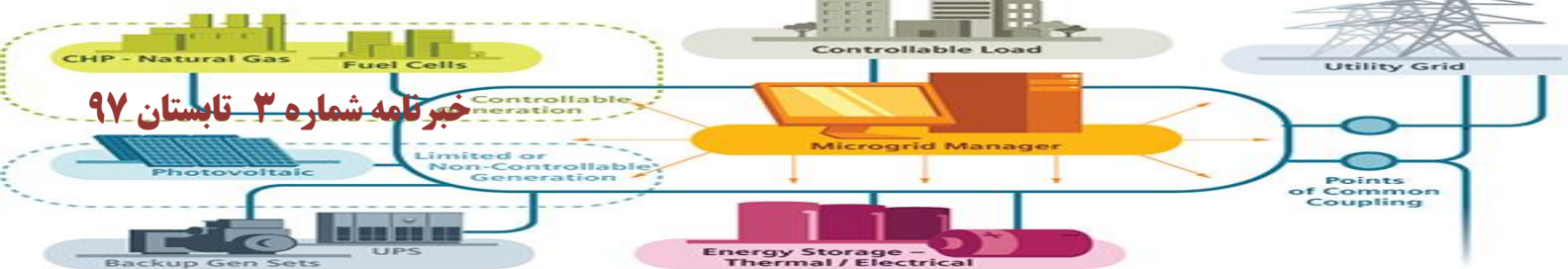
<sup>۱</sup> Master-Slave

<sup>۲</sup> True Microgrid

<sup>۳</sup> Utility or Community Microgrid

<sup>۴</sup> Millgrid

<sup>۵</sup> Point of Common Coupling



## خبرنامه شماره ۳ تابستان ۹۷

معمولی دارای درجه آزادی قابل توجهی در عملکرد خود هستند. بنابراین، محدودیت‌های چندان زیادی بر روی این ریز شبکه‌ها وجود نداشته و در نتیجه انتظار می‌رود که بخش قابل توجهی از ریز شبکه‌های نصب شده در دنیا از این نوع باشند [۱۵].

### ۴-۱-۲- ریز شبکه صنایع همگانی (میلی‌گرید)

بر اساس تعاریف وزارت انرژی آمریکا و آزمایشگاه ملی برکلی<sup>۱</sup> در آمریکا، میلی‌گریدها شامل بخشی از شبکه برق بوده و برخلاف ریز شبکه‌های حقیقی دارای مرز جغرافیایی مشخصی نیستند. میلی‌گریدها راه‌حلی برای استفاده از منابع انرژی پراکنده برای استفاده در شرایط اضطراری هستند. واحدهای تشکیل‌دهنده یک میلی‌گرید برخلاف ریز شبکه حقیقی بخش پایین‌دستی از یک نقطه اتصال مشترک نیستند. شرکت گاز و برق بالتیمور (BGE<sup>۲</sup>) در حال آزمایش یک ریز شبکه در مرکز شهر بالتیمور است که بتواند برق مورد نیاز مراکز مانند مغازه‌ها، داروخانه‌ها، مراکز درمانی، پمپ‌بنزین‌ها و ساختمان‌های عمومی را در شرایط اضطراری پشتیبانی کند. هدف از احداث این ریز شبکه این است که مراکز مذکور بتوانند در شرایط اضطراری به‌عنوان پناهگاه ارائه خدمات کنند. این ریز شبکه در واقع از نوع میلی‌گرید است؛ زیرا شامل نقاط مختلفی از شبکه گاز و برق بالتیمور است که لزوماً در یک محدوده جغرافیایی با



مرزهای مشخص واقع نشده‌اند [۱۶].

### ۴-۲- بر اساس موارد مجزا

انواع دیگری از ریز شبکه‌ها نیز وجود دارند که به‌صورت زیر تعریف می‌شوند.

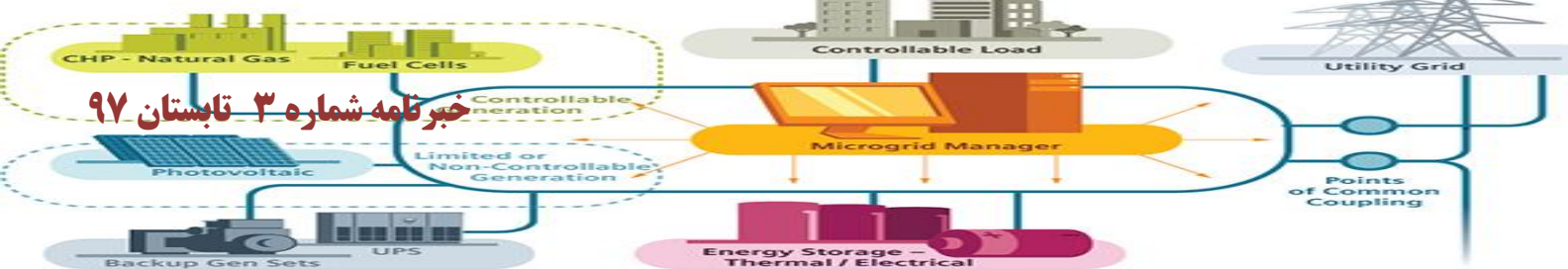
- ریز شبکه‌های مجازی<sup>۳</sup> (vgrid) یا همان نیروگاه‌های مجازی (VPP<sup>۴</sup>) از تجمع چند منبع انرژی پراکنده به‌منظور تشکیل یک نهاد واحد و کنترل‌پذیر به وجود می‌آیند. ریز شبکه مجازی می‌تواند چند منبع پراکنده کوچک را تجمع

<sup>۱</sup> Berkeley

<sup>۲</sup> Baltimore Gas and Electric

<sup>۳</sup> Virtual Microgrid

<sup>۴</sup> Virtual Power Plant



کرده و از آن‌ها برای اجرای برنامه‌های پاسخ تقاضا<sup>۱</sup> در شبکه برق استفاده کند [۱۵]. تفاوت این ریزشبکه با تعریف رسمی ریزشبکه در این است که تنها شامل منابع تولید بوده و شامل بار و یا واحد ذخیره انرژی نیست؛ اما در برخی مراجع به‌عنوان نوعی ریزشبکه در نظر گرفته شده‌اند.

• سامانه‌های قدرت دورافتاده<sup>۲</sup> (rgrid) یا سامانه‌های قدرت مستقل<sup>۳</sup> سامانه‌های قدرت منفصل از شبکه‌ای<sup>۴</sup> هستند که در مناطق دورافتاده‌ای که امکان اتصال به شبکه برق سراسری را ندارند، به کار می‌روند. این شبکه‌ها قابلیت اتصال به شبکه برق را ندارند. عموماً در این شبکه‌ها از یک یا چند نوع منبع تولید انرژی تجدیدپذیر یا ذخیره انرژی استفاده می‌شود. این شبکه‌ها همانند ریزشبکه‌هایی که در بخش قبل تعریف شدند، قابلیت اتصال به شبکه را ندارند. اما به دلیل مشابهت فن‌آوری به کار رفته در آن‌ها با ریز شبکه‌ها، در برخی پژوهش‌ها به‌عنوان نوعی ریزشبکه در نظر گرفته می‌شوند [۱۵]، [۱۷].

### ۳-۴- بر اساس باس<sup>۵</sup> مشترک

ریز شبکه‌ها بر اساس باس مشترک به سه دسته ریز شبکه AC، ریز شبکه DC و ریز شبکه ترکیبی AC-DC دسته‌بندی می‌شوند [۱۸]. هر کدام از این سه نوع ریز شبکه مزایا و معایب خود را دارند. انتخاب بین این سه نوع ریز شبکه برای یک کاربرد خاص باید بر اساس ملاحظات اقتصادی و فنی مسئله مورد نظر صورت گیرد [۱۹]. هر کدام از این سه نوع ریز شبکه مزایا و معایب خود را دارند که در ادامه به بررسی آن‌ها پرداخته شده است.

#### الف- ریز شبکه AC

ریز شبکه AC توسط یک باس AC به شبکه توزیع متصل می‌شود. این باس AC اتصال و یا جدا شدن ریز شبکه از شبکه توزیع را توسط مدار شکن‌ها<sup>۶</sup> در نقطه اتصال مشترک کنترل می‌کند. در این ریز شبکه، واحدهای تولید پراکنده و ذخیره انرژی توسط یک اینورتر<sup>۷</sup> به باس AC متصل می‌شوند. ریز شبکه AC نوع رایج ریز شبکه بوده و بیشتر ریز شبکه‌های موجود در دنیا از این نوع هستند [۱۸]. در حال حاضر، شرکت‌های مختلفی مانند ABB<sup>۸</sup>، Tesla و

<sup>۱</sup> Demand Response

<sup>۲</sup> Remote Power System

<sup>۳</sup> Stand-Alone Power System

<sup>۴</sup> Off-Grid

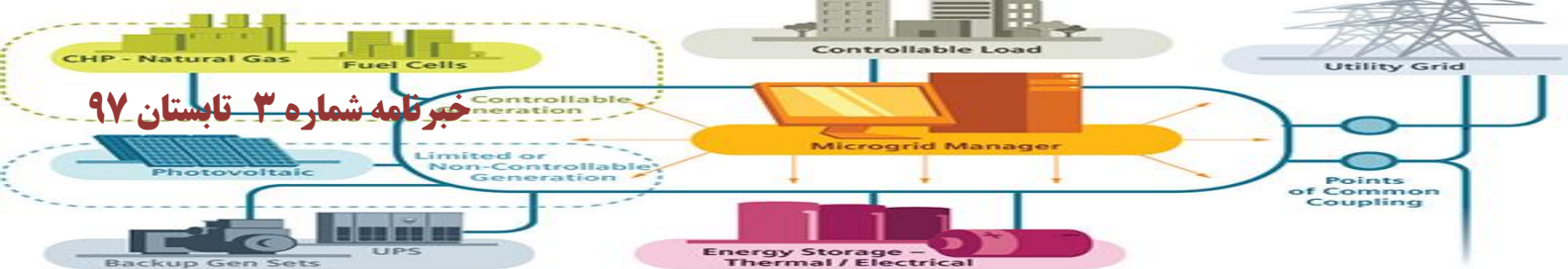
<sup>۵</sup> Bus

<sup>۶</sup> Circuit Breaker

<sup>۷</sup> Inverter

<sup>۸</sup> ASEA (Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget) Brown Boveri

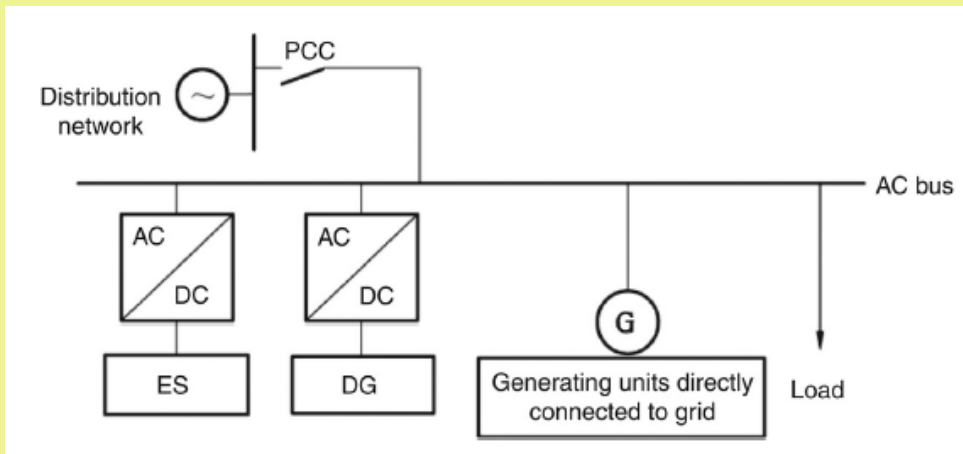




خبرنامه شماره ۳ تابستان ۹۷

• Schneider Electric، تجهیزات و پکیج‌های مختلفی را در زمینه ریزشبکه‌های AC خصوصی یا تجاری ارائه می‌کنند [۱۹]، [۲۰]، [۲۱].

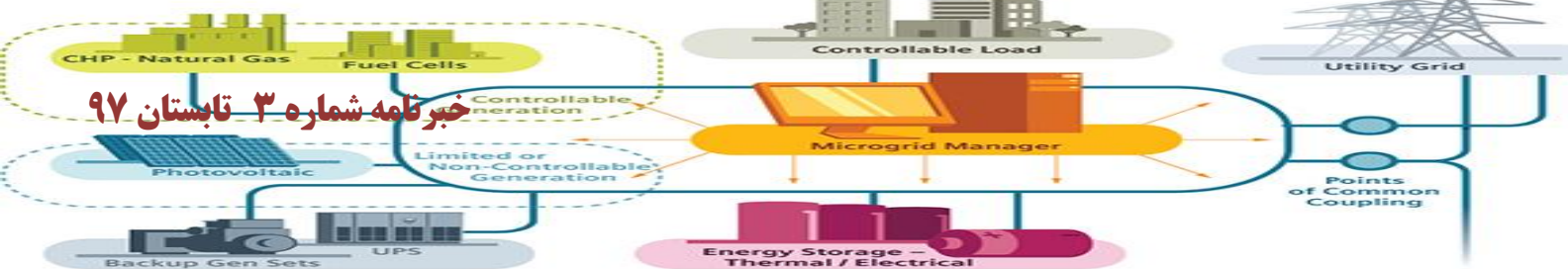
• ساختار یک ریزشبکه AC را نمایش می‌دهد [۱۸].



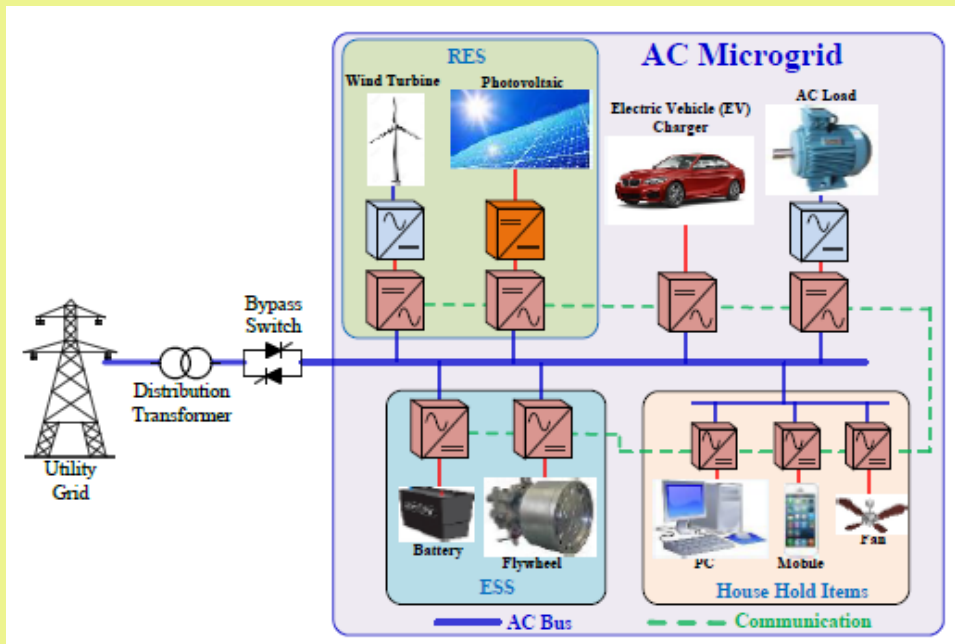
شکل ۱ ساختار یک ریزشبکه AC

• نیز نشان‌گر ساختار یک ریزشبکه AC با جزئیات بیشتر است [۲۲]. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، ریزشبکه AC دارای یک باس AC مشترک است. در این ریزشبکه، واحدهای ذخیره انرژی (باتری و چرخ‌لنگر) و واحدهای تولید پراکنده با خروجی DC مانند منبع فتوولتائیک از طریق یک اینورتر به باس AC متصل شده‌اند. برای تغذیه بارهای DC (خودروی برقی، رایانه شخصی و تلفن همراه) از یکسوساز استفاده شده است.





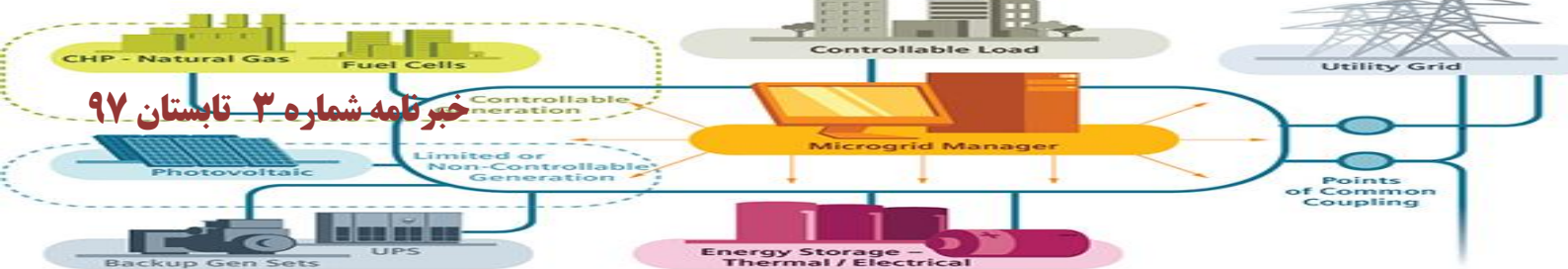
خبرنامه شماره ۳ تابستان ۹۷



شکل ۲ ریزشبکه AC

مزایای ریزشبکه AC عبارت از موارد زیر هستند.

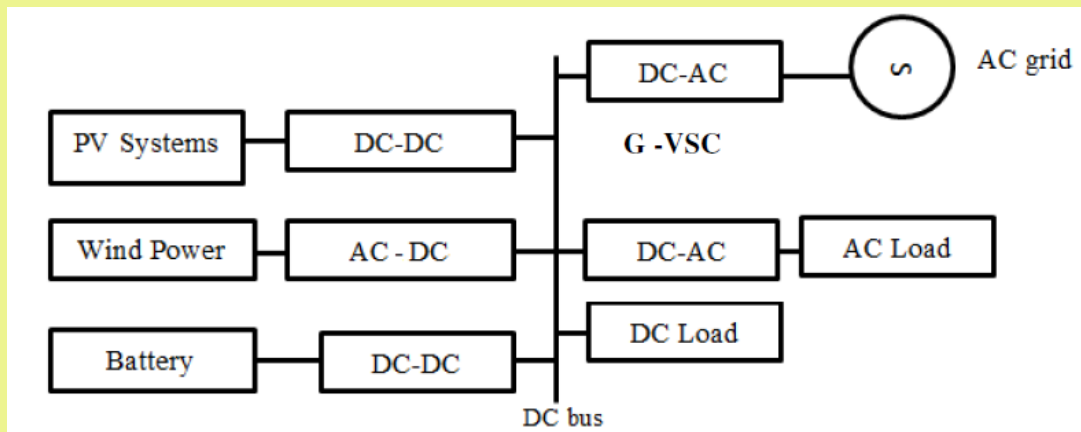
- ریزشبکه AC با شبکه برق AC کنونی سازگار بوده و بدون نیاز به اینورتر و توسط باس AC به شبکه توزیع متصل می‌شود [۱۸].
  - به دلیل سازگار بودن این ریزشبکه با شبکه برق AC، روش‌های حفاظتی و همچنین استانداردهای موجود برای شبکه برق AC تطابق بیشتری با این نوع ریز شبکه‌ها خواهند داشت [۱۹].
  - واحدهای تولید پراکنده که خروجی AC دارند (مانند توربین بادی، مولدهای بیوگاز و یا مولدهای آبی کوچک) بدون نیاز به اینورتر و به صورت مستقیم به باس AC متصل می‌شوند (برای مولدهای با خروجی DC مانند پنل‌های خورشیدی، یک اینورتر برای اتصال به باس AC مورد نیاز است) [۱۹].
  - برای تغذیه بارهای AC نیاز به اینورتر نیست [۱۸].
- از معایب ریزشبکه AC نیز می‌توان مورد زیر را نام برد:
- کنترل ریزشبکه AC نسبت به ریزشبکه DC مشکل‌تر است. از آن‌جا که کنترل واحدهای تولید پراکنده در ریزشبکه DC تنها به ولتاژ تولیدی DC آن‌ها وابسته است، کنترل و بهره‌برداری هماهنگ از واحدهای تولید پراکنده آسان‌تر از ریزشبکه AC است. علاوه بر این، در ریزشبکه DC، نیازی به همزمان‌سازی میان واحدهای تولید پراکنده وجود ندارد. در نتیجه، کنترل و کاهش جریان‌های گردشی در ریزشبکه DC آسان‌تر است [۱۸].

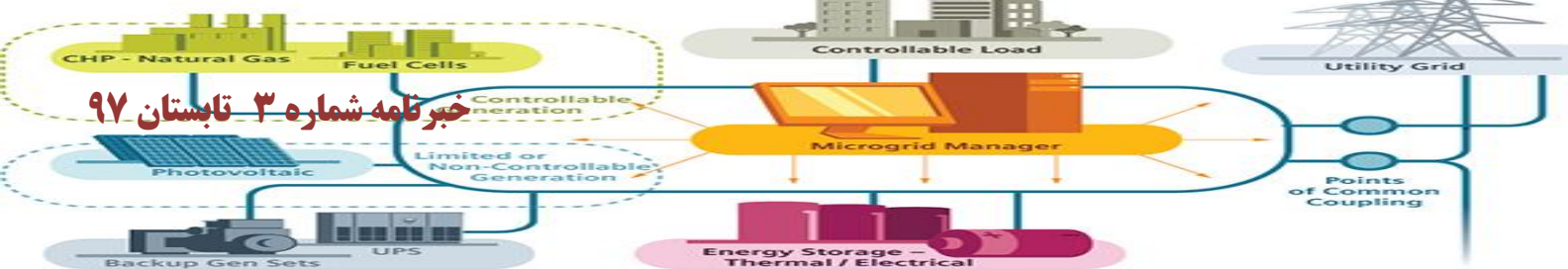


### ب- ریزشبكة DC

در ریزشبكة DC، واحدهای تولید پراکنده و ذخیره انرژی و همچنین بارها به یک باس DC مشترک متصل می‌شوند. باس DC نیز از طریق یک اینورتر به شبکه برق متصل می‌شود. در این ریزشبكة، برای تغذیه بارهای AC نیاز به اینورتر است [۱۸].

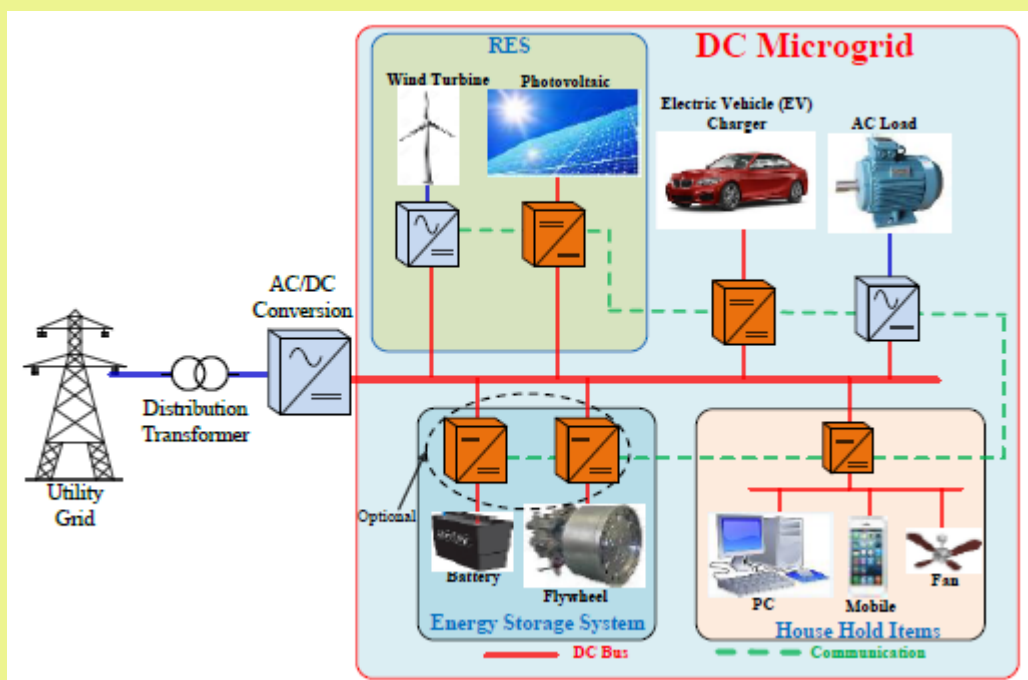
۰۳ نشان‌دهنده ساختار یک ریزشبكة DC است [۲۳].





شکل ۳ ساختار یک ریزشبکه DC

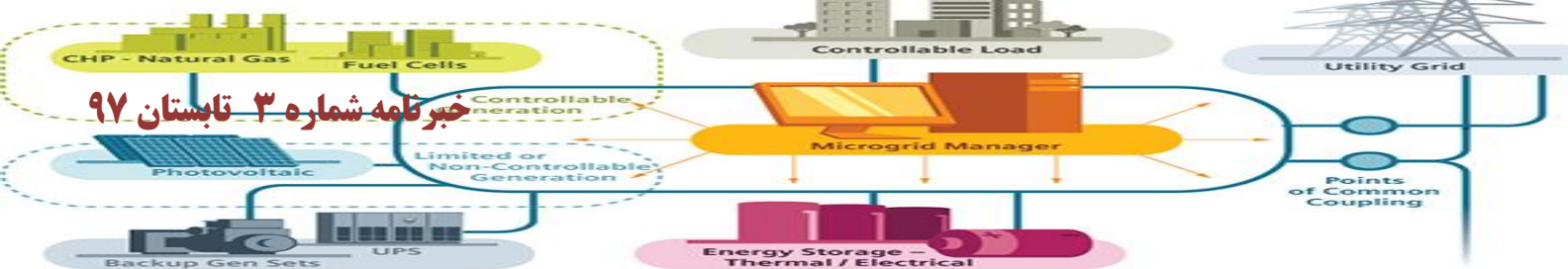
شکل ۴ نیز ساختار یک ریزشبکه DC را با جزئیات بیشتر نمایش می‌دهد [۲۲]. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، ریزشبکه DC دارای یک باس DC مشترک است. در این ریزشبکه، برای اتصال واحدهای ذخیره انرژی و واحدهای تولید پراکنده با خروجی DC نیازی به اینورتر نبوده و این واحدها از طریق یک مبدل DC-DC کاهنده یا افزایشنده به باس DC متصل می‌شوند. برای تغذیه بارهای AC در این ریزشبکه از اینورتر استفاده شده است.



شکل ۴ ریزشبکه DC

مزایای ریزشبکه DC عبارت از موارد زیر هستند.

- از آن‌جا که کنترل واحدهای تولید پراکنده در این ریزشبکه تنها به ولتاژ تولیدی DC آن‌ها وابسته است، کنترل و بهره‌برداری هماهنگ از واحدهای تولید پراکنده آسان‌تر از ریزشبکه AC است [۱۸].



- در ریزشبه DC، نیازی به همزمان‌سازی<sup>۱</sup> میان واحدهای تولید پراکنده وجود ندارد. در نتیجه، کنترل و کاهش جریان‌های گردشی<sup>۲</sup> در ریزشبه DC آسان‌تر است [۱۸].
- مسائل مربوط به سامانه‌های AC مانند مسئله کنترل هارمونیک‌ها و عدم توازن<sup>۳</sup> در ریزشبه DC وجود ندارند [۲۴].
- به علت حذف مرحله تبدیل AC به DC برای لوازم برقی مانند رایانه، لامپ‌های الکترونیکی<sup>۴</sup> و درایوهای فرکانس متغیر (VFD<sup>۵</sup>) که حدود نیمی از بار الکتریکی بیشتر ساختمان‌های امروزی را تشکیل می‌دهند، تلفات توان در این لوازم از حدود ۱۵ الی ۴۰ درصد به حدود ۱۰ الی ۱۵ درصد کاهش می‌یابد [۲۵].
- عدم وجود توان راکتیو منجر به کاهش تلفات توان می‌شود [۲۳].
- از معایب ریزشبه DC می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:
- در ریزشبه DC، برای تغذیه بارهای AC نیاز به اینورتر است [۱۸].
- گرایش ذهنی مهندسان و پژوهشگران به سمت سامانه‌های AC که ناشی از آشنایی بیشتر آن‌ها با سامانه‌های AC است، منجر به عدم سرمایه‌گذاری در زمینه احداث ریزشبه DC می‌شود [۲۵].
- فقدان استانداردهای لازم برای سامانه‌های DC، منجر به عدم تمایل مهندسين برای ساخت ریزشبه‌های DC می‌شود [۲۵]، [۲۴]. هرچند، توسعه استانداردهای موردنیاز برای این نوع ریز شبکه‌ها توسط IEEE<sup>۶</sup> در حال انجام است [۲۶].
- تجربه صنعتی کم در سامانه‌های DC و موانع ذهنی و روانی در برابر گذار از سامانه‌های AC به DC از دیگر عوامل عدم رویکرد به ریزشبه‌های DC هستند [۲۴].
- به علت عدم وجود نقطه عبور از صفر، حفاظت ریزشبه DC نسبت به AC سخت‌تر است [۸].
- در ریزشبه DC، پایداری ولتاژ تنها تحت تأثیر شارش توان اکتیو قرار دارد. در صورتی که در ریزشبه AC، تنظیم ولتاژ سیستم را می‌توان توسط توان راکتیو و بدون تحت تأثیر قرار دادن توان اکتیو، انجام داد [۸].

<sup>۱</sup> Synchronization

<sup>۲</sup> Circulating Current

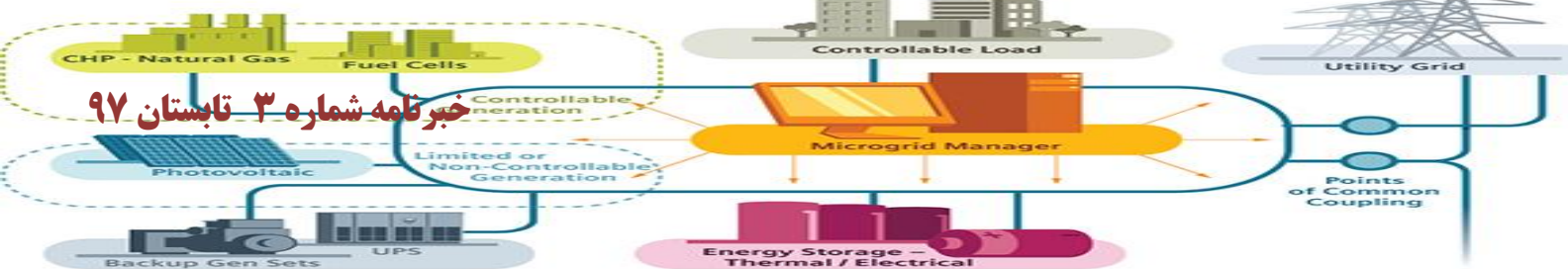
<sup>۳</sup> Unbalance

<sup>۴</sup> Electronic Lights

<sup>۵</sup> Variable-Frequency Drive

<sup>۶</sup> Institute of Electrical and Electronics Engineers

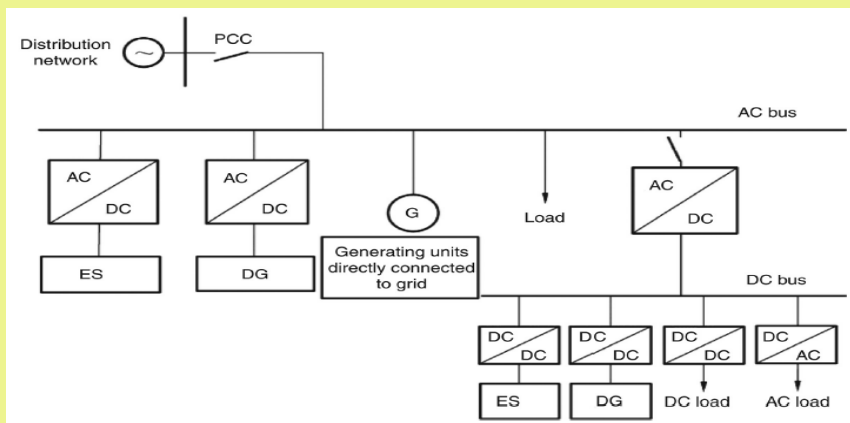




### ج - ریزشبكة ترکیبی AC-DC

همان طور که گفته شد، علیرغم مزایای فراوان، موانع مختلفی بر سر راه گسترش ریزشبكة‌های DC وجود دارد. باین حال، فن‌آوری DC به علل مختلفی مانند ظهور لوازم برقی DC، توسعه مولدهایی با خروجی DC مانند پنل‌های خورشیدی و توسعه استانداردهای مرتبط، به مرور زمان در حال توسعه است. ظهور ریزشبكة‌های ترکیبی AC-DC نیز نتیجه این تغییرات است. همان طور که مشخص است، ریزشبكة ترکیبی AC-DC دارای یک باس AC و یک باس DC است. این ریزشبكة توسط باس AC به شبکه توزیع متصل می‌شود. تغذیه بارها در این ریزشبكة بدون نیاز به مبدل انجام می‌شود. به بیان دیگر، تغذیه بارهای AC از طریق باس AC و تغذیه بارهای DC از طریق باس DC تأمین می‌شود. علاوه بر این، مولدهای با خروجی DC می‌توانند بدون نیاز به اینورتر به باس DC متصل شوند. کاهش استفاده از مبدل‌ها در این نوع ریزشبكة‌ها منجر به کاهش تلفات توان می‌شود. ریزشبكة‌های ترکیبی AC-DC مزایای دو نوع اول (ریزشبكة AC و ریزشبكة DC) را جمع می‌کنند. باس AC و DC در این ریزشبكة توسط یک مبدل دوطرفه<sup>۱</sup> به یکدیگر متصل می‌شوند [۱۸]، [۲۴].

شکل ۵ نشان‌دهنده ساختار یک ریزشبكة ترکیبی AC-DC است [۱۸].

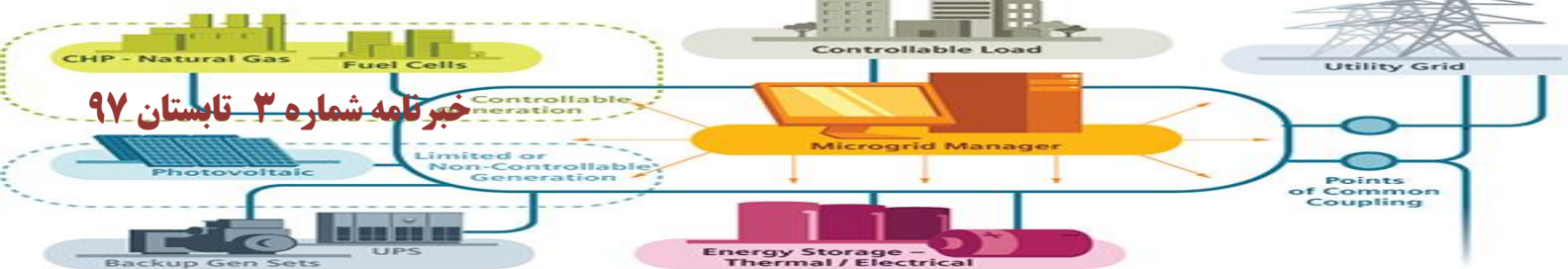


شکل ۵ ساختار یک ریزشبكة ترکیبی AC-DC

همان طور که گفته شد، ریزشبكة‌های ترکیبی مزایای ریزشبكة AC و ریزشبكة DC را جمع می‌کنند. برخی از مزایای ریزشبكة ترکیبی AC-DC را می‌توان به شرح زیر برشمرد.

- در ریزشبكة‌های ترکیبی، استفاده از مبدل‌ها کاهش می‌یابد. تغذیه بارهای AC از طریق باس AC و بدون نیاز به اینورتر و تغذیه بارهای DC از طریق باس DC و بدون نیاز به یکسوساز تأمین می‌شود [۲۴].

<sup>۱</sup> Bidirectional Converter



## خبرنامه شماره ۳ تابستان ۹۷

• همان طور که گفته شد، منابع انرژی تجدیدپذیر مانند توربین‌های بادی و پنل‌های خورشیدی دارای عدم قطعیت هستند. در مد مستقل<sup>۱</sup> که از ژنراتور دیزلی و یا سیستم ذخیره انرژی (ESS<sup>۲</sup>) استفاده نمی‌شود، قابلیت اطمینان ریزشکه‌های AC و ریزشکه‌های DC در معرض خطر قرار می‌گیرد. اما در ریزشکه‌های ترکیبی AC-DC که از هر دو شبکه AC و DC تشکیل شده‌اند، در صورت بروز مشکل در چنین شرایطی، می‌توان قابلیت اطمینان را با انتقال توان بین دو بخش AC و DC افزایش داد [۲۷].

• ریزشکه ترکیبی AC-DC مانند ریزشکه AC قادر به ارائه خدمات جانبی<sup>۳</sup> مانند کاهش اثر فلش یا فرورفتگی ولتاژ<sup>۴</sup>، عمل به صورت منبع تغذیه بدون وقفه (UPS<sup>۵</sup>)، جبران توان راکتیو، تصحیح ضریب توان<sup>۶</sup> و تنظیم ولتاژ و فرکانس<sup>۷</sup> است [۲۷].

• ریزشکه‌های ترکیبی در کاهش اثر گلخانه‌ای<sup>۸</sup> نیز کمک می‌کنند؛ زیرا با کاهش سهم مولدهای دیزلی در این نوع ریزشکه و استفاده از سیستم ذخیره انرژی برای جبران عدم قطعیت مولدهای تجدیدپذیر، میزان آلودگی‌های تولیدشده توسط این ریزشکه‌ها کاهش خواهد یافت [۲۷].

معایب ریزشکه ترکیبی AC-DC را می‌توان به صورت زیر برشمرد.

• اتصال و ادغام دو زیرسیستم AC و DC در ریزشکه ترکیبی منجر به افزایش پیچیدگی در زمینه حفاظت می‌شود [۲۷].

• کنترل مبدل دوطرفه بین باس AC و DC یک مسئله جدید با پیچیدگی‌های خاص خود بوده و تأثیر زیادی بر روی پایداری و کیفیت توان تولیدی ریزشکه ترکیبی دارد [۲۴].

<sup>۱</sup> Autonomous

<sup>۲</sup> Energy Storage System

<sup>۳</sup> Ancillary Services

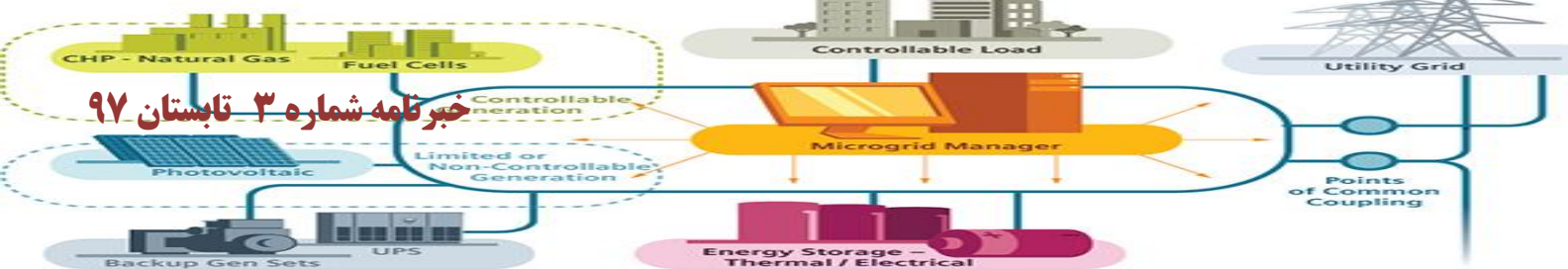
<sup>۴</sup> Voltage Sag

<sup>۵</sup> Uninterruptable Power Supply

<sup>۶</sup> Power Factor

<sup>۷</sup> Voltage and Frequency Regulation

<sup>۸</sup> Greenhouse Effect



#### ۴-۴- بر اساس ظرفیت

ریز شبکه‌ها را می‌توان بر اساس ظرفیت توان تولیدی آن‌ها دسته‌بندی کرد. در [۱۸]، ریز شبکه‌ها به صورت زیر بر اساس ظرفیت دسته‌بندی شده‌اند.

##### ۴-۴-۱- ریز شبکه ساده<sup>۱</sup>

ریز شبکه ساده ظرفیتی کمتر از ۲ مگاوات داشته و برای مراکز و مؤسساتی با چندین نوع بار و با وسعتی کوچک مانند یک بیمارستان یا مدرسه در نظر گرفته می‌شوند [۱۸].

##### ۴-۴-۲- ریز شبکه حقوقی<sup>۲</sup>

ریز شبکه حقوقی ظرفیتی بین ۲ تا ۵ مگاوات داشته و شامل واحدهای تولید همزمان برق، حرارت و برودت (CCHP<sup>۳</sup>) و تعدادی بار خانگی<sup>۴</sup> (غیرتجاری و غیرصنعتی) است [۱۸].

##### ۴-۴-۳- ریز شبکه سطح فیدر<sup>۵</sup>

ریز شبکه سطح فیدر ظرفیتی بین ۵ تا ۲۰ مگاوات داشته و شامل واحدهای تولید همزمان برق، حرارت و برودت و تعدادی بار تجاری و صنعتی است [۱۸].

##### ۴-۴-۴- ریز شبکه سطح پست<sup>۶</sup>

ریز شبکه سطح پست ظرفیتی بیشتر از ۲۰ مگاوات داشته و شامل واحدهای تولید همزمان برق، حرارت و برودت و بارهای خانگی، تجاری و صنعتی است [۱۸].

<sup>۱</sup> Simple Microgrid

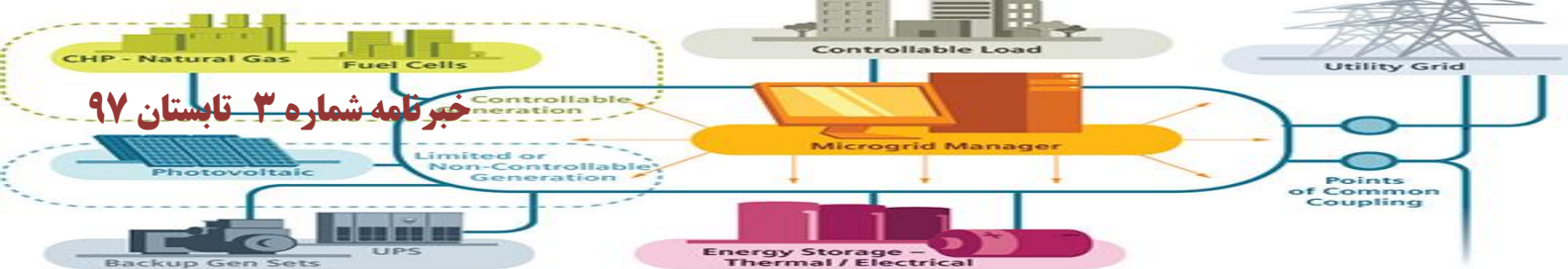
<sup>۲</sup> Corporate Microgrid

<sup>۳</sup> Combined Cooling, Heat and Power

<sup>۴</sup> Household Load

<sup>۵</sup> Feeder Area Microgrid

<sup>۶</sup> Substation Area Microgrid



خبرنامه شماره ۳ تابستان ۹۷

#### ۴-۴-۵- ریزشبكة مستقل<sup>۱</sup>

ریزشبكة مستقل برخلاف چهار نوع قبلی که قابلیت اتصال به شبکه اصلی برق را دارند، به صورت مستقل و جدا از شبکه و برای تغذیه مناطق دورافتاده مانند جزایر و یا مناطق کوهستانی به کار می‌رود. ظرفیت این ریزشبكة می‌تواند بسته به مقدار بار آن منطقه متغیر باشد.

در ۰، دسته‌بندی ریز شبکه‌ها بر اساس ظرفیت خلاصه شده است.

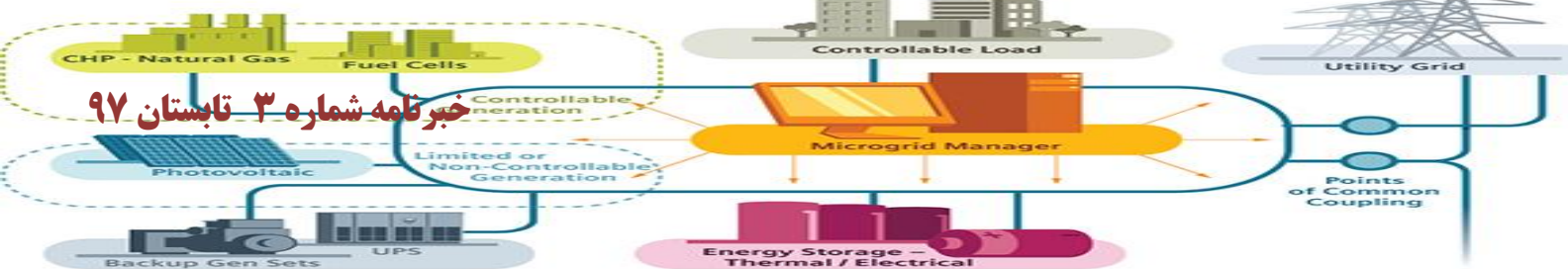
جدول ۱- دسته‌بندی ریز شبکه‌ها بر اساس ظرفیت

ظرفیت (مگاوات)	نوع
< 2	ریزشبكة ساده
2 - 5	ریزشبكة شرکتي
5 - 20	ریزشبكة سطح فیدر
> 20	ریزشبكة سطح پست
بستگی به مقدار بار دارد	ریزشبكة مستقل



<sup>۱</sup> Independent Microgrid

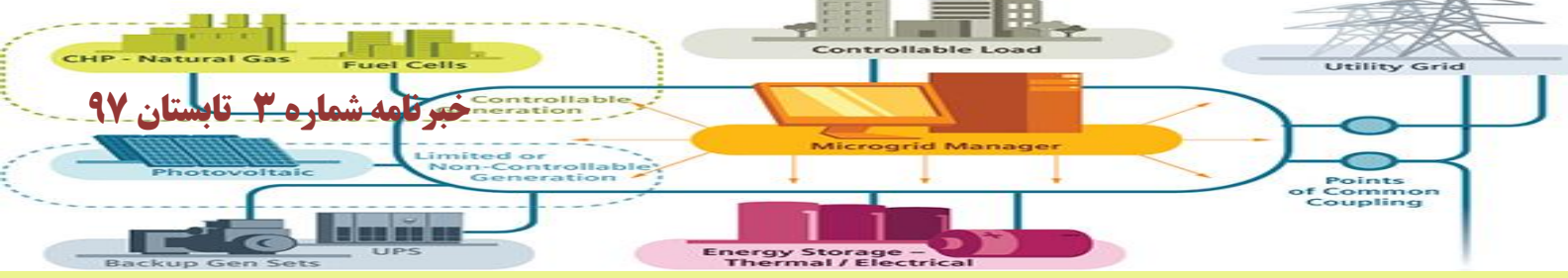




خبرنامه شماره ۳ تابستان ۹۷

## ۵- مراجع

- [1] Bevrani H., B. Francois, and T. Ise, *Microgrid Dynamics and Control*. John Wiley & Sons, 2017.
- [2] "http://www.thinkgeoenergy.com/top-10-geothermal-countries-based-on-installed-capacity-year-end-2017/." .
- [3] "https://www.whatson.is/hottest-nation-earth-icelands-geothermal-power/." .
- [4] "https://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%86%DB%8C%D8%B1%D9%88%DA%AF%D8%A7%D9%87\_%D8%B2%D9%85%DB%8C%D9%86%E2%80%8C%DA%AF%D8%B1%D9%85%D8%A7%DB%8C%DB%8C\_%D9%85%D8%B4%DA%AF%DB%8C%D9%86%E2%80%8C%D8%B4%D9%87%D8%B1." .
- [5] R. H. Lasseter, "Microgrids and distributed generation," *J. Energy Eng.*, vol. 133, no. 3, pp. 144–149, 2007.
- [6] "دستورالعمل اتصال به شبکه منابع تولید پراکنده (مولدهای مقیاس کوچک)," "توانیر, ۱۳۹۲.
- [7] س. امامیان, "کنترل مقاوم یک ریزشبکه در حالت جزیره ای بر اساس استراتژی دروپ," پایان نامه کارشناسی ارشد, دانشگاه صنعتی شریف, ۱۳۹۱.
- [8] S. K. Sahoo, A. K. Sinha, and N. K. Kishore, "Control Techniques in AC, DC, and Hybrid AC-DC Microgrid: A Review," *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron.*, 2017.
- [9] N. Hatziargyriou, H. Asano, R. Iravani, and C. Marnay, "Microgrids," *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 5, no. 4, pp. 78–94, 2007.
- [10] "https://www.centerpointenergy.com/en-us/Services/Pages/sensitive-loads.aspx?sa=HO&au=bus." .
- [11] "https://www.smartgridlibrary.com/tag/sensitive-loads/." .
- [12] "https://westernpower.com.au/power-outages/business-customers-with-sensitive-loads/." .
- [13] "https://building-microgrid.lbl.gov/microgrid-definitions." .
- [14] C. Marnay, "Microgrid Evolution Roadmap," in *International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies*, 2015, pp. 139–144.
- [15] "https://building-microgrid.lbl.gov/types-microgrids." .
- [16] "http://microgridmedia.com/milligrd-different-microgrids/." .
- [17] "https://en.wikipedia.org/wiki/Stand-alone\_power\_system." .
- [18] L. Fusheng, L. Ruisheng, and Z. Fengquan, *Microgrid Technology and Engineering Application*. Academic Press, 2015.
- [19] D. Semënov, G. Mirzaeva, C. D. Townsend, and G. C. Goodwin, "Recent Development in AC Microgrid Control - A Survey," in *Australasian Universities Power Engineering Conference*, 2017.
- [20] "http://new.abb.com/power-converters-inverters/solar/microgrid-solutions/mgs100." .
- [21] "https://www.schneider-electric.com/en/product-range-presentation/62209-villaya-microgrid/." .
- [22] D. Kumar, F. Zare, and A. Ghosh, "DC Microgrid Technology: System Architectures, AC Grid



Interfaces, Grounding Schemes, Power Quality, Communication Networks, Applications and Standardizations Aspects,” *IEEE Access*, vol. 5, pp. 12230–12256, 2017.

- [23] M. Lonkar and S. Ponnaluri, “An Overview of DC Microgrid Operation and Control,” in *International Renewable Energy Congress*, 2016.
- [24] “<http://www.acs.eonerc.rwth-aachen.de/cms/E-ON-ERC-ACS/Forschung/Abgeschlossene-Projekte/~euwe/HYBRID-AC-DC-MICROGRIDS-A-BRIDGE-TO-FUT/?lidx=1>.”
- [25] A. T. Elsayed, A. A. Mohamed, and O. A. Mohammed, “DC Microgrids and Distribution Systems: An Overview,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 119, pp. 407–417, 2015.
- [26] “<https://standards.ieee.org/develop/project/2030.10.html>.”
- [27] R. A. Kaushik and N. M. Pindoriya, “A hybrid AC-DC microgrid: Opportunities & key issues in implementation,” in *International Conference on Green Computing Communication and Electrical Engineering*, 2014.