فصل اول :

مقدمه

انرژی الکتریکی در زندگی امروز بشر نقش مهمی را ایفا می‌کند، به گونه‌ای که احتمالاً امروزه هیچ کسی نمی‌تواند زندگی بدون استفاده از برق را در ذهن خود متصور شود. اگر در گذشته‌ی نه چندان دور نقش برق فقط در روشنایی خانه‌ها و اندکی پس از آن در یخچال‌ها و تلوزیون‌های کوچک برجسته می‌نمود امروز همه‌ی لحظه‌های زندگی بشر با این انرژی گره خورده است و انسان‌ها برای انجام همهٔ امور خود در زندگی شخصی، شغلی و جامعه‌ی خود از ساده‌ترین امور گرفته مانند نظافت منزل تا پیچیده‌ترین کارها در تولید ابزارهای مهم صنعتی به انرژی الکتریکی وابسته هستند.

با این حال بشر در استفاده از این انرژی با چالش‌های زیادی نیز روبروست. از یک سو با رشد جمعیت و فناوری، هر روز بر شمار متقاضیان افزوده می‌شود، از سوی دیگر بنابر دلایل زیادی نمی‌توان با استفاده از همان روش‌های تولید سنتی نیاز انرژی امروز را برآورده کرد. از جمله مهمترین این دلایل پایان‌پذیری سوخت‌های فسیلی مانند نفت و گاز طبیعی است که در نیروگاه‌های احتراقی سنتی بکار می‌روند. از طرف دیگر نوسانات قیمت و هزینهٔ زیاد این سوخت‌ها نیز به عنوان دلیلی دیگر محسوب می‌شود. دولتمردان و سرمایه‌داران، سوخت‌های فسیلی را به دلیل نوسانات شدید قیمتی و تاثیرپذیری زیاد از شرایط مختلف، حوزه‌ی مناسبی برای سرمایه‌گذاری در صنعت برق نمی‌دانند. در همین راستا متخصصان معتقدند ارزش افزوده‌ی سوخت‌های فسیلی در صورت استفاده در دیگر موارد، مانند تولید قطعات ریزپردازنده‌ی صنعتی می‌تواند بسیار بیشتر از سوزاندن آنها برای تولید انرژی الکتریکی باشد. در اینجا باید به انتقاد دوستداران محیط زیست نیز اشاره نمود که معتقدند روش‌های سنتی تولید انرژی الکتریکی با توجه به میزان بالای انتشار آلاینده‌های زیست محیطی می‌بایست متوقف گردد و یا حداقل رشد آنها کاهش یابد. اگر نیم نگاهی به گزارشاتی که در خصوص تغییرات آب و هوایی زمین ناشی از انتشار آلاینده‌های زیست محیطی و گازهای گلخانه‌ای و اثرات آن بر حیات موجودات در کره‌ی خاکی بیندازیم آنگاه می‌توانیم با اطمینان بگوییم دلیل آخر اتفاقاً مهمترین دلیل بر کاهش استفاده از روش‌های سنتی تولید انرژی الکتریکی نیز می‌باشد.

نکته‌ی دیگری که باید بدان اشاره کرد این است که حتی با فرض اینکه بتوان همهٔ انرژی مورد نیاز را با روش‌های سنتی تولید نمود انتقال این انرژی به مناطق دور افتاده نیز خود معضل دیگری است. هزینه‌های گزاف، پیچیدگی و محدودیت‌های زیست محیطی و اجتماعی احتمالی بر سر راه توسعهٔ خطوط انتقال انرژی (مانند جنگل‌ها، مزارع، روستاها و مناطق مسکونی و غیره) از جمله مشکلات و موانع موجود در بخش انتقال انرژی (و به طور مشابه برای انتقال سوخت) است.

نتیجه‌گیری که می‌توان از موارد ذکر شده داشت این است که بشر به انرژی الکتریکی بیش از گذشته نیاز دارد با این وجود روش‌های گذشته یعنی تولید در نیروگاه‌های احتراقی مرکزی با سوزاندن سوخت‌های فسیلی و انتقال آن به مصرف‌کننده نمی‌تواند پاسخگوی این نیازها باشد و باید چاره‌ی دیگری اندیشید. خوشبختانه بشر برای این مشکل سال‌هاست که راه‌حل منطقی پیدا کرده است و تولید توسط منابع انرژی‌های نو و همچنین تولید به روش نیمه متمرکز و محلی را به عنوان جایگزینی برای تولید سنتی در دستور کار خود قرار داده است.

منابع انرژی‌های تجدیدپذیر به منابعی اطلاق می‌شود که بر خلاف سوخت‌های فسیلی پایان پذیر نیستند و یا تولید مجدد و جایگزینی آنها با سرعت بالایی انجام می‌شود. از جملهٔ این منابع می‌توان به انرژی باد، خورشید، امواج دریایی، بیوماس، زمین گرمایی، جزر و مد و . . . اشاره کرد. از سوی دیگر چنان‌چه ذکر شد محققان برای مشکل انتقال انرژی تولید محلی را پیشنهاد کرده‌اند، بدین معنا که با توجه به این مزیت مهم منابع انرژی‌های نو که در بسیاری از نقاط زمین می‌توان یکی از انواع گوناگون آن را یافت، تولید انرژی مورد نیاز هر منطقه بطور محلی و توسط منابع محلی انجام گیرد.

۱-۱- تولیدات پراکنده

در سیستم‌های به هم پیوسته‌ی برق مرسوم، تولید انرژی الکتریکی به صورت متمرکز و توسط نیروگاه‌های بزرگ صورت می‌گیرد. در سرتاسر جهان، سیستم‌های قدرت معمول با مشکلاتی از قبیل کاهش تدریجی منابع سوخت‌های فسیلی، بازدهی پایین انرژی، افزایش هزینه‌های انتقال و توزیع انرژی الکتریکی، آلودگی زیست-محیطی و محدودیت‌های حاصل از قانون‌گذاری‌های مختلف مواجه هستند، لذا تولید متمرکز توان الکتریکی توسط نیروگاه‌های بزرگ با چالش‌هایی مواجه شده است. در دهه‌های اخیر، تجدید ساختار صنعت برق و همچنین خصوصی‌سازی این صنعت مطرح، و در برخی از کشورها اعمال شده است. طی این مدت به خاطر بالا بردن بازده بهره‌برداری و تشویق سرمایه‌گذاران، صنعت برق دستخوش تغییرات اساسی از لحاظ مدیریت و مالکیت گردیده است، به طوری که برای ایجاد فضای رقابتی مناسب، بخش‌های مختلف آن از جمله تولید، انتقال و توزیع از هم جدا گردیده‌اند. این تغییر و تحول‌ها از یک طرف و عواملی همچون آلودگی محیط زیست، مشکلات احداث خطوط انتقال جدید و دیگر مشکلات بیان شده و همچنین پیشرفت فناوری در زمینه‌ی اقتصادی نمودن ساخت واحدهای تولید در مقیاس کوچک از طرف دیگر منجر به ایجاد تمایلاتی برای افزایش استفاده از واحدهای کوچک توان و تولید توان محلی در سطح ولتاژ توزیع توسط منابع انژری تجدیدپذیری از قبیل نیروی باد، سلول‌های فتوولتائیک خورشیدی، پیل‌های سوختی، میکروتوربین‌ها و همچنین ترکیبی از اینها

در شبکه‌های توزیع شده است. این نوع از تولید انرژی به عنوان "تولید پراکنده" (DG[1]) شناخته شده و این منابع انرژی را "منابع انرژی پراکنده" (DERs[2]) می‌نامند. در واقع عبارت تولید پراکنده در مقابل تولید متمرکز مرسوم قرار می‌گیرد. با حضور ترکیبی از تولیدات پراکنده در شبکه‌های توزیع این شبکه‌ها به صورت شبکه‌های فعال عمل می‌کنند و بدین جهت به چنین شبکه‌هایی، شبکه توزیع فعال می‌گویند.

۱-۲- اهداف استفاده از تولیدات پراکنده

اهداف استفاده از تولیدات پراکنده از دید شرکت توزیع و از دید مشترک متفاوت است. اگر مالک DG شرکت توزیع باشد، اهداف مورد نظر می‌تواند آزاد سازی ظرفیت شبکه‌ی توزیع، کاهش ریسک به دلیل اندازه، انعطاف-پذیری، مدت زمان نصب و ...، پرهیز از هزینه‌های گزاف احداث و توسعه‌ی سیستم‌های انتقال و توزیع، پرهیز از صرف هزینه‌های ناشی از عدم قطعیت در پیش‌بینی میزان بار و ظرفیت در دسترس، با افزایش ظرفیت نصب شده مطابق با رشد بار، بهبود قابلیت اطمینان سیستم، فراهم کردن معبرهای نسبتاً کم هزینه برای بازارهای رقابتی بازار برق، تولید همزمان برق و حرارت، بهبود کیفیت توان و پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات باشد.

اگر مالکیت DG در اختیار مشترک باشد، این اهداف می‌تواند فروش برق و شرکت در بازار انرژی، فروش برق به عنوان خدمات جانبی، بهبود قابلیت اطمینان و کیفیت توان خود، افزایش بازدهی سیستم با کاربردهای محلی، فراهم کردن امکان استفاده از انرژی الکتریکی برای مناطق دوردست و یا تشویق‌های دریافتی از شرکت توزیع باشد. به طور کلی هدف استفاده از منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع تامین تمام یا قسمتی از توان مصرفی شبکه به صورت تمام وقت یا پاره وقت می‌باشد که در این میان هدف اصلی تولید توان اکتیو می-باشد[۳],[۲],[۱].

۱-۳- مزایا و معایب استفاده از تولیدات پراکنده

با وجود مزایای متعدد سیستم‌های قدرت مرسوم، به کارگیری تولیدات پراکنده در سیستم توزیع مزایای زیست محیطی، اقتصادی و فنی بسیار زیادی را به دنبال دارد. اما برای رسیدن به این مزایا تولیدات پراکنده باید دارای اندازهٔ مناسب بوده و در مکان‌های مناسبی نصب شوند. بطور کلی استفاده از تولیدات پراکنده در شبکهٔ قدرت می‌تواند مزایای زیر را به همراه داشته باشد :

[1] distributed generation
[2] distributed energy resources

۱) کاهش آلودگی زیست‌محیطی و گرمای زمین به عنوان یک فاکتور مهم برای جایگزینی منابع انرژی تجدیدپذیر به جای سوخت‌های فسیلی می‌باشد. با توجه به پیمان نامه‌ی کیوتو بسیاری از کشورها تصمیم به کاهش گازهای گلخانه‌ای به منظور مقابله با تغییرات آب و هوایی و کاهش گرمای سراسری جهان گرفته‌اند. با بهره‌برداری از منابع تولید پراکنده‌ی تجدیدپذیر می‌توان انتظار داشت که توانی با بازدهی بیشتر و اثرات نامطلوب کمتر زیست محیطی تولید کرد.

۲) از منابع تولیدات پراکنده می‌توان برای تولید همزمان گرما و انرژی استفاده کرد. در این کاربرد از گرمای هدر رفته برای مصارف و کاربردهای صنعتی، خانگی و تجاری استفاده می‌شود. این امر باعث افزایش بازدهی واحد و همچنین کاهش آلودگی حرارتی محیط زیست می شود.

۳) به دلیل رشد سریع بار، نیاز به افزایش توان تولیدی منجر به کاهش تدریجی منابع سوخت‌های فسیلی می-شود. بنابراین اغلب کشورها به منابع تجدیدپذیر انرژی به عنوان یک راه‌چاره نگاه می‌کنند.

۴) افزایش کیفیت توان و قابلیت اطمینان

۵) تحقق خصوصی سازی واقعی با تبدیل سرمایه‌گذاران بزرگ به سرمایه‌گذاران کوچک

۶) آزاد شدن ظرفیت سیستم‌های انتقال و توزیع اعم از خطوط و پست‌ها

۷) کمک به راه اندازی مجدد شبکه پس از خاموشی سراسری

۸) پیک‌سایی در لحظات اوج مصرف

بکارگیری جداگانه‌ی منابع تولید پراکنده به همان اندازه که باعث ایجاد مزایای زیادی می‌شود، می‌تواند باعث بروز مشکلات خاصی در شبکه‌های توزیع و یا سیستم‌های قدرت شوند. یک راه‌حل مناسبتر برای استفاده از پتانسیل بالای این منابع توان، بکارگیری یک دیدگاه سیستمی در مورد آنهاست، بدین معنی که به این منابع توان و بارهای متناظر آن به عنوان یک زیر سیستم یا ریزشبکه[۱] نگاه کرد. البته این پایان‌نامه علاقه‌مند به برنامه‌ریزی و مدیریت تولید ریزشبکه و پیاده‌سازی یک مدل کارا در این راستاست.

۱-۴- اهداف پروژه

هدف اصلی در این پروژه توسعه‌ی مدل یک ریزشبکه و اجرای یک روش برنامه‌ریزی بهینه‌ی تولید برای روز بعد است به طوری‌که هزینه‌ها را کمینه کرده و برای محیط زیست نیز دارای کمترین آلودگی باشد. از این‌رو انواع هزینه‌های تولید در این تحقیق لحاظ گردیده است. همچنین قیود حداکثر و حداقل تولید منابع، محدودیت ذخیره‌سازی، محدودیت تبادل برق با شبکه‌ی اصلی و قید تأمین بار الکتریکی در مدل بهینه‌سازی لحاظ شده

[۱] Microgrid

است. جهت بررسی بهتر عملکرد ریزشبکه و کارایی بهتر الگوریتم‌های شبیه‌سازی، سناریوهای مسئله در دوره‌ی ۲۴ ساعته و برای سناریوهای مختلف پیاده‌سازی شده است. نتایج شبیه‌سازی‌ها در دو حالت کلی کمینه کردن هزینه و بیشینه کردن سود بررسی شده‌اند. همچنین مدل ذخیره‌ساز باتری، ظرفیت و نحوه‌ی شارژ و تخلیه آن به گونه‌ای برنامه‌ریزی می‌شود که به کاهش بیشتر هزینه‌های تولید برق می‌گردد. امکان خرید و فروش نیز می‌تواند یکی از موارد مؤثر در کاهش هزینه‌ی کلی تولید باشد.

در این پروژه بر روی برنامه‌ریزی و مدیریت ریزشبکه و پیاده‌سازی مدل مؤلفه‌ها و اجزای آن تمرکز شده است. مدل اجزای ریزشبکه در حالت پایدار برای هدف برنامه‌ریزی بهینه‌ی تولید ریزشبکه بر اساس مشخصات و محدودیت‌ها پیاده‌سازی شده است. منابع تولید و ذخیره‌ی توان الکتریکی در ریزشبکه شامل دیزل‌ژنراتور، پیل سوختی، میکروتوربین، توربین بادی، سلول خورشیدی و ذخیره‌ساز باتری می‌باشد که پارامترهای آن‌ها با استفاده از اطلاعات صنعتی و واقعی، محاسبه و تخمین زده شده است. مسئله‌ی بهینه‌سازی در این پروژه در حالت کمینه‌کردن هزینه و بیشینه کردن سود حل شده است. در حالت اول از نقطه‌نظر بازار فرض شده است که محیط سنتی است و تمام اجزای ریزشبکه در مالکیت خودش قرار دارند. در این حالت هزینه‌ها شامل هزینه‌ی مصرف سوخت واحدهای سوخت فسیلی، هزینه‌های راه‌اندازی، هزینه‌های تعمیرات و نگهداری واحدها، هزینه‌ی توان خریداری شده و درآمد حاصل از توان فروخته‌شده به شبکه می‌باشند. سه سناریو برای این حالت در نظر گرفته می‌شود. در این حالت با توجه به امکان ذخیره‌سازی و تبادل برق با شبکه‌ی اصلی مسئله بهینه‌سازی به صورت سه متغیره، چهارمتغیره و پنج متغیره مدل گردیده است. در حالت دوم شبیه‌سازی (بیشینه کردن سود)، مسئله‌ی بهینه‌سازی در محیط رقابتی و تجدیدساختاریافته حل شده است. به عبارت دیگر برخی از اجزای ریزشبکه دارای مالکیت خصوصی بوده و پیشنهاد عرضه و پیشنهاد تقاضای خود را برای مدیر ریزشبکه ارسال می‌کنند. در این حالت بارها و برخی منابع تولید توان در مالکیت خصوصی قرار دارند که به دنبال سود خود می‌باشند. درآمدهای درنظرگرفته شده شامل درآمد حاصل از فروش برق به مصرف‌کنندگان و همچنین درآمد فروش برق به شبکه‌ی بالادست می‌باشند. همچنین علاوه بر هزینه‌های حالت قبل هزینه‌هایی از قبیل هزینه‌ی خرید برق از شبکه نیز حالت رقابتی لحاظ می‌گردند. نتایج شبیه‌سازی در محیط تجدیدساختاریافته برای دو سناریو و بر اساس نحوه‌ی عملکرد ریزشبکه بررسی گردیده‌اند. برای حل مسئله‌ی مدیریت و بهینه‌سازی تولید ریزشبکه از الگوریتم‌های هوش مصنوعی و تصادفی و همچنین الگوریتم‌های ریاضی و عددی استفاده شده است.

۱-۵- ساختار پایان‌نامه

در فصل دوم مروری بر ریزشبکه، اهداف آن و چالش‌های مرتبط با آن و همچنین مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی برنامه‌ریزی و مدیریت تولید ریزشبکه پرداخته می‌شود. در فصل سوم تمرکز بر روی بررسی مدل حالت پایدار اجزای موجود در ریزشبکه شامل منابع تولید توان و عناصر ذخیره‌سازی می‌باشد. فصل چهارم پیرامون معرفی و بررسی روش‌ها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی مورد استفاده برای حل مسئله‌ی مورد نظر این پروژه می‌باشد. در فصل پنجم به بررسی تابع هدف مسئله، قیود و همچنین شبیه‌سازی و تحلیل نتایج و همچنین بررسی مؤثر بودن روش بکارگرفته شده در تأمین بار و کاهش هزینه و آلودگی در حالت کمینه کردن هزینه‌ها پرداخته می‌شود. در فصل ششم نیز شبیه‌سازی در حالت بیشینه کردن سود و در یک محیط رقابتی و تجدیدساختاریافته بررسی و تحلیل می‌گردند و کارایی روش موردنظر مورد بررسی قرار می‌گیرد. در نهایت نتیجه‌گیری و پیشنهادات در فصل هفتم بیان شده است.

فصل دوم :

ریزشبکه، برنامه‌ریزی و مدیریت آن

۲-۱- معرفی ریزشبکه‌ها

در سال‌های اخیر، مشکلاتی از قبیل پایداری سیستم‌های قدرت، افزایش هزینه‌ها از جمله هزینه‌های انتقال انرژی، قابلیت اطمینان سیستم، بازدهی پایین یا به عبارتی تلفات سیستم‌ها، کاهش منابع فسیلی و آلودگی‌های زیست محیطیِ ناشی از سوخت‌های فسیلی، منجر به بررسی‌ها و مطالعات گسترده‌ای در زمینه‌ی استفاده از تولیدات پراکنده شده است. با این وجود، نفوذ تولیدات پراکنده در شبکه‌های توزیع مسائلی ایجاد می‌کند که گاه توسعه و نفوذ بیشتر تولیدات پراکنده در شبکه‌های توزیع را از دید طراح شبکه با تردید روبرو می‌کند. با پیشرفت بیشتر فناوری و مهندسی سیستم‌های قدرت، طراحان شبکه قادر شدند بر اغلب این مسائل چیره شده و شبکه‌های توزیع را هر چه بیشتر از مزایای تولید پراکنده بهره‌مند کنند. بنابراین کم کم شبکه‌های توزیعی شکل گرفتند که مشابه شبکه‌های بزرگ قدرت (شبکه‌های سنتی) قادر به تولید و همچنین کنترل شبکه‌های خود می‌باشند. این شبکه‌ها در ادبیات سیستمهای قدرت، ریزشبکه[۱] نام گرفتند. این شبکه‌های کوچک به عنوان مفهومی جدید و امید بخش که می‌توانند راه حلی مناسب برای دستیابی به اهداف ذکر شده باشند، در سال‌های اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند. ریزشبکه به گروهی از بارها و منابع کوچک توان اطلاق می‌شود که می‌تواند به صورت سیستمی کنترل‌پذیر عمل کرده و به طور همزمان توان الکتریکی و گرما تولید کند [۴]. تحت شرایط عادی سیستم، ریزشبکه به شبکه‌ی سراسری متصل بوده و بارها از طریق منابع محلی یا در صورت نیاز از طریق شبکه‌ی سراسری تغذیه می‌شوند. اما در صورت بروز اغتشاش در سیستم، تولید و بار متناظر یک ریزشبکه می‌توانند از شبکهٔ توزیع جدا شود، تا بارهای ریزشبکه از اغتشاش مصون بمانند. بنابراین توانایی ریزشبکه در جزیره‌ای شدن[۲] از سیستم، می‌تواند باعث کاهش قطعی برق مصرف‌کننده و در نتیجه افزایش قابلیت اطمینان شبکه شود [۴],[۵].

تفاوت‌های اساسی ما بین منابع توان یک ریزشبکه و منابع توان شبکه‌های الکتریکی مرسوم را می‌توان به صورت زیر بیان کرد[۶]:

۱) ظرفیت منابع توان ریزشبکه بسیار کمتر از ژنراتورهای بزرگ نیروگاه‌های شبکه‌های مرسوم است.

۲) توان تولیدی در سطح ولتاژ توزیع را می‌توان به صورت مستقیم به شبکه توزیع متصل کرد.

[۱] Microgrid
[۲] Islanding

۳) منابع توان ریزشبکه معمولاً در نزدیکی مصرف‌کننده‌ها نصب می‌شود، تا بدین وسیله بارهای حرارتی و الکتریکی، با بازده بالاتر و پروفیل ولتاژ مناسب‌تر و همچنین تلفات کم‌تری تغذیه شوند.

۴) واحدهای ذخیره‌ساز انرژی بصورت کوتاه مدت یا بلند مدت، نقش مهمی را در کنترل و عملکرد میکروگرید بازی می‌کنند. در حالی‌که در سیستم‌های سنتی واحدهای ذخیره‌سازی نقش چنین اساسی نداشتند.

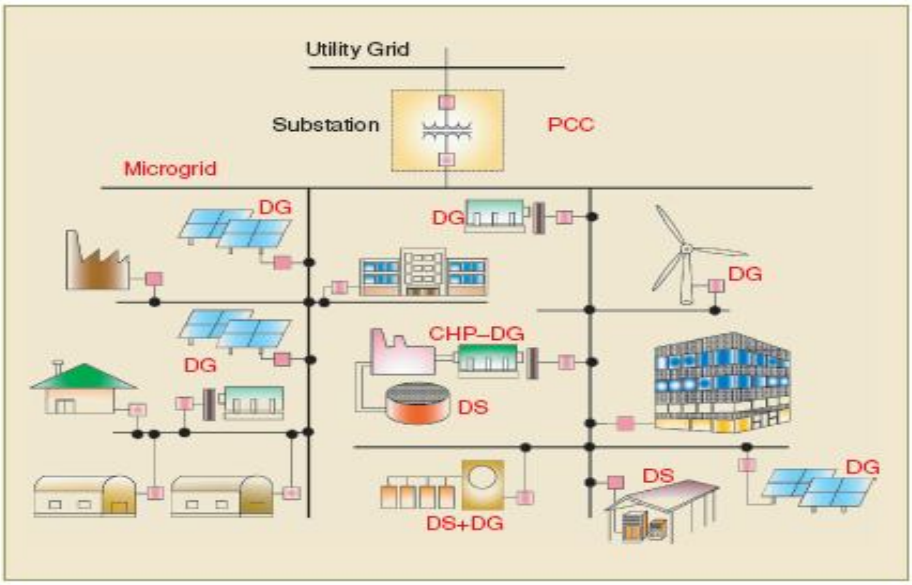
۵) به دلایل اقتصادی بخش قابل توجهی از توان ریزشبکه از طریق منابع غیرقابل کنترل مثل باد تأمین می‌شود. در حالی‌که در سیستمهای سنتی تنها بخشی از توان از چنین منابعی تأمین می‌شد و در صورت از دست رفتن این منابع تعادل توان سریعاً توسط نیروگاههای آبی یا بخاری ایجاد می‌شود.

این خصوصیات فنی میکروگریدها آن‌ها را برای تغذیه‌ی بارهایی که در مناطق دور دست قرار دارند مناسب می-سازد، زیرا تغذیه‌ی این بارها توسط شبکه سراسری به دلیل مشکلاتی از قبیل شرایط بد جغرافیایی و شرایط سخت آب و هوایی مشکل می‌باشد. از نقطه نظر شبکه، مهمترین مزیت میکروگرید آن است که می‌توان به عنوان یک سیستم کنترل شده در شبکهٔ توزیع عمل کرده و به صورت مجموعه‌ای از بارهای مجزا عمل کند. از نقطه نظر زیست‌محیطی ریزشبکه‌ها آلودگی محیط زیست را کاهش داده و گرمای سراسری[۱] را با تولید کربن کمتر، کاهش می‌دهند.

۲-۲- ساختار و عناصر یک ریزشبکه

در شکل (۲ – ۱) یک دیاگرام شماتیکی از ریزشبکه آورده شده است. طبق این شکل ریزشبکه یک بخش کوچکی از شبکه توزیع است که در پایین دست شبکه فوق توزیع قرار دارد و شامل انواع مختلفی از منابع DER و مصرف کننده های برق و انرژی گرمایی است. منابع DER شامل منابع تولید پراکنده و منبع ذخیره کننده انرژی[۲] با خصوصیات و ظرفیت های مختلف می باشد. ریزشبکه توسط یک کلید و ترانس همراه آن توانایی اتصال و جدا شدن از شبکه را دارد و مشترکین مختلفی مثل خانگی ، تجاری ، صنعتی را سرویس دهی می کند. همان طور که در شکل (۲ – ۱) ملاحضه می گردد ریزشبکه ابتدا به شبکه بالا دست وصل است و در کنار وظیفه تأمین توان (در حد نیاز) ، کنترل و استراتژی های بهره‌برداری به منظور حداقل بخشی از بار مصرفی را بر عهده دارد. بعد از جدا شدن از شبکه بالا دست شبکه ریزشبکه باید توانایی تأمین بار مشترکین خود را داشته باشد . از این رو منابع DER باید توانایی تأمین بارهای خود درحالت جزیره‌ای را داشته باشند[۷].

[۱] Global Warming
[۲] Distributed storage



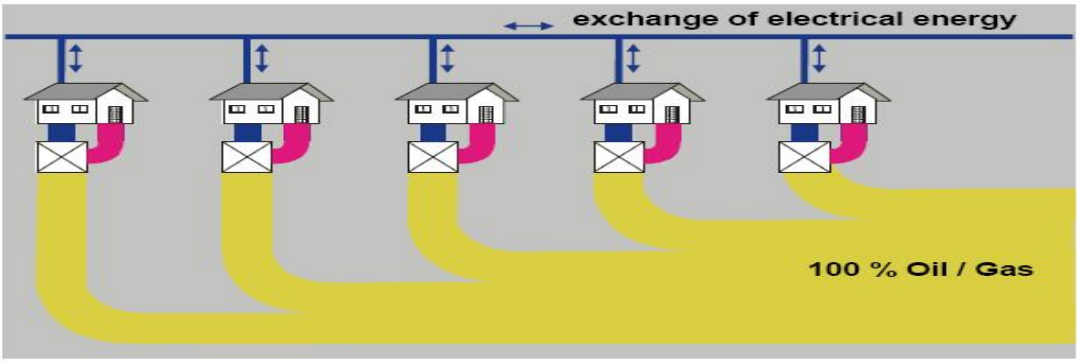
شکل (۲ – ۱) : دیاگرام شماتیکی از ریزشبکه به همراه عناصر تولید کننده ومصرف کننده‌انرژی درآن

۲-۳- دلایل پیدایش ریزشبکه‌ها

با وجود تولیدات پراکنده به دلیل افزایش تعداد منابع تولید توان در شبکه کار کنترل و بهره‌برداری از کل شبکه به صورت متمرکز تقریبا غیرممکن است. ریزشبکه در واقع کنترل غیرمتمرکز این شبکه فعال را انجام می‌دهد. یعنی هر ریزشبکه، شبکه خود را به بهترین نحو ممکن بهره‌برداری و کنترل می‌کند.

۱- یکی از مهمترین هدف‌ها به منظور رفتن به سمت ریزشبکه جلوگیری از اتلاف انرژی است. در گذشته نحوه مصرف انرژی بصورت نشان داده شده در شکل (۲ – ۲) بوده است. همانطور که در شکل ملاحظه می‌شود انرژی فسیلی مصرف شده برای تولید الکتریسته بخشی به انرژی الکتریکی تبدیل و بخشی هم بصورت انرژی گرمایی هدر می‌رود. از طرفی مقداری انرژی فسیلی جهت تامین انرژی گرمایی مصرف کنندگان مصرف می‌شود. یکی از معایب بزرگ این حالت این است که انرژی گرمایی زیادی هدر می‌رود. جلوگیری از اتلاف انرژی یکی از مهمترین دلایلی است که بشر را به سمت ریزشبکه سوق داده است[۸]. شکل (۲ – ۳) نیز استراتژی مصرف انرژی در ریزشبکه نشان می‌دهد. در ریزشبکه با حضور منابع تولید پراکنده در نزدیک مصرف‌کنندگان هم از انرژی الکتریکی تولید شده می‌توان استفاده کرد و هم انرژی گرمایی ناشی از منابع تولید کننده قابل استفاده خواهد بود.

شکل (۲ – ۲) : نمای کلی از نحوه مصرف انرژی در گذشته



شکل (۲ – ۳) : نمای کلی از نحوه مصرف انرژی در شبکه میکروگرید

به این ترتیب اولاً تلفات شبکه بالادست کاهش می یابد (کاهش تلفات الکتریکی) ثانیاً انرژی غیر الکتریکی مثل حرارت را می توان باز یافت[۸].

۲- استفاده از ریزشبکه‌ها قابلیت اطمینان سیستم را افزایش می‌دهد. با توجه به این که ریزشبکه می تواند در زمان بروز خطا با رفتن به حالت جزیره‌ای، توان مصرفی مشترکین خود را تأمین کند. به این ترتیب قابلیت اطمینان در این شبکه‌ها نسبت به شبکه عادی به مراتب بیشتر خواهد بود[۹].

۳- یکی از انگیزه های مهم برای رفتن به سمت ریزشبکه‌ها کاهش CO_2 تولیدی با توجه به روش‌های زیر است [۱۰]:

- استفاده همزمان الکتریسیته و گرمای تولیدی توسط منابع CHP[۱]
- استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر

[۱] Combined Heat and Power

برخی از دلایل پیدایش ریزشبکه‌ها به طور اختصار عبارتند از:

- کنترل هر چه بهتر منابع تولید پراکنده به منظور تغذیهٔ بهتر بارهای شبکه
- کاهش انتشار آلاینده‌های گازی (علی‌الخصوص CO_2)
- استفاده‌ی بهتر از منابع سوختی یا به عبارتی افزایش بازدهی استفاده از منابع انرژی فسیلی
- ایجاد تمایز بین بارهای مختلف (حساس و غیر حساس)
- افزایش قابلیت اطمینان
- کاهش اثرات منفی حضور منابع تولید پراکنده بر شبکه
- وجود منابع انرژی گوناگون
- نیاز روز افزون انرژی در سطح ملی و جهانی
- در دسترس بودن واحدهای تولیدی مدولار
- امکان تولید توان در نزدیکی بار و در نتیجه کاهش هزینه‌ی انتقال
- تاثیر گذاری کم بر شبکه‌های الکتریکی با تطبیق بار و تولید در ریزشبکه

۲-۴- مسائل و چالش های مرتبط با ریزشبکه

با توجه با این که ماهیت ریزشبکه‌ها تا حدودی با شبکه‌ی قدیمی متفاوت است بنابراین مسائل فنی، کنترلی آن باید متفاوت باشد. یکی از مسائلی که مطرح می‌گردد این است که ریزشبکه چگونه می‌تواند با دقت بالایی، انرژی (الکتریکی و حرارتی) را برای بارها تأمین کند. پاسخ به این سؤال نه تنها نحوه ارتباط با شبکه بالادست را تعیین می‌کند بلکه استراتژی‌های عملکرد را در حالت جدا از شبکه برای ریزشبکه را نیز می‌تواند تعیین کند.

در زیر برخی از مسائلی که باید حل شود تا ریزشبکه بتواند انرژی مصرف‌کنندگان را بدون مشکل تأمین کند، مطرح شده است[۱۰]،[۱۱] :

۱) افزایش دقت تعادل انرژی بین تولید و مصرف : در کوتاه مدت این بحث به شدت به نوع کنترل بستگی دارد و در بلند مدت به میزان تولید، مصرف و ذخیره ارتباط پیدا می‌کند.

۲) ارتباط با شبکه‌ی بالادست : یکی از مسائل مهم در تعیین ساختار ریزشبکه و برنامه‌ریزی آن بحث متصل بودن به شبکه یا جدا بودن آن از شبکه برای همیشه است. به عنوان مثال در برخی مناطق بنا به دلایلی اتصال به شبکه مشکل و هزینه‌بر است که بهتر است در این مناطق ریزشبکه به صورت خود گردان و جدا از شبکه کار کند.

۳) ذخیره انرژی : شبکه‌های سنتی با این روند کار می کردند که توان زمانی تولید می شد که نیاز به مصرف بود. اما با توجه به ماهیت شبکه میکروگرید و تولید کننده های آن حضور ذخیره کننده های انرژی الزامی است که به این ترتیب نحوه کنترل و عملکرد آنها با توجه به میزان ذخیره موجود متفاوت خواهد بود.

۴) مدیریت بار[۱]: برای جبران عدم تطابق بین تولید و مصرف می توان از مدیریت بار و استراتژی‌های آن استفاده کرد.

۵) تطابق فصلی بین تولید و مصرف : با توجه به این که در فصول مختلف میزان مصرف و حتی تولید برخی از منابع انرژی نو متفاوت است پس میکروگرید باید قابلیت پاسخ دهی به مصرف را در تمام فصول داشته باشد. از طرفی دیگر با توجه به این که میکروگرید موظف به تأمین انرژی گرمایی برای برخی از بارها نیز هست شرایط دشوارتر خواهد شد [۱۰]،[۱۱].

۲-۵- وضعیت‌های بهره‌برداری از ریزشبکه

وضعیت‌های بهره‌برداری ریزشبکه، بسته به سطح فعل و انفعال بین یک ریزشبکه و شبکه‌ی اصلی می‌تواند به صورت مستقل یا متصل به شبکه طبقه‌بندی گردد. در وضعیت مستقل اتصالی بین ریزشبکه با شبکه‌ی اصلی وجود ندارد و ریزشبکه می‌بایست خود پایدار گردد. در این نوع از ریزشبکه‌ها نقش منابع انرژی پراکنده حیاتی است. اما در مقابل، ریزشبکه‌های متصل به شبکه، شبکه‌ی اصلی را به عنوان پشتیبان در اختیار دارند.

۲-۵-۱- ریزشبکه‌های متصل به شبکه

در این ساختار ریزشبکه می‌تواند برای جلوگیری از قطعی و همچنین مجتمع‌سازی تولید پراکنده به کار رود که مزایایی همچون کاهش تلفات سیستم، مدیریت تراکم و کاهش آلودگی گازهای گلخانه‌ای را فراهم می‌نماید. ساختار متصل به شبکه می‌تواند برای تأسیسات صنعتی یا تجاری از قبیل پردیس دانشگاه، نواحی صنعتی، مراکز خرید و ساختمان‌ها مناسب باشد. محرک‌های اصلی در این نمونه‌ها کیفیت توان، بهبود قابلیت اطمینان می‌باشد. مزایای دیگر شامل مدیریت تقاضا و امکان عملکرد مستقل از شبکه در پاسخ به قیمت‌های انرژی شبکه‌ی اصلی می‌باشد. از منظر شبکه‌ی اصلی، ریزشبکه‌های متصل به شبکه به صورت یک بار ثابت یا قابل کنترل می‌باشند.

[۱] Load Management

۲-۵-۲- ریزشبکه‌های مستقل

در این ساختار، ریزشبکه در حالت جدا از شبکه عمل کرده و نیازمندی‌های مشتریان محلی از قبیل تقاضای انرژی، کیفیت توان و قابلیت اطمینان را خود تأمین می‌نماید. این شیوه‌ی بهره‌برداری برای سیستم‌هایی که در مناطق دورافتاده قرار دارند و دسترسی به شبکه‌ی اصلی برای آن‌ها مشکل و یا پرهزینه می‌باشد، در نظر گرفته شده است. بسته به وضعیت جغرافیایی، ریزشبکه‌های مستقل می‌توانند انواع منابع تولید پراکنده از قبیل نیروگاه آبی کوچک، سلول‌های خورشیدی، توربین‌های بادی و حتی دیزل یا توربین‌های گاز با آلودگی پایین را به کار گیرند.

همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، از چالش‌های مرتبط با ریزشبکه‌ها بحث نحوه‌ی مدیریت و بهره‌برداری از آن‌هاست. در ادامه برخی از فعالیت‌ها و تحقیقات صورت گرفته در زمینه‌ی برنامه‌ریزی، مدیریت، بهره‌برداری و بهینه‌سازی عملکرد ریزشبکه‌ها بررسی می‌شوند.

۲-۶- بررسی تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی برنامه‌ریزی و بهره‌برداری ریزشبکه

با توجه به اهمیت روزافزون نصب و بهره‌برداری از منابع تولید پراکنده، تاکنون روش‌ها و مدل‌های بسیاری جهت برنامه‌ریزی منابع تولید پراکنده به‌منظور توسعه شبکه ارایه گردیده‌است. در هر مدل برنامه‌ریزی لازم است که سه مشخصه به‌طور واضح تعیین گردند. این سه ویژگی که گویای نحوه‌ی تعریف مسئله و حل آن می‌باشند، عبارتند از : فرمول‌بندی مسئله، عدم قطعیت‌های درنظر گرفته شده و مدل‌سازی آن و روش حل مسئله.

الف) فرمول‌بندی (مدل‌سازی) مسئله، اصلی‌ترین و مهمترین قسمت در یک مسئله‌ی بهینه‌سازی را تشکیل می‌دهد. این مورد شامل تعیین تابع و یا توابع هدف، قیود و متغیرهای مسئله می‌باشد که ساختار مسئله برنامه‌ریزی را تشکیل می‌شود. در این میان، تابع هدف با توجه به این‌که نوع نگاه برنامه‌ریز و تصمیم‌گیرنده را به یک مسئله‌ی خاص نشان می‌دهد از جایگاه و اهمیت خاصی برخوردار است. از این حیث مقالات ارایه‌شده را می‌توان به دو دسته مسایل تک‌هدفه و چندهدفه تقسیم‌بندی نمود.

ب) نحوه‌ی برخورد با پارامترهای نایقینی موجود در محیط تصمیم‌گیری گویای دقت و مقاوم‌پذیری نتایج به‌دست آمده می‌باشد. مسئله‌ی عدم‌قطعیت در هر فرایند برنامه‌ریزی از دو جنبه‌ی پارامترهای نایقینی و روش مطالعه عدم قطعیت‌ها قابل بررسی می‌باشد. با ظهور بازارهای رقابتی و به خاطر مشخصه‌های ذاتی شبکه‌ی توزیع، به‌طور معمول پارامترهای نایقینی بسیاری در حل مسئله‌ی برنامه‌ریزی منابع تولید پراکنده دخالت داشته که به‌طور نمونه می‌توان به مشخصه‌ی تولید توان منابع، هزینه تولید انرژی، هزینه‌ی سوخت یا گاز، قیود

محیطی(محدودیت تولید آلاینده‌ها)، تمایل به استفاده از منابع پاک (انرژی‌های تجدیدپذیر)، پیش‌بینی بار و رشد آن، پیش‌بینی قیمت انرژی الکتریکی در بازار، تغییرپذیری بار و برخی فاکتورهای اقتصادی نظیر نرخ تورم و بهره اشاره نمود. این پارامترها چنان به‌هم مرتبط هستند که روش‌های قطعی سنتی به‌راحتی می‌توانند منجر به نتایج غیر اقتصادی و غیر قابل قبول شوند.

پ) از لحاظ شیوه حل یک مسئله برنامه‌ریزی، روش‌های مرسوم را می‌توان به دو دسته کلی طبقه‌بندی نمود: روش‌ها و الگوریتم‌های ریاضی و روش‌های ابتکاری و جستجوی تصادفی. روش‌های ریاضی به‌خاطر اعمال تقریب در استفاده از متغیرهای گسسته به جای متغیرهای پیوسته و همچنین استفاده از شیب (مشتق) تابع هدف در حل مسایل غیرخطی عموماً متمایل به یافتن نقاط بهینه محلی می‌شوند. مسئله‌ی برنامه‌ریزی توسعه‌ی تولیدات پراکنده (همچون دیگر مسایل سیستم‌های قدرت) به علت شرایط فیزیکی سیستم مثل تعادل میان عرضه و تقاضا، محدودیت ولتاژ و توان عبوری از خطوط و بسیاری محدودیت‌های دیگر، دارای غیرخطی‌های بسیاری می‌باشد که استفاده از روش‌های ریاضیاتی سبب به‌دام‌افتادن آن در نقاط بهینه‌ی محلی خواهد شد. در حالی‌که روش‌های برنامه‌ریزی ابتکاری و جستجوی تصادفی (نظیر الگوریتم ژنتیک[۱]، روش جستجوی اجتماع ذرات[۲]، روش جستجوی تابو[۳] و الگوریتم مورچگان[۴]) تا حد زیادی قادر به گریز از افتادن در نقاط بهینه‌ی محلی می‌باشند.

با توجه به اهمیت بند (الف) یعنی نحوه‌ی مدل‌سازی و فرمول‌بندی مسئله، در ادامه از این دید مروری بر تاریخچه‌ی تحقیقات انجام‌گرفته در مبحث برنامه‌ریزی توسعه‌ی منابع تولید پراکنده صورت گرفته‌است. از آنجایی که تعداد مقاله‌های ارایه‌شده در این مبحث بسیار زیاد و گسترده می‌باشند، در هر بخش تنها به بررسی مقاله‌های اصلی که دارای مدل بهتر و مستدل‌تری می‌باشند، پرداخته شده‌است. اما قبل از آن مختصری به بررسی تاریخچه برنامه‌ریزی و بهره‌برداری ریزشبکه‌ها در مقالات و تحقیقات مختلف پرداخته می‌شود.

۲-۶-۱- تاریخچه برنامه‌ریزی و بهره‌برداری ریزشبکه

مفاهیم اولیه ریزشبکه در اواخر سال ۲۰۰۰ به عنوان راهی برای مجتمع سازی منابع تولید پراکنده و با بهره‌وری بالاتری نسبت به نیروگاه‌های معمولی مطرح گردید[۱۲]. پس از آن تحقیقات قابل توجهی در زمینه‌ی ریزشبکه‌ها در سطح آمریکا، اروپا و آسیا با پیاده‌سازی طرح‌های آزمایشی انجام شد. یکی از نمونه‌های عملی

[۱] Genetic Algorithm
[۲] Particle Swarm Optimization
[۳] Tabu Search
[۴] Ant Colony Algorithm

اولیه‌ی ریزشبکه در آوریل سال ۲۰۰۱ در جزیره‌ی یونانی Kythnos با شبکه‌ای از سلول‌های خورشیدی، دیزل-ژنراتور، باتری ذخیره و با بهره‌برداری مستقل از شبکه اصلی جدا شد که نقش مهمی در شکل‌گیری پروژه‌های ریزشبکه در اروپا داشت[۱۳].

در ادامه مفهوم دقیق‌تری از ریزشبکه ارائه گردید و بدین صورت که ریزشبکه را به صورت مجموعه‌ای از بارها، منابع تولید پراکنده و تجهیزات ذخیره معرفی نمود که می‌توانند به صورت یک بار قابل کنترل یا ژنراتور عمل کرده و توان و گرما را برای ناحیه‌ی محلی فراهم نمایند[۱۴]. از دیگر پروژه‌های مهم آزمایشی می‌توان ریزشبکه‌ی CERTS را نام برد که دارای قابلیت جدا شدن از شبکه و تغذیه‌ی تا زمان اتصال مجدد به شبکه‌ی اصلی می‌باشد و می‌تواند این قابلیت را برای مکان‌های کوچک بدون نیاز به کنترل‌کننده‌های سریع و گران فراهم نماید. در طی سال‌های ۲۰۰۳-۲۰۰۲ چندین ساختار از مدل ریزشبکه ارائه شد که دارای توان تولیدی و ساختارهای متفاوتی نیز بودند. در مدل‌های اولیه‌ی ارائه‌شده ساختار پایه، مباحث کنترلی، حفاظت و مدیریت انرژی ریزشبکه مطرح شده است. در سال ۲۰۰۴ بکارگیری زیرساخت‌های ارتباطی بین انواع مختلفی از منابع انرژی جهت مدیریت و بهره‌برداری ریزشبکه با هدف حداقل‌سازی مصرف سوخت، تأمین تقاضای انرژی محلی و توان ذخیره‌ی مشخص مطرح شده که پایه‌ی مطالعاتی بسیاری از مقالات بعدی گردید. در این تحقیق، مسئله‌ی بهینه‌سازی تک‌هدفه بوده و کاهش آلودگی در آن بررسی نشده است و تفاوت اصلی در قید تأمین تقاضای گرمایی است که معیار دیگری را به مسئله‌ی بهینه‌سازی می‌افزاید. همچنین چندین طرح اشتراک‌گذاری توان خطی، غیرخطی، پویا و بهینه بین دو ژنراتور نیز بررسی و مقایسه شده است. منابع تولیدی ریزشبکه‌ی مطالعه شده متشکل از دو توربین گاز پیستونی، یک واحد تولید همزمان برق و حرارت، یک سلول خورشیدی و یک توربین بادی می‌باشد[۱۵]. در سال ۲۰۰۵ یک روش منطقی پیکربندی بهینه‌ی ریزشبکه برای هزینه و مشروط بر قیود قابلیت اطمینان ارائه شد. این روش بر اساس برنامه‌ریزی پویا اتصالات بهینه بین منابع و نقاط بار و مکان آن‌ها را در یک شبکه‌ی ۲۲ شینه‌ی نمونه تعیین می‌نمود[۱۶]. در سال ۲۰۰۷ بهینه‌سازی بهره‌برداری ریزشبکه به صورت تک‌هدفه و با هدف کاهش هزینه ارائه شده است. هزینه‌ی بهره‌برداری آن شامل هزینه‌ی مصرف سوخت و هزینه‌ی تعمیرات و نگهداری و هزینه‌ی آلودگی واحدهای سوخت فسیلی می‌باشد. در این مقاله مسئله‌ی بهینه‌سازی بدون در نظر گرفتن تبادل توان با شبکه و برای دستیابی به تقاضای بار با رعایت محدودیت تولید منابع بررسی شده است. مشخصه‌ی این مقاله افزودن هزینه‌های آلودگی محیطی منابع ریزشبکه به تابع هزینه‌ی بهره‌برداری می‌باشد، اما مسئله‌ی بهینه‌سازی آن به صورت تک‌هدفه بررسی شده است[۱۷].

در همان سال مسئله‌ی مدیریت ریزشبکه با هدف حداقل‌سازی هزینه‌ی بهره‌برداری و کاهش سطح آلودگی با استفاده از بهینه‌سازی چندهدفه ارائه شده است. مدل ریزشبکه‌ی بررسی شده در این مرجع شامل دیزل‌ژنراتور،

پیل سوختی، میکروتوربین، سلول خورشیدی، توربین بادی و باتری ذخیره می‌باشد. برتری این مقاله نسبت به کار قبلی بررسی تبادل توان با شبکه‌ی اصلی و بررسی مسئله‌ی بهینه‌سازی به صورت چندهدفه می‌باشد. همچنین مسئله‌ی بهینه‌سازی کامل‌تر شده و هزینه‌ی راه‌اندازی، هزینه و درآمد حاصل از خرید و فروش توان با شبکه نیز به آن افزوده شده است[۱۸,۱۹]، که به جهت کامل بودن مسئله‌ی بهینه‌سازی و تنوع مسائل منابع تولیدی و ذخیره‌کننده استفاده شده در ریزشبکه، در این تحقیق به عنوان مقالات مرجع از آن‌ها استفاده شده است.

در این بخش، ادامه‌ی مقالات و تحقیقات موجود در زمینه‌ی برنامه‌ریزی تولیدات پراکنده را در زمینه‌ی نحوه‌ی مدل‌سازی و فرمول‌بندی مسئله مورد بررسی قرار می‌دهیم. از این حیث مسائل به دو نوع یک تابع هدفه و چند تابع هدفه تقسیم می‌شوند که هر کدام به تفکیک بررسی می‌شوند.

۲-۶-۲- مسایل با یک تابع هدف

استفاده از روش‌های بهینه‌سازی با یک تابع هدف دارای سابقه‌ی طولانی در حل بسیاری از مسایل برنامه‌ریزی سیستم‌های قدرت می‌باشند. بررسی روند تاریخی مقالات و تحقیقات ارایه‌شده نیز دلالت بر استفاده‌ی اولیه از این مدل به‌منظور برنامه‌ریزی توسعه‌ی سیستم‌های توزیع و منابع تولید پراکنده داشته اشت. در این راستا به‌طور معمول دو معیار اقتصادی و فنی به‌عنوان هدف مسئله‌ی برنامه‌ریزی موردتوجه محققین قرار گرفته‌است.

- **مدل برنامه‌ریزی مبتنی بر بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم**

قابلیت اطمینان همواره به عنوان یک شاخص و ملاک مدنظر برنامه‌ریزان شبکه بوده‌است. در محیط‌های رقابتی جدید هدف اصلی شرکت‌های برق افزایش کمیت خدمات‌رسانی از طریق بهبود وضعیت قابلیت اطمینان سیستم در کنار کم‌کردن هزینه‌های موردنیاز برای بهره‌برداری، تعمیر و احداث تجهیزات جدید می‌باشد. مرجع [۲۰] مدل قابلیت اطمینان منابع تولید پراکنده را جهت درنظرگرفتن در فرایند برنامه‌ریزی ارایه می‌دهد. در این مرجع، تأثیر دو طرح تغذیه شبکه‌ی توزیع موجود از طریق نصب یک فیدر دیگر و اضافه نمودن واحدهای تولید پراکنده در داخل شبکه بررسی و تحلیل شده‌است. شاخص قابلیت اطمینان مورد بررسی جهت مقایسه‌ی این دو گزینه، انرژی تغذیه‌نشده‌ی مورد انتظار شبکه می‌باشد.

مزیت‌های مدل:

۱) مقایسه‌ی شاخص انرژی تغذیه‌نشده سیستم در طرح‌های مختلف توسعه و تقویت شبکه.

معایب مدل:

۱) بررسی طرح‌های توسعه از پیش انتخاب‌شده.
۲) عدم قابلیت و جامع‌بودن مدل پیشنهادی در تعیین موقعیت مناسب نصب منابع تولید پراکنده جهت کاهش انرژی تغذیه‌نشده‌ی سیستم
۳) عدم مقایسه‌ی اقتصادی بین گزینه‌های (طرح‌های) مختلف.

- **مدل برنامه‌ریزی مبتنی بر تحلیل اقتصادی سود به هزینه**

در این مدل [۲۲] و [۲۱]، از یک روش ابتکاری مبتنی بر تحلیل سود به هزینه به‌منظور انتخاب طرح‌های بهینه‌ی منابع تولید پراکنده استفاده شده‌است. در این روش، ابتدا با معرفی یک تابع هدف به‌عنوان هزینه‌ی کل (شامل هزینه‌ی سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری از منابع تولید پراکنده، هزینه‌ی تلفات انرژی، هزینه‌ی خرید انرژی از شبکه و هزینه‌ی انرژی تغذیه‌نشده) و با درنظرگرفتن قیود فنی و اقتصادی مختلف، طرحی بهینه شامل ظرفیت و مکان منتخب منابع تولید پراکنده تعیین می‌گردد.
سپس ارزش (مناسب بودن) هر واحد تولید پراکنده از این طرح با استفاده از شاخص سود به هزینه بررسی می‌شود. بدین ترتیب واحدهایی که دارای شاخص سود به هزینه‌ی بزرگتر از یک باشد، مناسب و در غیر این صورت نامناسب تشخیص داده شده و با رعایت قیود فنی از طرح مذکور حذف خواهد شد. با توجه به عدم درنظرگرفتن درآمدهای منابع تولید پراکنده در این مدل، سود هر طرح به صورت سود حدی آن تعریف شده‌است. سود حدی هر واحد تولید پراکنده برابر با تفاضل میان هزینه‌ی کل طرح در دو حالت با و بدون واحد تولید موردنظر می‌باشد.

مزیت‌های مدل:

۱) درنظرگرفتن پارامترهای هزینه‌ای مختلف.
۲) درنظرگرفتن منحنی بار روزانه و محاسبه‌ی دقیق هزینه‌ی بهره‌برداری واحدهای تولید پراکنده در این بازه.
۳) پیاده‌سازی تحلیل سود به هزینه در مدل برنامه‌ریزی.

معایب مدل:

۱) درنظرگرفتن یک افق بلندمدت برنامه‌ریزی ۳۰ ساله بدون درنظرگرفتن عدم قطعیت‌های بار و قیمت انرژی.
۲) محاسبه‌ی شاخص‌های فنی و توابع هزینه در انتهای دوره‌ی برنامه‌ریزی و عدم درنظرگرفتن شرایط فعلی سیستم.

۳) محاسبه‌ی غیردقیق هزینه‌های بهره‌برداری و متغیر در طول دوره‌ی برنامه‌ریزی(۳۰ سال).

- **مدل برنامه‌ریزی مبتنی بر تبدیل و درنظرگرفتن مشخصه‌های فنی در قالب هزینه**

در برخی مدل‌ها، مشخصه‌های فنی نیز با تبدیل به کمیت‌های هزینه در قالب یک تابع هزینه معرفی گردیده‌اند. مدل برنامه‌ریزی ارایه شده در [۲۳]، تمام موضوعات دارای اهمیت برای شخص برنامه‌ریز از قبیل قابلیت اطمینان، تلفات توان و کیفیت توان را با تبدیل به هزینه همراه با هزینه‌ی سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری طرح کمینه نمود. در این روش، علاوه بر گزینه‌ی استفاده از منابع تولید پراکنده، گزینه‌های دیگری نظیر توسعه‌ی ظرفیت خطوط و پست‌های تغذیه، مدیریت سمت تقاضا و اتوماسیون توزیع نیز درنظرگرفته شده‌است. با محاسبه‌ی حداکثر هزینه در حالت پایه‌ی سیستم (عدم استفاده از گزینه‌های سرمایه‌گذاری) در طی دوره‌ی برنامه‌ریزی، در هر زمان و سالی که حداکثر هزینه‌ی سیستم در حالت پایه از هزینه‌ی سرمایه‌گذاری یکی از گزینه‌ها بیشتر شود، زمان و گزینه‌ی مناسب جهت انجام سرمایه‌گذاری تعیین می‌گردد.

مزیت‌های مدل:

۱) درنظرگرفتن چندین گزینه در فرایند برنامه‌ریزی توسعه‌ی شبکه‌ی توزیع.

۲) درنظرگرفتن شاخص‌های فنی مختلف در قالب تابع هزینه.

۳) تعیین زمان مناسب جهت اعمال گزینه‌ی موردنظر.

معایب مدل:

۱) درنظرگرفتن یک هزینه‌ی ثابت برای هر گزینه در طول دوره‌ی برنامه‌ریزی.

۲) معلوم فرض نمودن ظرفیت منابع تولید پراکنده.

۳) تقریبی بودن مدل مکان‌یابی منابع تولید پراکنده (عدم درنظرگرفتن قیود فنی جهت مکان‌یابی).

- **مدل مبتنی بر بیشینه (حداکثر) نمودن شاخص رفاه اجتماعی**

در این مدل [۲۵] و [۲۴]، از روش پخش بار بهینه و شاخص رفاه اجتماعی به جای هزینه جهت تعیین ظرفیت و مکان منابع تولید پراکنده استفاده شده‌است. در این مدل فرض شده که منابع تولید پراکنده، قابلیت شرکت در بازار عمده‌فروشی را داشته و مکان‌یابی آن‌ها بر اساس قیمت حدی محلی انرژی الکتریکی صورت می‌گیرد. میزان پرداخت مشترکین در هر شین به صورت حاصل‌ضرب قیمت حدی محلی و مقدار توان الکتریکی آن شین به عنوان معیاری دیگر جهت رتبه‌بندی نقاط منتخب جهت نصب منابع تولید پراکنده استفاده می‌شود.

معایب مدل: