"لوگوی دانشگاه"

دانشگاه .....

سمینار رشته برق-گرایش قدرت

ریزشبکه‌های هیبرید و متغیرهای بهینه‌سازی در آن

دانشجو: .....

استاد: .....

تاریخ

بسم الله الرحمن الرحیم

چکیده

نفوذ بالای منابع انرژی گسترده باعث به وجود آمدن تصمیم‌گیرنده‌های جدیدی در سیستم قدرت و تغییر فضای تصمیم‌گیری شده است. یکپارچه کردن این منابع در قالب مفهومی به نام ریز شبکه‌ها باعث بهره‌برداری مناسب از این منابع شده است. بهره‌برداری مناسب از ریزشبکه‌ها نیازمند ارائه مدل‌های مناسب بهینه‌سازی است که هم جامع بوده و همه متغیرهای بهینه‌سازی را در نظر گرفته و هم از نظر پیاده‌سازی نیز با چالش مواجه نباشد. در این تحقیق، ریزشبکه هیبرید به عنوان یک مفهوم جدید معرفی شده و متغیرهای بهینه‌سازی در آن و نیز روش‌های مورد استفاده برای حل مسائل بهینه‌سازی ارائه خواهد شد. مروری نیز بر روش‌های مورد استفاده در مقالات اخیر صورت گرفته و توابع هدف بهینه‌سازی و الگوریتم‌های مورد استفاده برای حل مسائل به صورت خلاصه بررسی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: ریزشبکه هیبرید، منابع تولید پراکنده، متغیر بهینه‌سازی، الگوریتم حل مسئله

فهرست عناوین

صفحه

۱ مقدمه ۱

۱.۱ مقدمه ۱

۲.۱ ضرورت انجام تحقیق ۳

۳.۱ ساختار تحقیق ۴

۲ ریزشبکه‌های هیبرید ۵

۱.۲ مقدمه ۵

۲.۲ مفهوم ریزشبکه و متغیرهای آن ۵

۳.۲ مزیت ریزشبکه ۸

۱.۳.۲ یکپارچه‌سازی ریزشبکه با سیستم توزیع ۹

۲.۳.۲ مودهای عملکرد ریزشبکه ۱۰

۴.۲ جمع‌بندی ۱۱

۳ پیشینه مطالعاتی ۱۲

۱.۳ مقدمه ۱۲

۲.۳ مروری بر مطالعات ۱۳

۳.۳ جمع‌بندی ۲۸

۴ جمع‌بندی و ارائه پیشنهادها ۲۹

۱.۴ جمع‌بندی ۲۹

۲.۴ پیشنهادها ۳۰

مراجع ۳۱

۱ مقدمه

۱.۱ مقدمه

با پیشرفت جوامع بشری نیاز به انرژی افزایش چشم‌گیری یافته است. این نیاز جوامع بشری را به سمت منابعی جدید و پربازده‌تر سوق می‌دهد. در ضمن صنعتی شدن و افزایش مصرف خانگی منجر به افزایش غیرقابل‌پیش‌بینی تقاضا برای انرژی برق شده است. همه این موارد باعث تولید روزافزون گازهای آلوده‌کننده محیط‌زیست می‌شوند.

منابع انرژی تجدید پذیر در دهه‌های اخیر با کاهش ذخایر سوخت‌های فسیلی و با هدف تولید انرژی پاک، بسیار مورد توجه کشورهای صنعتی قرار گرفته است. این امر موجب پیشرفت‌های بسیاری در بهره‌برداری از این منابع گردیده است. اما در مقابل، منابع انرژی تجدید پذیر دارای رفتاری متغیر می‌باشند و در نتیجه نمی‌توان تولید این واحدها را به درستی پیش‌بینی کرد. به منظور افزایش قابلیت اطمینان سیستم، به‌کارگیری از دیزل ژنراتورها برای پاسخ‌گویی به تقاضای بار در سیستم‌های مستقل از شبکه به طور گسترده‌ای رایج می‌باشد. اما خطر کمبود و پایان‌پذیری منابع انرژی‌های فسیلی و حاد شدن مسائل زیست‌محیطی به دلیل افزایش غیرطبیعی انواع مختلف ترکیبات زیان‌آور از جمله گازهای گلخانه‌ای نیز از دلایل بالا رفتن انگیزه کشورها در استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر می‌باشد.

اثرات تولید پراکنده روی شبکه برق از جهات مختلف قابل‌بررسی است. عمده تأثیرات کمی و کیفی ناشی از اضافه کردن واحدهای تولید پراکنده به سیستم قدرت روی سیستم توزیع مشاهده می‌گردد [۱]. یکی از مشکلات قابل‌توجه در شبکه‌های توزیع، مسئله نامناسب بودن پروفیل ولتاژ است. تأثیر واحد تولید پراکنده روی تنظیم ولتاژ باس‌ها می‌تواند مثبت و یا منفی باشد و این امر بستگی به مشخصه‌های سیستم توزیع، مشخصات واحدهای تولید پراکنده و نیز مکان نصب آن‌ها دارد. از آنجایی که ولتاژ یکی از مهم‌ترین معیارها از نقطه‌نظر کیفیت توان در ارائه خدمات توسط شرکت‌های برق می‌باشد، بنابراین در سال‌های اخیر با حضور واحدهای تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع، توجه زیادی به بررسی اثرات این واحدها روی پروفیل ولتاژ صورت گرفته است.

نامتعادلی ولتاژ یکی دیگر از موضوعات مهم در زمینه کیفیت توان در شبکه‌های توزیع است. استفاده از واحدهای تولید پراکنده اگر به تعداد زیاد و بدون مطالعه صورت گیرد، از جمله عواملی است که می‌تواند باعث بروز نامتعادلی در شبکه شود، اما در مقابل، با جایابی مناسب چند واحد تولید پراکنده و تعیین ظرفیت بهینه تولید برای هر یک از آن‌ها، علاوه بر تأمین توان مورد نیاز مصرف‌کننده، نامتعادلی شبکه نیز تا کاهش می‌یابد.

افزودن تولید پراکنده (DG[1]) می‌تواند سبب کاهش خاموشی ناشی از بروز خطا در شبکه اصلی گردد که این امر خود به افزایش قابلیت اطمینان سیستم کمک می‌کند. در حالت کلی DG می‌تواند به طرق مختلف قابلیت اطمینان سیستم قدرت را بهبود بخشد [۱و۲]:

- اضافه کردن ظرفیت در سمت بار جهت تغذیه پیوسته بار و یا ایجاد امکان تغذیه پشتیبان در مواقع قطعی
- بالا بردن میزان رزرو سیستم
- رفع گرفتگی خطوط انتقال و توزیع
- کمک کردن به سیستم در هنگام تعمیر و نگهداری بخش‌های مختلف و نیز عملیات بازیابی سیستم
- بهبود پروفیل ولتاژ

با این حال ممکن است اضافه کردن DG به شبکه به دلیل جایابی غلط و یا بیشتر بودن ظرفیت DG از حداکثر توان قابل تزریق به باس بارها، در بعضی از شرایط روی قابلیت اطمینان اثر منفی نیز داشته باشد.

یک فاکتور مهم دیگر در شبکه، تلفات شبکه است. برای بررسی میزان تغییرات تلفات شبکه توزیع در صورت اتصال منابع تولید پراکنده، ابتدا بایستی محاسبات پخش بار مربوط به شبکه توزیع انجام شود. هدف از بررسی بخش بار در شبکه توزیع دارای منابع تولید پراکنده، بررسی ولتاژ در باس‌ها و محل‌های اتصال است. بررسی پخش بار در سیستم توزیع با حضور منابع تولید پراکنده نشان می‌دهد که اضافه کردن این واحدها باعث افزایش ولتاژ در باس‌ها و محل‌های اتصال می‌شود که میزان این افزایش ولتاژ به ضریب قدرت واحد DG اضافه شده بستگی دارد. همچنین این بررسی‌ها نشان می‌دهد که تلفات شبکه

[1] Distributed Generation

توزیع دارای واحدهای تولید پراکنده در مقایسه با سیستم توزیع بدون چنین منابعی، کاهش خواهد یافت [۳].

یک عامل مؤثر دیگر که ناشی از بهره‌برداری از واحدهای تولید پراکنده در سیستم قدرت می‌باشد، کاهش قابل‌توجه اثرات زیست‌محیطی ناشی از واحدهای تولیدی سنتی است. تولید پراکنده می‌تواند از تکنولوژی‌هایی برای تولید انرژی الکتریکی بهره ببرد که نسبت به روش‌های متداول، کمترین میزان انتشار گازهای سمی و آلاینده را به همراه دارند. در حالی که مزارع بادی و یا سیستم‌های فتوولتائیک تقریباً هیچ خروجی آلاینده‌ای برای محیط ندارند.

۲.۱ ضرورت انجام تحقیق

مدیریت بهینه‌ی منابع انرژی در شبکه‌ی توزیع یکی از اصلی‌ترین مباحث حال حاضر در طراحی و بهره‌برداری بهینه از این شبکه‌هاست که هدف نهایی آن تعیین ترکیبی بهینه از توان خروجی مولدها به نحوی است که بار مورد تقاضا در کمترین هزینه بهره‌برداری تأمین شده و قیدهای برابری و نابرابری حاکم بر سیستم برآورده گردد. این مسئله همان پخش بار بهینه است که با کمک روش‌های مرسوم نظیر روش نیوتن-رافسون حل می‌شود. اما با اضافه شدن واحدهای تولید پراکنده به شبکه، عوامل مختلفی در شبکه توزیع تغییر خواهند کرد، از این رو تعیین ترکیب و ظرفیت بهینه واحدهای تولیدی تحت شرایط جدید به‌گونه‌ای که کمترین هزینه و بیشترین قابلیت اطمینان را در پی داشته باشد، از اهمیت بالایی برخوردار است. این مسئله به کمک روش‌های پخش بار مرسوم قابل‌حل نمی‌باشد به این خاطر که شاخص‌های شبکه در عین وابستگی، مستقل از هم تغییر خواهند کرد، از این رو حل یک مسئله پخش بار واحد، پاسخ‌های بهینه را نتیجه نخواهد داد [۴]. بنابراین بهره‌گیری از روش‌های بهینه‌سازی و توابع هدف چندمنظوره در این بخش، مطرح می‌شود. پرسش اصلی در این پروژه تحقیقاتی این است که با اضافه شدن واحدهای تولید پراکنده مختلف به یک شبکه، هر یک از شاخص‌های عملکردی شبکه توزیع مانند پروفیل ولتاژ باس‌ها، شاخص‌های مختلف قابلیت اطمینان، شاخص‌های پایداری ولتاژ و تلفات شبکه چه تغییری کرده و چگونه می‌توان از این واحدها به بهترین شکل بهره‌برداری نمود به‌گونه‌ای که کمترین هزینه را بر شبکه تحمیل کرده و از دید مصرف‌کننده نیز بیشترین جذابیت را داشته باشد؟ منظور از بهره‌برداری بهینه از ریزشبکه ترکیبی، تعیین ظرفیت بهینه تولید هر یک از واحدهای تولیدی

۱. واحدهای تجدیدپذیر

۲. واحدهای مبتنی بر سوخت فسیلی

و نیز ظرفیت بهینه سیستم ذخیره‌سازی انرژی است. تابع هدف مورد نظر در این تحقیق، یک تابع هدف ترکیبی است که هم پارامتر اقتصادی و هم شاخص‌های فنی شبکه و قابلیت اطمینان شبکه را در نظر می‌گیرد. علاوه بر این، شاخصی تحت عنوان شاخص جذابیت از دید مصرف‌کننده نیز تعریف می‌شود که بر اساس آن، ظرفیت‌های بهینه واحدهای تولیدی و سیستم ذخیره‌ساز مشخص می‌شود. به عبارت دیگر، ترکیبی از منابع تولیدی (به معنای میزان تولید) که دارای بیشترین جذابیت از سوی مصرف‌کننده باشد، به عنوان ترکیب بهینه در ریزشبکه مورد نظر انتخاب می‌گردد. تابع هدف نهایی از جمع شاخص جذابیت و شاخص‌های فنی شبکه یعنی شاخص‌های قابلیت اطمینان، تعریف می‌شود. این تابع می‌بایست به کمک روش‌های مرسوم، بهینه‌سازی شده و ظرفیت بهینه واحدهای تولیدی در شبکه و نیز سیستم ذخیره‌سازی انرژی مشخص گردد.

۳.۱ ساختار تحقیق

در فصل دوم این تحقیق، توضیح مختصری در مورد ساختار ریزشبکه و اجزای تشکیل دهنده و نیز متغیرهای بهینه‌سازی در آن ارائه می‌گردد. فصل سوم به مروری بر پیشینه مطالعاتی و روش‌های ارائه شده به منظور حل مسائل بهینه‌سازی در کاربردهای ریزشبکه خواهد پرداخت. فصل چهارم نیز جمع‌بندی موضوع و نیز ارائه پیشنهادهایی جهت تحقیقات آتی را در بر خواهد داشت.

۲ ریزشبکه‌های هیبرید

۱.۲ مقدمه

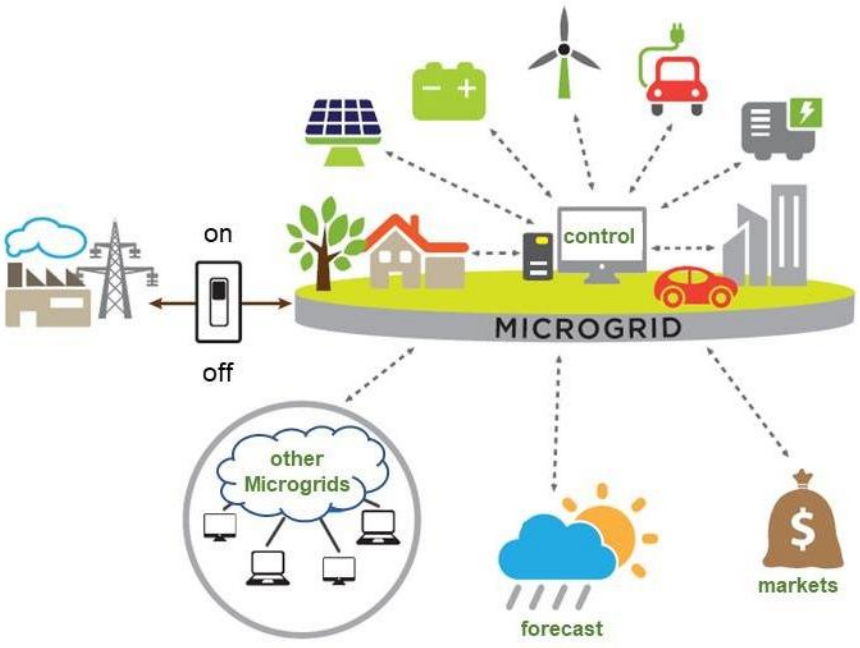
این فصل به بحث در مورد مفاهیم اصلی و ساختارهای معماری ریزشبکه‌ها و متغیرهای بهینه‌سازی در آن می‌پردازد. امروزه، فناوری تولید پراکنده بیش‌ازپیش تکامل یافته است و به‌عنوان یکی از عناصر کلیدی شبکه توزیع اکتیو به طور هماهنگ با شبکه‌های قدرت کنونی، فعالیت می‌کند. علاوه بر این، مشکلات مربوط به منابع طبیعی رو به اتمام، نوسانات قیمت‌های سوخت فسیلی و امنیت برق، دولت‌ها را بر آن داشته است که در سرتاسر دنیا، نگرش‌های مثبتی نسبت به توسعه ریزشبکه‌های در حال ظهور، داشته باشند. ریزشبکه‌های آینده امکان نفوذ بالای منابع تجدیدپذیر را فراهم کرده و به لطف فناوری‌های ارتباطی و اطلاعاتی پیشرفته، به بخشی جدایی‌ناپذیر از شبکه‌های هوشمند تبدیل خواهند شد. بنا بر نظر محققین و مهندسین، هیچ شکی نیست که ریزشبکه‌ها نقش فوق‌العاده مهمی در سیستم‌های انرژی و قدرت پایدار آینده ایفا خواهند کرد.

۲.۲ مفهوم ریزشبکه و متغیرهای آن

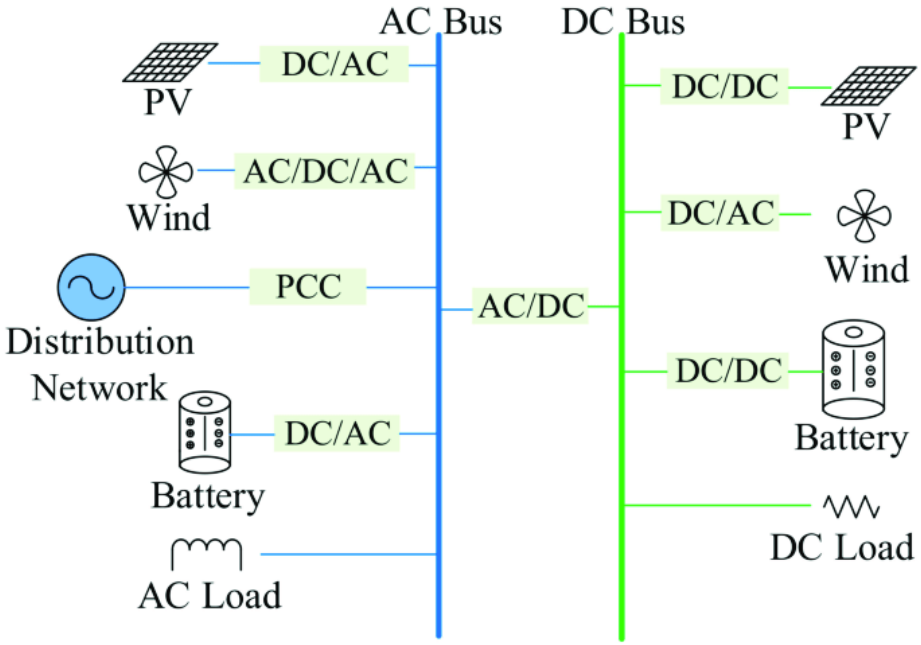
تولید برق در شبکه قدرت سنتی به شدت متمرکز بوده و انرژی و توان به صورت تک جهته از ژنراتورهای سنکرون بزرگ از طریق خطوط انتقال/توزیع به مصرف‌کننده نهایی می‌رسد؛ اما مشکلات فنی مرتبط با شبکه‌های برق سنتی و نیز مسائل زیست‌محیطی ناشی از استفاده از سوخت‌های فسیلی، عاملی برای تحقیق و توسعه فناوری‌های جدید سیستم قدرت بوده است. با ظهور واحدهای منبع انرژی پراکنده (DER) مثلاً بادی، فتوولتائیک (PV)، باتری، زیست‌توده، میکروتوربین، پیل سوختی و غیره، فناوری‌های ریزشبکه توجه زیادی را به‌عنوان ابزارهایی مؤثری به‌منظور یکپارچه‌سازی واحدهای DER در سیستم‌های قدرت، به خود جلب کرده است؛ اما هیچ تعریف روشنی از ریزشبکه وجود نداشته و مفهوم آن در کشورها و نواحی مختلف، متفاوت است. بر اساس تعریف برنامه فناوری اروپا در زمینه ریزشبکه‌ها [۱]، یک ریزشبکه در واقع الگویی است که یکپارچه‌سازی ژنراتورهای پراکنده (DG)، سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی (ESS) و بارها را با هدف تضمین پایداری شبکه قدرت و تولید برق مقرون‌به‌صرفه و

قابل اطمینان، تسهیل می‌کند. شکل (۲-۱) یک ساختار نمونه از ریزشبکه را نشان می‌دهد که شامل DG هایی، نظیر واحد تولید هم‌زمان برق و حرارت (CHP)، میکروتوربین‌ها، سیستم‌های PV، سیستم‌های بادی، پیل‌های سوختی و یک سیستم ذخیره انرژی پراکنده (DES) نظیر بانک‌های باتری، ابرخازن‌ها، چرخ لنگر، خودروهای برقی، بارهای انعطاف‌پذیر و تجهیزات کنترلی، می‌باشد.

ریزشبکه‌ها را می‌توان به انواع AC و DC تقسیم‌بندی کرد. ریزشبکه‌های AC را می‌توان در شبکه‌های قدرت AC ی موجود ترکیب نمود، اما این کار مستلزم استراتژی‌های کنترلی کاملاً پیچیده برای پروسه سنکرون‌سازی به‌منظور حفظ پایداری سیستم است. از سوی دیگر، ریزشبکه‌های DC سیستم‌های حفاظتی بهتری در مقابل اتصال کوتاه داشته و به میزان قابل‌توجهی بازدهی را افزایش می‌دهند. علاوه بر این، برخی از واحدهای سنکرون (مثلاً ژنراتورهای دیزل) و برخی از واحدهای غیرسنکرون (مثلاً ماشین‌های میکروتوربین)، معمولاً در یک سیستم ریزشبکه متصل می‌شوند. در نتیجه نفوذ بالای بارهای DC (به خصوص خودروهای برقی هیبریدی پلاگین)، ریزشبکه‌های هیبریدی AC/DC سنکرون-غیرسنکرون که از طریق چندین مبدل دو جهته به هم متصل هستند، بیش‌ازپیش مورد توجه قرار گرفته‌اند. شکل (۲-۲) نمونه‌ای از ساختار یک ریزشبکه هیبریدی AC/DC را نشان می‌دهد که شامل تجهیزات ارتباطی الکترونیک قدرت و چندین واحد DER است.



شکل ۲-۱. ساختار نمونه یک ریزشبکه [۱]



شکل ۲-۲. ساختار نمونه یک ریزشبکه هیبرید [۱]

اگرچه بیشتر واحدهای DG از پایداری بالایی برخوردار هستند، اما سطح نفوذ بالای منابع انرژی تجدیدپذیر (مثلاً بادی، PV)، در ریزشبکه‌ها می‌تواند حفظ پایداری شبکه و تحویل توان قابل‌اطمینان را به خاطر تناوبی بودن و مشکلات نوسان توان، دچار چالش کند. در چنین مواردی، یک DES نقش مهمی را در بهبود پایداری، قابلیت اطمینان و تضمین امنیت شبکه ایفا خواهد کرد. واحدهای DES را نه تنها می‌توان برای تسطیح نوسانات خروجی واحدهای DG به کار برد، بلکه می‌توان از آن‌ها برای عملکرد پایدار ریزشبکه‌ها نیز استفاده کرد. پیشرفت‌های صورت گرفته در علم مواد و فناوری‌های الکترونیک قدرت، بهره‌گیری مؤثر از تجهیزات DES مدرن را تسهیل کرده است.

توسعه ریزشبکه‌ها، مزایای زیادی را به ارمغان آورده اما در عین حال، چالش‌های قابل‌توجهی را نیز به وجود آورده است. برای مثال، مشکلات مربوط به اختلال ولتاژ و فرکانس در شرایط آب‌وهوایی پیش‌بینی نشده تحت شرایطی که انرژی تجدیدپذیر در ریزشبکه ادغام شده است، پایش و مدیریت تولید توان و بارهای محلی، طراحی تجهیزات حفاظتی به‌منظور کمک به جریان دو جهته توان و غیره می‌بایست تحقیقات بیشتری برای حل این مشکلات صورت گیرد.

۳.۲ مزیت ریزشبکه

همان‌طور که اشاره شد، ریزشبکه‌ها یک روش مؤثر برای یکپارچه‌سازی DER های مقیاس کوچک در مجاورت بار در شبکه‌های توزیع ولتاژ پایین است. ریزشبکه‌ها قادر هستند توانی با قابلیت اطمینان بالا را برای مصرف‌کننده‌های مختلف، هم به صورت تجاری و هم مسکونی، نظیر مدارس، بیمارستان‌ها، انبارها، مراکز خرید، پردیس‌های دانشگاهی، واحدهای نظامی، مراکز داده و غیره، تأمین نمایند. ایستگاه‌های تحقیقاتی مختلف (ایستگاه‌های قطب شمال و یا ایستگاه‌های فضایی) نیز می‌توانند از این فناوری برای افزایش بهره‌وری خود استفاده نمایند، به این دلیل که این فناوری تأمین توان را در دو جهت انجام می‌دهد. همچنین این فناوری برای مکان‌های دور که از نظر دسترسی شبکه برق با محدودیت مواجه است، مناسب خواهد بود. علاوه بر این، این فناوری برای مصرف‌کننده‌هایی که با قطعی‌های مکرر برق (برای مثال، نواحی طوفان‌خیز) مواجه هستند، مناسب است. فناوری ریزشبکه را می‌توان در مناطقی که با نوسانات بالا و خاموشی‌های متعدد در سیستم‌های توزیع و انتقال مواجه هستند (نظیر شمال شرقی آمریکا)، به کار برد.

مزایای زیادی در نتیجه پیاده‌سازی ریزشبکه‌ها حاصل می‌شود. این سیستم‌ها به یکپارچه‌سازی تولید پراکنده، به خصوص منابع انرژی تجدیدپذیر نظیر بادی و خورشیدی، کمک می‌کنند. در نتیجه وابستگی به سوخت‌های فسیلی به‌عنوان منبع تولید برق و به‌ویژه انتشار گازهای آلاینده کربنی محدود شده و از این رو پایداری انرژی افزایش می‌یابد. همچنین این فناوری استفاده از ژنراتورهای پیشرفته را که از فناوری‌های تولید هم‌زمان برق و حرارت استفاده می‌کنند، تسهیل خواهد کرد. این فناوری‌ها سبب افزایش کیفیت توان در سمت مصرف‌کننده خواهد شد. با کنترل مناسب، ریزشبکه‌ها باعث افزایش قابلیت اطمینان برق و نیز کاهش احتمال بروز خاموشی و کوتاه‌تر شدن زمان خاموشی می‌شوند. از دید شبکه، ریزشبکه یک بار قابل‌کنترل است که می‌تواند در تسطیح بار پیک، مشارکت داشته باشد. این همکاری با کاهش مصرف خود ریزشبکه از طریق ریزش بارهای غیرضروری و تحویل توان بیشتر به شبکه اصلی برق، صورت می‌گیرد. ریزشبکه‌ها می‌توانند با پیاده‌سازی تولیدات پراکنده واقع در سمت تقاضا در کاهش تلفات سیستم توزیع مشارکت داشته و لزوم استفاده از خطوط انتقال را از بین برده و ساخت خطوط انتقال جدید را در آینده به تعویق بیندازند. این مسئله همچنین سبب افزایش بازدهی انرژی می‌شود. با استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، نظیر بادی و خورشیدی، هزینه‌های سوخت نیز کاهش می‌یابد. همچنین فرصت‌های اقتصادی متعددی برای ریزشبکه‌ها به وجود می‌آید تا بتوانند در

بازارهای برق محلی نیز مشارکت داشته باشند. همچنین ریزشبکه در صورت پیاده‌سازی مناسب، سرویس‌های جانبی متعددی را برای شبکه اصلی ارائه خواهد کرد. ریزشبکه‌ها قادر هستند از طریق تنظیم فرکانس، راه‌اندازی مجدد سیستم، بازیابی سیستم و سرویس‌های متعادل‌سازی بار، تداوم تأمین توان اکتیو را تضمین نمایند. ریزشبکه‌ها را می‌توان به منظور تأمین این سرویس‌ها به کمک هزینه‌های ثابت، هزینه‌های مربوط به قابلیت دسترسی خدمات، هزینه‌های مبتنی بر فرکانس مورد استفاده و یا هزینه‌های مبتنی بر هزینه فرصت از دست رفته، کنترل نمود. مورد آخر در واقع درآمدی است که ریزشبکه می‌توانست داشته باشد اما به دلیل تأمین برق شبکه اصلی حتی در شرایط غیرضروری، قادر به تولید این درآمد نیست [۲].

۱.۳.۲ یکپارچه‌سازی ریزشبکه با سیستم توزیع

DG های مرسوم معمولاً به صورت مستقیم به شبکه‌های توزیع در سطوح ولتاژ متوسط و یا ولتاژ بالا متصل می‌شوند؛ اما ژنراتورهای موجود در ریزشبکه‌ها (مثلاً PV، توربین بادی، پیل‌های سوختی) دارای ظرفیت نصب نسبتاً پایینی هستند (مثلاً در محدوده چند هزار kW). این ژنراتورها می‌بایست در سطح ولتاژ پایین به شبکه توزیع متصل شوند. در سیستم‌های قدرت سنتی، بارها از نوع بارهای پسیو بوده و توان را تنها از پست‌های توزیع به مصرف‌کننده می‌رسانند، در حالی که در مسیر عکس، توانی جاری نمی‌شود؛ اما در ریزشبکه‌ها توان را می‌توان به صورت دو جهته بین ریزشبکه‌ها و شبکه اصلی، انتقال داد.

در ایالات‌متحده، کمیسیون تنظیمی انرژی فدرال (FERC) وظیفه نظارت بر تجهیزات تولید، توزیع و انتقال برق را بر عهده دارد. FERC روش‌های مختلفی را برای ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر به‌منظور تسهیل تجدید ساختار بازار برق، ارائه کرده است.

پیش‌نیازهای فنی برای اتصال شبکه توزیع در استاندارد1547 IEEE «استاندارد IEEE برای اتصال منابع پراکنده به سیستم‌های برق» ارائه شده است. استاندارد1547 IEEE برای همه فناوری‌های منابع تولید پراکنده با ظرفیت کل 10 MVA و یا کمتر از آن در نقطه اتصال مشترک (PCC) معتبر است.

مؤلفه‌های قابل‌کنترل در یک ریزشبکه شامل منابع تجدیدپذیر، منابع قابل‌توزیع، ESS و مدیریت سمت تقاضا می‌باشد. همه این موارد با هم در جهت بیشینه‌سازی سود کل ریزشبکه، به کار می‌روند.

الگوی کنترل بار در ریزشبکه را می‌توان هم در مود غیر خودکار و هم در مود خودکار به کار برد. در مود غیر خودکار، مصرف‌کننده‌ها قادر هستند قیمت برق را دریافت کرده و از طریق کنترل‌کننده‌های راه دور،

بارها را به ریزشبکه متصل و یا از آن قطع نمایند. در مود خودکار، کنترل قطع و وصل توسط خود بارها و از طریق سیگنال‌های کنترلی دریافتی و یا برنامه‌ریزی بارها، صورت می‌گیرد.

اهداف بهره‌برداری در یک ریزشبکه به دلخواه صاحبان آن است. صاحبان این سیستم‌ها می‌توانند اپراتورهای ریزشبکه، صاحبان واحدهای تولید پراکنده، اپراتورهای واحدهای تولید پراکنده، مصرف‌کننده‌ها و غیره باشند. به‌منظور بیشینه‌سازی سود اقتصادی، معمولاً کمینه‌سازی هزینه‌های کل ریزشبکه با در نظر گرفتن تأثیر ریزشبکه روی شبکه برق اصلی و محیط‌زیست، به‌عنوان هدف در نظر گرفته می‌شود. به‌منظور بیشینه‌سازی مزایای فنی، معمولاً حداقل سازی تلفات توان کل و نوسانات ولتاژ توسط اکثر اپراتورهای سیستم به‌عنوان هدف در نظر گرفته می‌شود. به‌منظور بیشینه‌سازی مزایای زیست‌محیطی، معمولاً حداقل سازی انتشار آلاینده‌ها از DG به‌منظور رعایت قوانین زیست‌محیطی، به‌عنوان هدف انتخاب می‌شود. هدف نهایی، ترکیب همه فاکتورهای اقتصادی، فنی و زیست‌محیطی به منظور دست‌یابی به حداکثر سود همه‌جانبه است.

۲.۳.۲ مودهای عملکرد ریزشبکه

مدل بازار ریزشبکه دربرگیرنده مصرف‌کننده‌ها، مالکان واحدهای تولید پراکنده، تنظیم‌کننده‌های بازار، تولیدکننده‌های خُرد، شرکت‌های سرویس‌دهنده انرژی (ESCO)، اپراتورهای سیستم توزیع (DSO) و اپراتورهای ریزشبکه می‌باشد. انگیزه اصلی استفاده از ریزشبکه را می‌توان از دید واحدهای تولید پراکنده و یا از دید مصرف‌کننده، مورد تحلیل قرار داد.

از دید واحدهای تولید پراکنده، از آنجایی که بیشتر دولت‌ها در سرتاسر دنیا مایل به توسعه انرژی‌های پایدار و پاک هستند، هیچ قانون محدودکننده‌ای برای کنترل میزان توان خروجی واحدهای انرژی تجدیدپذیر وجود ندارد. اپراتور سیستم توزیع وظیفه دارد تمام برق تولیدی از ریزشبکه را در صورتی که ادغام آن، روی عملکرد ایمن شبکه تأثیر منفی نداشته باشد، از آن دریافت کند [۳].

از دید مصرف‌کننده، پاسخ به تقاضا را می‌توان بر اساس تغییرات بار، دسته‌بندی کرد. روش پاسخ تقاضای اول، بر اساس قیمت و روش دوم بر اساس انگیزه است. در حالت اول، پاسخ تقاضا بر اساس قیمت لحظه‌ای، قیمت پیک بحرانی و نسبت‌های ToU (زمان استفاده) تعیین می‌شود. در حالت دوم، اپراتور برنامه می‌تواند بارهای مصرف‌کننده را بدون توجه به ثابت بودن و یا متغیر بودن قیمت برق، از راه دور قطع و وصل نماید. هدف این دو استراتژی پاسخ به تقاضا، کاهش اختلاف بین بار اوج و بار قعر است.

علاوه بر این، ریزشبکه سرویس‌های جانبی را بر اساس نیاز سیستم انتقال و یا DSO ارائه می‌دهد. هـدف اصلی، حفظ پایداری سیستم و نیز بهبود کیفیت توان است. سرویس‌های جانبی را نیز می‌توان بر اسـاس مود عملکرد ریزشبکه به دو دسته تقسیم نمود:

- مود متصل به شبکه

سرویس کنترل فرکانس، سرویس کنترل ولتاژ، سرویس کاهش تلفات شبکه و سرویس کیفیت توان

- مود جزیره‌ای

سرویس راه‌اندازی مجدد، سرویس کنترل فرکانس و سرویس کنترل ولتاژ.

۴.۲ جمع‌بندی

در این بخش، ساختار ریزشبکه هیبرید و نیز اجزای تشکیل دهنده و مودهای عملکرد آن تشریح گردید. در فصل بعد، مروری بر پیشینه مطالعاتی بر اساس مقالات اخیر ارائه خواهد شد.

۳ پیشینه مطالعاتی

۱.۳ مقدمه

در سال‌های اخیر، استفاده از منابع انرژی جایگزین نظیر باد، زیست‌توده، خورشید، آب و غیره گسترده‌تر شده است به خصوص به خاطر لزوم قابلیت اطمینان، کیفیت توان بالاتر، هزینه‌های کمتر، انعطاف‌پذیری بیشتر و اثرات زیست‌محیطی کمتر. از سوی دیگر، تولیدات پراکند (DG ها) نظیر PV، میکروتوربین‌ها، پیل‌های سوختی و تجهیزات ذخیره‌سازی انتظار می‌رود که نقشی مهم در آینده سیستم‌های تغذیه انرژی الکتریکی و اقتصاد بدون کربن، ایفا کنند. با این وجود، نفوذ بالای DG ها در شبکه چالش‌های جدیدی را از نظر امنیت و راندمان بهره‌برداری از سیستم قدرت به وجود آورده است. برخی از این چالش‌ها را می‌توان با ریزشبکه حل نمود که به عنوان یک مجموعه انبوه از DG ها، بارهای الکتریکی ارتباطات بین خود این اجزا با شبکه توزیع تعریف می‌شود. از این رو، طی سال‌های اخیر، روش‌های مختلفی با اهداف گوناگون به منظور مدیریت و کنترل عملکرد ریزشبکه‌ها با شرایط مختلف پیشنهاد شده است. از نقطه‌نظر اقتصادی، تولید پراکنده برق ناشی از استفاده از ریزشبکه‌ها می‌تواند مزایای زیادی در پی داشته باشد از جمله راندمان بالاتر، آلایندگی کمتر و تلفات پایین‌تر که با استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر به عنوان ژنراتورهای پراکنده شامل توربین‌های بادی و PV ها این امر شدنی خواهد بود. از سوی دیگر، به خاطر نگرانی‌های زیست‌محیطی و آلایندگی‌های ناشی از واحدهای سوخت فسیلی، دولت‌ها سرمایه‌گذاران را به نصب و استفاده بیشتر از منابع تجدیدپذیر برای تأمین تقاضای شبکه تشویق کرده‌اند. اگرچه، تعیین نوع منبع تجدیدپذیر مورد استفاده بر اساس شرایط جغرافیایی و روش‌های برنامه‌ریزی بهینه صورت می‌گیرد، اما برای مناطق شهری و روستایی که از شبکه اصلی ایزوله هستند، ترکیب چندین منبع تجدیدپذیر نظیر باد، تابش خورشید و غیره می‌تواند برای صاحبان شرکت‌های برق و مصرف‌کننده مزایای متعددی را از نقطه‌نظر (زیست‌محیطی و اقتصادی) نظیر هزینه کمتر انرژی، قابلیت اطمینان بالاتر در خدمات، اثرات زیست‌محیطی کمتر و کیفیت توان بالاتر ارائه دهد.

۲.۳ مروری بر مطالعات

همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و آلاینده‌های زیست‌محیطی در بسیاری از کارهای تحقیقاتی اشاره شده است که تمرکز آن‌ها روی استراتژی‌های مدیریتی است که به الگوریتم‌های بهینه‌سازی و روش‌های مؤثری نیاز دارند. در سال‌های اخیر، مطالعات متعددی برای یافتن راه‌کارهای بهینه برای MG ها از جنبه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی انجام شده است. واحدهای ذخیره‌سازی انرژی در کنار واحدهای تولید پراکنده برای افزایش قابلیت اطمینان بهره‌برداری از MG ها و نیز بهبود مسائل اقتصادی به کار می‌رود. استفاده از سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی (ESS[1] ها) زمانی بیشتر مورد توجه است که ریزشبکه به مود جزیره‌ای سوئیچ کند و یا در شرایطی کار کند که در آن مجموعه‌ای از عدم قطعیت‌ها در مورد RES[2] ها مطرح است. مطالعات زیادی روی بهینه‌سازی و مدیریت عملکرد سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر هیبرید تمرکز کرده‌اند. نویسندگان در [۵] یک پروسه بهینه‌سازی برای توزیع بهینه تولیدات پراکنده و سیستم‌های ذخیره انرژی در یک ریزشبکه جزیره‌ای با هدف مینیمم سازی هزینه‌های بهره‌برداری و به صورت هم‌زمان کاهش آلایندگی‌های زیست‌محیطی پیشنهاد کرده‌اند. در [۶] نویسندگان یک تابع بهینه‌سازی دو منظوره (ماکزیمم سازی سود و مینیمم سازی هزینه) را برای یک شرکت تولید برق با سیستم‌های یکپارچه بادی و سیستم انرژی هوای فشرده (CAES[3]) پیشنهاد کرده‌اند. آن‌ها همچنین اثرات در نظر گرفتن و یا در نظر نگرفتن هزینه‌های سرمایه‌گذاری را روی سودهای بهره‌برداری و هزینه‌های کلی پاسخ‌گویی بار مورد تحلیل قرار داده‌اند. از سوی دیگر، مدیریت عدم قطعیت‌هایی که ناشی از استفاده از تولیدات تجدیدپذیر و پیش‌بینی تقاضای بار است به عنوان هدف برای بهره‌برداری بهینه از منابع انرژی تجدیدپذیر هیبرید در نظر گرفته شده‌اند. نویسندگان در [۷] روش تخمین نقطه‌ای (PEM[4]) را برای بهینه‌سازی یک ریزشبکه با مدل‌سازی و اعمال عدم قطعیت‌های تولید توان تجدیدپذیر، تقاضای انرژی قیمت‌های بازار، اعمال کرده‌اند.

مدیریت انرژی در ریزشبکه‌ها در چندین مقاله اخیر مورد بررسی قرار گرفته است. عملکرد تجهیزات بر اساس پروفیل انرژی مشخص و با هدف مینیمم‌سازی هزینه‌های بهره‌برداری در [۸ تا ۱۱] برنامه‌ریزی شده است. Logenthiran و همکارانش یک سیستم چندعاملی را برای برنامه‌ریزی منابع انرژی سیستم قدرت با DER ها ارائه کرده و سه مرحله برای الگوریتم مورد نظر در سیستم پیاده‌سازی کرده‌اند [۸].

[1] Energy Storage System
[2] Renewable Energy Source
[3] Compressed Air Energy Storage
[4] Point Estimate Method

این مقاله با هدف برنامه‌ریزی هر ریزشبکه به صورت مستقل برای برآورده سازی تقاضای کل ارائه شده است. یک مدل دینامیکی برای مدیریت انرژی در ریزشبکه هیبرید از طریق مدل کنترل پیش‌بین (MPC[1]) توسط Dagdougui و همکارانش در [۹] ارائه شده است که منابع انرژی تجدیدپذیر مختلف را با هم ترکیب کرده و یک تجهیز ذخیره‌سازی نیز برای تأمین انرژی موردتقاضای بار به آن اضافه کرده است. یک روش برنامه‌ریزی خطی صحیح مختلف (MILP[2]) نیز در [۱۰] به منظور برنامه‌ریزی ریزشبکه متصل به شبکه اصلی با ویژگی‌های مختلف ارائه شده است. مقدار سود در این مقاله با حفظ تنوع تولید برق و برنامه‌ریزی تولید برق، ذخیره‌سازی و خرید از شبکه ملی و یا فروش به آن، ماکزیمم سازی شده است. Mohamed و Koivo در [۱۱] الگوریتم ژنتیک (GA[3]) را برای تعیین استراتژی بهره‌برداری بهینه و مینیمم‌سازی الگوی هزینه برای ریزشبکه در کاربردهای خانگی پیشنهاد کرده‌اند.

مدیریت انرژی شامل برنامه‌ریزی اهداف انرژی نیز در کنار برنامه‌ریزی منابع انرژی ذکر شده در بالا، مورد مطالعه قرار گرفته است. در [۱۲] عملکرد یک ریزشبکه شامل سیستم PV و یک ذخیره‌ساز باتری بر اساس مدیریت سمت تقاضای برق برای بهبود رفتار انرژی بر اساس رفتار استاندارد مصرف‌کننده، برنامه‌ریزی شده است. در تحقیق انجام شده توسط Kriett و Salani [۱۳]، هزینه بهره‌برداری از منابع برقی و حرارتی و تقاضا در یک ریزشبکه خانگی با مدل MILP کلی مینیمم سازی شده است. یک الگوی مبتنی بر MPC نیز برای برنامه‌ریزی توالی کنترلی پیشنهاد شده است.

اما، تنها جنبه‌های اقتصادی در تمامی تحقیقات قبلی در نظر گرفته شده است. از جنبه زیست‌محیطی، مدیریت سمت تقاضا برای ریزشبکه هیبرید توسط Finn و همکارانش در [۱۴] مورد بررسی قرار گرفته است که بر اساس مینیمم سازی هزینه تولید انرژی در واحدهای تجدیدپذیر و سیگنال‌های قیمت برق صورت گرفته است. سه هدف بهینه‌سازی مورد بررسی قرار گرفته است: مینیمم سازی هزینه، ماکزیممم سازی تولید سیستم بادی و تقاضا و مینیمم سازی انتشار کربن متناسب با تولید. اما، این اهداف به صورت جداگانه بهینه‌سازی شده‌اند. در [۱۵] سیکل‌های استفاده و باتری خودروهای برقی برنامه‌ریزی شده و اثر اجرای برنامه‌ریزی انعطاف‌پذیر روی سمت تقاضا مورد بررسی قرار گرفته است. یک مدل شبیه‌سازی برای رفتار مصرف خانگی به منظور بررسی اثر متقابل قیمت و سیگنال‌های Co_2 روی

[1] Model Predictive Control
[2] Mixed-Integer Linear Programming
[3] Genetic Algorithm

برنامه‌ریزی پاسخ سمت تقاضا با استفاده از روش مجموع وزنی در [۱۶] ارائه شده است. عملکرد واحد، قابلیت اطمینان سیستم، انتشار و هزینه‌های تولید به صورت جداگانه در نظر گرفته شده‌اند.

یکی از مهم‌ترین تکنیک‌های بهینه‌سازی و تعیین سایز ریزشبکه‌ها الگوریتم ژنتیک می‌باشد که در [۱۷] بررسی شده است. الگوریتم ژنتیک یک روش مرسوم در حل مسائل بهینه‌سازی است. اما نقطه‌ضعف اصلی این روش این است که پیاده‌سازی آن به صورت چندهدفه دشوار است و در صورتی که حجم شبکه افزایش یابد، چون فضای جستجوی اولیه (جمعیت اولیه) افزایش پیدا می‌کند، عملاً پیاده‌سازی نرم‌افزاری آن پیچیده شده و بار محاسباتی زیاد و زمان اجرای طولانی را نتیجه می‌دهد.

از الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات در مراجع [۱۸], [۱۹] به کرات به منظور بهینه‌سازی ظرفیت منابع انرژی در ریزشبکه‌ها استفاده شده است. الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات (PSO[1]) یک الگوریتم مقاوم و در عین حال دقیق است که نقطه‌ضعف‌های الگوریتم‌های مشابه نظیر ژنتیک و تکامل دیفرانسیلی را دارا نمی‌باشد. همچنین به صورت چندمنظوره نیز قابل‌اجرا بوده و پاسخ‌های دقیقی را ارائه خواهد کرد.

از جمله تکنیک‌های دیگری که در بهینه‌سازی در ریزشبکه‌ها استفاده می‌شود، می‌توان به برنامه‌ریزی خطی [۲۰]، شبکه عصبی [۲۱], [۲۲]، الگوریتم ترکیبی [۲۳]، روش احتمالی تکرار شونده [۲۴]–[۲۶] را نام برد. این الگوریتم‌ها روش‌های مرسومی هستند که تنها برای مسائل خاصی قابل‌استفاده می‌باشند. به عنوان مثال، برنامه‌ریزی خطی (LP[2]) تنها برای توابع هدف خطی و محدب قابل‌استفاده است. شبکه عصبی برای مسائلی که نمونه‌گیری اولیه جهت آموزش شبکه وجود داشته باشد، قابل پیاده‌سازی است. روش احتمالی تکرار شونده نیز چون بر اساس روند بازگشتی (تکراری) به پاسخ بهینه می‌رسد، زمان محاسباتی طولانی داشته و از این رو، استفاده از برای مسائل حجیم که دارای متغیرهای زیادی هستند، دشوار خواهد بود.

نرم‌افزارهای محدودی از جمله هومر و گمز که به بررسی فنی و اقتصادی سیستم ترکیبی می‌پردازند؛ برای بهینه‌سازی سیستم‌های مختلط ساخته شده است که در مراجع [۲۷]–[۳۰] از آن‌ها استفاده شده است. هر یک از این محیط‌های نرم‌افزاری دارای قابلیت‌های منحصربه‌فرد و در عین حال، کاستی‌هایی هستند. به عنوان مثال محیط HOMER ساده و کاربرپسند است، اما بهینه‌سازی و آنالیز حساسیت را تنها در صورتی روی شبکه مدل شده اجرا می‌کند که تمامی پارامترهای سیستم از جمله سرعت باد،

[1] Particle Swarm Optimization
[2] Linear Programming

میزان تابش خورشید، پروفیل بار، پارامترهای قیمت شبکه، هزینه سوخت و غیره مشخص باشد. همچنین روش بهینه‌سازی آن بر اساس روش برنامه‌ریزی دینامیکی است که بر اساس تقریب زنی توابع هدف غیرخطی، عمل می‌کند. از این رو پاسخ دقیقی را نتیجه نخواهد داد.

در ریزشبکه‌ها مسئله بهره‌برداری واحدها هم چنان به قوت خود باقی است. در بهره‌برداری سیستم برنامه‌ریزی بهینه برای تولید پراکنده منابع کوچک و حالت ترکیبی با شبکه به کار می‌رود. با توجه به تغییر پیوسته تولید توان باد و خورشید، می‌بایست یک الگوریتم سریع برای تعیین میزان در دسترس بودن انرژی و تولید منابع به کار رود [۳۱]. در [۳۲] چند سناریو و روش بهینه‌سازی چندهدفه برای یک واحد تولید پراکنده موازی با شبکه ارائه شده است. اهداف این مطالعه شامل ساخت ریزشبکه، هزینه عملیات و هزینه‌های قابلیت اطمینان می‌باشد. نمونه مورد مطالعه شامل آرایه‌های خورشیدی، توربین بادی، دیزل ژنراتور، مبدل و باتری ذخیره‌ساز انرژی است. این مطالعه تنها از دید شبکه به مسئله نگاه کرده است و سود مصرف‌کننده را در نظر نگرفته است.

ریزشبکه‌ها به واسطه مزایایی همچون تمرکززدایی تولید، تطبیق بهتر تولید و تقاضا و کاهش تأثیر انتقال در مقیاس بالا و قطعی تولید موجب بهبود کیفیت توان و قابلیت اطمینان می‌گردند. بعضی اوقات به خاطر مسائل فنی و اقتصادی، توسعه شبکه‌های تولید و انتقال مشکل بوده و حل مسئله تأمین رشد بار نیازمند هزینه زیادی است. لذا در این‌گونه موارد ریزشبکه می‌تواند جهت تأمین تقاضای رشد بار بکار رود. منابع تولید پراکنده با مبدل‌های الکترونیک قدرت موجود در آن می‌توانند جهت کنترل توان اکتیو و رأکتیو و بهبود کیفیت توان در شبکه توزیع بکار روند [۳۳].

در [۳۴] روش مؤثری بر اساس شبکه عصبی برای حل مسئله توزیع اقتصادی با در نظر گرفتن کاهش آلودگی‌های زیستی ژنراتور فسیلی ارائه شد. این روش روی یک سیستم سه ژنراتور پیاده شده و نتایج آن نشان از کیفیت خوب پاسخ‌دهی الگوریتم دارد. نقطه ضعف اصلی این مطالعه، استفاده از روش شبکه عصبی است که کاستی‌های آن قبلاً بیان شد.

در تولید پراکنده با وجود ریزشبکه‌ها که تولید و مصرف را به هم نزدیک می‌کنند، بایستی به مقوله تغییرات ولتاژ و فرکانس و به طور کلی کیفیت توان و هزینه تمام شده انرژی توجه ویژه داشت. هنگامی که تولید بیشتر از نیاز باشد، انرژی مازاد به گرما تبدیل می‌شود؛ این توان را می‌توان برای زمان‌های اوج بار ذخیره کرد که در مرجع [۳۵] به تفضیل بحث شده است.

ریزشبکه‌ها تأثیرات آلایندگی کمتری نسبت به نیروگاه‌های حرارتی بزرگ مرسوم دارند. کاهش فاصله الکتریکی و فیزیکی بار و منبع موجب بهبود تأمین توان رأکتیو کل سیستم و بنابراین اصلاح پروفیل ولتاژ، کاهش تلفات، کاهش سرمایه‌گذاری در توسعه سیستم‌های انتقال و توزیع با مدیریت مناسب منابع می‌شود [۳۶].

در [۳۷] یک ریزشبکه هیبریدی متشکل از منابع تجدیدپذیر و تولیدکننده هم‌زمان گرما و توان همراه با سیستم ذخیره‌ساز انرژی ارائه شده است. سیستم مدیریت انرژی (EMS[1]) بهینه‌سازی ریزشبکه را در هر دو حالت متصل و مستقل از شبکه به عهده دارد. مدل ارائه شده، قابلیت اطمینان سیستم را بهبود داده و برای مسئله توزیع اقتصادی به جواب مطلوبی دست یافته است. این مطالعه نیز تنها از دید شبکه به مسئله بهینه‌سازی نگاه کرده است.

در برنامه‌ریزی ریزشبکه‌ها معمولاً یکی از شاخص‌های مهم، مصالحه بین حداقل هزینه تولید و حداقل آلودگی محیطی می‌باشد که معمولاً در تضاد با هم قرار دارند. با توجه به این که منابع تولید پراکنده در ریزشبکه‌ها شامل منابع تولید انرژی تجدیدپذیر مانند توربین بادی، سلول‌های خورشیدی و غیره می‌باشند و به علت متغیر بودن و وابستگی به شرایط آب و هوایی تولیدکننده‌های انرژی تجدیدپذیر، انجام برنامه‌ریزی با توجه به شاخص در دسترس بودن تولید صورت می‌گیرد [۳۸] - [۴۰].

در [۴۱] مرور جامعی بر روش‌های بهینه‌سازی تخصیص واحدهای DG ی مبتنی بر PV در سیستم قدرت و ارزیابی پتانسیل استفاده از منابع خورشیدی ارائه شده است. منظور از تخصیص بهینه واحدهای DG ی مبتنی بر PV در این مرجع، تعیین اندازه و مکان بهینه واحدها با هدف برآورده سازی پیش‌نیازهای سیستم و نیز ارزیابی قابلیت استفاده از سیستم خورشیدی PV عنوان شده است. مقاله مروری مذکور، از دو جنبه مسئله تخصیص بهینه را بررسی کرده است: اول از نظیر الگوریتم‌های بهینه‌سازی و اهداف موردنظر در این الگوریتم‌ها و دوم ازنظر روش‌های ارزیابی قابلیت سیستم‌های PV. درنهایت نیز روش جدیدی ارائه شده است.

نقش پاسخ‌گویی بار در تعیین اندازه و مکان بهینه منابع انرژی پراکنده در شبکه توزیع با بار متغیر با زمان نیز در [۴۲] مورد بررسی قرار گرفته است. در این مرجع، انواع مختلف بارهای متغیر با زمان برای تخصیص واحدها در نظر گرفته شده است. مسئله تعیین اندازه بهینه و تعیین مکان بهینه واحدهای تجدیدپذیر (شامل منابع قابل‌توزیع و منابع غیر قابل‌توزیع) با در نظر گرفتن نقش پاسخ‌گویی بار و نیز

[1] Energy Management System

مدل‌های مختلف بار حل شده است. انواع بارهای مورد بررسی در این مرجع، بارهای تجاری، صنعتی و خانگی می‌باشند. در این روش ابتدا مجموعه باس‌هایی برای قرارگیری واحدهای DG تعیین می‌شود. اندازه بهینه واحدهای DG در باس‌های مشخص شده در ادامه با مینیمم سازی شاخص چندهدفه (شامل تلفات توان‌های اکتیو و رأکتیو) تعیین می‌گردد. این مدل روی سیستم تست ۳۳ باس IEEE اعمال شده است.

الگوریتم بهینه‌سازی ملخ بر اساس روش چندهدفه فازی دومرحله‌ای نیز به‌منظور تعیین اندازه و جایابی بهینه واحدهای تولید پراکنده، خازن‌های شنت و نیز ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی به‌صورت هم‌زمان در [۴۳] پیشنهاد شده است. در مرحله اول، روش بهینه‌سازی ملخ برای تعیین اندازه بهینه و تخصیص بهینه واحدهای DG و خازن‌های شنت با هدف بهبود ضریب قدرت، کاهش تلفات توان حقیقی و بهبود پروفیل ولتاژ برای سیستم توزیع اعمال می‌گردد. در مرحله دوم، روش مبتنی بر منطق فازی برای شناسایی مکان‌های بهینه ایستگاه‌های شارژ خودروی برقی و تعداد خودروها در هر ایستگاه استفاده می‌شود. مدل‌های بار برای شارژ باتری خودروی برقی نیز بر اساس منحنی‌های مشخصه شارژ باتری‌های لیتیوم-یون با استفاده از آنالیز پخش بار به دست می‌آید. روش پیشنهادی روی شبکه توزیع ۵۱ باس و ۶۹ باس پیاده‌سازی شده است.

مدیریت سیستم ذخیره‌سازی انرژی با استفاده از روش مدیریت مقاوم برای شبکه‌های توزیع در [۴۴] مورد بحث قرار گرفته است. هدف از این روش، بهینه‌سازی هم‌زمان سیستم ذخیره انرژی الکتریکی و سیستم ذخیره انرژی حرارتی مبتنی بر اینورتر می‌باشد. به‌منظور تسهیل مدیریت انرژی در شبکه توزیع، فاکتورهای تأخیر در نظر گرفته شده و مدل شارژ و دشارژ هر دو مدل ذخیره‌سازی به‌صورت هم‌زمان بهینه‌سازی شده‌اند. همچنین پیش‌بینی عدم قطعیت‌ها و ارزیابی ریسک نیز به مسئله اضافه شده است که درنتیجه روش بهینه‌سازی خاصی را می‌طلبد. الگوریتم بهینه‌سازی مقاوم برای افزایش دقت بهینه‌سازی در این مرجع استفاده شده است. مدل دیسپاچ شبکه در ادامه به یک مسئله برنامه‌ریزی درجه دوم صحیح مختلط تبدیل شده و از روش‌های خطی سازی و روش تکراری برای حل این مسئله استفاده شده است. شبیه‌سازی‌ها نیز روی یک شبکه واقعی ۴۱ باس اعمال شده و هدف اصلی، کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و نیز تلفات توان در شبکه است.

در [۴۵] قابلیت اطمینان ریزشبکه با تعیین اندازه بهینه باتری ESS مورد بررسی قرار گرفته است. هدف اصلی نیز در این مقاله، مینیمم سازی هزینه‌های سرمایه‌گذاری و هزینه‌های بهره‌برداری سیستم است،

که در کنار افزایش قابلیت اطمینان به‌عنوان اهداف بهینه‌سازی در نظر گرفته شده‌اند. از روش برنامه‌ریزی خطی صحیح مختلط نیز برای حل مسئله بهینه‌سازی استفاده شده است. علاوه بر این، عدم قطعیت بار نیز در نظر گرفته شده و شاخص‌های قابلیت اطمینان ریزشبکه نیز پیس از یکپارچه‌سازی ESS با ریزشبکه و پس از یکپارچه‌سازی آن، با هم مقایسه شده‌اند.

روش مدیریت بهینه انرژی با استفاده از روش قید ε برای ریزشبکه‌های مبتنی بر باتری مستقل و متصل به شبکه در [۴۶] بررسی شده است. طراحی سیستم مدیریتی که بتواند طول عمر سیستم باتری را افزایش داده و بتواند هم برای سیستم متصل به شبکه و هم مستقل از شبکه استفاده گردد، در این مطالعه ارائه شده است. این روش مدیریت بهینه به‌صورت یک مسئله پخش بار بهینه با استفاده از قید ε نمایش داده می‌شود که محاسبه جریان‌های مرجع را با استفاده از سیستم مدیریت انرژی برای کنترل منابع ریزشبکه بر عهده دارد. هدف اصلی در این مسئله بهینه‌سازی، مینیمم سازی هزینه‌ها است به‌گونه‌ای که تلفات توان اکتیو در محدوده مجاز قرار گیرد. در این مقاله، دو نوع سناریو بررسی شده است: در سناریوی اول منابع ریزشبکه به‌صورت قابل‌توزیع فرض شده‌اند و در سناریوی دوم، این منابع غیر قابل‌توزیع فرض می‌شوند.

تعیین اندازه بهینه منابع انرژی تجدیدپذیر و کنترل توان رأکتیو اینورتر خورشیدی با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی، فنی و زیست‌محیطی در [۴۷] ارائه شده است. در این مرجع از روش بهینه‌سازی جدید و مقاوم مبتنی بر الگوریتم ژنتیک چندهدفه اپسیلون استفاده شده و شبکه توزیع واقعی ۱۶۲ باس مورد بررسی قرار گرفته است. تابع هدف موردنظر درواقع یک تابع سه هدفه شامل جنبه‌های اقتصادی، فنی و زیست‌محیطی است و هدف آن نیز تعیین اندازه بهینه مزرعه بادی مرکزی و پارامترهای باتری ذخیره‌ساز در کنار اندازه PV ی خورشیدی و کنترل توان رأکتیو اینورتر می‌باشد.

در [۴۸] برنامه‌ریزی دیسپاچ روزانه انرژی به‌صورت بهینه برای سیستم انرژی یکپارچه بر اساس زیرساخت‌های ارتباطی AC/DC ارائه شده است. در این سیستم، باتری DC و سیستم‌های فتوولتائیک با شبکه قدرت از طریق یک اینورتر مرتبط هستند که درمجموع به‌عنوان منابع انرژی انعطاف‌پذیر در نظر گرفته می‌شوند. در مدل بهینه‌سازی، هدف اصلی، ارائه مجموعه‌ای از پاسخ‌ها است که کمترین هزینه‌های بهره‌برداری روزانه و مصرف انرژی پایین‌تر را نتیجه دهد. قیدها نیز شامل قیدهای بهره‌برداری سیستم و قیدهای تجهیزات است.

ارائه روشی به‌منظور تعیین اندازه بهینه و تعیین مکان بهینه منابع انرژی هیبریدی در مناطق دور ناحیه جنوبی الجزایر در [۴۹] مدنظر است. در این مقاله از الگوریتم جستجوی کلونی ویروس برای بهینه‌سازی اندازه و مکان سیستم ریزشبکه هیبرید شامل سیستم فتوولتائیک، و بانک باتری استفاده شده است در حالی که از ژنراتورهای دیزل به‌عنوان منبع کمکی در این سیستم استفاده می‌شود. بهینه‌سازی به‌منظور افزایش قابلیت سیستم در پاسخگویی بار صورت می‌گیرد. دو هدف عمده در این تابع بهینه‌سازی در نظر گرفته شده است: کاهش هزینه‌های سیستم (هدف اقتصادی) و کاهش انتشار گازهای آلاینده CO_2 (هدف زیست‌محیطی). در مسئله بهینه‌سازی، شاخص وابستگی انرژی تأمین نشده به‌عنوان یک شاخص قابلیت اطمینان، مدنظر است. درنهایت نیز الگوریتم بهینه‌سازی پیشنهادی با الگوریتم‌های تکاملی دیگری نظیر PSO و MPSO مقایسه شده است.

در [۵۰] تعیین اندازه بهینه سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی برای کاربردهای کشتی‌رانی پیشنهاد شده است. هدف اصلی این روش، کاهش مصرف سوخت فسیلی برای تولید توان الکتریکی، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و نیز هزینه‌های مدیریت و بهره‌برداری از سیستم است. این روش بهینه‌سازی، روی دو مورد مطالعه‌ای خاص اعمال می‌شود که پروفیل‌های توان بار در آن‌ها معلوم است. درنهایت نیز نتایج بهینه‌سازی نشان می‌دهد که تعیین اندازه بهینه و نیز مدیریت بهینه ذخیره‌ساز باتری، می‌تواند هزینه‌های بهره‌برداری سیستم قدرت مورد استفاده در کشتی‌رانی را به‌شدت کاهش دهد.

تعیین اندازه بهینه ذخیره‌ساز باتری بر اساس استراتژی مدل کنترل پیش‌بین با قیدهای بهره‌برداری به‌منظور هموارسازی توان خروجی واحدهای بادی در [۵۱] ارائه شده است. ساختار مدل کنترلی از دو بخش تشکیل یافته است. یکی حلقه خارجی که مقدار مرجع توان را در ساعت بعدی تعیین می‌کند و حلقه داخلی که توان خروجی را بر اساس مقدار مرجع با شارژ و یا دشارژ باتری، تنظیم می‌کند. در عمل، قیدهای بهره‌برداری باتری، نظیر ماکزیمم توان خروجی و نیز قیدهای SOC در کنترل‌کننده پیشنهادی مبتنی بر مدل پیش‌بین در حلقه داخلی ادغام شده است. درنهایت نیز ظرفیت بهینه باتری که ازنظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه تر است، انتخاب می‌شود.

مدیریت بهینه انرژی و کنترل بهینه آن برای ریزشبکه صنعتی با خودروهای برقی پلاگین در [۵۲] مورد بحث قرار گرفته است. به این منظور، برنامه‌ریزی بهینه عملکرد مؤلفه‌های مختلف ریزشبکه محاسبه شده است که هدف اصلی در آن، مینیمم سازی هزینه بهره‌برداری است در عین حال که پایداری شبکه برق و نیز قیدهای تولید نیز رعایت شود. این مسئله بهینه‌سازی در قالب یک چارچوب افقی پسرو مدل می‌شود

که معادلات پخش بار بهینه دینـامیکی را در خـود جـای داده اسـت. عـدم قطعیـت موجـود در مصـرف خودروهای برقی نیز با استفاده از روش قید شـانس مـدل‌سـازی مـی‌شـود. در ایـن مرجـع از روش‌هـای ساده‌سازی محدب برای حل مسئله بهینه‌سازی کمک گرفته شده است.

تعیین اندازه و مکان بهینه باتری ذخیره‌ساز بر اسـاس روش تجزیـه سـریع Benders در [۵۳] پیشـنهاد شده است. به این منظور از یک استراتژی سرمایه‌گذاری برای تعیین اندازه و مکان بهینه بـاتری اسـتفاده شده است که در قابل یک مسئله دوسطحی مدل‌سازی می‌شود. در سطح بالاتر، تصمیم‌گیـری در مـورد سرمایه‌گذاری اولیه و نیز پیشـنهاد قیمـت سیسـتم ذخیـره‌سـازی صـورت مـی‌گیـرد و ایـن دو پـارامتر بهینه‌سازی می‌شوند که هدف آن، بیشینه‌سازی شاخص رفاه اجتماعی است. برای حل این مسئله نیـز از روش تجزیه Benders استفاده می‌گردد. به‌منظور سرعت بخشـیدن بـه همگرایـی الگـوریتم، یـک روش شتاب‌ده‌ی تحت عنوان چارچوب نامعادلات پیشنهاد شده است. الگوریتم پیشنهادی روی سیسـتم تسـت IEEE پیاده شده است.

در [۵۴] نیز تعیین اندازه بهینه یک سیستم قدرت هیبرید به‌صورت ریزشبکه برای نواحی دور از دسترس در جنوب استرالیا، ارائه می‌شود. مجموعه‌ای از واحدهای تولیدی و ذخیره‌سازی شامل ژنراتورهای دیزل، توربین‌های بادی، آرایه‌های خورشیدی، بانک‌های باتری و چرخ لنگر تشکیل یک ریزشبکه را مـی‌دهنـد. چهار ترکیب مختلف از ریزشبکه موردنظر در گام‌های ساعتی روی افـق یـک سـاله بررسـی شـده اسـت به‌گونه‌ای که داده‌های مربوط به بار، تابش محیطی، دما و سرعت باد به‌صورت واقعی استفاده شده اسـت. روش بهینه‌سازی انبوه ذرات نیز برای بهینه‌سازی ظرفیت مؤلفه‌های مختلف سیستم استفاده شده اسـت به‌گونه‌ای که کمترین هزینه خالص فعلی در بازه بهینه‌سازی ۲۰ ساله حاصل گردد.

تعیین اندازه بهینه باتری با در نظر گرفتن شاخص نزول در یکپارچه‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر در [۵۵] مورد بررسی قرار گرفته است. در این بهینه‌سازی، چندین پارامترهای ورودی به سیستم وجـود دارد کـه می‌بایست برای طراحی صحیح مورد استفاده قرار گیرند. در میان ای پارامترها، مشخصه‌هـای فرسـودگی فناوری‌ها و پروفیل توان از اهمیت بیشتری برخوردار هستند. یک روش ساده برای حل ایـن مسـئله، در این مقاله ارائه شده است مبتنی بر مدل بهینه‌سازی مقاوم است. در این مدل، پروسه فرسودگی باتری نیز در نظر گرفته می‌شود. نکته قابل‌توجه این است کـه مسـئله بهینـه‌سـازی تنهـا بـر اسـاس یـک متغیـر فرمول‌بندی می‌شود که همانا میزان انرژی است که باتری می‌تواند ذخیره کند (یا همان ظرفیت باتری).

استفاده از الگوریتم‌های مختلف به‌منظور تعیین اندازه بهینه ریزشبکه هیبرید متشکل از سیستم خورشیدی، بادی، دیزل، و ذخیره‌ساز باتری در [۵۶] ارائه شده است. هدف اصلی مینیمم سازی هزینه‌های انرژی تأمین شده توسط سیستم است در حالی که قابلیت اطمینان و بازدهی سیستم نیز افزایش یابد. الگوریتم‌های بهینه‌سازی جدید در این مقاله پیشنهاد شده است از جمله: الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ، الگوریتم سیکل آبی، بهینه‌سازی شعله، و الگوریتم جستجوی گرانشی انبوه ذرات. همچنین مقایسه جامعی میان روش‌های بهینه‌سازی پیشنهادی صورت گرفته است. به‌منظور تعیین اندازه بهینه مؤلفه‌های سیستم، از داده‌های واقعی روستایی در کشور استفاده شده است.

مدیریت سمت تقاضا با استفاده از بهینه‌سازی بدون مقادیر اولیه، در یک شبکه هوشمند در [۵۷] پیشنهاد شده است. عدم قطعیت بار نیز در این مقاله مدنظر قرار دارد. در روش مدیریت سمت تقاضای پیشنهادی در این مرجع، بهینه‌سازی به‌صورت پراکنده و بدون نیاز به مقادیر اولیه صورت می‌گیرد. هدف از سیستم مدیریت تقاضای طراحی شده، بیشینه‌سازی رفاه اجتماعی در شبکه هوشمند با کنترل اقتصادی توان اکتیو است. استراتژی بهینه‌سازی پیشنهادی که درواقع مقادیر مرجع توان بهینه را برای واحدهای تولیدی تولید می‌کند، قیدهای بهره‌برداری سیستم را نیز در نظر می‌گیرد. این الگوریتم به هیچ اطلاعات اولیه‌ای در مورد بارهای مورد تقاضا، توان باتری و نیز توان ژنراتورهای پراکنده نیازی ندارد.

برنامه‌ریزی بهینه دومرحله‌ای ریزشبکه بر اساس پاسخ سمت تقاضا در [۵۸] ارائه شده است. به‌منظور برنامه‌ریزی بهینه منابع در سمت مصرف‌کننده، یک روش برنامه‌ریزی بهینه دومرحله‌ای ارائه شده است که مؤلفه‌های ریزشبکه را شامل سیستم ذخیره‌سازی باتری، با شبکه اصلی مرتبط می‌سازد. هدف از برنامه‌ریزی بهینه نیز مینیمم سازی هزینه‌های بهره‌برداری است و الگوریتم پیشنهادی، برنامه‌ریزی دینامیکی اکتشافی است که مستلزم مدل‌سازی دقیقی از هدف مورد بهینه‌سازی نمی‌باشد. این الگوریتم برای محاسبه تابع عملکرد بهینه و استراتژی کنترلی بر اساس پروسه تکراری مورد استفاده قرار می‌گیرد که در این پروسه تکراری نیز از شبکه‌های عصبی پس انتشاری استفاده خواهد شد.

روش بهینه‌سازی ترکیبی مبتنی بر جستجوی فاخته و کلونی مورچگان به‌منظور تعیین اندازه بهینه سیستم انرژی هیبرید در [۵۹] پیشنهاد شده است. هدف از بهینه‌سازی، بهره‌وری اقتصادی سیستم تولیدی است. همچنین تأثیر وجود ذخیره‌ساز باتری روی پاسخ مسئله بهینه‌سازی در قالب دو سناریوی مختلف در این مقاله بررسی شده است. لازم به ذکر است که تابع هدف تعریف شده در این مرجع، یک تابع چندهدفه است و از الگوریتم ترکیبی پیشنهادی نیز به‌صورت چندهدفه استفاده شده است.

تعیین اندازه بهینه سیستم انرژی هیبرید و بهینه‌سازی توان گسسته برای خودروهای برقی پلاگین در [۶۰] پیشنهاد شده است. در این مرجع، یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه برای تعیین اندازه بهینه باتری، ابرخازن، سیستم ذخیره انرژی هیبرید مورد استفاده در خودروهای برقی، پیشنهاد شده است. هدف اصلی نیز مینیمم سازی هزینه، وزن و حجم سیستم ذخیره‌سازی و به‌صورت هم‌زمان نیز ماکزیمم سازی طول عمر واحد باتری در پایان سیکل بهینه‌سازی است. الگوریتم ژنتیک مبتنی بر رتبه‌بندی غیر غالب نوع ۲ نیز برای حل این مسئله به‌کاررفته است. درنهایت نیز تحلیل حساسیت به‌منظور بررسی اثر گسسته سازی توان روی پاسخ مسئله بهینه‌سازی صورت گرفته است.

برنامه‌ریزی بهینه اقتصادی و زیست‌محیطی برای منابع انرژی تجدیدپذیر در ریزشبکه‌ها با وجود عدم قطعیت در [۶۱] مورد بررسی قرار گرفته است. این مسئله به‌صورت یک مسئله بهینه‌سازی غیرخطی چندهدفه تحت قید مدل می‌شود. هدف بهینه‌سازی نیز مینیمم سازی هم‌زمان هزینه و میزان انتشار آلاینده می‌باشد. عدم قطعیت‌های موردنظر در حل این مسئله نیز افزایش ناگهانی بار، خروج واحد ذخیره‌ساز باتری از مدار و نیز بروز سایه جزئی روی واحدهای خورشیدی است. درنهایت نیز یک تابع چندهدفه به‌منظور افزایش سود اقتصادی و مینیمم سازی میزان انتشار تعریف می‌گردد. الگوریتم بهینه‌سازی شعله نیز به‌منظور حل این مسئله به‌کاررفته است.

بهره‌برداری بهینه از انرژی در ریزشبکه‌های مسکونی ادغام شده با منابع انرژی تجدیدپذیر شامل خودروهای برقی و نیز باتری‌های ذخیره‌سازی انرژی، در [۶۲] مورد بحث قرار گرفته است. از روش کنترل سمت تقاضا در این مقاله بهره گرفته شده است. در این مرجع، سود منابع تولیدی در ساختمان هوشمند به‌منظور بهره‌برداری بهینه از انرژی در بازار روز آتی ماکزیمم سازی شده است. منابع تولیدی انعطاف‌پذیر موردنظر، خودروهای برقی و سیستم ذخیره‌سازی باتری هستند. مسئله بهینه‌سازی نیز به‌صورت یک مسئله برنامه‌ریزی خطی صحیح مختلط دومرحله‌ای فرمول‌بندی شده است و با استفاده از روش حل CPLEX حل گردیده است. مورد مطالعه‌ای نیز یک ساختمان هوشمند در کشور فنلاند با داده‌های واقعی است.

برنامه‌ریزی بهینه بهره‌برداری ریزشبکه و واحدهای ذخیره‌سازی باتری به‌عنوان دو مجموعه تولیدی متفاوت در [۶۳] بررسی شده است. یک چارچوب برنامه‌ریزی دوسطحی به‌منظور بهره‌برداری بهینه از این دو واحد در این مرجع ارائه شده است. هزینه فرسودگی باتری نیز بر اساس عمق شارژ باتری مدل‌سازی می‌شود. همچنین عدم قطعیت‌های موجود در مسئله بهینه‌سازی شامل بار مورد تقاضای

ریزشبکه، تولید سیستم خورشیدی، قیمت‌های کلی بازار، و توان تولیدی باتری به کمک روش احتمالی با در نظر گرفتن همه این عدم قطعیت‌ها مدل‌سازی می‌شود. برای حل مسئله بهینه‌سازی نیز روش مسیر متناوب ضرایب پیاده‌سازی شده است.

برنامه‌ریزی بهینه اقتصادی برای ریزشبکه دارای سیستم ذخیره انرژی هیبرید با استفاده از مدل کنترل پیش‌بین توزیع شده در [۶۴] ارائه شده است. این الگوریتم در حالت خاص بر اساس معیار بهبود تابع هزینه برای هر ریزشبکه به‌صورت یک واحد مستقل عمل می‌کند. هدف اصلی نیز بیشینه‌سازی سود ریزشبکه‌ها ورد عین حال نیز کمینه‌سازی فاکتور فرسایش هر واحد ذخیره‌ساز انرژی و نیز برآورده سازی قیدهای مختلف سیستم است. به‌منظور مدل‌سازی سیستم، از مدل دینامیکی منطقی مختلف استفاده شده است. مسئله بهینه‌سازی نیز با کمک روش برنامه‌ریزی خطی صحیح مختلط به‌صورت گسسته حل می‌گردد.

در [۶۵] تعیین اندازه بهینه و مکان بهینه مؤلفه‌های ریزشبکه هوشمند تحت نفوذ بالای واحدهای تجدیدپذیر با در نظر گرفتن پاسخ سمت تقاضا ارائه شده است. فاکتورهای مختلف نظیر قابلیت اطمینان، عدم قطعیت سرعت باد، تابش خورشید، بار و رشد بار نیز در مسئله بهینه‌سازی در نظر گرفته شده‌اند. مورد مطالعه‌ای نیز منطقه اکباتان در تهران، کشور ایران است. مسئله بهینه‌سازی چندهدفه با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها، با هدف بهبود قابلیت اطمینان و کیفیت توان و نیز مینیمم سازی تلفات توان با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات حل شده است. قیدهای مختلف مسئله بهینه‌سازی نیز شامل ولتاژ، فرکانس، قیدهای منابع و نیز قیدهای سیستم ذخیره‌سازی انرژی در نظر گرفته شده است. تأثیر رشد بار، جایگذاری واحدهای PV و نیز سیستم ذخیره‌سازی باتری، تغییر هزینه‌های سرمایه‌گذاری واحدهای تجدیدپذیر و نیز پاسخ سمت تقاضا روی بارهای قابل‌کنترل نیز روی تعیین اندازه و مکان بهینه واحدها بررسی شده است. ریزشبکه مورد مطالعه دارای توربین بادی، سیستم PV، پیل سوختی و سیستم تانک هیدروژن است.

برنامه‌ریزی و ارزیابی اقتصادی سیستم خورشیدی دارای واحد ذخیره‌سازی انرژی بر اساس تئوری بازی‌ها و پروسه تحلیلی سلسله مراتبی در [۶۶] ارائه شده است. هدف اصلی کمینه‌سازی نرخ فرسایش سیستم خورشیدی و نیز بیشینه‌سازی درآمد خالص سیستم تولیدی است و مدل‌سازی سیستم خورشیدی ترکیبی با واحد ذخیره‌ساز نیز بر اساس داده‌های واقعی صورت گرفته است. در کنار مشخصه‌های انواع باتری‌های الکتروشیمیایی، رابطه میان درآمد خالص واحد تولیدی، عمق شارژ، ظرفیت انرژی ذخیره شده

باتری‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. مدل موردنظر به‌منظور بهینه‌سازی بر اساس تئوری بازی‌ها پیاده شده و درنهایت نیز الگوریتم کرم شب‌تاب برای حل این مسئله استفاده می‌شود. داده‌های موردنظر برای مدل‌سازی سیستم مورد مطالعه نیز از داده‌های واقعی منطقه‌ای در کشور چین استخراج شده است.

برنامه‌ریزی سیستم ذخیره‌ساز انرژی بر اساس مدل مارکوف در سیستم‌های قدرت در [۶۷] ارائه شده است. در این مرجع، اندازه بهینه (MWh) و ظرفیت بهینه (MW) برای سیستم ذخیره‌سازی باتری در شبکه توزیع که دارای آرایه‌های خورشیدی می‌باشد، تعیین می‌شود. هدف اصلی نیز مینیمم سازی هزینه‌های سرمایه‌گذاری، هزینه‌های جایگزینی، هزینه‌های تعمیر و نگهداری، و ارزش خالص فعلی و در عین حال نیز بیشینه‌سازی سود سالیانه سیستم است. قیدهای مختلف سیستم نیز شامل معادلات پخش بار، قیدهای تعادل توان سیستم ذخیره‌سازی انرژی، قیدهای نامساوی ولتاژ، شارش خطوط، محدوده بهره‌برداری سیستم باتری و غیره در مسئله لحاظ شده است. به دلیل وجود این قیدها و نیز ماهیت تصادفی بارهای سیستم، از مدل مارکوف برای مدل‌سازی سیستم با در نظر گرفتن تولید توان خورشیدی و بارها استفاده شده است. چون تعداد حالت‌های مارکوف زیاد است، از الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر مقدار متوسط فازی برای کاهش تعداد متغیرها و حالت‌ها استفاده شده است. سیستم ۳۳ باس IEEE نیز به‌منظور تست مدل پیشنهادی به‌کاررفته است.

بهره‌برداری بهینه از ریزشبکه مبتنی بر PV ی خورشیدی، باتری و DG با کنترل‌کننده کیفیت توان در [۶۸] ارائه شده است. این مقاله از یک دیزل ژنراتور به‌عنوان سیستم پشتیبان باتری استفاده شده است. به‌منظور مدل‌سازی اثر بارهای غیرخطی روی DG، کنترل‌کننده کیفیت توان مبتنی بر حلقه قفل فاز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

برنامه‌ریزی بهینه باتری‌های ذخیره‌سازی و نیز ژنراتورهای قدرت مبتنی بر پیش‌بینی زمانی سیستم خورشیدی، در [۶۹] ارائه شده است. سه متغیر تصمیم‌گیری برای این منظور استفاده شده است که متناسب با برنامه‌ریزی توان تولیدی، برنامه‌ریزی توان شارژ و دشارژ باتری و وضعیت شارژ (SOC) برای باتری می‌باشد. به‌منظور تعیین برنامه شارژ و دشارژ بهینه باتری، الگوی SOC ی باتری به روش ماتریس ژاکوبین مدل‌سازی شده و به‌صورت ریاضی، تعیین الگو شده است. تحلیل ریاضی کلیه متغیرهای تصمیم‌گیری در مسئله برنامه‌ریزی بهینه مذکور ارائه شده است.

برنامه‌ریزی بهینه ریزشبکه جزیره‌ای دارای سیستم ذخیره‌سازی باتری با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های بار و نیز واحدهای تولیدی تجدیدپذیر در [۷۰] ارائه شده است. در این مرجع، با مدل‌سازی عدم قطعیت

رزروهای چرخان که توسط سیستم ذخیره‌سازی انرژی تأمین می‌شود، یک مود برنامه‌ریزی بهینه جدید پیشنهاد شده است که هدف آن، مینیمم سازی هزینه‌های بهره‌برداری ریزشبکه جزیره‌ای با استفاده از روش برنامه‌ریزی تحت قید شانس است. این مدل درنهایت به یک فرمول برنامه‌ریزی خطی صحیح مختلط تبدیل شده و در محیط GAMS با استفاده از روش تبدیل گام گسسته حل شده است.

مطالعه عملکرد فنی و اقتصادی سیستم هیبرید باتری، دیزل، بادی با فناوری‌های مختلف باتری در نواحی سردسیری کشور چین در [۷۱] ارائه شده است. این مقاله، پتانسیل اقتصادی و فنی انواع مختلف فناوری باتری را در ریزشبکه موردنظر برای نواحی سردسیر با ابعاد کوچک حداکثر ۲۸۰ منزل مسکونی در کشور چین بررسی می‌کند. تخصیص بهینه، تحلیل اقتصادی، زیست‌محیطی، توان الکتریکی تولیدی و نیز تحلیل‌های حساسیت برای سیستم‌های هیبرید موردنظر با استفاده از نرم‌افزار HOMER صورت گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که سیستم انرژی هیبرید بهینه از چه مؤلفه‌هایی و با چه ظرفیت‌هایی تشکیل شده است.

دیسپاچ بهینه ریزشبکه‌های خورشیدی، بادی، باتری و دیزل به‌صورت تصادفی با استفاده از روش برنامه‌ریز دینامیکی تقریب فضای حالت در [۷۲] پیشنهاد شده است. در این مرجع، یک مدل برنامه‌ریزی غیر محدب غیرخطی صحیح مختلط تصادفی برای دیسپاچ بهینه ریزشبکه استفاده شده است. در این مدل، مقدار مورد انتظار هزینه‌های بهره‌برداری واحدهای DG و هزینه راه‌اندازی، هزینه تلفات شبکه و نیز هزینه سرویس‌های کمکی سیستم خورشیدی، به‌عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است. مدل تصادفی موردنظر، به یک مدل برنامه‌ریزی درجه دوم صحیح مختلط تصادفی مخروطی تبدیل شده است تا بار محاسباتی کاهش یابد. همچنین از الگوریتم برنامه‌ریزی دینامیکی تقریبی فضای حالت برای حل مسئله استفاده شده است. حالت‌های مختلف توابع هدف نیز به کمک پروسه تصمیم‌گیری مارکوف تعیین شده و به این ترتیب، مسئله بهینه‌سازی به‌صورت چندحالتی و مرحله‌ای حل می‌شود. درنهایت سیستم تست ۳۳ باس و ۱۲۳ باس IEEE نیز برای پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی استفاده شده است.

بهینه‌سازی چندهدفه استراتژی مدیریت انرژی روی سیستم ذخیره‌سازی انرژی بر اساس روش شبه طیفی Radau در [۷۳] پیشنهاد شده است. در این مطالعه، روش بهینه‌سازی چندهدفه برای سیستم ذخیره‌سازی انرژی هیبرید ارائه شده است. همچنین مسئله کنترل بهینه سیستم به یک مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی تبدیل شده و به کمک روش بهینه‌سازی غیرخطی پراکنده حل شده است.

همچنین مجموعه پاسخ‌های پارتو نیز برای طول عمر باتری و مصرف انرژی باتری به‌عنوان توابع هدف، به دست آمده است.

تعیین اندازه بهینه و مکان بهینه باتری‌های جریانی وانادیوم ریداکس در یک سیستم قدرت با نفوذ بالای واحدهای بادی در [۷۴] ارائه شده است. هدف اصلی کاهش هزینه‌های شبکه است. به این منظور، مدل بهینه‌سازی اثر سیستم ذخیره‌سازی باتری را روی سیستم برق در نظر می‌گیرد. در این مقاله، روش بهینه‌سازی تصادفی به‌کاررفته و هزینه‌های بهره‌برداری شبکه برق و نیز هزینه‌های سرمایه‌گذاری باتری وانادیوم ریداکس در نظر گرفته شده است. در این روش از الگوریتم نقطه دوگان اولیه به‌صورت ترکیبی با الگوریتم فرا ابتکاری و روش جستجوی جامع بهره گرفته شده است.

بهره‌برداری بهینه از باتری و پیل سوختی نیز برای مدیریت انرژی در ریزشبکه در [۷۵] پیشنهاد شده است. در این مرجع یک سیستم مدیریت انرژی دو مودی با هدف مینیمم سازی هزینه‌های کل ریزشبکه پیشنهاد شده است. این سیستم، بهترین مود عملکرد باتری و پیل سوختی را در زمان مناسب با مینیمم هزینه تعیین می‌کند. هزینه‌های بهره‌برداری ریزشبکه در اصل به اندازه باتری و طول عمر آن بستگی دارد. بنابراین روشی جدید به‌منظور تعیین اندازه بهینه باتری با استفاده از تابع هزینه چرخه عمر معرفی می‌شود. در ریزشبکه مورد مطالعه نیز سیستم بادی، پیل سوختی و نیز باتری ذخیره‌سازی وجود دارد.

در [۷۶] تعیین اندازه بهینه و بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های ذخیره‌سازی باتری متصل به مزارع بادی که در بازار برق مشارکت می‌کنند، ارائه شده است. هدف اصلی، کنترل انرژی خالص تبادلی میان مزارع بادی و شبکه اصلی در بازار برق است. الگوی کنترل افق پسگام برای بهره‌برداری بهینه از سیستم ذخیره‌سازی باتری در حضور قیدهای بهره‌برداری ارائه شده است. روش پیشنهادی به دنبال افزایش سود روزانه واحد تولیدی است. با پیش‌بینی قیمت برق در روز آتی و نیز پیش‌بینی سرعت باد در کوتاه‌مدت، بهترین زمان برای شارژ و دشارژ باتری یا خرید انرژی از شبکه اصلی تعیین می‌گردد. مسئله بهینه‌سازی با در نظر گرفتن هزینه‌های باتری و قیدهای بهره‌برداری فرمول‌بندی می‌گردد. مسئله بهینه‌سازی در هر مرحله با کمک روش پیشنهادی کنترل افق پسگام حل شده و درنهایت زمان‌بندی بهینه شارژ و دشارژ باتری به دست می‌آید.

الگوهای مختلف تعیین اندازه سیستم‌های ذخیره انرژی غیرمتمرکز متصل به شبکه در کاربردهای مسکونی در [۷۷] ارائه شده است. هدف اصلی تعیین اندازه بهینه باتری و نیز نسبت توان مبدل برای

کاربردهای مسکونی است. به‌عنوان مورد مطالعه‌ای نیز نه (۹) خانه مسکونی در کشور انگلستان انتخاب شده‌اند. هدف از بهینه‌سازی نیز کاهش هزینه‌های مالی مربوط به نصب باتری‌های خانگی است.

تعیین اندازه بهینه سیستم ذخیره باتری به‌صورت چندهدفه در ریزشبکه متصل به شبکه اصلی در [۷۸] ارائه شده است. روش ترکیبی بهینه‌سازی انبوه ذرات و روش اولویت‌بندی بر اساس مشابهت با پاسخ ایده‌آل به‌منظور حل مسئله بهینه‌سازی استفاده شده است. ریزشبکه موردنظر که در مود متصل به شبکه اصلی است، متشکل از منابع انرژی تجدیدپذیر مختلف و باتری است که به‌عنوان سیستم تست در نظر گرفته شده است. نتایج حال از بهینه‌سازی، حالت بینابین میان اهداف مختلف بهینه‌سازی است.

برنامه‌ریزی تصادفی سیستم ذخیره‌ساز باتری برای سیستم‌های تحت نفوذ بالای واحدهای بادی مقیاس بزرگ در [۷۹] پیشنهاد شده است. در این مرجع، یک مسئله تعهد واحد تحت قید امنیت به‌صورت تصادفی با در نظر گرفتن عدم قطعیت باد ارائه شده است. مسئله پیشنهادی نیز با استفاده از روش تجزیه Benders حل شده و زمان محاسباتی آن در مقایسه با روش‌های مشابه کاهش یافته است. هدف اصلی، تعیین مقدار بهینه تعهد واحد، قیمت مرزی منطقه‌ای، سرعت باد و ظرفیت خطوط با اجرای یک مرحله پخش بار بهینه DC می‌باشد. مطالعات عددی روی سیستم تست ۲۴ باس IEEE نیز ارائه شده است.

برنامه‌ریزی بهینه شارژ و دشارژ باتری‌ها در ریزشبکه‌های خصوصی در [۸۰] ارائه شده است. الگوهای مختلف مصرف نیز در این مقاله مدنظر است. همه ریزشبکه‌های خصوصی دارای سیستم‌های تولید خورشیدی، باتری‌های لیتیوم-یون، و بارهای خانگی معمولی هستند. الگوریتم ژنتیک نیز برای برنامه ریزی هر باتری استفاده شده و هدف از مسئله بهینه نیز، کاهش تلفات تبادل انرژی باتری با مینیمم سازی توان در نقطه اتصال مشترک ریزشبکه به شبکه اصلی می‌باشد.

۳.۳ جمع‌بندی

در این فصل، مروری جامعی بر روش‌های بهره‌برداری و برنامه‌ریزی ریزشبکه هیبرید ارائه شده و از دیدگاه فنی، اقتصادی و زیست محیطی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. جمع‌بندی مطالعه، نتایج حاصل و نیز پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی در فصل بعدی ارائه خواهد شد.

۴ جمع‌بندی و ارائه پیشنهاد

۱.۴ جمع‌بندی

شبکه‌های توزیع سنتی بدون منابع تولید شبکه‌های غیرفعال هستند که جهت انتقال توان از سوی بالادست به سمت پایین‌دست استفاده‌کننده است. شبکه‌های توزیع غیرفعال به علت نسبت مقاومت به رأکتانس بالا دارای تلفات زیادی هستند. همچنین قابلیت اطمینان در این نوع شبکه‌ها یک مشکل است، چون زمانی که باس تغذیه اصلی دچار مشکل شود تمام بار فیدر از دست خواهد رفت. روبرو شدن با مسائل اقتصادی، تکنیکی و زیست‌محیطی در شبکه‌های سنتی استفاده از منابع تولید توزیع (DGs) به صورت محلی در مرکز بارها اخیراً مورد توجه قرار گرفته است. دسته‌ای از بارها، منابع تولید توزیع و ارتباط آن‌ها، طرح اتوماسیون و مدیریت انرژی به‌وسیله پیکره ارتباطی و نظارت، کنترل و حفاظت منابع تولید توزیع و بارها، به مفهوم ریزشبکه برمی‌گردد. ریزشبکه در حالت بروز خطا قادرند به‌صورت مجزا از شبکه بالادست عمل کنند. یک شبکه توزیع مدرن شامل چندین ریزشبکه است. بنابراین در مقایسه با شبکه‌های توزیع سنتی، شبکه‌های توزیع دارای ریزشبکه، شبکه‌های فعال هستند که قابلیت تولید انرژی را در سطح ولتاژ توزیع برای بارهای محلی دارند. در شبکه‌های توزیع فعال جهت توان انتقالی دوطرفه است. بنابراین تلفات انرژی سیستم می‌تواند کاهش یابد و قابلیت اطمینان نیز به طور اساسی بهبود خواهد یافت. نصب DGها در شبکه‌های توزیع چالش‌های جدیدی را در عملکرد سیستم قدرت به وجود می‌آورد که هماهنگی بین DG و شبکه، تعادل بین تولید و مصرف و تأثیر هزینه تولید DGها بر قیمت بازار برق از این جمله هستند.

در این مطالعه، ابتدا در بخش دوم، ساختار کلی ریزشبکه بیان شده و اجزای مختلف آن به صورت کامل تشریح گردید. مودهای مختلف بهره‌برداری از ریزشبکه و نیز متغیرهای مختلفی که در این مودهای عملکرد، دچار تغییر می‌شوند به صورت کامل تشریح شد. در بخش سوم این مطالعه، مروری بر پیشینه مطالعاتی مرتبط با ریزشبکه ارائه شده و نیز توابع مختلف بهینه‌سازی از دیدگاه اقتصادی، زیست محیطی و فنی به صورت خلاصه بیان شد. همچنین روش‌ها و الگوریتم‌های مختلف بهینه‌سازی مورد استفاده در مطالعات اخیر نیز مرور شد.

۲.۴ پیشنهادها

مباحث ارائه شده در این مطالعه می‌تواند با توجه به پیشنهادهای زیر توسعه یابد:

- در روش‌های ارائه شده جهت تعیین ظرفیت، مدل واحد تولید پراکنده به صورت ضریب توان ثابت در نظر گرفته شد. پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آینده مدل‌های دیگر واحد تولید پراکنده نیز مورد بررسی قرار گیرد.
- در مطالعات انجام شده، فرض گردید که شرکت‌های توزیع تنها خریدار انرژی واحدهای تولید پراکنده می‌باشند. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی با در نظر گرفتن امکان فروش انرژی واحد تولید پراکنده به شبکه بالادست، تعیین ظرفیت مورد بررسی قرار گیرد.
- در این مطالعه فرض شده است که اطلاعات منحنی بار مشترکین برای یک سال موجود است و بر اساس آن تعیین ظرفیت واحدهای تولید پراکنده انجام گرفت. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی عدم قطعیت این شاخص‌ها نیز در نظر گرفته شود.
- ارائه مدل برنامه‌ریزی توسعه شبکه توزیع بر مبنای مدیریت توان اکتیو
- بررسی اهداف فنی، اقتصادی و محیطی شبکه‌های توزیع اکتیو شامل انرژی‌های تجدید پذیر
- ارائه مدل برنامه‌ریزی شبکه‌های توزیع اکتیو مبتنی بر بازارهای رقابتی
- ارائه مدلی بر اساس آنالیز ارزش بر هزینه برای شبکه‌های توزیع اکتیو
- ارزیابی مسائل فنی و اقتصادی مختلف در ریز شبکه‌ها مبتنی بر مدیریت اکتیو
- آنالیز مدیریت سمت مصرف در شبکه‌های توزیع اکتیو

مراجع

[1] Smart grids, European Technology Platform on Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future, 2006.

[2] Morris GY, Abbey C, Wong S, Joos G., "Evaluation of the costs and benefits of microgrids with consideration of services beyond energy supply," IEEE PES General Meeting, 2012.

[3] Hatziargyriou N., "Microgrids architectures and control," John Wiley & Sons, 2014.

[4] F. Bourgeois, P.E. Labeau,, "Stochastic quasi-gradient based optimization algorithms for dynamic reliability applications," Reliability Engineering and System Safety, vol. 71, pp. 65-79, 2001.

[5] Conti, Stefania, et al., "Optimal dispatching of distributed generators and storage systems for MV islanded microgrids," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 27, no. 3, pp. 1243-1251, 2012.

[6] Abbaspour, M., et al., "Optimal operation scheduling of wind power integrated with compressed air energy storage (CAES)," Renewable Energy, vol. 51, pp. 53-59, 2013.

[7] Mohammadi, Sirus, et al., "An Adaptive Modified Firefly Optimisation Algorithm based on Hong's Point Estimate Method to optimal operation management in a microgrid with consideration of uncertainties," Energy, vol. 51, pp. 339-348, 2013.

[8] Logenthiran T, Srinivasan D, Khambadkone AM., "Multi-agent system for energy resource scheduling of integrated microgrids in a distributed system," Electr Power Syst Res, vol. 81, pp. 138–148, 2011.

[9] Dagdougui H, Minciardi R, Ouammi A, Robba M, Sacile R., "Modeling and optimisation of a hybrid system for the energy supply of a ''green" building," Energy Convers Manage, vol. 64, pp. 351–363, 2012.

[10] Naraharisetti PK, Karimi IA, Anand A, Lee D-Y., "A linear diversity constraint - application to scheduling in microgrids," Energy, vol. 36, pp. 4235-4243, 2011.

[11] Mohamed FA, Koivo HN., "Online management genetic algorithms of microgrid for residential application," Energy Convers Manage, vol. 64, pp. 562-568, 2012.

[12] Castillo-Cagigal M, Gutiérrez A, Monasterio-Huelin F, Caamaño-Martín E, Masa D, Jiménez-Leube J., "A semi-distributed electric demand-side management system with PV generation for self-consumption enhancement," Energy Convers Manage, vol. 52, pp. 2659-2666, 2012.

[13] Kriett PO, Salani M., "Optimal control of a residential microgrid," Energy, vol. 42, pp. 321-330, 2012.

[14] Finn P, O'Connell M, Fitzpatrick C., "Demand side management of a domestic dishwasher: wind energy gains, financial savings and peak-time load reduction," Appl Energy, vol. 101, pp. 678-685, 2013.

[15] Dupont B, Dietrich K, De Jonghe C, Ramos A, Belmans R., "Impact of residential demand response on power system operation: a Belgian case study," Appl Energy, vol. 122, pp. 1-10, 2014.

[16] Song M, Alvehag K, Widén J, Parisio A., "Estimating the impacts of demand response by simulating household behaviours under price and CO2 signals," Electr Power Syst Res, vol. 111, pp. 103-114, 2014.

[17] E. Haesen, M. Espinoza, B. Pluymers, I. Goethals, V. Van Thong, J. Driesen, R. Belmans, and B. De Moor, "Optimal Placement and Sizing of Distributed Generator Units using Genetic Optimization Algorithms," KULeuven - ESAT - Energy Islands, pp. 1-19, 2005.

[18] M. Mohammadi, S. H. Hosseinian, and G. B. Gharehpetian, "Optimization of hybrid solar energy sources / wind turbine systems integrated to utility grids as microgrid (MG) under pool / bilateral / hybrid electricity market using PSO," Sol. Energy, vol. 86, no. 1, pp. 112-125, 2012.
[19] M. A. Behrang, E. Assareh, A. R. Noghrehabadi, and A. Ghanbarzadeh, "New sunshine-based models for predicting global solar radiation using PSO (particle swarm optimization) technique," Energy, vol. 36, no. 5, pp. 3036-3049, 2011.
[20] R. S. Garcia and D. Weisser, "A wind–diesel system with hydrogen storage: Joint optimisation of design and dispatch," Renew. Energy, vol. 31, no. 14, pp. 2296-2320, 2006.
[21] A. Mellit, S. a. Kalogirou, and M. Drif, "Application of neural networks and genetic algorithms for sizing of photovoltaic systems," Renew. Energy, vol. 35, no. 12, pp. 2881-2893, 2010.
[22] F. Nicolin and V. Verda, "Lifetime optimization of a molten carbonate fuel cell power system coupled with hydrogen production," Energy, vol. 36, no. 4, pp. 2235-2241, 2011.
[23] J. Lagorse, D. Paire, and A. Miraoui, "Sizing optimization of a stand-alone street lighting system powered by a hybrid system using fuel cell, PV and battery," Renew. Energy, vol. 34, no. 3, pp. 683-691, 2009.
[24] S. Kamel and C. Dahl, "The economics of hybrid power systems for sustainable desert agriculture in Egypt," Energy, vol. 30, no. 8, pp. 1271-1281, 2005.
[25] A. R. Prasad and E. Natarajan, "Optimization of integrated photovoltaic–wind power generation systems with battery storage," Energy, vol. 31, no. 12, pp. 1943-1954, 2006.
[26] W. Zhou, H. Yang, and Z. Fang, "Battery behavior prediction and battery working states analysis of a hybrid solar–wind power generation system," Renew. Energy, vol. 33, no. 6, pp. 1413-1423, 2008.
[27] C. Dennis Barley and C. Byron Winn, "Optimal dispatch strategy in remote hybrid power systems," Sol. Energy, vol. 58, no. 4, pp. 165-179, 1996.
[28] J. K. Kaldellis, D. Zafirakis, and E. Kondili, "Optimum autonomous stand-alone photovoltaic system design on the basis of energy pay-back analysis," Energy, vol. 34, no. 9, pp. 1187-1198, 2009.
[29] R. Dufo-López and J. L. Bernal-Agustín, "Design and control strategies of PV-Diesel systems using genetic algorithms," Sol. energy, vol. 79, no. 1, pp. 33-46, 2005.
[30] W. Zhou, C. Lou, Z. Li, L. Lu, and H. Yang, "Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar–wind power generation systems," Appl. Energy, vol. 87, no. 2, pp. 380-389, 2010.
[31] C. Changsong, D. Shanxu, C. Tao, L. Bangyin, and Y. Jinjun, "Energy Trading Model for Optimal Microgrid Scheduling Based on Genetic Algorithm," IEEE 6th International Power Electronics and Motion Control Conference, pp. 2136-2139, 2016.
[32] C. S. Wang, B. Yu, J. Xiao, and L. Guo, "Multi-scenario, multi-objective optimization of grid-parallel Microgrid," 4th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, pp. 1638-1646, 2011.
[33] R. Majumder, A. Ghosh, G. Ledwich, and F. Zare, "Load sharing and power quality enhanced operation of a distributed microgrid," Renew. Power Gener. IET, vol. 3, no. 2, pp. 109-119, 2009.

[34] X. Wang, Y.-Z. Li, and S.-H. Zhang, “A new neural network approach to economic emission load dispatch,” in Machine Learning and Cybernetics Proceedings International, vol. 1, pp. 501-505, 2002.
[35] S. Obara, M. Kawai, O. Kawae, and Y. Morizane, “Operational planning of an independent microgrid containing tidal power generators, SOFCs, and photovoltaics,” Appl. Energy, vol. 102, pp. 1343-1357, 2013.
[36] O. Hafez and K. Bhattacharya, “Optimal planning and design of a renewable energy based supply system for microgrids,” Renew. Energy, vol. 45, pp. 7-15, 2012.
[37] A. Milo, H. Gaztañaga, I. Etxeberria-Otadui, E. Bilbao, and P. Rodríguez, “Optimization of an experimental hybrid microgrid operation: reliability and economic issues,” IEEE Bucharest in PowerTech, pp. 1-6, 2009.
[38] A. Sobu and G. Wu, “Optimal operation planning method for isolated micro grid considering uncertainties of renewable power generations and load demand,” in Innovative Smart Grid Technologies-Asia, pp. 1-6, 2012.
[39] X. Zhu, J. Yan, N. Lu, “A Graphical Performance-Based Energy Storage Capacity Sizing Method for High Solar Penetration Residential Feeders”, IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 8, no. 1, pp. 3-12, 2017.
[40] Zhu, Dan, Robert P. Broadwater, Kwa-Sur Tam, Rich Seguin, and Haukur Asgeirsson, “Impact of DG placement on reliability and efficiency with time-varying loads,” IEEE Transactions on Power Systems, vol. 21, no. 1, pp. 419-427, 2016.
[41] R. O. Bawazir, N. S. Cetin, “Comprehensive overview of optimizing PV-DG allocation in power system and solar energy resource potential assessments,” Energy Reports, vol. 6, pp. 173-208, 2020.
[42] O. Khoubseresht, H. Shayanfar, “The role of demand response in optimal sizing and siting of distribution energy resources in distribution network with time-varying load: An analytical approach,” Electric Power Systems Research, vol. 180, pp. 1-12, 2020.
[43] S. R. Gampa et al., “Grasshopper optimization algorithm based two stage fuzzy multiobjective approach for optimum sizing and placement of distributed generations, shunt capacitors and electric vehicle charging stations,” Journal of Energy Storage, vol. 27, pp. 1-13, 2020.
[44] Q. Sui, F. Wei, X. Lin, C. Wu, Z. Wang, Z. Li, “Multi-energy-storage energy management with the robust method for distribution networks,” Electrical Power and Energy System, vol. 118, pp. 1-15, 2020.
[45] M. A. Abdulgalil, M. Khalid, “Enhancing the reliability of a microgrid through optimal size of battery ESS,” IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 13, no. 9, pp. 1499-1508, 2019.
[46] E. J. Agnoletto, D. S. de Castro, R. V. A. Neves, R. Q. Machado, V. A. Oliveira, “An Optimal Energy Management Technique Using the epsilon -Constraint Method for Grid-Tied and Stand-Alone Battery-Based Microgrids,” IEEE Access, vol. 7, pp. 165928-165942, 2019.
[47] M. Ahmadi, M. E. Lotfy, R. Shigenobu, A. M. Howlader, T. Senjyu, “Optimal Sizing of Multiple Renewable Energy Resources and PV Inverter Reactive Power Control Encompassing Environmental, Technical, and Economic Issues,” IEEE Systems Journal, vol. 13, no. 3, pp. 3026-3037, 2019.
[48] Z Aidong et al., “Day-ahead optimal energy dispatch schedule for integrated energy system based on AC/DC interconnected infrastructure,” The Journal of Engineering, vol. 2019, no. 16, pp. 1836-1840, 2019.

[49] B. Berbaoui, R. Dehini, M. Hattit, "An applied methodology for optimal sizing and placement of hybrid power source in remote area of South Algeria," Renewable Energy, vol. 146, pp. 2785-2796, 2020.
[50] A. Boveri, F. Silvestro, M. Molinas, E. Skjong, "Optimal Sizing of Energy Storage Systems for Shipboard Applications," IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 34, no. 2, pp. 801-811, 2019.
[51] M. Cao, Q. Xu, X. Qin, J. Cai, "Battery energy storage sizing based on a model predictive control strategy with operational constraints to smooth the wind power," Electrical Power and Energy Systems, vol. 115, pp. 1-10, 2020.
[52] M. Casini, G. G. Zanvettor, M. Kovjanic, A. Vicino, "Optimal Energy Management and Control of an Industrial Microgrid With Plug-in Electric Vehicles," IEEE Access, vol. 7, pp. 101729-101740, 2019.
[53] D. Chen, Z. Jing, H. Tan, "Optimal Siting and Sizing of Used Battery Energy Storage Based on Accelerating Benders Decomposition," IEEE Access, vol. 7, pp. 42993-43003, 2019.
[54] M. Combe, A. Mahmoudi, M. H. Haque, R. Khezri, "Cost-effective sizing of an AC mini-grid hybrid power system for a remote area in South Australia," IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 13, no. 2, pp. 277-287, 2019.
[55] S. de la Torre, J. M. González, J. A. Aguado, S. Martín, "Optimal battery sizing considering degradation for renewable energy integration," IET Renewable Power Generation, vol. 13, no. 4, pp. 572-577, 2019.
[56] A. A. Z. Diab, H. M. Sultan, I. S. Mohamed, O. N. Kuznetsov, T. D. Do, "Application of Different Optimization Algorithms for Optimal Sizing of PV/Wind/Diesel/Battery Storage Stand-Alone Hybrid Microgrid", IEEE Access, vol. 7, 119223-119245, 2019.
[57] Y. Dong, T. Zhao, Z. Ding, "Demand-side management using a distributed initialisation-free optimisation in a smart grid", IET Renewable Power Generation, vol. 13, no. 9, pp. 1533-1543, 2019.
[58] C. Dou, C. Meng, W. Yue, B. Zhang, "Double-deck optimal schedule of micro-grid based on demand-side response", IET Renewable Power Generation, vol. 13, no. 6, pp. 847-855, 2019.
[59] S. L. Edathil, S. P. Singh, "ACO and CS-based hybrid optimisation method for optimum sizing of the SHES," IET Renewable Power Generation, vol. 10, no. 10, pp. 1789-1801, 2019.
[60] H. H. Eldeeb, A. T. Elsayed, C. R. Lashway, O. Mohammed, "Hybrid Energy Storage Sizing and Power Splitting Optimization for Plug-In Electric Vehicles," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 55, no. 3, pp. 2252-2262, 2019.
[61] A. A. Elsakaan, R. A. El-Sehiemy, S. S. Kaddah, M. I. Elsaid, "Optimal economic–emission power scheduling of RERs in MGs with uncertainty," IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 14, no. 1, pp. 37-52, 2020.
[62] A. T. Eseye, M. Lehtonen, T. Tukia, S. Uimonen, R. J. Millar, "Optimal Energy Trading for Renewable Energy Integrated Building Microgrids Containing Electric Vehicles and Energy Storage Batteries," IEEE Access, vol. 7, pp. 106092-106101, 2019.
[63] S. Esmaeili, A. Anvari-Moghaddam, S. Jadid, "Optimal Operation Scheduling of a Microgrid Incorporating Battery Swapping Stations," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 34, no. 6, pp. 5063-5072, 2019.

[64] F. Garcia-Torres, C. Bordons, M. A. Ridao, "Optimal Economic Schedule for a Network of Microgrids With Hybrid Energy Storage System Using Distributed Model Predictive Control," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 66, no. 3, pp. 1919-1929, 2019.
[65] S. M. Hakimi, A. Hasankhani, M. Shafie-khah, J. P. S. Catalão, "Optimal sizing and siting of smart microgrid components under high renewables penetration considering demand response," IET Renewable Power Generation, vol. 13, no. 10, pp. 1809-1822, 2019.
[66] X. Han, S. Zhao, Z. Wei, W. Bai, "Planning and Overall Economic Evaluation of Photovoltaic-Energy Storage Station Based on Game Theory and Analytic Hierarchy Process," IEEE Access, vol. 7, 110972-110981, 2019.
[67] Y.-Yi Hong, M.-Yin Wu, "Markov Model-Based Energy Storage System Planning in Power Systems," IEEE Systems Journal, vol. 13, no. 4, pp. 4313-4323, 2019.
[68] S. Jha, I. Hussain, B. Singh, S. Mishra, "Optimal operation of PV-DG-battery based microgrid with power quality conditioner," IET Renewable Power Generation, vol. 13, no. 3, pp. 418-426, 2019.
[69] M. Koike, T. Ishizaki, N. Ramdani, J.-Ichi Imura, "Optimal Scheduling of Storage Batteries and Power Generators Based on Interval Prediction of Photovoltaics—Monotonicity Analysis for State of Charge," IEEE Control Systems Letters, vol. 4, no. 1, pp. 49-54, 2020.
[70] Y. Li, Z. Yang, G. Li, D. Zhao, W. Tian, "Optimal Scheduling of an Isolated Microgrid With Battery Storage Considering Load and Renewable Generation Uncertainties," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 66, no. 2, pp. 1565-1575, 2019.
[71] C. Li et al., "Techno-economic performance study of stand-alone wind/diesel/battery hybrid system with different battery technologies in the cold region of China," Energy, vol. 192, pp. 1-23, 2020.
[72] S. Lin, Y. Wang, M. Liu, G. Fan, Z. Yang, Q. Li, "Stochastic optimal dispatch of PV/wind/diesel/battery microgrids using state-space approximate dynamic programming," IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 13, no. 15, pp. 3409-3420, 2019.
[73] Y. Liu, Z. Li, Z. Lin, K. Zhao, Y. Zhu, "Multi-Objective Optimization of Energy Management Strategy on Hybrid Energy Storage System Based on Radau Pseudospectral Method," IEEE Access, vol. 7, pp. 112483-112493- 2019.
[74] M. Martinez, M. G. Molina, P. E. Mercado, "Optimal sizing and location of vanadium redox flow battery in a power system with high wind power generation," The Journal of Engineering, vol. 2019, no. 18, pp. 5038-5043, 2019.
[75] M. Jabir, H. Mokhlis, M. A. Muhammad, H. A. Illias, "Optimal battery and fuel cell operation for energy management strategy in MG," IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 13, no. 7, pp. 997-1004, 2019.
[76] I. N. Moghaddam, B. Chowdhury, M. Doostan, "Optimal Sizing and Operation of Battery Energy Storage Systems Connected to Wind Farms Participating in Electricity Markets," IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol. 10, no. 3, pp. 1184-1193, 2019.
[77] K. Panagiotou, C. Klumpner, M. Sumner, "Sizing guidelines for grid-connected decentralised energy storage systems: single house application," The Journal of Engineering, vol. 2019, no. 17, pp. 3802-3806, 2019.

[78] S. Parashar, A. Swarnkar, K. R. Niazi, N. Gupta, “Multiobjective optimal sizing of battery energy storage in grid-connected microgrid,” The Journal of Engineering, vol. 2019, no. 18, pp. 5280-5230, 2019.
[79] P. P. Gupta, P. Jain, S. Sharma, K. C. Sharma, Rohit Bhakar, “Stochastic scheduling of battery energy storage system for large-scale wind power penetration,” The Journal of Engineering, vol. 19, no. 18, pp. 5028-5032, 2019.
[80] M. R. Cortés et al., “Optimal Charge/Discharge Scheduling of Batteries in Microgrids of Prosumers,” IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 34, no. 1, pp. 468-477, 2019.