مجله پژوهش های معاصر در علوم و تحقیقات
سال ششم، شماره ۵۸، اردیبهشت ۱۴۰۳
ISSN: ۲۶۷۶-۵۷۶٤
www.jocrisar.ir

بررسی مسائل بهینه‌سازی در توزیع انرژی

حمید لشنی [۱]

[۱] کارشناسی ارشد مهندسی برق دانشگاه شاهد تهران

چکیده

انرژی نقش برجسته در توسعه اقتصادی- اجتماعی کشورهای مختلف دارد. لذا مدیریت و بهینه‌سازی فرایند مصرف، تولید و توزیع انرژی یکی از اصلی‌ترین راهبردهای تضمین امنیت انرژی است که از سوی سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران کشورهای مختلف اتخاذ می‌شود. این صنعت بهینه‌سازی یک صنعت جدیدی است که در کشورها درحال شکل گرفتن می‌باشد. بهینه‌سازی یک سیستم عبارت است از تعریف دقیق سیستم و انتخاب ویژگی‌هایی که باید انجام شوند و بهینه‌سازی انرژی به درک جدیدی از سیستم‌ها و فرآیندها برای تعیین مناسب‌ترین پارامترهای طراحی به منظور دستیابی به افزایش کارایی، بهینه سازی هزینه و پایداری می‌پردازد. بنابراین ما در مقاله سعی کردیم با روش تجزیه و تحلیل توصیفی- مروری به بررسی کتب، پایان‌نامه‌ها، پایگه‌های الکترونیکی و یافته‌های مقالات انجام گرفته در حوزه بررسی مسائل بهینه‌سازی در توزیع انرژی بپردازیم. نتایج بررسی‌ها حاکی از آن است که انرژی اهمیت بسیاری در زندگی موجودات دارد و طراحی سیستم‌های قدرت در زمینه تولید، توزیع و مصرف انرژی از وظایف مهم برنامه‌ریزان در این حیطه می‌باشد. از طرفی بحث بهینه‌سازی سیستم‌های توزیع انرژی همواره مورد توجه محققان بوده است و با استفاده از سیستم میکروگرید، الگوریتم‌های فراابتکاری تکنیک‌های برنامه‌ریزی احتمالی در زمینه استفاده بهینه از منابع بادی و خورشیدی و غیره می‌توانیم مقدار توان بهینه منابع تولید را تعیین کرده، به بهره‌برداری بهینه از شبکه‌ها انجامیده و کاهش تلفات را در پی داشته باشیم.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، توزیع انرژی، منابع تجدیدپذیر، توان تولیدی

مقدمه

در چند دهه اخیر و همزمان با توسعه فناوری اطلاعات، رشد مصرف انرژی در این بخش سرعت فراوانی پیدا کرده است. با استقرار و توسعه رایانش ابری، مراکز داده به یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کننده‌های انرژی بدل شده‌اند. آثار نامطلوب مصرف سوخت‌های فسیلی از یک سو و بحران جهانی انرژی به عنوان عامل محدودکننده رشد و توسعه از سوی دیگر، اهمیت موضوع مدیریت و کاهش انرژی در این بخش را دو چندان کرده است. در حال حاضر دو مولفه اصلی مربوط به انرژی در ساخت مرکز داده، استفاده از انرژی پاک و مدیریت انرژی در دسترس است (طاهری، ۱۳۹۹). سیستم‌های توزیع انرژی، به دلیل فراهم آوردن توان مصرفی مشتریان و همچنین جذب بودجه بزرگ در سرمایه‌گذاری این بخش از شبکه، نقش مهمی را در سیستم‌های قدرت ایفا می‌کنند. از این رو طراحی و توسعه سیستم‌های توزیع انرژی یکی از وظایف مهم شرکت‌های توزیع محسوب می‌شود (اسماعیل‌پور، ۱۳۹۵). با گسترش روابط تجاری در عرصه‌های مختلف، قراردادهای متنوعی در سطح ملی و بین‌المللی شکل گرفتند. یکی از اقسام این قراردادهای مدرن و نوظهور، قرارداد توزیع انرژی است. ضرورت انعقاد این قرارداد از آن جهت است که یکی از مهم‌ترین چالش‌های مدیران بازاریابی و تولیدکنندگان، انتقال کالاهای تولید خود به بازارهای هدف است. در صورت آگاهی و تسلز کامل تولیدکننده بر محتوا و ماهیت قرارداد توزیع، وی قادر به عرضه کالاهایش با حداکثر وسعت و حداقل ضرر و زیان خواهد بود. صنایع انرژِی در ایران و به خصوص نفت و گاز نیازمند تدوین سناریوهای متعدد و بر مبنای آن استراتژی‌های مناسب برای توسعه و پیشبرد این صنایع همگام با جهان می‌باشد (امیرخانی، ۱۳۹۶). همچنین با رشد تکنولوژی‌ها بهره‌برداری و برنامه‌ریزی سیستم‌های قدرت در سطوح مختلف مانند سیستم‌های تولید، توزیع و فوق توزیع از اهمیت بالایی برخوردار است (آهنی، ۱۴۰۱). سیستم‌های قدرت سنتی از چندین مشکل از جمله: کمبود سوخت فسیلی، مسائل زیست‌محیطی منابع سوخت فسیلی و راندمان انرژی پایین در بخش انتقال توان، با چالش روبه‌رو هستند. علاوه بر این، مصرف انرژی به دلیل افزایش جمعیت، صنعتی شدن و توسعه‌های شهری افزایش یافته است. شبکه‌های توزیع سنتی، به صورت شبکه‌های توزیع غیرفعال شناخته می‌شوند که در تولید توان مشارکت نمی‌کنند (شیخ احمدی، ۱۳۹۵) و این سیستم‌های انرژی توزیع شده در بسیاری از جوامع به عنوان سیستم تولید انرژی آینده پذیرفته شده است. ولی عدم طراحی مناسب و بهینه نبودن طراحی این سیستم‌ها به عنوان یک ضعف به حساب می‌آید (صادق پوربابریجوق، ۱۳۹۷). بنابراین این مسئله یک مسئله بهینه‌سازی است که هدف آن اختصاص توان تولیدی مناسب بین نیروگاه‌ها به نحوی است که قیود شبکه رعایت شوند؛ هزینه‌ی تولید توان نیز حداقل گردد و همچنین در کنار آن به موضوع کاهش آلودگی در جامعه امروزی توجه شود (صباحی، ۱۴۰۲).

لطفی و همکاران (۱۳۹۸) در مقاله‌ای تحت عنوان استراتژی بهینه مدیریت انرژی در شبکه‌های توزیع هوشمند با در نظر گرفتن اثر منابع تولید پراکنده و واحدهای ذخیره انرژی دریافتند که نفوذ منابع تولید پراکنده و واحدهای ذخیره انرژی در شبکه‌های توزیع در حال افزایش می‌باشد. از این رو به منظور بهینه‌سازی همزمان شاخص قابل اطمینان و توابع هدف دیگر طرح بهینه‌ای برای تولید واحدهای تولید پراکنده، شارژ و دشارژ سیستم‌های ذخیره انرژی و همچنین توپولوژی فیدرهای شبکه توزیع ارائه شده است.

پرهیزکاری و مازندرانی‌زاده (۱۳۹۸) در مقاله‌ای با عنوان استفاده از MOPSI در بهینه‌سازی چند هدفه بهره‌برداری از مخزن برقابی مطالعه موردی: سطح کارون ۵ دریافتند بهینه‌سازی چند هدفه بهره‌برداری از مخزن سد کارون ۵ در ساعت‌های پیک، شامل دو هدف پیشینه‌سازی درآمد سالانه و پیشینه‌سازی حداقل انرژی تولید شده روزانه، به کار گرفته شده است. نتایج نشان

می‌دهد که با کاهش حداقل انرژی تولیدی روزانه از حدود ۱۰۴۰ مگاوات ساعت به ۶۵۰ مگاوات ساعت، شاهد افزایش درآمد حدوداً ۱۰ درصد درآمد کل سالانه خواهیم بود.

پیشرفت فناوری در کشورهای درحال توسعه و توسعه‌یافته، منجبر به افزایش تقاضای انرژی شده است. این افزایش تقاضا، به معنای مصرف سوخت بیشتر برای تامین انرژی و متعاقب آن، افزایش قابل توجه توجه در هزینه‌ها و آلاینده‌های زیست محیطی است. بنابراین، توان خروجی واحدهای تولیدی باید به گونه‌ای تعیین شود، که نه تنها تقاضای بار انرژی تامین شود، بلکه هزینه توان تولیدی نیز به حداقل برسد (نوریان‌فر، ۱۴۰۰). همچین پس از تولید انرژی و انتقال آن، شبکه‌ی توزیع، آخرین واسطه‌ی سیستم قدرت و مصرف‌کننده می‌باشد. در نتیجه، ضعف‌های آن به طور مستقیم بر کیفیت تغذیه انرژی و میزان رضایت آن‌ها تاثیرگذار خواهد بود. به منظور افزایش میزان قابلیت اطمینان این شبکه، لازم است، از ادوات کلیدزنی جهت مانور شبکه استفاده شود. از آنجایی که شبکه توزیع همواره با محدودیت‌های مالی روبه‌رو است، لذا نیازمند استفاده بهینه از امکانات موجود می‌باشد (حیدری، ۱۳۹۹). به توجه به اهمیت موضوع شبکه‌های توزیع انرژی، در این مقاله به بررسی مسائل بهینه‌سازی در توزیع انرژی پرداختیم.

مبانی نظری

شبکه‌های توزیع انرژی

ایران از غنی‌ترین کشورهای جهان در زمینه انرژی‌های فسیلی شناخته شده که با تولید ۲۱ درصد و توزیع ۴۱ درصد ذخایر گاز طبیعی مقام اول را در خاورمیانه کسب کرده است و به موازات آن نیز یکی از مصرف‌کنندگان بی‌رویه انرژی قلمداد می‌شود. میزان انتشار گاز دی اکسید کربن مصرف‌کنندگان انرژی ساختمان‌ها، شامل خانگی، تجاری و عمومی برابر ۱۲۷ میلیون تن در سال است که این میزان ۴٫۵ برابر مصرف دنیا است (زمردیان، ۱۳۹۸). در عصر حاضر، وابستگی شدید به سوخت‌های فسیلی یکی از اصلی‌ترین چالش‌ها در مبحث تامین انرژی بوده است (الادل و همکاران، ۲۰۲۰). استفاده از سوخت‌های فسیلی و گاهاً بازده پایین روش‌های متداول تبدیل انرژی مبتنی بر سوخت‌های فسیلی، آلودگی قابل‌توجهی را برای محیط زیست به همراه دارد (بهرامی و همکاران، ۲۰۱۸). از این رو بسیاری از کشورها، به دنبال ایجاد تحولی در زمینه تامین انرژی سبز و عدم وابستگی به سوخت‌های فسیلی بوده‌اند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۷). در روش‌های متداول سنتی مدیریت انرژی، انواع تقاضاهای انرژی به صورت جداگانه مدیریت شده و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است؛ اما در کنار توسعه و تجاری شدن انرژی‌های تجدیدپذیر، با توسعه سیستم‌های تولید همزمان برق و گرما یا سیستم‌های تولید همزمان برق و تولید سرما و گرما، وابستگی میان حامل‌های مختلف انرژی که اغلب برق و گاز هستند، افزایش یافته است (رستگار و همکاران، ۲۰۱۷). سامانه‌های انرژی مخصوصاً انرژی الکتریکی یکی از پیچیده‌ترین تجهیزات ساخته شده توسط بشر در چند دهه اخیر بوده‌اند. به دلیل گسترش روزافزون نیاز تامین انرژی در انواع واحدهای خانگی، تجاری و صنعتی شبکه‌های گسترده تولید، انتقال و توزیع توان در سراسر کشورها گسترده شده‌اند. یکی از اجزای مهم شبکه‌های انرژی شبکه‌های توزیع توان بوده که واسطه ما بین شبکه‌های انتقال توان و مصرف کننده‌های خرد و کلان می‌باشند. وظیفه اصلی این سامانه‌ها می‌توان کاهش سطح ولتاژ و آماده‌سازی انرژی برای تحویل به مصرف‌کنندگان دانست که با توجه به ساختارها و سطوح مختلف ولتاژ انجام می‌گیرد. تحقیقات انجام گرفته در زمینه شبکه‌های توزیع معطوف به موارد گسترده‌ای چون کیفیت توان، بازآرایی شبکه‌ها، شبکه‌های هوشمند و قابلیت اطمینان بوده که با توجه به اهداف مختلف ارگان‌های فعال در این حوزه‌ها گسترش یافته‌اند. یکی

از زمینه‌هایی که در چندین دهه اخیر توجه محققان دانشگاهی و مهندسان شرکت‌های فعال در صنعت برق را به خود مشغول کرده است، مسئله بهبود کیفیت توان می‌باشد. دلیل این امر را می‌توان معطوف به ساختار شبکه‌های توزیع توان دانست که در آن عموماً بارهای غیر خطی و دارای نوسان زیاد وجود داشته است. وجود این بارها باعث می‌شود اعوجاجات زیادی در جریان‌ها و ولتاژهای شبکه رخ دهد. این امر می‌تواند علاوه بر صدمه به تجهیزات مشترکین مصرف‌کننده آسیب‌های جدی به اجزای سامانه‌های توزیع توان چون ترانسفورمرها وارد نماید (رشیدی و همکاران، ۱۴۰۰). ادغام منابع تولید پراکنده در سیستم‌های توزیع سنتی، ماهیت آن‌ها را از حالت غیرفعال به فعال تغییر داده است. این موضوع چالش‌های جدیدی را در طراحی و بهره‌برداری شبکه‌های توزیع ایجاد کرده است (ویرال و خاتود، ۲۰۱۲). در شبکه‌های توزیع فعال، برخی از بخش‌های سیستم را می‌توان به صورت ریزشبکه‌هایی تعریف کرد که به یکدیگر متصل می‌شوند و در حالت متصل/مجزا به/از شبکه عمل می‌کنند (نونا و دولا، ۲۰۱۳).

پیشینه تحقیق

شقاقی و دشتی (۱۴۰۱) در مقاله‌ای با عنوان بهینه‌سازی اقتصادی مدیریت خاموشی در شبکه‌های توزیع برق مدل‌سازی اقتصادی مواردی مانند جریمه‌های تعیین شده توسط دولت، هزینه منابع انسانی، وسایل نقلیه حادثه و هزینه اتوماسیون ایستگاه‌های توزیعی را محاسبه می‌کند. در بخش دوم، جریمه‌ها و تامین انرژی موقت بهینه شده است. دو رویکرد برای عرضه کوتاه انرژی در نظر گرفته شده. روش اول مبتنی بر تقاضا و کاهش بار در بازده پاداش است و روش دوم خرید نیرو از منابع توزیع شده در منطقه قطع است.

در مقاله لطفی و همکاران (۱۴۰۱) با عنوان ارائه یک رویکرد چند هدفی فازی برای بازآرایی دینامیکی شبکه توزیع در حضور واحدهای تولید پراکنده و سیستم‌های ذخیره انرژی توابع هدف انرژی توزیع نشده به عنوان شاخص قابل اطمینان، شاخص پایداری ولتاژ به عنوان تابع امنیت شبکه در کنار هزینه بهره‌برداری برای مسئله بازارایی پویا معرفی شده است. مسئله بهینه‌سازی بازآرایی شبکه توزیع، یک مسئله غیرخطی و غیرمحدب است، در نظر گرفتن اثر واحدهای تولید پراکنده و ذخیره انرژی باعث پیچیدگی بیشتر مسئله بهینه‌سازی می‌شود. از این رو، الگوریتم بهینه‌سازی روانشناسی دانش‌آموزی مبتنی بر منطق فازی برای مسئله بهینه‌سازی تک و چند با هدف مسئله بازآرایی دینامیک شبکه توزیع ارائه شده است.

یافته‌های تحقیق ناصری و همکاران (۱۴۰۰) با عنوان توزیع بار اقتصادی با هدف کاهش هزینه و بهبود قابلیت اطمینان با در نظر گرفتن عدم قطعیت حاکی از آن است که با پیدایش روش‌های مدیریت انرژی و مصرف توان الکتریکی، روند رشد بار کاهش یافته اما همچنان نیاز به بهینه‌سازی مسائل بهره‌برداری بهینه در بخش‌های تولید، شبکه انتقال و توزیع برای تامین و انتقال توان از تولیدکنندگان به مصرف‌کنندگان وجود دارد. هزینه بهره‌برداری شامل هزینه عملکرد نیروگاه‌ها و نگهداری شبکه می‌باشد. علاوه بر هزینه اهداف دیگری نظیر قابلیت اطمینان شبکه نیز وجود دارد.

در مقاله میر بابایی رکنی و همکاران (۱۳۹۸) با عنوان مدل‌سازی مدیریت منابع انرژی پراکنده در ریز شبکه با استفاده از روش توزیع شده، استراتژی مدیریت انرژی توزیع شده با دو روش PCPM و ADMM پیشنهاد شده است. در این روش‌ها کنترل‌کننده مرکزی و کنترل‌کننده‌های محلی به طور مشترک، برنامه واحدی را بهینه می‌کنند. روش‌های مذکور بر روی ریزشبکه نمونه و در حالت‌های متصل به شبکه و مستقل از شبکه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج شبیه‌سازی کارایی بهتر و همگرایی سریع‌تر روش‌های توزیع شده نسبت به روش متمرکز را نشان داده است.

برزی و همکاران (۱۳۹۸) در مقاله‌ای تحت عنوان پارامترهای موثر بر انرژی تولیدی ریز شبکه جریان مستقیم سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه توزیع برق ایران با رویکرد پایداری دریافتند که به منظور تولید انرژی بیشتر سیستم فتوولتائیک و انرژی آزادسازی ظرفیت شبکه توزیع برق؛ به کمینه کردن فضای محل نصب، زاویه پنل نسبت به سطح افق، کاهش سایه روی هر پنل، از الگوریتم فرابتکاری کلونی زنبور عسل استفاده شده و نتایج نشان می‌دهد بهینه فضای نصب پنل و کاهش سایه باعث افزایش تولید انرژی، آزادسازی ظرفیت و پایداری شبکه توزیع شده است.

روش تحقیق

این مقاله از جهت بررسی مسائل بهینه‌سازی در توزیع انرژی جزء تحقیقات کاربردی است. روش پژوهش تجزیه و تحلیل کتابخانه‌ای- مروری است که برای گردآوری اطلاعات از مقالات، اسناد، پایان‌نامه‌ها، پایگاه‌های اینترنتی از جمله مگیران، ایران داک و غیره بهره گرفته‌ایم.

یافته‌ها

جدول تحقیقات پیشین

ردیف	نویسنده/ نویسندگان	موضوع	سال انتشار	یافته‌ها
۱	کهنسال، زاده باقری، کیانی و نجاتیان	مشارکت دوهدفی هاب‌های انرژی و شبکه‌های توزیع در بازارهای عمده و خرده‌فروشی انرژی مبنی بر تصمیم‌گیری فازی	۱۴۰۳	در این مقاله مسئله مشارکت همزمان شبکه‌های انرژی و هاب‌های انرژی در بازارها انرژی روز بعد ارائه شد. به‌طوری که ENها (مانند شبکه‌های الکتریکی، گازی و حرارتی) انرژی را از بازار انرژی عمده‌فروشی خریداری می‌کنند و آن را در بازارهای انرژی خرده‌فروشی در اختیار EHها (هاب انرژی) و مصرف‌کنندگان قرار می‌دهند. پیرو این موضوع طرح پیشنهادی در قالب بهینه‌سازی دو هدف دارد که یک تابع هدف آن کمینه‌سازی هزینه انرژی ENها در بازارهای یاد شده لحاظ می‌کند و تابع هدف دیگر کمینه‌سازی هزینه انرژی EHها در بازار خرده‌فروشی را در نظر گرفته است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که طرح پیشنهادی بالاترین سود را برای EHها متناسب با قیمت انرژی متغیر با زمان به دست می‌آورد. همچنین مدیریت بهینه انرژی EHها به کاهش حدود ۱۰ درصدی هزینه انرژی شبکه‌های انرژی در مقایسه با مطالعات پخش بار کمک می‌کند. همچنین قادر به کاهش تلفات انرژی و حداکثر افت

				ولتاژ و دما است.
۲	معین‌فر و یزدی	بهینه‌سازی مصرف انرژی در شبکه‌های توزیع آب با کاربرد پمپ‌های با دور متغیر	۱۴۰۲	مدل بهینه توسعه داده شده در این تحقیق ۹,۶ درصد مصرف انرژی کمتری را دارا می‌باشد که برتری مهمی نسبت به روش‌های سنتی به شمار آمده و می‌تواند در صرفه‌جویی مصرف انرژی موثر باشد. همچنین این رویکرد اتخاذ شده در این پژوهش توانسته است میزان انرژی مصرفی را در ساعت اوج مصرف انرژی و ساعت پیک مصرف آب به ترتیب ۹۳,۶ و ۷۴,۳ درصد در طول دوره بهره‌برداری در نظر گرفته شده، کاهش دهد. مزیت اصلی این رویکرد بهره‌برداری سادگی، قابل درک و فهم بودن برای بهره‌بردار و عملیاتی بودن آن است.
۳	دهقانفر، کیا، ظفری، آراسته و جباری	بهبود ظرفیت میزبانی شبکه توزیع از منابع تولید پراکنده بادی با استفاده از بازآرایی و جبران‌سازی توان راکتیو	۱۴۰۱	منابع تولید پراکنده یکی از عناصر مهم و جدانشدنی سیستم‌های توزیع مدرن هستند که از این میان استفاده از منابع بادی و فتوولتائیک روز به روز با افزایش تقاضای انرژی الکتریکی در پی عواملی چون افزایش جمعیت، مصارف غیرمجاز نظیر دستگاه‌های غیرمجاز استخراج رمز ارز، افزایش تاسیسات تهویه مطبوع برقی، گسترش می‌یابد و بر اساس این مقاله افزایش ظرفیت میزبانی شبکه توزیع با کمینه‌سازی هزینه‌های انرژی دریافتی از شبکه بالادست، انرژی منابع تولید پراکنده، تولید توان منابع جبران‌سازی توان راکتیو و نیز هزینه قابلیت اطمینان شبکه توزیع پیشنهاد شده است.
۴	رشیدی، تبریزیان و شاهمیرزاد	بازآرایی بهینه شبکه‌های توزیع برق جهت بهبود کیفیت توان با استفاده از برنامه‌ریزی چند هدفی	۱۴۰۰	یکی از اجزای مهم سامانه‌های انرژی الکتریکی، شبکه‌های توزیع توان بوده که واسطه ما بین شبکه‌های انتقال توان و مصرف‌کننده‌های خرد و کلان است. وظیفه اصلی این شبکه‌ها کاهش سطح ولتاژ و آماده‌سازی انرژی الکتریکی برای تحویل به مصرف‌کنندگان است که با توجه به ساختارها و سطوح مختلف ولتاژ انجام می‌گیرد. در این تحقیق بازارایی شبکه‌های توزیع از جمله روش‌های بهینه‌سازی موثر در بازارایی شبکه‌ها، استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری به منظور یافتن بهترین آرایش برای شبکه توزیع با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف و محدودیت‌های متنوع شبکه انجام گرفته است و برای این مسئله از روش الگوریتم بهینه‌سازی

				ازدحام ذرات به هر دو صورا تک‌هدفه و چندهدفه، صورت گرفته و نتاسگیج مطلوبی در این حوزه بدست آمده است.
۵	مقاتلی، طاهر، کریمی و شاهیده‌پور	طراحی مفهومی ساختار ریزشبکه‌های چندگانه در شبکه‌های توزیع فعال	۱۳۹۹	در این مقاله با در نظر گرفتن اهمیت هر دو جنبه هزینه و قابلیت اطمینان، به منظور طراحی مفهومی بهینه ریزشبکه‌ها در یک شبکه توزیع فعال، چند رویکرد، ایجاد و مقایسه شده‌اند. در رویکرد اول، با هدف کاهش هزینه سالیانه تلفات و خرید توان از شبکه بالادست، مکان‌یابی و اندازه‌یابی ESSها در یک شبکه توزیع فعال انجام شده است. سپس این شبکه با هدف بهبود قابلیت اطمینان به چندین ریزشبکه تقسیم شده است. در رویکرد دوم، مکان‌یابی و اندازه‌یابی و ESSها و تعیین محدوده ریز شبکه‌ها به طور همزمان با هدف بهبود قابلیت اطمینان در شبکه توزیع فعال انجام شده و در رویکرد سوم، مکان‌یابی و اندازه‌یابی ESSها و تعیین محدوده ریز شبکه‌ها به طور همزمان با دو هدف بهبود قابلیت اطمینان و هزینه در شبکه توزیع فعال انجام شده است.
۶	بیات و افراخته	ارائه یک استراتژی جامع مدیریت انرژی در بهره‌برداری از ریزشبکه‌های چندگانه با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های ناشی از رخداد خطا	۱۳۹۸	نتایج مستخرج از این مقاله حاکی بر آن است که در نظر گرفتن یک روش مناسب بهره‌برداری، می‌تواند میزان خاموش‌های شبکه را در قبال کاهش اندکی در سود بهره‌برداری، به طور چشمگیری کاهش دهد. در این راستا نتایج به دست آمده بسیار محسوس بوده و شاخص‌های قابلیت اطمینان یا پیاده‌سازی روش پیشنهادی برای بهره‌برداری شبکه‌های مبتنی بر MMG، در مقایسه با چند روش مرسوم، بهبود قابل توجهی پیدا کردند. همچنین می‌توان بیان کرد که اگرچه در پژوهش حاضر از یک الگوریتم بهینه‌سازی بهبود یافته شده برای حل مسئله گرفته شد، اما نویسندگان امیدوار هستند تا بتوانند با خطی‌سازی مسئله و حل آن توسط سایر نرم‌افزارهای بهینه‌سازی، متغیرهای بهینه استخراج شده در این پژوهش را مورد ارزیابی قرار دهند.
۷	لطفی، قاضی و نقیبی سیستانی	ارائه استراتژی پویا برای تجدید آرایش شبکه توزیع با توجه به اهمیت قابلیت اطمینان و امنیت	۱۳۹۸	شبکه‌های توزیع معمولاً برای افزایش سطح قابلیت اطمینان و کاهش خاموشی‌ها به صورت حلقوی طراحی می‌شوند ولی برای پایین آوردن سطح اتصال کوتاه و هماهنگی سیستم‌های حفاظتی به صورت

		سیستم		شعاعی بهره‌برداری می‌شوند، همین موضوع باعث افزایش تلفات در شبکه توزیع می‌شود. به همین منظور عملیات تجدید آرایش فیدرهای توزیع برای کاهش تلفات، بهبود قابلیت اطمینان و غیره با مدیریت کلیدزنی در شبکه توزیع اجرا می‌شود. در فرایند تجدید آرایش، آرایش فیدرهای توزیع با توجه به وضعیت کلیدها برای رسیدن به اهداف مختلفی تجدید می‌شود. همچنین با توجه به اینکه در مطالعه تجدید آرایش به قابلیت اطمینان و امنیت شبکه توجه کمتری شده است، از این رو شاخص انرژی توزیع نشده در کنار شاخص پایداری ولتاژ و تلفات انرژی به عنوان توابع هدف مسئله در نظر گرفته شده‌اند. تجدید آرایش فیدرهای توزیع به طور ذاتی مسئله پیچیده‌ای است در نظر گرفتن تاثیر منابع تولید پراکنده و سیستم‌های ذخیره انرژی در شبکه توزیع مسئله را پیچیده‌تر از قبل می‌کند. به همین منظور از الگوریتم بهبودیافته جهش قورباغه مبتنی بر یک استراتژی جدید جهش استفاده شده است.
۸	هوشمند، نوروزیان و ربیعی	اشتراک‌گذاری بهینه انرژی منابع تولید پراکنده تجدیدپذیر در شبکه توزیع با در نظر گرفتن عدم قطعیت	۱۳۹۷	روش بر اساس تکنیک‌های برنامه‌ریزی احتمالاتی استفاده بهینه از منابع بر اساس باد و خورشید با توجه به عدم قطعیت موجود در این منابع را در شبکه توزیع ارائه می‌کند. تولید منابع تجدیدپذیر و همچنین تقاضای انرژی به صورت الگوی ۲۴ ساعته در نظر گرفته شده که در هر ساعت رفتار تصادفی تولید بادی بر اساس توزیع ویبال و عدم قطعیت در تولید فتوولتاییک و تقاضای انرژی بر اساس توزیع نرمال مدل شده است. این روش با جایابی مکان و ترکیب بهینه DGها و مشارکت بهینه انرژی این منابع بر اساس عدم قطعیت حاکم بر متغیرهای شبکه، بهره‌برداری بهینه از شبکه را در برابر تمام وضعیت‌های بهره‌برداری به منظور کاهش تلفات تنظیم می‌کند.
۹	حسینا و بطحائی	جایابی، تعیین اندازه و برنامه‌ریزی بهینه پست‌های فوق توزیع با استفاده از ذخیره سازهای باتری جریانی	۱۳۹۵	با استفاده از روش واحدهای ذخیره‌ساز باتری وانادیوم می‌توان در شبکه‌های فوق توزیعی که نیاز به نصب ذخیره‌ساز دارند، با تعریف سه شاخص برای پیک‌سایی، تصحیح منحنی بار و کاهش هزینه، نقاط نصب ذخیره ساز را اولویت بندی کرد. پس از تعیین

		وانادیوم به منظور افزایش بهره‌وری شبکه توزیع برق		مکان نصب، ظرفیت بهینه ذخیره‌ساز و همچنین برنامه‌ریزی بهینه شارژ و دشارژ با توجه به داده‌های مصرف و اطلاعات آماری پیش‌بینی شده مشخص می‌شود. با توجه به نتایج حاصله برنامه‌ریزان و بهره‌برداران می‌توانند به صورت کاربردی از این روش در شبکه‌های فوق توزیع برق استفاده کنند تا با نصب ذخیره‌ساز علاوه بر افزایش بهره‌وری تجهیزات مورد استفاده، صرفه‌های اقتصادی بسیاری را عاید شبکه سازند.
۱۰	آذری نژادیان، میرحسینی مقدم، مرزبند و پرهیزی	مدیریت بهینه انرژی با استفاده از روش کلونی زنبور مصنوعی چند زمانه برای یک میکروگرید متصل به شبکه با چندین واحد تولید توزیع شده	۱۳۹۳	براساس سیستم میکروگرید IREC روشن شد که روند بهینه‌سازی بر اساس نتایج به دست آمده به خوبی عمل کرده و می‌تواند مقدار توان بهینه منابع تولید را پس از در نظر گرفتن تابع هزینه هر یک از آن‌ها با مینیمم نمودن هزینه کل تولید الکتریسیته تعیین کند و نتایج به دست آمده گویای کاهش بیشتر هزینه کل تولید الکتروسیته در حدود ۱۸ درصد در الگوریتم پیشنهادی است. علاوه بر این، الگوریتم می‌تواند به منظور مدیریت انرژی در نیروگاه‌های کوچک منطقه‌ای که در آن‌ها از منابع انرژی تجدیدپذیر بهره می‌برند، استفاده شود.

بحث و نتیجه‌گیری

در عصر حاضر وابستگی شدید به سوخت‌های فسیلی یکی از اصلی‌ترین چالش‌ها در مبحث تامین انرژی بوده است. ایران از غنی‌ترین کشورهای جهان در زمینه انرژی‌های فسیلی شناخته شده؛ همچنین به موازات آن نیز یکی از مصرف‌کنندگان بی‌رویه انرژی قلمداد می‌شود. استفاده از سوخت‌های فسیلی و گاهاً بازده پایین روش‌های متداول تبدیل انرژی مبتنی بر سوخت‌های فسیلی، آلودگی قابل‌توجهی را برای محیط‌زیست به همراه دارد. در روش‌های متداول سنتی مدیریت انرژی انواع تقاضاهای انرژی به صورت جداگانه مدیریت شده و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. یکی از اجزای مهم شبکه‌های انرژی شبکه‌های توزیع توان بوده که واسطه مابین شبکه‌های انتقال توان و مصرف‌کننده‌های خرد و کلان می‌باشد. از وظیفه اصلی این سامانه‌ها، می‌توان کاهش سطح ولتاژ و آماده‌سازی انرژی برای به تحویل مصرف‌کنندگان را دانست که با توجه به ساختارها و سطوح مختلف ولتاژ انجام می‌گیرد. ادغام منابع تولید پراکنده در سیستم‌های توزیع سنتی ماهیت آن‌ها را از حالت غیر فعال به فعال تغییر داده است. در شبکه‌های توزیع فعال برخی از بخش‌های سیستم را می‌توان به صورت ریزشبکه‌هایی تعریف کرد که به یکدیگر متصل می‌شوند. با استفاده از چند رویکرد پیشنهاد شده توسط تحقیقات عبارتند از: رویکرد چند هدفی فازی، توزیع بار اقتصادی، الگوریتم‌های فراابتکاری، سیستم میکروگرید، تکنیک‌های برنامه‌ریزی احتمالی در زمینه استفاده بهینه از منابع بادی و خورشیدی، استراتژی مدیریت انرژی توزیع شده با دو روش PCPM و ADMM می‌توان به بهره‌برداری بهینه از انرژی، کارایی بهتر و همگرایی سریع‌تر روش‌های توزیع‌شده، افزایش تولید انرژی، کاهش تلفات و پایداری شبکه توزیع بی‌انجامید.

منابع

اسماعیل‌پور، سمیرا (۱۳۹۵). طراحی بهینه شبکه‌های توزیع در حضور منابع ذخیره‌ساز انرژی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان.

امیرخانی، سعید (۱۳۹۶). قراردادهای توزیع انرژی در حقوق ایران و اتحادیه اروپا. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده حقوق و علوم سیاسی، دانشگاه تهران.

آذری نژادیان، فاطمه؛ میرحسینی مقدم، سیدمازیار؛ مرزبند، موسی و پرهیزی، نرگس (۱۳۹۳). مدیریت بهینه انرژی با استفاده از روش کلونی زنبور مصنوعی چند زمانه برای یک میکروگرید متصل به شبکه با چندین واحد تولید توزیع شده. هوش محاسباتی در مهندسی برق، ۵(۳)، ۱-۱۴.

آهنی، رضا (۱۴۰۱). بهره‌برداری بهینه از شبکه‌های توزیع در حضور ذخیره‌ساز باتری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.

برزی، علیرضا؛ هاشم‌زاده خوراسگانی، غلامرضا؛ فتحی هفشجانی، کیامرث و علی رضایی، ابوتراب (۱۳۹۸). پارامترهای موثر بر انرژی تولیدی ریز شبکه جریان مستقیم سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه توزیع برق ایران با رویکرد پایداری. نشریه علمی (فصلنامه) انرژی ایران، ۲۲(۴)، ۴۵-۶۸.

بیات، پیمان و افراخته، حسین (۱۳۹۸). ارائه یک استراتژی جامع مدیریت انرژی در بهره‌برداری از ریزشبکه‌های چندگانه با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های ناشی از رخداد خطا. نشریه علمی-پژوهشی کیفیت و بهره‌وری صنعت برق ایران، ۸(۲)، ۴۰-۶۴.

پرهیزکاری، مریم و مازندرانی زاده، حامد (۱۳۹۸). استفاده از MOPSI در بهینه‌سازی چند هدفه بهره‌برداری از مخزن برقابی مطالعه موردی: سطح کارون ۵. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۵(۱)، ۳۶۱-۳۶۴.

حسینا، مجید و بطحائی، سید محمدتقی (۱۳۹۵). جایابی، تعیین اندازه و برنامه‌ریزی بهینه پست‌های فوق توزیع با استفاده از ذخیره سازهای باتری جریانی وانادیوم به منظور افزایش بهره‌وری شبکه توزیع برق. نشریه علمی-پژوهشی کیفیت و بهره‌وری صنعت برق ایران، ۵(۱۰)، ۷۳-۸۲.

حیدری، مهدی (۱۳۹۹). جایابی بهینه ادوات کلیدزنی در شبکه توزیع فشار متوسط مازندران با هدف حداقل‌سازی انرژی توزیع نشده. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، موسسه آموزش عالی هدف.

دهقانفر، بابک؛ کیا، محسن؛ ظفری، لیلا؛ آراسته، حمیدرضا و جباری، فرخنده (۱۴۰۱). بهبود ظرفیت میزبانی شبکه توزیع از منابع تولید پراکنده بادی با استفاده از بازآرایی و جبران‌سازی توان راکتیو. نشریه سامانه‌های غیرخطی در مهندسی برق، ۹(۲)، ۴-۲۶.

رشیدی، فرهاد؛ تبریزیان، محمد و شاهمیرزاد، حمیدرضا (۱۴۰۰). بازآرایی بهینه شبکه‌های توزیع برق جهت بهبود کیفیت توان با استفاده از برنامه‌ریزی چند هدفی. مجله علمی علوم و فنون سازندگی، ۲(۳)، ۴۱-۴۹.

زمردیان، زهرا سادات؛ احمدی سلیمانی، سیده مطهره؛ اشراقی، پگاه و میردامادی، مائده سادات (۱۳۹۸). بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان‌های آموزشی نمونه موردی: دانشگاه شهید بهشتی. فصلنامه علمی معماری و شهرسازی، ۳۲(۹۸)، ۴۹-۶۵.

شقاقی، آیدین و دشتی، رضا (۱۴۰۱). بهینه‌سازی اقتصادی مدیریت خاموشی در شبکه‌های توزیع برق. فصلنامه سیستم‌های انرژی پایدار، ۲(۱)، ۱۹-۳۴.

شیخ احمدی، سید پوریا (۱۳۹۵). مدل‌سازی نحوه مشارکت شرکت‌های توزیع در حضور منابع انرژی توزیع شده در بازارهای انرژی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه کردستان.

صادق پوربارجوق، مانی (۱۳۹۷). طراحی بهینه سیستم‌های انرژی توزیع شده محلی با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه.

صباحی، رضا (۱۴۰۲). توزیع اقتصادی زیست‌محیطی چند منطقه‌ای دینامیکی در حضور نیروگاه‌های حرارتی- آبی- بادی- خورشیدی به همراه ذخیره‌سازی انرژی تلمبه‌ای و باتری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه یزد.

طاهری، سمیه (۱۳۹۹). مدیریت یکپارچه انرژِی در مراکز داده توزیع شده دارای انرژی تجدیدپذیر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی شریف.

کهنسال، امید؛ زاده باقری، محمود؛ کیانی، محمد جواد و نجاتیان، صمد (۱۴۰۳). مشارکت دوهدفی هاب‌های انرژی و شبکه‌های توزیع در بازارهای عمده و خرده‌فروشی انرژی مبنی بر تصمیم‌گیری فازی. نشریه روش‌های هوشمند در صنعت برق، ۱۵(۵۸)، ۶۷-۸۴.

لطفی، حسین؛ حاجی آبادی، محمد ابراهیم و صمدی، مهدی (۱۴۰۱). ارائه یک رویکرد چند هدفی فازی برای بازآرایی دینامیکی شبکه توزیع در حضور واحدهای تولید پراکنده و سیستم‌های ذخیره انرژی. مجله مدل‌سازی در مهندسی، ۲۰(۷۱)، ۱۷۵-۱۸۸.

لطفی، حسین؛ قاضی، رضا و نقیبی سیستانی، محمد باقر (۱۳۹۸). ارائه استراتژی پویا برای تجدید آرایش شبکه توزیع با توجه به اهمیت قابلیت اطمینان و امنیت سیستم. روش‌های هوشمند در صنعت برق، ۱۰(۴۰)، ۱۳-۲۲.

لطفی، حسین؛ قاضی، رضا و نقیبی سیستانی، محمد باقر (۱۳۹۸). استراتژی بهینه مدیریت انرژی در شبکه‌های توزیع هوشمند با در نظر گرفتن اثر منابع تولید پراکنده و واحدهای ذخیره انرژی. نشریه علمی- پژوهشی کیفیت و بهره‌وری صنعت برق ایران، ۸(۳)، ۲۹-۲۲.

معین‌فر، هما و یزدی، جعفر (۱۴۰۲). بهینه‌سازی مصرف انرژی در شبکه‌های توزیع آب با کاربرد پمپ‌های با دور متغیر. انجمن هیدرولیک ایران نشریه هیدرولیک، ۱۸(۳)، ۴۵-۶۱.

مقاتلی، فرشته؛ طاهر، سیدعباس؛ کریمی، علی و شاهیده‌پور، محمد (۱۳۹۹). طراحی مفهومی ساختار ریزشبکه‌های چندگانه در شبکه‌های توزیع فعال. هوش محاسباتی در مهندسی برق، ۱۱(۴)، ۱-۱۴.

میربابایی رکنی، سید قاسم؛ رادمهر، مسعود و زکریازاده، علیرضا (۱۳۹۸). مدل‌سازی مدیریت منابع انرژی پراکنده در ریز شبکه با استفاده از روش توزیع شده. مجله مدل‌سازی در مهندسی، ۱۷(۵۷)، ۲۴۱-۲۵۲.

ناصری، سعید؛ اسماعیل بیگ، مصطفی و نجفی، مجتبی (۱۴۰۰). توزیع بار اقتصادی با هدف کاهش هزینه و بهبود قابلیت اطمینان با در نظر گرفتن عدم قطعیت. مجله مهندسی مخابرات، ۱۱(۴۱)، ۷۷-۹۱.

نوریان‌فر، حسین (۱۴۰۰). حل مساله توزیع اقتصادی بار-آلودگی مشتمل بر واحدهای CHP، با لحاظ عدم قطعیت‌های منابع تجدیدپذیر با استفاده از یک الگوریتم تکاملی چند هدفه‌ی جدید و با به کارگیری شبیه‌سازی شبه مونت کارلو. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی.

هوشمند، احسان؛ نوروزیان، رضا و ربیعی، عباس (۱۳۹۷). اشتراک‌گذاری بهینه انرژی منابع تولید پراکنده تجدیدپذیر در شبکه توزیع با در نظر گرفتن عدم قطعیت. مجله مهندسی برق، ۴۸(۲)، ۹۳۱-۹۴۲.

Bahrami, S., M. Toulabi, S. Ranjbar, M. Moeini-Aghtaie and A. M. Ranjbar (2018). "A Decentralized Energy Management Framework for Energy Hubs in Dynamic Pricing Markets." IEEE Transactions on Smart Grid 9(6): 6780-6792.

Eladl, A. A., M. I. El-Afifi, M. A. Saeed and M. M. ElSaadawi (2020). "Optimal operation of energy hubs integrated with renewable energy sources and storage devices considering CO2 emissions." International Journal of Electrical Power & Energy Systems 117: 105719.

Rastegar, M., M. Fotuhi-Firuzabad, H. Zareipour and M. Moeini-Aghtaieh (2017). "A Probabilistic Energy Management Scheme for Renewable-Based Residential Energy Hubs." IEEE Transactions on Smart Grid 8(5): 2217-2 227.

Zhang, X., L. Che, M. Shahidehpour, A. S. Alabdulwahab and A. Abusorrah (2017). "ReliabilityBased Optimal Planning of Electricity and Natural Gas Interconnections for Multiple Energy Hubs." IEEE Transactions on Smart Grid 8(4): 1658-1667.