تعیین محل نصب و ظرفیت منابع انرژی پراکنده جهت برنامه‌ریزی بهینه ریزشبکه با در نظرگیری عدم قطعیت

امین فروغی نعمت اللهی[۱]، دانشجوی دکتری، حامد نفیسی[۲]، استادیار، بهروز وحیدی[۳]، استاد و سیدامیر حسینی[۴]، استادیار

۱- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی امیرکبیر - تهران - ایران
amin.forooghi@aut.ac.ir
۲- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی امیرکبیر - تهران - ایران
nafisi@aut.ac.ir
۳- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی امیرکبیر - تهران - ایران
vahidi@aut.ac.ir
۴- گروه مهندسی برق- دانشکده فنی و مهندسی گلپایگان - اصفهان - ایران
hosseini.amir@gut.ac.ir

چکیده: در این مقاله یک ریزشبکه شامل پنل خورشیدی، سیستم ذخیره‌ساز انرژی الکتریکی و یک دیزل ژنراتور به‌عنوان منبع پشتیبان به‌صورت بهینه طراحی و مکان‌یابی می‌شود. ریزشبکه موردبحث قسمتی از یک شبکه توزیع است که می‌تواند به‌عنوان یک محله تلقی شود. هدف ابتدایی طراحی این ریزشبکه، تأمین بار بدون دریافت توان از شبکه بالادست است. به‌عبارت‌دیگر تمام توان بار این شبکه کوچک باید از طریق منابع موجود و سیستم ذخیره‌ساز تأمین گردد. اما چنانچه اضافه تولید وجود داشته باشد، این توان می‌تواند به شبکه فروخته شود. بنابراین هدف اصلی طراحی ریزشبکه تأمین بار آن توسط منابع موجود با حداقل کردن هزینه این منابع می‌باشد. نظر به اینکه اضافه‌تولید ریزشبکه موردنظر به شبکه فروخته می‌شود. بنابراین مسئله موردنظر در این مقاله طراحی بهینه و جایابی بهینه هم‌زمان ریزشبکه در یک شبکه توزیع به‌منظور کاهش هزینه تأمین توان ریزشبکه و کاهش تلفات شبکه توزیع می‌باشد. برای حل بهینه‌سازی موردنظر از روش LAPO و ABC استفاده‌شده است و نتایج آن‌ها مقایسه می‌شود. نتایج برتری روش LAPO نسبت به روش ABC را چه از لحاظ سرعت همگرایی و رسیدن به جواب بهینه و چه از لحاظ دقت در یافتن بهترین نتیجه نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: ریزشبکه، بهینه‌سازی، LAPO، پنل خورشیدی، عدم قطعیت

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۸/۲/۲۴

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۸/۴/۲۳

نام نویسنده ی مسئول: حامد نفیسی

نشانی نویسنده‌ی مسئول : دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی امیرکبیر

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1398.8.2.3.6]

۱- مقدمه

در سالیان اخیر افزایش تقاضای انرژی برق، افزایش قیمت نفت و گاز طبیعی، رشد سریع خصوصی‌سازی و ظهور فنّاوری‌های جدید باعث ایجاد تحولاتی در صنعت برق و توجه جدی به استفاده از فن‌آوری تولید پراکنده (DG[1]) شده است [۱]. واحدهای تولید پراکنده و یا به‌عبارت‌دیگر مولدهای مقیاس کوچک می‌توانند توانی در بازه یک کیلووات تا ده مگاوات را در محل مصرف و یا در نزدیکی آن تحویل دهند. پیک سایی، افزایش قابلیت اطمینان، کاهش تلفات به دلیل نزدیکی به محل مصرف، کاهش افت ولتاژ و ... ازجمله مزایای DG ها می‌باشند. علاوه براین، بهره‌گیری از انرژی‌های نو از قبیل انرژی خورشیدی، باد، پیل سوختی و ... در قالب واحدهای تولید پراکنده، علاقه در به‌کارگیری DG ها را دوچندان کرده است [۲].

افزایش نفوذ DG ها و قرار گرفتن چند DG در مجاورت الکتریکی یکدیگر، مفهوم ریزشبکه را پدید آورده است. ریزشبکه‌ها به‌طور معمول، سیستم‌های قدرت در سطح ولتاژ توزیع هستند که دارای تعدادی DG و بارهای الکتریکی یا حرارتی به همراه سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی (ESS)[2] هستند [۳]–[۵].

در سیستم‌های قدرت سنتی، تولید توان به‌صورت متمرکز و سیلان توان به‌صورت یک‌طرفه از سیستم‌های انتقال به سمت سیستم توزیع و بارها بوده است. اما در سال‌های کنونی علاقه و جذابیت زیادی به اتصال منابع تولید برق در سطح توزیع ایجادشده که مفهوم سیستم‌های تولید پراکنده را معرفی می‌کنند [۶]–[۸]. بر اساس قوانین و مقررات کشورهای مختلف، تعاریف مختلفی بر اساس مکان تولید پراکنده، هدف به‌کارگیری آن‌ها و نیز ظرفیت توان تولیدی آن‌ها ارائه‌شده است. اما یک تعریف کلی و مشترک که در اغلب این تعاریف وجود دارد، این است که تولید پراکنده به واحدهای تولید توان الکتریکی با ظرفیت تولید محدود، در داخل شبکه‌های توزیع و یا در طرف مصرف‌کنندگان اطلاق می‌شود [۹]–[۱۲].

تعیین اندازه و عملکرد بهینه منابع تولید پراکنده و مکان نصب آن‌ها به‌نحوی‌که کلیه قیود شبکه برآورده شود و همچنین هزینه زیادی به شبکه وارد نشود، در سالیان اخیر همواره مورد توجه محققان بود است و برای این کار در طی سالیان اخیر روش‌های مختلفی برای حل این‌گونه مسائل ارائه گردیده است. در مقاله [۱۳]، به طراحی یک ریز شبکه دارای PV[3] در دو مد متصل و منفصل از شبکه پرداخته‌شده است. در این مقاله هدف از طراحی کمینه کردن تلفات شبکه توزیع می‌باشد. در مرجع [۱۴] به طراحی سیستم منفصل از شبکه دارای PV، توربین بادی و دیزل پرداخته‌شده است به‌نحوی‌که هزینه کمینه شود. در مقاله [۱۵] به طراحی یک هیبرید انرژی پرداخته‌شده است.

ایرادی که به این کار می‌توان گرفت در نظر گرفتن محل ثابت برای نصب سیستم است و در آن مکان نصب بهینه نشده است. درصورتی‌که با تغییر محل نصب اندازه‌های تعیین‌شده دیگر بهینه نیستند.

تحقیق دیگری نیز در زمینه طراحی سیستم‌های هیبرید انرژی در مقاله [۱۶] انجام‌شده است. نقاط ضعف این تحقیق عدم در نظرگیری هم‌زمان اندازه، محل نصب و عملکرد بهینه می‌باشد و هرکدام به‌عنوان یک مسئله جداگانه موردبررسی قرارگرفته‌اند، درصورتی‌که این کار در عمل منجر به طراحی بهینه و نقطه عملکرد بهینه سیستم نمی‌گردد. لذا بایستی در طراحی، کلیه موارد به‌طور هم‌زمان لحاظ گردند. یکی دیگر از موارد مهم در طراحی در نظر گرفتن عدم قطعیت در تولید PV و بار می‌باشد که در کارهای گذشته به آن چندان توجهی نشده است.

در این مقاله به طراحی یک سیستم هیبرید انرژی به‌عنوان ریزشبکه در یک شبکه توزیع پرداخته‌شده است، منظور از طراحی تعیین اندازه، محل نصب و نحوه بهره‌برداری ریزشبکه است. این ریزشبکه نسبت به کارهای گذشته جامع‌تر می‌باشد و شامل ذخیره‌ساز(باتری)، منبع تولید پراکنده غیرقابل‌برنامه‌ریزی(پنل خورشیدی)، منبع تولید پراکنده قابل‌برنامه‌ریزی(دیزل)، شبکه پشتیبان(شبکه بالادست) است. در این مقاله بر ان هستیم که به نحوی کلیه هزینه‌های بهره‌برداری، نگهداری و سرمایه‌گذاری در آن در نظر گرفته شود و نکاتی که در که سایر کارهای گذشته چشم‌پوشی شده موردبررسی قرار گیرد. همچنین، برای رسیدن به جواب بهینه‌تر از الگوریتم بهینه‌سازی LAPO در یک کاربرد جدید کمک گرفته‌شده تا محل نصب و عملکرد آن بهینه گردد. یکی دیگر از مواردی که در سایر مقالات اصلاً موردبررسی قرار نگرفته است عدم قطعیت در تولید پنل های خورشیدی است که می‌تواند به‌طورکلی منجر به تغییر جواب بهینه گردد و در انتهای این مقاله موردبررسی قرار می‌گیرد. برای جبران میزان عدم قطعیت خورشیدی فرض شده که ریز شبکه به شبکه بالادست متصل می‌باشد و هزینه انرژی مبادله شده با آن شبکه در تابع هدف در نظر گرفته‌شده است. روش موردنظر در این مقاله بر روی شبکه استاندارد ۳۳ باس پیاده‌سازی شده است.

در قسمت دوم این مقاله به بیان مسئله، تابع هدف و قیود پرداخته‌شده است. در ادامه و در قسمت سوم به الگوریتم بهینه‌سازی مورداستفاده اشاره‌شده و در قسمت چهارم نتایج حاصل از این روش آورده شده است. در قسمت آخر نیز نتیجه‌گیری صورت گرفته است.

۲- بیان مسئله

همان‌طور که عنوان شد، مسئله موردنظر در این مقاله طراحی یک ریزشبکه است تا با استفاده از آن بتوان یک شبکه توزیع را تأمین بار نمود. این ریزشبکه شامل پنل خورشیدی، سیستم ذخیره‌ساز انرژی و همچنین یک دیزل ژنراتور به‌عنوان منبع پشتیبان می‌باشد. هدف اولیه در این مسئله تعیین سایز پنل خورشیدی، دیزل ژنراتور و تعداد

[1] Distributed Generation
[2] Energy Storage System
[3] Photo Voltaic

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1398.8.2.3.6]

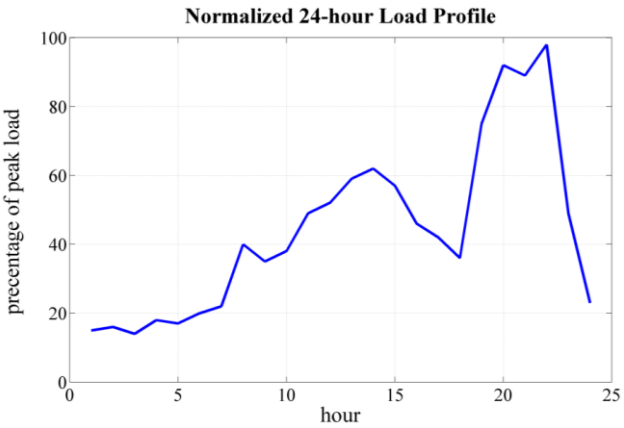
مناسب باتری با توجه به تابع هدف می‌باشد. برای این منظور ابتدا باید بار ریزشبکه مشخص باشد.

۲-۱- بار ریزشبکه

ریزشبکه موردنظر یک شبکه توزیع محلی است که بار آن در طول روز متفاوت خواهد بود. نظر به اینکه هم بار مسکونی و هم بار تجاری در اوایل شب با مصرف بالا مواجه خواهند شد، لذا پیک بار در ساعاتی ابتدایی شب در نظر گرفته می‌شود. همچنین با توجه به اینکه بار تجاری در ساعات میانی روز نیز با افزایش مصرف روبرو خواهد شد، در این ساعات نیز پیک بار وجود خواهد داشت. بنابراین به منظور در نظرگیری بار ریزشبکه موردنظر، یک پروفیل بار ۲۴ ساعته با دو پیک بار به‌صورت شکل زیر در نظر گرفته می‌شود. شکل ۱ بار نرمالایز شده ریزشبکه را نشان می‌دهد. البته باید در نظر داشت که بار شبکه توزیع نیز با چنین رویکردی در نظر گرفته می‌شود[۱۷]–[۱۹].

۲-۲- استراتژی تأمین بار ریزشبکه

اولین هدف از تعیین سایز منابع موجود در ریزشبکه تأمین بار این شبکه کوچک می‌باشد. اولویت اصلی در تأمین بار ریزشبکه استفاده از پنل های خورشیدی است. بااین‌حال در شرایطی که پنل های خورشیدی قادر به تولید توان نباشند سیستم ذخیره‌ساز انرژی و دیزل ژنراتور وظیفه تأمین بار شبکه را بر عهده‌دارند. بنابراین می‌توان استراتژی بهینه را به‌صورت زیر در نظر گرفت[۲۰].



شکل ۱- بار نرمالایز شده شبکه ریزشبکه.

۲-۲-۱- در حضور توان تولیدی پنل خورشیدی

الف- اگر توان تولیدی پنل خورشیدی بیش از بار موجود در شبکه باشد و همچنین باتری‌ها در شارژ کامل نباشند، توان تولیدی پنل خورشیدی پس از تأمین بار در باتری‌ها ذخیره می‌شود.

ب- اگر توان تولیدی پنل خورشیدی بیش از بار شبکه بوده و باتری‌ها نیز شارژ باشند، اضافه تولید پنل های خورشیدی به شبکه توزیع فروخته می‌شود.

ج - اگر توان تولیدی پنل خورشیدی کمتر از بار شبکه باشد، قسمتی از بار توسط پنل ها تأمین‌شده و بقیه بار از طریق سیستم ذخیره‌ساز تأمین می‌شود.

د- اگر توان تولیدی پنل خورشیدی کمتر از بار شبکه بوده و باتری نیز نتواند کل بار را تأمین کند، قسمتی از بار توسط پنل خورشیدی و باتری تأمین‌شده و بقیه توسط دیزل ژنراتور تأمین می‌گردد.

ه- اگر توان تولیدی پنل خورشیدی کمتر از بار بوده و باتری نیز نتواند بار را تأمین کند، و بار باقی‌مانده بیش از ظرفیت حداکثر دیزل ژنراتور باشد، و به دلیل قیود فنی(ولتاژ و قید حرارتی خطوط) شبکه بالادست نتواند بار را تأمین کند بار باقی‌مانده قطع خواهد شد.

۲-۲-۲- در غیاب توان تولیدی توسط پنل خورشیدی

الف- اگر باتری بتواند بار موجود در ریزشبکه را تأمین نماید، این بار توسط باتری‌ها تأمین می‌شود.

ب- اگر باتری‌ها نتوانند بار شبکه را تأمین کند، بار باقی‌مانده توسط دیزل ژنراتور تأمین می‌گردد.

ج- اگر بار باقی‌مانده بیش از ظرفیت ماکزیمم دیزل ژنراتور باشد، و به دلیل قیود فنی(ولتاژ و قید حرارتی خطوط) شبکه بالادست نتواند بار را تأمین کند بار قطع می‌شود.

باید در نظر داشت که بار حذف‌شده در شبکه نباید بیش از ۲۵ ٪ کل بار شبکه باشد. همچنین ظرفیت دیزل ژنراتور نباید به اندازه‌ای باشد که در بعضی ساعات توان تحویلی آن به بار ریزشبکه کمتر از ۲۰٪ ظرفیت حداکثر آن باشد.

۲-۳- تابع هدف

پس‌ازآنکه ظرفیت‌های پیشنهادی برای منابع توانست بار شبکه ریزشبکه را به‌خوبی تأمین نماید، اضافه تولید به شبکه توزیع فروخته می‌شود. اما اینکه از طریق کدام باس توان اضافه وارد شبکه توزیع گردد، می‌تواند عملکرد شبکه توزیع را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین محل قرارگیری ریزشبکه نیز می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد. ازاین‌رو مکان‌یابی ریزشبکه نیز مدنظر قرار می‌گیرد. تابع هدف موردنظر برای مکان‌یابی ریزشبکه کاهش هزینه در شبکه توزیع در نظر گرفته می‌شود.

$$\min f = C_{PV} + C_{loss} + C_{bat} + C_{dg} - B_{ex} \qquad (۱)$$

که در فرمول بالا $C_{dg}, C_{bat}, C_{loss}, C_{PV}$ به ترتیب هزینه‌های سیستم خورشیدی، تلفات، باتری و دیزل ژنراتور است همچنین B_{ex}

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1398.8.2.3.6]

نشان‌دهنده میزان سود ناشی از فروش اضافه توان ریزشبکه به شبکه بالادست است.

۲-۳-۱- تلفات و توان شبکه بالادست

برای این منظور میزان تلفات به‌صورت توانی که باید از شبکه بالادست خریداری شود در نظر گرفته‌شده و لذا به‌صورت هزینه وارد تابع هدف کل می‌شود .این تابع هدف می‌تواند به‌صورت زیر در نظر گرفته شود.

$$C_{loss} = \sum_{d=1}^{365}\sum_{t=1}^{24}(P_{loss}^{t,d} + P_b^{t,d}) \times \rho^{t,d} \qquad (۲)$$

که در آن $\rho^{t,d}$ قیمت برق در ساعت t و روز d بوده و $P_{loss}^{i,t,d}$ میزان تلفات در روز d ساعت t و $P_b^{t,d}$ توان خریداری‌شده از شبکه بالادست در روز d ساعت t می‌باشد. باید توجه داشت که در مطالعات موردنظر قیمت برق در ساعات پرباری، میان باری، و کم باری با یکدیگر متفاوت می‌باشد.

۲-۳-۲- هزینه پنل خورشیدی

نصب و استفاده از پنل خورشیدی دارای هزینه نصب، هزینه تعمیر و نگهداری و هزینه تعویض است. بنابراین هزینه‌های مرتبط با پنل خورشیدی به‌صورت زیر در نظر گرفته می‌شود[۲۱].

$$C_{PV} = C_{PV_inv} + C_{PV_O\&M} + C_{PV_rep} \qquad (۳)$$

۲-۳-۳- هزینه باتری

سیستم ذخیره‌ساز انرژی نیز دارای هزینه‌هایی مشابه پنل خورشیدی است و می‌توان آن را به‌صورت زیر بیان کرد[۲۲].

$$C_{bat} = C_{bat_inv} + C_{bat_O\&M} + C_{bat_rep} \qquad (۴)$$

۲-۳-۴- هزینه دیزل ژنراتور

هزینه این نوع تجهیزات نیز شامل سرمایه‌گذاری، تعمیر و نگهداری و تعویض می‌باشد[۲۳].

$$C_{dg} = C_{dg_inv} + C_{dg_O\&M} + C_{dg_rep} \qquad (۵)$$

در این روابط از زیرنویس‌های dg، bat،PV به ترتیب برای پنل خورشیدی، باتری و دیزل ژنراتور استفاده‌شده است. همچنین برای هزینه سرمایه‌گذاری، تعمیر و نگهداری و تعویض از زیرنویس‌های *inv*، *O&M* و *rep* بهره برده شده است.

۲-۳-۵- هزینه بار قطع‌شده

چنانچه نیاز به قطع بار مشترکین باشد، این قطع بار هزینه به همراه دارد که باید در تابع هدف در نظر گرفته شود.

۲-۳-۶- سود ناشی از فروش توان اضافی

اگر توان تولیدی توسط پنل خورشیدی بیش از ظرفیت شارژ باتری و بار شبکه باشد، می‌توان آن را به شبکه توزیع فروخت و لذا بابت آن سود به دست می‌آید. این سود را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$B_{ex} = \sum_{d=1}^{365}\sum_{t=1}^{24} P_{ex}^{t,d} \times \rho^{t,d} \qquad (۶)$$

که در آن B_{ex} سود ناشی از فروش توان اضافی است و $P_{ex}^{t,d}$ میزان توان اضافی در روز d و ساعت t می‌باشد.

۲-۳-۷- قیود

حل مسئله بهینه‌سازی با یک سری قیود فنی همراه است که در روند اجرای برنامه بهینه‌سازی باید رعایت شوند. این قیود را می‌توان به‌صورت زیر عنوان نمود.

توازن توان در ریزشبکه در طول روز:

$$\sum_{t=1}^{24} P_{PV}^t + P_{dg}^t + P_{bat}^t - P_{D_mic}^t = 0 \qquad (۷)$$

حداکثر بار قطع‌شده در ریزشبکه:

$$\sum_{t=1}^{24} P_{sh}^t \le 0.25 \times \sum_{t=1}^{24} P_{D_mic}^t \qquad (۸)$$

توازن تولید در شبکه توزیع:

$$\sum_{t=1}^{24} P_g^t + P_{ex}^t + P_{slack}^t - P_{loss}^t - P_{D_dis}^t = 0 \qquad (۹)$$

رعایت قیود پنل خورشیدی و دیزل ژنراتور:

$$0 < P_{PV} < P_{PV}^{\max} \qquad (۱۰)$$

$$0 < P_{dg} < P_{dg}^{\max} \qquad (۱۱)$$

رعایت شرایط شارژ و دشارژ باتری:

$$SOC_{\min} < SOC_t < SOC_{\max} \qquad (۱۲)$$

رعایت ولتاژ باس‌ها:

$$V_{\min} < V < V_{\max} \qquad (۱۳)$$

رعایت توان عبوری از خطوط:

$$F_b < Limit_b \qquad (۱۴)$$

در این روابط P_{PV}^t، P_{dg}^t، P_{bat}^t، $P_{D_mic}^t$ به ترتیب توان تولیدی پنل خورشیدی، دیزل ژنراتور، باتری و همچنین توان مصرفی ریزشبکه در ساعت t می‌باشد. P_{sh}^t توان قطع‌شده در ریزشبکه می‌باشد. P_g^t، P_{ex}^t، P_{slack}^t، P_{loss}^t، $P_{D_dis}^t$ به ترتیب توان تولیدی ژنراتورهای موجود در شبکه توزیع، توان فروخته‌شده از ریزشبکه، توان تأمین‌شده از پست اصلی شبکه توزیع، توان تلفاتی در شبکه توزیع و توان مصرفی شبکه توزیع در زمان t می‌باشد. $P_{PV}^{\max}$، $P_{dg}^{\max}$، SOC_t، $SOC_{\min}$، $SOC_{\max}$، $V_{\min}$، V، $V_{\max}$، F_b، $Limit_b$ حداکثر توان تولیدی پنل خورشیدی، حداکثر توان تولیدی دیزل ژنراتور، شرایط شارژ باتری، حداکثر و حداقل شرایط شارژ باتری، ولتاژ باس، مینیمم و ماکزیمم ولتاژ باس، توان عبوری از خط b و حد حرارتی خط b می‌باشد.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1398.8.2.3.6]

۳- روش بهینه‌سازی LAPO[۴]

این الگوریتم از پروسه برخورد صاعقه به زمین یا هر جسم زمین شده الهام گرفته است. برای شبیه‌سازی این روش تعداد نقاط تست در روی ابر و روی زمین یا اجسام زمین شده به‌عنوان جمعیت اولیه فرض می‌شود. با افزایش میدان در نقاط موجود روی ابر کانال‌های استریمر شروع به شکست هوا و حرکت به سمت زمین می‌کنند. با نزدیک شدن این لیدرها به سمت زمین باری مخالف بار صاعقه در نقاط تست افزایش‌یافته و لیدرهای رو به بالا ایجاد می‌شوند. و نقطه برخورد نقطه‌ای خواهد بود که لیدر پایین‌رونده و بالارونده به هم رسند. الگوریتم شامل چند قسمت خواهد بود که در زیر توضیح داده می‌شود [۲۴]و [۲۵].

۱- **مقداردهی اولیه**: ابتدا نقاط تست در سطح ابر و روی زمین به‌عنوان جمعیت اولیه تعریف می‌شوند.

۲- **نقطه پرش بعدی**: هر کانال صاعقه در مقابل خود تعداد نقطه محتمل دارد که می‌تواند به سمت یکی از آن‌ها حرکت کند. انتخاب نقطه پرش بعدی صاعقه وابسته به‌شدت میدان خط واصل بین نقطه حاضر و نقاط محتمل می‌باشد. البته پرش بعدی لزوماً به سمت نقطه با حداکثر میدان نخواهد بود و قسمتی از پروسه انتخاب نقطه بعدی به‌صورت تصادفی صورت می‌پذیرد. برای شبیه‌سازی این قسمت، برای هر نقطه یک نقطه تصادفی در فضای جست‌وجو انتخاب می‌شود. اگر میدان این نقطه (شایستگی نقطه یا همان اندازه تابع هدف در نقطه موردنظر)، از میدان پس‌زمینه (که در اینجا همان میدان میانگین) بیشتر باشد صاعقه به سمت این نقطه حرکت می‌کند، در غیر این صورت مسیر صاعقه در جهتی دیگر خواهد بود. (در خلاف این نقطه البته باید در نظر داشت که خلاف جهت به مفهوم حرکت به سمت بالا نخواهد بود بلکه حرکتی زاویه‌دار نسبت به این نقطه خواهد بود.). بنابراین برای حرکت بعدی یک نقطه می‌توان به‌صورت زیر عمل کرد.

$$P = sign(F_{av} - F(r)) \quad (۱۵)$$

$$X_{new}(i,j) = X(i,j) - P \times rand \times (Xav(1,j) - X(r,j)) \quad (۱۶)$$

۳-**حرکت روبه‌جلو و حذف شاخه‌ها**: هنگامی‌که یک کانال صاعقه جدید شکل می‌گیرد، این کانال درصورتی‌که به مسیر رو به پایین خود ادامه می‌دهد که بار در نوک این لیدر بیشتر از یک مقدار بحرانی مثلاً ۱ میکروکولن باشد. در الگوریتم پیشنهادی چنانچه نقطه جدید دارای میدانی کمتر از میدان نقطه قبلی خود باشد، فرض می‌شود که این نقطه نخواهد توانست به سمت جلو حرکت کرده و لذا این نقطه یا این شاخه حذف خواهد شد.

۴- **لیدر بالارونده**: با حرکت کانال‌های صاعقه به سمت پایین لیدرهای بالارونده نیز به سمت بالا شروع به حرکت می‌کنند. سرعت حرکت این لیدر با توجه به بار جمع شده در آن نقطه و همچنین متأثر از بار کل کانال صاعقه پایین‌رونده می‌باشد. توزیع بار در کانال صاعقه پایین‌رونده به این صورت است که در نزدیکی ابر بار کمتر و در نوک لیدر بار بیشتری وجود خواهد داشت. به همین دلیل نوک لیدر براق‌تر است. این توزیع افزایشی بار در طول کانال می‌توان به‌صورت یکپارچه خطی و یا نمایی در نظر گرفته شود. در اینجا بار کانال به‌صورت نمایی طبق دو رابطه زیر در نظر گرفته می‌شود.

$$S = 1 - \left(\frac{t}{t_{\max}}\right) \times \exp\left(-\frac{t}{t_{\max}}\right) \quad (۱۷)$$

$$Cc = S \times (X_{\min}(i,j) - X_{\max}(i,j)) \quad (۱۸)$$

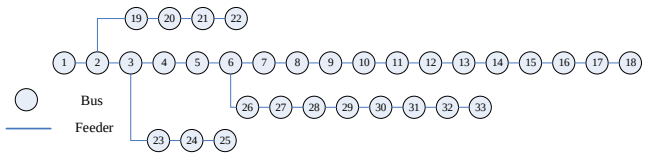
که در آن Cc بار کانال، $Xmin$ بار کانال در نوک لیدر و $Xmax$ بار کانال در ابتدای کانال می‌باشد. لیدرهای بالارونده طبق رابطه زیر به سمت بالا حرکت می‌کنند.

$$X_{new}(i,j) = X(i,j) + rand \times Cc \quad (۱۹)$$

۵- **همگرایی**: زمانی که یک لیدر بالارونده به یک لیدر پایین‌رونده برسد نقطه برخورد صاعقه مشخص می‌شود. به‌عبارت‌دیگر زمانی که نقطه بهینه تعیین شود الگوریتم بهینه‌سازی پایان می‌یابد. این مراحل به‌صورت تکرارشونده اجرا می‌شود، تا نقطه بهینه توسط الگوریتم پیشنهادی یافت شود.

۴- شبیه‌سازی و نتایج

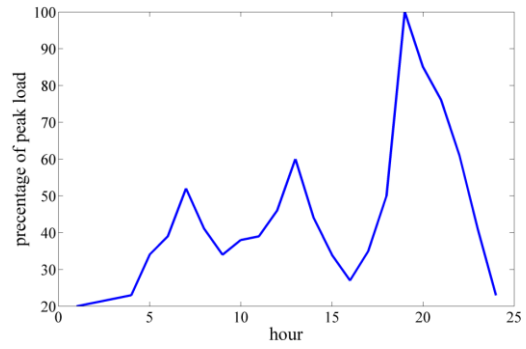
در این قسمت مکان‌یابی موردنظر برای ریزشبکه بر روی شبکه موردمطالعه انجام می‌گیرد. شبکه موردنظر شبکه شعاعی ۳۳ باس بوده که دیاگرام تک‌خطی آن‌ها در شکل‌های ۲ نشان داده‌شده است. اطلاعات مربوط به خط و باس این شبکه را می‌توان به ترتیب از دو مرجع [۹] و [۲۰] استخراج نمود. بار نرمالایز شده برای ریزشبکه در شکل ۳ نشان داده‌شده است. میزان بار این ریزشبکه در شرایط پیک بار ۲۵۰ کیلووات در نظر گرفته‌شده است. بار پیک شبکه نیز همان میان باری است که از مراجع [۹] و [۲۰] به دست می‌آید. همچنین پروفیل ۲۴ ساعته تابش خورشید به‌صورت نرمال شده در شکل ۴ نشان داده‌شده است.



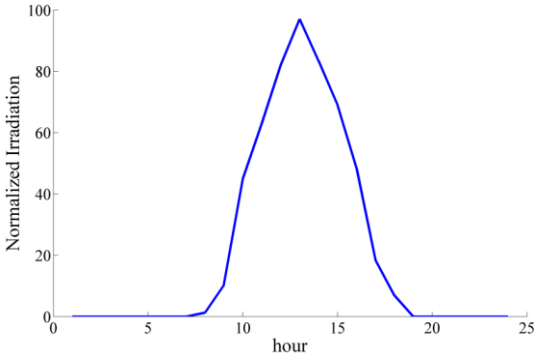
شکل ۲- دیاگرام تگ خطی شبکه ۳۳ باس.

[۴] Lightning Attachment Procedure Optimization

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1398.8.2.3.6]



شکل ۳- بار نرمالایز شده شبکه توزیع.



شکل ۴- تابش نرمالایز شده روزانه[۲۰].

میزان حداکثر توان تولیدی توسط پنل خورشیدی برای هر ماه در جدول ۱ نشان داده‌شده است. مکان‌یابی ریزشبکه در بدترین شرایط انجام گرفته و لذا برای کمترین میزان تابش یعنی ماه August انجام می‌گیرد.

جدول ۱- میزان متوسط تابش روزانه خورشید به تفکیک هر ماه[۲۰].

Dec	Nov	Oct	Sep
۵.۵۷	۵.۸۴	۵.۶۳	۵.۱۵
Aug	July	June	May
۴.۷۸	۴.۸۱	۵.۲۶	۵.۶۵
April	March	Feb	Jan
۶.۰۱	۶	۵.۷۳	۵.۴۵

اطلاعات اقتصادی برای منابع مختلف به صورت هزینه سرمایه گذاری پنل خورشیدی ۷.۴۴ یورو به ازای هر کیلووات بوده و هزینه تعمیر و نگهداری ۴۰ یورو در هر سال می‌باشد. هزینه هر باتری ۰.۲۸۳ یورو به ازای هر آمپرساعت بوده و هزینه تعمیر و نگهداری ۵۰ یورو به ازای هرسال می‌باشد. هزینه دیزل ژنراتور ۰.۵۵ یورو به ازای هر وات و ۰.۲ یورو به ازای هر ساعت کارکرد این وسیله می‌باشد [۲۰].

ریزشبکه موردنظر یک شبکه توزیع فرض شده است و لذا بار آن ترکیبی از بار تجاری و خانگی می‌باشد قیمت برق بر اساس نوع بار و سطح بار در جدول ۲ توضیح داده‌شده است.

جدول ۲- قیمت برق برای بارهای مختلف در سطوح مختلف[۲۰].

سطح بار	درصد از بار پیک	قیمت بار خانگی (€/w)	قیمت بار تجاری (€/w)
کم باری	کوچک‌تر از ۵۰	۳۵	۲۰۰۰
میان باری	بین ۵۰ تا ۷۰	۴۹	۲۸۰۰
پرباری	بزرگ‌تر از ۷۰	۷۰	۳۰۵۰

۴-۱- شبکه ۳۳ باس

با توجه به اطلاعات اقتصادی داده‌شده برنامه بهینه‌سازی برای شبکه ۳۳ باس انجام‌گرفته است. نتایج بهینه در جدول ۳ آورده شده است. همچنین رفتار همگرایی دو روش موردنظر در یافتن بهترین پاسخ در شکل ۵ رسم شده است. همان‌طور که مشخص است روش LAPO با در تعداد تکرارهای کمتری به بهترین پاسخ خود رسیده و همچنین به پاسخ بهتری نسبت به روش ABC[۵] ختم شده است.

رفتار ریزشبکه در ماه august در شکل ۶ رسم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در ساعات اولیه بامداد که خورشیدی وجود ندارد باتری بار ریزشبکه را تأمین می‌کند. همان‌طور که مشخص است توان باتری در این ساعات منفی است که نشان از دشارژ شدن آن دارد. باتری از ساعت ۸ به بعد شروع به شارژ شدن کرده و در ساعت ۱۱ به بیشینه شارژ خود می‌رسد. لذا توانی در آن ذخیره نشده تا دوباره در ساعت ۱۸ شروع به دشارژ شدن می‌کند.

در ساعت ۱۹ دوباره شارژ شده و در ساعت ۲۰ با توجه به حجم بالای مصرف کاملاً دشارژ می‌شود. دیزل ژنراتور در ساعت ۸ صبح وارد مدار شده و در ساعت ۹ از مدار خارج می‌شود. این شرایط تا ساعت ۸ شب ادامه دارد و از آن به بعد تا ساعت ۲۴ به تأمین بار ادامه می‌دهد. نظر به میزان قابل‌توجه تولید خورشیدی حجم زیادی از این تولید به شبکه توزیع فروخته‌شده و سود ناشی از آن باعث بهبود تابع هدف می‌شود. همان‌طور که مشخص است، شبکه به طریقی طراحی‌شده است که هیچ باری در طول روز قطع نشده و تمام بار تأمین می‌گردد.

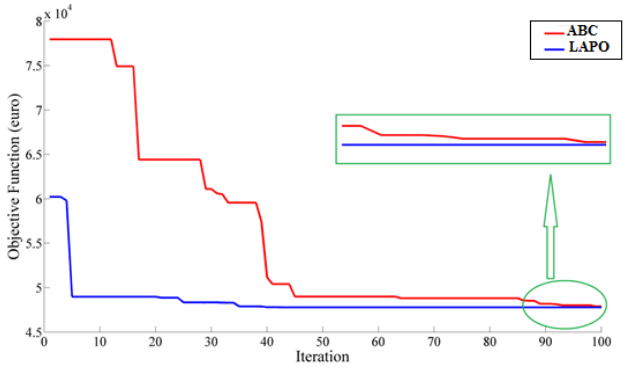
جدول ۳- نتایج حاصل از طراحی و تعیین سایز ریزشبکه در شبکه توزیع ۳۳ باس.

روش	محل نصب ریزشبکه	اندازه پنل خورشیدی	اندازه دیزل ژنراتور	تعداد باتری‌ها	کل هزینه
LAPO	۶	۴۰۰	۲۴۵	۲۵	۴۷۵۸۱
ABC	۲۶	۳۹۸	۲۴۴.۸۸	۲۵	۴۷۷۸۳

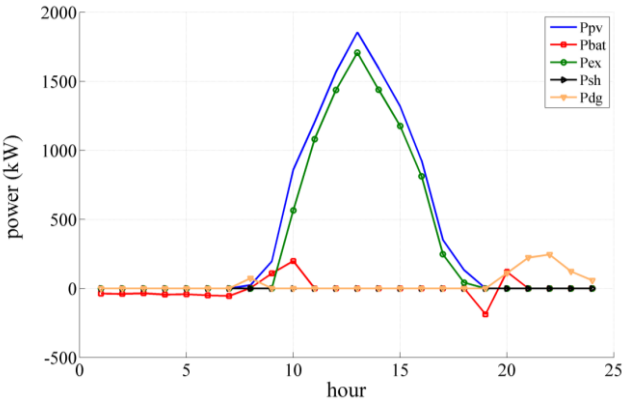
۵ Artificial Bee Colony

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1398.8.2.3.6]

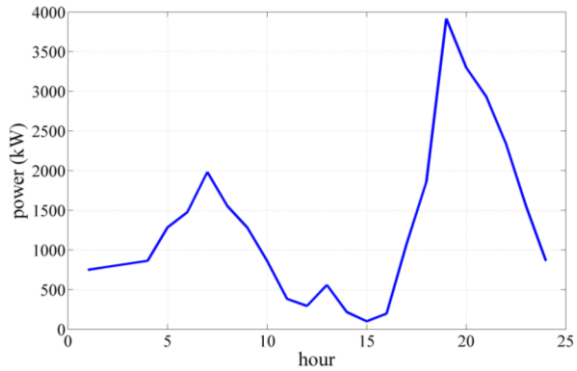


شکل ۵- مقایسه رفتار همگرایی روش‌های مختلف در یافتن بهترین پاسخ برای شبکه ۳۳ باس.

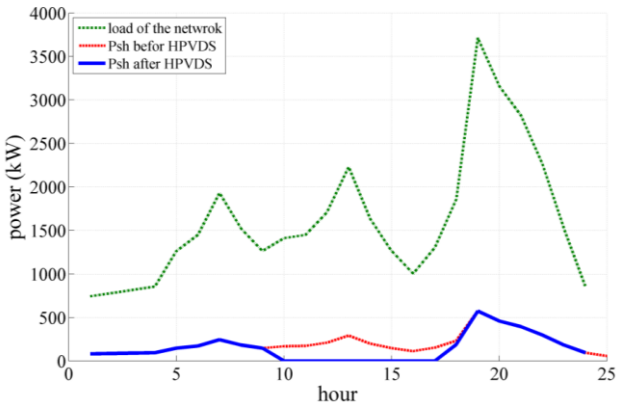


شکل ۶- رفتار ریزشبکه در ماه August.

توان تولیدی خریداری شده از شبکه بالادست در شکل ۷ نشان داده‌شده است. همان‌طور که مشخص است در ساعاتی از روز که انرژی خورشیدی وجود دارد، توان درخواستی از شبکه بالادست به‌شدت کاهش‌یافته است. همچنین باید عنوان کرد که تلفات شبکه و هزینه ناشی از آن ۱۰۶۱ کیلووات و ۵۵.۸۶ یورو در روز بوده است که بعد از نصب ریزشبکه در شبکه این مقادیر به ترتیب به ۹۵۶.۷۹ کیلووات و ۵۱.۷۸ یورو در روز می‌رسد. در شکل ۸ توان قطع‌شده در شبکه توزیع در ساعات مختلف روز رسم شده است. همان‌طور که مشخص است در ساعاتی که انرژی خورشیدی وجود دارد و می‌تواند توان را به شبکه توزیع تزریق کند، مقدار بار قطع‌شده به صفر رسیده که ازلحاظ هزینه و بهره‌وری بسیار به نفع شبکه توزیع می‌باشد.



شکل ۷- توان خریداری‌شده از شبکه بالادست

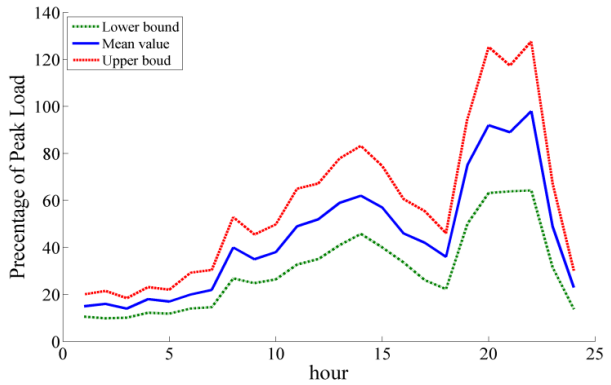


شکل ۸- بار قطع‌شده در شبکه توزیع در حضور و عدم حضور ریزشبکه

۴-۲- در نظرگیری عدم قطعیت

مقدار بار شبکه و همچنین میزان تابش روزانه پارامترهای مشخص و معلوم نیستند و معمولاً با عدم قطعیت همراه می‌باشد. به این دلیل این پارامترها پیش‌بینی‌شده و بر اساس پیش‌بینی برنامه‌ریزی‌ها انجام می‌شود. مشخص است که مقدار پیش‌بینی‌شده ممکن است با خطا همراه بوده و لذا این خطا نیز باید در برنامه‌ریزی‌ها در نظر گرفته شود. معمولاً میزان بار شبکه و تابش خورشید بر اساس توزیع نرمال در نظر گرفته می‌شود. به‌عبارت‌دیگر مقدار میانگین و انحراف از معیار این پارامترها، پیش‌بینی‌شده و لذا برنامه‌ریزی شبکه بر اساس مقادیر در نظر گرفته‌شده برای این پارامترهای احتمالی انجام می‌گیرد. [۲۶]و [۱۴].

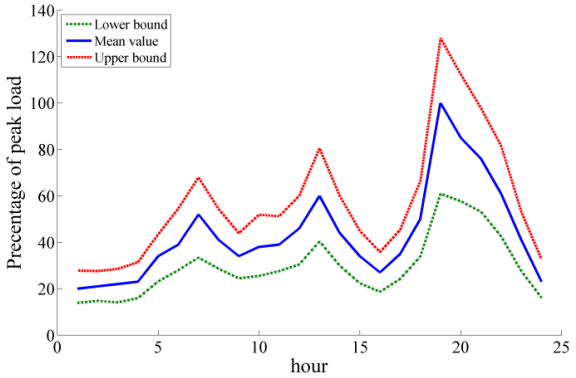
معروف‌ترین و دقیق‌ترین روش حل مسائل به‌صورت احتمالی استفاده از الگوریتم مونت‌کارلو می‌باشد. در این روش با تعریف تعداد زیادی نمونه احتمالی در محدوده پیش‌بینی‌شده، برنامه‌ریزی برای تمام این مقادیر انجام‌گرفته و توابع چگالی احتمال پارامترهای موردنیاز استخراج می‌شود [۲۷] و [۲۸]. برای این منظور در این مقاله میزان بار شبکه توزیع، ریزشبکه و همچنین میزان تابش نور خورشید در روز به‌صورت کران بالا و پایین در نظر گرفته شده‌اند و فرض می‌شود که میزان تابش یا بار در هر ساعت بین دو کران خواهد بود. این کران‌ها در شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ نشان داده‌شده است.



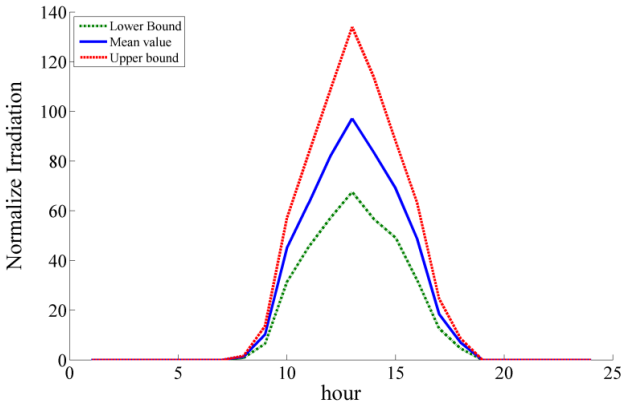
[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1398.8.2.3.6]

شکل ۹- کران بالا، کران پایین و میانگین بار ریزشبکه در مطالعه احتمالی.



شکل ۱۰- کران بالا، کران پایین و میانگین بار شبکه توزیع در مطالعه احتمالی.



شکل ۱۱- کران بالا، کران پایین و میانگین تابش روزانه خورشید در مطالعه احتمالی.

برای حل مسئله به‌صورت تصادفی از روش مونت‌کارلو استفاده‌شده است. برای این منظور برای هر کمیت ۱۰۰۰ داده تصادفی تولیدشده است. روش حل مسئله تصادفی به‌صورت گام‌به‌گام به‌صورت زیر است:

- گام ۱- تولید ۱۰۰۰ داده تصادفی برای هر متغیر تصادفی.
- گام ۲- تولید تصادفی مجموعه جواب برای متغیرهای بهینه‌سازی.
- گام ۳- انتخاب یک مجموعه از متغیرهای بهینه‌سازی.
- گام ۴- تست شبکه برای ۱۰۰۰ داده تصادفی با استفاده از روش مونت‌کارلو و چک کردن قیود برای تمام ۱۰۰۰ حالت محتمل.
- گام ۵- محاسبه تابع هدف در صورت درست بودن قیود.
- گام ۶- چک کردن شرط همگرایی روش بهینه‌سازی، در صورت همگرایی برو به گام ۹.
- گام ۷- تغییر متغیرهای بهینه‌سازی بر اساس روش بهینه‌سازی.
- گام ۸- برو به گام ۳.
- گام ۹ – پایان.

جدول ۴ نتایج حاصل از طراحی بهینه شبکه ریزشبکه با در نظرگیری عدم قطعیت را نشان می‌دهد.

جدول ۴- نتایج حاصل از طراحی و تعیین سایز ریزشبکه در شبکه توزیع ۳۳ باس با در نظرگیری عدم قطعیت بار و تابش خورشید با حداکثر هزینه سناریوهای تصادفی به‌عنوان تابع هدف.

محل نصب ریزشبکه	اندازه پنل خورشیدی (MW)	اندازه دیزل ژنراتور (MW)	تعداد باتری‌ها	کل هزینه
۲	۴۰۰	۲۱۸	۴۳	۷۱۰۶۶

همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، هزینه تولید توان در این حالت بسیار افزایش‌یافته است. این افزایش به دلیل شرایطی است که ممکن است بار در آن حداکثر و تولید حداقل باشد. بنابراین این شرایط نیز باید در مسئله دیده شود. اما همان‌طور که مشاهده می‌شود، هزینه نسبت به حالتی که عدم قطعیت در نظر گرفته نمی‌شود افزایش نزدیک به ۵۰٪ داشته است. بنابراین باید در نظر داشت که در شرایط تصادفی ممکن است هزینه شبکه به‌شدت افزایش یابد و این اهمیت حل مسائل به‌صورت تصادفی را نشان می‌دهد.

اما مسئله مهم این است که آیا نیاز است با در نظرگیری مسئله عدم قطعیت هزینه سیستم را به نزدیک ۵۰ درصد افزایش داد. به‌عبارت‌دیگر هزینه سیستم برای تأمین بار شبکه در شرایطی افزایش‌یافته است که میزان بار زیاد و تولید کم است. اما مسئله این است که رخ دادن چنین شرایطی چقدر محتمل است. به‌عبارت‌دیگر آیا منطقی است که برای پیش آمد شرایطی که تنها ۱۰٪ ممکن است رخ دهد، هزینه سیستم را ۵۰٪ افزایش داد.

در قسمت قبل برای هر پیشنهادی که از طرف برنامه بهینه‌سازی مطرح می‌شود، تمام سناریوهای ممکن برای شبکه در نظر گرفته‌شده و بیشترین هزینه‌ای که به سیستم وارد شود، به‌عنوان هزینه پاسخ پیشنهادی در نظر گرفته می‌شود. چنانچه پاسخ پیشنهادی حتی در یک سناریو نتواند قیود را رعایت کند، آن پاسخ از جانب برنامه مردود شناخته می‌شود. در این شرایط هزینه سیستم به‌شدت افزایش می‌یابد. برای رفع چنین مشکلی، در اینجا هیچ پاسخی مردود نشده و برای هر پاسخ هزینه سیستم در تمام سناریوها محاسبه می‌گردد. درنهایت میانگین هزینه‌های تمام سناریوها برای پاسخ موردنظر لحاظ می‌شود. بنابراین چنانچه پاسخ پیشنهادی توسط روش بهینه‌سازی در چند سناریو نتواند قیود را رعایت کند، پاسخ مردود نشده و همچنان موردبررسی قرار می‌گیرد. مشخص است برای سناریوهایی که تعداد آن‌ها کم است، چنانچه قیود رعایت نشوند، تأثیر زیادی بر روند حل نخواهند گذاشت. با در نظرگیری چنین شرایطی، نتایج بهینه به‌صورت جدول ۵ خواهد بود. در این شرایط افزایش هزینه سیستم برای در نظرگیری عدم قطعیت ۲۷٪ خواهد بود که نزدیک به ۲۰٪ کمتر نسبت به حالت قبل است. بنابراین می‌توان با در نظرگیری میانگین هزینه سیستم در تمام سناریوهای ممکن به‌عنوان تابع هدف، عدم قطعیت را

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1398.8.2.3.6]

در نظر گرفت. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در این شرایط هزینه سیستم نسبت به حالت قطعی ۲۶٪ افزایش داشته است.

جدول ۵- نتایج حاصل از طراحی و تعیین سایز ریزشبکه در شبکه توزیع ۳۳ باس با در نظرگیری عدم قطعیت بار و تابش خورشید با میانگین هزینه سناریوهای تصادفی به‌عنوان تابع هدف.

محل نصب ریزشبکه	اندازه پنل خورشیدی (MW)	اندازه دیزل ژنراتور (MW)	تعداد باتری‌ها	کل هزینه
۲	۴۰۰	۲۵۶	۳۸	۶۰۳۸۸

۵- نتیجه

در این مقاله طراحی یک ریزشبکه متشکل از بار، پنل خورشیدی، سیستم ذخیره‌ساز انرژی باتری و سیستم پشتیبان دیزل ژنراتور انجام شد. هدف از طراحی حداقل سازی هزینه موردنیاز برای تأمین بار ریزشبکه موردنظر می‌باشد. در این ریزشبکه هیچ توانی نباید از شبکه توزیع دریافت شود. اما چنانچه در ریزشبکه موردنظر اضافه توان موجود باشد، می‌توان آن را به شبکه فروخت. هزینه‌های در نظر گرفته‌شده برای پنل خورشیدی، باتری و دیزل ژنراتور شامل هزینه نصب و خریداری، هزینه تعمیر و نگهداری و هزینه تعویض می‌باشد. چنانچه سیستم طراحی‌شده در ساعاتی از روز نتواند بار ریزشبکه را به‌درستی تأمین نماید قسمتی از بار ریز شبکه حذف خواهد شد. پس از طراحی مناسب ریز شبکه، توان اضافه موجود در این ریزشبکه به شبکه تزریق می‌شود. به‌منظور بهره‌وری هرچه بهتر از این ریزشبکه، محل نصب ریزشبکه به شکلی در شبکه تعیین می‌شود، که تلفات شبکه به حداقل مقدار ممکن خود برسد. ازاین‌رو هم‌زمان با طراحی بهینه ریزشبکه، مکان‌یابی بهینه ریزشبکه در شبکه توزیع نیز انجام‌گرفته است. حل مسئله به‌صورت تصادفی نیز انجام‌شده است. برای این منظور میزان بار و همچنین تابش خورشید در دو کران بالا و پایین در نظر گرفته می‌شوند. برای حل مسئله از روش مونت‌کارلو با ۶۲۲۲ داده تصادفی استفاده‌شده است. نتایج نشان می‌دهد که در حالت در نظرگیری عدم قطعیت هزینه تولید توان در شبکه بشدت افزایش می‌یابد. مسئله بهینه‌سازی موردنظر با استفاده از روش LAPO حل‌شده و نتایج آن با روش ABC مقایسه شده است. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که روش مورداستفاده در حل مسئله بسیار عملکرد بهتری چه ازلحاظ سرعت همگرایی و چه ازلحاظ دقت پاسخ به‌دست‌آمده داشته است.

مراجع

[1] Z. Wang, B. Chen, J. Wang, J. Kim, and M. M. Begovic, "Robust optimization based optimal DG placement in microgrids," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, no. 5, pp. 2173–2182, 2014.

[2] S. Kansal, V. Kumar, and B. Tyagi, "Optimal placement of different type of DG sources in distribution networks," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 53, pp. 752–760, 2013.

[3] Z. Song, H. Hofmann, J. Li, J. Hou, X. Han, and M. Ouyang, "Energy management strategies comparison for electric vehicles with hybrid energy storage system," *Applied Energy*, vol. 134, pp. 321–331, 2014.

[4] A. Hajizadeh and E. Hajizadeh, "PSO-based planning of distribution systems with distributed generations," *International Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 33–38, 2008.

[5] 2003. IEEE Std. 1547, "IEEE standard for interconnecting distributed resources with electric power system," "No Title." .

[6] A. Rahiminejad, A. Aranizadeh, and B. Vahidi, "Simultaneous distributed generation and capacitor placement and sizing in radial distribution system considering reactive power market," *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, vol. 6, no. 4, p. 43124, 2014.

[7] P. Kayal and C. K. Chanda, "Placement of wind and solar based DGs in distribution system for power loss minimization and voltage stability improvement," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 53, pp. 795–809, 2013.

[8] A. Ameli, S. Bahrami, F. Khazaeli, and M.-R. Haghifam, "A multiobjective particle swarm optimization for sizing and placement of DGs from DG owner's and distribution company's viewpoints," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 29, no. 4, pp. 1831–1840, 2014.

[9] A. Forooghi Nematollahi, A. Dadkhah, O. Asgari Gashteroodkhani, and B. Vahidi, "Optimal sizing and siting of DGs for loss reduction using an iterative-analytical method," *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, vol. 8, no. 5, p. 55301, 2016.

[10] A. Foroughi Nematollahi, A. Rahiminejad, B. Vahidi, H. Askarian, and A. Safaei, "A new evolutionary-analytical two-step optimization method for optimal wind turbine allocation considering maximum capacity," *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, vol. 10, no. 4, p. 43312, 2018.

[11] N. Khalesi, N. Rezaei, and M.-R. Haghifam, "DG allocation with application of dynamic programming for loss reduction and reliability improvement," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 33, no. 2, pp. 288–295, 2011.

[12] M. M. Aman, G. B. Jasmon, A. H. A. Bakar, and H. Mokhlis, "A new approach for optimum simultaneous multi-DG distributed generation Units placement and sizing based on maximization of system loadability using HPSO (hybrid particle swarm optimization) algorithm," *Energy*, vol. 66, pp. 202–215, 2014.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1398.8.2.3.6]

[13] V. Hengsritawat, T. Tayjasanant, and N. Nimpitiwan, "Optimal sizing of photovoltaic distributed generators in a distribution system with consideration of solar radiation and harmonic distortion," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 39, no. 1, pp. 36–47, 2012.

[14] V. Carpentiero, R. Langella, and A. Testa, "Hybrid wind-diesel stand-alone system sizing accounting for component expected life and fuel price uncertainty," *Electric Power Systems Research*, vol. 88, pp. 69–77, 2012.

[15] S. M. Hakimi and S. M. Moghaddas-Tafreshi, "Optimal sizing of a stand-alone hybrid power system via particle swarm optimization for Kahnouj area in south-east of Iran," *Renewable energy*, vol. 34, no. 7, pp. 1855–1862, 2009.

[16] T. Ma, H. Yang, and L. Lu, "A feasibility study of a stand-alone hybrid solar–wind–battery system for a remote island," *Applied Energy*, vol. 121, pp. 149–158, 2014.

[17] M. Sedghi, M. Aliakbar-Golkar, and M.-R. Haghifam, "Optimal reliable distribution network expansion planning using improved PSO algorithm," 2012.

[18] P. Karimyan, G. B. Gharehpetian, M. Abedi, and A. Gavili, "Long term scheduling for optimal allocation and sizing of DG unit considering load variations and DG type," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 54, pp. 277–287, 2014.

[19] R. A. Walling, R. Saint, R. C. Dugan, J. Burke, and L. A. Kojovic, "Summary of distributed resources impact on power delivery systems," *IEEE Transactions on power delivery*, vol. 23, no. 3, pp. 1636–1644, 2008.

[20] A. El-Zonkoly, "Optimal placement and schedule of multiple grid connected hybrid energy systems," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 61, pp. 239–247, 2014.

[21] D. B. Nelson, M. H. Nehrir, and C. Wang, "Unit sizing and cost analysis of stand-alone hybrid wind/PV/fuel cell power generation systems," *Renewable energy*, vol. 31, no. 10, pp. 1641–1656, 2006.

[22] Y. Wang, B. Wang, C.-C. Chu, H. Pota, and R. Gadh, "Energy management for a commercial building microgrid with stationary and mobile battery storage," *Energy and Buildings*, vol. 116, pp. 141–150, 2016.

[23] M. A. M. Ramli, H. Bouchekara, and A. S. Alghamdi, "Optimal sizing of PV/wind/diesel hybrid microgrid system using multi-objective self-adaptive differential evolution algorithm," *Renewable Energy*, vol. 121, pp. 400–411, 2018.

[24] A. F. Nematollahi, A. Rahiminejad, and B. Vahidi, "A novel multi-objective optimization algorithm based on Lightning Attachment Procedure Optimization algorithm," *Applied Soft Computing*, vol. 75, pp. 404–427, 2019.

[25] A. F. Nematollahi, A. Rahiminejad, and B. Vahidi, "A novel physical based meta-heuristic optimization method known as Lightning Attachment Procedure Optimization," *Applied Soft Computing*, 2017.

[26] J. Wang, A. Botterud, R. Bessa, H. Keko, L. Carvalho, D. Issicaba, J. Sumaili, and V. Miranda, "Wind power forecasting uncertainty and unit commitment," *Applied Energy*, vol. 88, no. 11, pp. 4014–4023, 2011.

[27] M. Hamzeh, B. Vahidi, and A. F. Nematollahi, "Optimizing Configuration of Cyber Network Considering Graph Theory Structure and Teaching-Learning-Based Optimization (GT-TLBO)," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2018.

[28] H. Nafisi, S. M. M. Agah, H. A. Abyaneh, and M. Abedi, "Two-stage optimization method for energy loss minimization in microgrid based on smart power management scheme of PHEVs," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 7, no. 3, pp. 1268–1276, 2016.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1398.8.2.3.6]