

بازآرایی شبکه توزیع با در نظر گرفتن مکان یابی و تعیین اندازه تولیدات پراکنده با استفاده از ترکیب الگوریتم

مورچگان و کلونی زنبور مصنوعی

افشین لشکرآرا^۱، میلاد کفایت^۲، جمشید آقایی^۳

۱ استادیار، گروه برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دزفول، ایران، Lashkarara@iust.ac.ir

۲ کارشناسی ارشد، گروه برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دزفول، ایران

۳ دانشیار، گروه برق، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۴/۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۱۰

چکیده

امروزه با توجه به توسعه سیستم‌های توزیع و افزایش تقاضای برق، استفاده از منابع تولید پراکنده و بازآرایی شبکه به موازات هم در شبکه قدرت افزایش یافته است. در این مقاله، یک الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه به منظور بازآرایی و تخصیص تولیدات پراکنده در شبکه توزیع ارائه شده است. در این روش بهینه‌سازی، از الگوریتم مورچگان به منظور یافتن مناسب‌ترین ساختار شبکه و از الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی به منظور جایابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده، بکار گرفته شده است. همچنین به منظور بهینه‌سازی چند هدفه از یک آرشو خارجی جهت ذخیره جواب نامغلوب (پارتو) و از منطق فازی جهت یافتن بهینه‌ترین حالت در میان پاسخ‌های پارتو بدست آمده، استفاده شده است. اهداف بهینه‌سازی شامل کاهش تلفات، انحراف از ولتاژ و بهبود شاخص پایداری ولتاژ با در نظر گرفتن قیود بهره برداری می‌باشد. الگوریتم پیشنهادی بر روی شبکه ۳۳ شینه IEEE پیاده‌سازی شده و نتایج حاصل از این روش مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج شبیه‌سازی حاکی از کارآیی و عملکرد مناسب الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با روش‌های دیگر می‌باشد.

کلیدواژه

تجدید آرایش، الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی، تولید پراکنده، پایداری ولتاژ، کاهش تلفات.

مقدمه

می‌باشند. استفاده مناسب از منابع تولید پراکنده منوط به تعیین محل و ظرفیت مناسب این ادوات می‌باشد [۳]. در سال‌های اخیر محققین الگوریتم‌های متنوعی را جهت انتخاب مناسب‌ترین محل نصب مولدهای مقیاس کوچک و تعیین ظرفیت بهینه آن‌ها در شبکه‌های توزیع پیشنهاد داده اند. بررسی و تحقیقات نشان می‌دهد که روش‌های مختلف ارائه شده در این زمینه را می‌توان براساس نوع و ساختار الگوریتم بکار گرفته شده به سه دسته کلی روش‌های تحلیلی، روش‌های عددی و روش‌های تکاملی تقسیم بندی نمود [۴]. برای مثال در مرجع [۵] از روش "rule ۳/۲" و در مرجع [۶] از فیلتر کالمن که از مهم‌ترین روش‌های تحلیلی می‌باشند استفاده شده است. به طور کلی روش‌های تحلیلی از لحاظ پیاده‌سازی ساده و دارای سرعت همگرایی مناسب می‌باشند. اما به دلیل استفاده از فرضیات ساده‌سازی مسأله نمی‌توانند به منظور بررسی رفتار کلی سیستم مورد استفاده قرار گیرند. در روش‌های ریاضی معمولاً رسیدن به بهترین جواب

بیش‌تر کشورهای صنعتی جهان قسمت عمده برق تولیدی خود را از نیروگاه‌های بزرگ فسیلی، هسته‌ای و یا آبی تامین می‌کنند [۱]. این نیروگاه‌ها شاید از نظر اقتصادی دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشند. اما در چند سال اخیر به دلیل مسایل زیست محیطی، دوری از مصرف کننده، افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی، باعث گردیده که استفاده از مولدهای مقیاس کوچک در محل مصرف، مورد توجه قرار گیرد [۲]. بکارگیری تولیدات پراکنده در شبکه‌های توزیع نه تنها از دیدگاه زیست محیطی مورد تأیید قرار گرفته، بلکه از منظر دیگر نیز توانسته با تأمین و بهبود پارامترهای مختلف الکتریکی شبکه‌های توزیع مؤثر واقع شود. کاهش تلفات، کاهش هزینه‌های تولید و انتقال انرژی، بهبود پروفیل ولتاژ، افزایش ظرفیت خطوط، افزایش قابلیت اطمینان و پایداری سیستم از جمله مزایای نصب منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع

اگرچه مقالات ذکر شده بارز هستند؛ اما با وجود گسترش روز افزون و نقش اساسی تولیدات پراکنده در شبکه توزیع، مقالات کمی به بررسی همزمان جایابی و تعیین ظرفیت بهینه تولیدات پراکنده و بازآرایی شبکه پرداخته اند. در مرجع [۱۸] به بازآرایی شبکه در حضور انرژی‌های نو در مکان ثابت با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات با اهداف کاهش تلفات، هزینه و آلودگی اختصاص داده شده است. در [۲۲] اثرات متقابل تولیدات پراکنده متصل به شین از قبل معین شده و بازآرایی شبکه به منظور بهینه‌سازی تلفات با استفاده از الگوریتم مورچگان پرداخته شده است. همچنین در مرجع [۱۲] الگوریتم جستجوی هارمونی جهت بازآرایی شبکه همزمان با بهینه‌سازی تولیدات پراکنده با در نظر گرفتن تابع تلفات به صورت تک هدفه ارائه شده است. اما به بررسی همزمان دیگر پارامترهای شبکه مثل ولتاژ پرداخته نشده است. این مقالات نتیجه گیری می‌کنند که تولیدات پراکنده می‌تواند باعث بهبود هر چه بیش‌تر بازآرایی شبکه گردد. اما در مقالات بررسی شده، به دلیل وابستگی مکان تولیدات پراکنده به ساختار شبکه تعیین مکان مناسب برای تولیدات پراکنده همواره به عنوان چالش مطرح می‌باشد.

بازآرایی شبکه توزیع و اتصال بهینه منابع تولید پراکنده نقش مهمی در بهینه‌سازی سیستم قدرت از دیدگاه برنامه ریزی، اتوماسیون، مدیریتی و بهره برداری ایفا می‌کنند. هماهنگی این دو روش می‌تواند تاثیر بسزایی در بهبود کارایی شبکه داشته باشد. بنا به دانش نویسندگان، در پژوهش‌های پیشین الگوریتم ابتکاری برای حل مسأله با مفروضات فوق، توسعه داده نشده است. از این رو، با توجه به ماهیت ترکیبی و چند وجهی بودن فضای بهینه‌سازی (گسسته و پیوسته)، در این مقاله الگوریتم ترکیبی مورچگان و کلونی زنبور مصنوعی پیشنهاد شده است. در این روش الگوریتم مورچگان به دلیل دارا بودن ماهیت گسسته، وظیفه بهینه‌سازی ساختار شبکه و الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی به جایابی و مقدار یابی بهینه منابع تولید پراکنده می‌پردازد. از مزایای اصلی این ترکیب کاهش فضای جستجو با توجه به استفاده از الگوریتم گسسته و پیوسته به صورت همزمان، جلوگیری از احتمال گیر افتادن در کمینه محلی به علت استفاده از قابلیت الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی در پیدا کردن کمینه سراسری [۲۳] و استفاده از قابلیت الگوریتم مورچگان در یافتن کمینه محلی [۲۴] می‌باشد. این روش بهینه‌سازی هم به صورت تک هدفه و چند هدفه با در نظر گرفتن توابع هدف کاهش تلفات، انحراف از ولتاژ و افزایش پایداری پیاده‌سازی شده است. بعلاوه از مجموعه جواب پارتو به منظور دستیابی به پاسخ‌های متعدد نهایی و از روش فازی جهت انتخاب جواب نهایی استفاده گردیده است. این روش به بهره بردار سیستم اجازه می‌دهد با توجه به اولویت‌ها سیستمی یکی از جواب‌های پارتو به عنوان جواب نهایی انتخاب

امکان‌پذیر است؛ اما عملکرد مناسبی در بهینه‌سازی شبکه‌های بزرگ از خود نشان نمی‌دهند. در مرجع [۷] از روش روش برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح به منظور جایابی و تعیین مقدار بهینه انواع تولیدات پراکنده استفاده شده است. همچنین از روش مذکور در مرجع [۸] به منظور بهینه‌سازی تولیدات پراکنده با توجه به مسایل بازار بهره گیری شده است.

الگوریتم‌های تکاملی براساس روش‌های مبتنی بر تکرار جستجوی نقاط بهینه پایه گذاری شده‌اند که می‌توانند در شرایطی که شبکه گسترده بوده و یا در حالتی که به دلیل پیچیدگی مسأله دیگر روش‌ها دچار مشکل می‌گردند، به خوبی ظاهر شده و نتایج قابل قبولی ارائه دهند. در [۹] از الگوریتم آموزش معلم به منظور تخصیص منابع تولید پراکنده با هدف کاهش تلفات بهره گیری به عمل آمده است. اما بررسی چند هدفه صورت نگرفته است. در [۱۰] از الگوریتم ترکیبی شبیه سازی تبرید و آنالیز حساسیت جهت تعیین مقدار بهینه و جایابی مولدهای مقیاس کوچک استفاده که در آن کاهش تلفات و پایداری ولتاژ به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است. روش‌های مختلف دیگری مانند الگوریتم‌های ازدحام ذرات [۱۱]، ژنتیک [۱۲]، برای حل مسأله جایابی و مقدار یابی منابع تولید پراکنده نیز مطرح شده است.

بازآرایی شبکه یک فرآیند بهینه‌سازی در ساختار شبکه با تغییر وضعیت باز یا بسته بودن کلیدهای شبکه می‌باشد. با توجه به سطح ولتاژ در شبکه توزیع و در نتیجه ازدیاد اندازه جریان، مهم‌ترین هدف در مدیریت آرایش شبکه کاهش تلفات اهمی است [۱۳-۲۰]. بازآرایی شبکه توزیع ابتدا با استفاده از روش‌های کلاسیک مورد بررسی قرار گرفت. در مرجع [۱۳] به وسیله روشی ابداعی شاخه و کران به تجدید آرایش شبکه به منظور بهینه‌سازی تلفات پرداخته شده است. از دیگر این روش‌ها می‌توان به روش بهینه‌سازی خطی عدد صحیح اشاره کرد که در [۱۴] استفاده شده است. سادگی مزیت اصلی روش‌های کلاسیک گفته شده می‌باشد؛ اما به دلیل وابستگی به شرایط اولیه و تاثیر پذیری از پیچیدگی شبکه (با توجه به تعدد کلیدها) ممکن است جواب‌های نامطلوبی حاصل شوند. همچنین به دلیل ماهیت گسسته بازآرایی شبکه، اغلب بهینه‌سازی چند هدفه به منظور حل توسط روش‌های کلاسیک تبدیل به بهینه‌سازی تک هدفه می‌گردد [۱۵]. گروه دیگری از روش‌ها که در چند سال اخیر مورد استقبال قرار گرفته اند روش‌های اکتشافی یا هوشمند می‌باشند. در [۱۶] به بازآرایی از منظرهای متفاوت شامل: کاهش تلفات، تعادل بار و بهبود پروفیل ولتاژ با استفاده از الگوریتم ترکیبی ازدحام ذرات و جفت گیری زنبور عسل پرداخته شده است. در مرجع [۱۷] روشی مبتنی بر الگوریتم فازی و در [۲۱] از الگوریتم جستجوی گرانشی به منظور بازآرایی چند هدفه استفاده شده است.

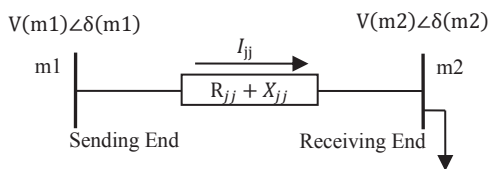
شاخص پایداری ولتاژ

در شبکه‌های توزیع عوامل مختلفی مانند افزایش بیش از حد توان مصرفی بارها، عملکرد نامناسب تغییر دهنده تپ ترانس‌ها، قطعی خطوط و بسیاری موارد دیگر می‌توانند باعث ناپایداری ولتاژ در هر یک از نقاط شبکه شوند. پدیده فروپاشی ولتاژ چیزی غیر از گسترش غیرقابل کنترل ناپایداری ولتاژ در یک شبکه و رسیدن ولتاژ به حد غیرقابل قبول نیست. مطالعات و بررسی‌ها نشان می‌دهد که نصب منابع تولید پراکنده می‌تواند باعث افزایش پایداری ولتاژ در این شبکه‌ها گردد. شناسایی حساس‌ترین شین شبکه نسبت به تغییرات بار مصرفی به عنوان محل مناسب برای نصب مولدهای مقیاس کوچک می‌تواند باعث بهبود پایداری شبکه گردد. در همین راستا می‌توان مطابق با نتایج پخش بار برای شناسایی حساس‌ترین شین شبکه از روابط ۵ و ۶ استفاده نمود [۲۵].

$$SI(m2) = |V(m1)|^4 - 4[P(m2)X_{jj} - Q(m2)R_{jj}]^2 - 4[P(m2)R_{jj} + Q(m2)X_{jj}]|V(m1)|^2 \quad (5)$$

$$F_3(X) = \min\left(\frac{1}{SI(m2)}\right) \quad (6)$$

که در آن $SI(m2)$ شاخص پایداری ولتاژ مربوط به شین $m2$ می‌باشد. $V(m1)$ ولتاژ شین $m1$ ، $P(m2)$ و $Q(m2)$ کل توان اکتیو و راکتیو بار مصرفی مربوط به شین $m2$ در نظر گرفته شده است.



شکل ۱. شبکه نمونه یک سیستم توزیع شعاعی

قیود مسأله

در بهینه‌سازی، قیود پخش بار به عنوان قیود مساوی در نظر گرفته شده است [۲۶، ۱۶]:

$$P_i = \sum_{j=1}^{n_{bus}} V_i V_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (7)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^{n_{bus}} V_i V_j Y_{ij} \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (8)$$

که در آن V_i و δ_i اندازه و زاویه ولتاژ در شین i ام، P_i و Q_i به ترتیب توان اکتیو و راکتیو تزریقی به شین i ام می‌باشند. قید ولتاژ شین‌ها به عنوان قیود نامساوی بیان می‌گردد که باید در محدوده مجاز قرار داشته باشد [۱۰].

$$V_{min} \leq V \leq V_{max} \quad (9)$$

توان تولیدی هر منبع بین مقدار بیشینه و کمینه در نظر گرفته شده است.

گرداند. به منظور بررسی تاثیر این روش ترکیبی مسأله بهینه‌سازی در چهار حالت شامل: اتصال بهینه تولیدات پراکنده، بازآرایی شبکه توزیع و سپس به صورت ترکیبی مورد مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. همچنین در این مقاله از یک روش جدید برای تجدید آرایش شبکه‌های توزیع استفاده شده است. در این روش ابتدا شبکه توزیع به صورت یک گراف مدل می‌شود سپس با استفاده از نظریه گراف ترکیب شده با الگوریتم مورچگان تابع همبندی محاسبه شده و به صورت یکی از توابع هدف در مدلسازی لحاظ می‌گردد. از مزیت‌های روش ارایه شده تشخیص و حذف آرایش‌های نامناسب در حین عملیات بهینه‌سازی می‌باشد.

در این مقاله ابتدا به بیان مسأله و توصیف و پیاده‌سازی توابع هدف پرداخته شده است و در ادامه پس از بررسی نظریه گراف روش بهینه‌سازی ترکیبی، الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی و مورچگان بیان گردیده است. در بخش پنجم، به بررسی تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از شبیه‌سازی روی شبکه استاندارد ۳۳ شینه IEEE پرداخته شده و در نهایت نتایج شبیه‌سازی نشان داده شده مورد نتیجه‌گیری قرار گرفته است.

توابع بهینه‌سازی

شاخص تلفات

تلفات در خطوط و سایر اجزاء شبکه متناسب با مجذور جریان است. در شبکه توزیع به دلیل پایین بودن ولتاژ و در نتیجه بالا بودن جریان تلفات قابل توجهی خواهیم داشت. نصب منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع می‌تواند بار را در محل تامین نماید در نتیجه منابع تولید پراکنده نقش بسزایی در کاهش تلفات دارد. این تأثیر خصوصاً در مواقع پیک بار مشهود است [۱۸].

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^{n_{br}} I_i^2 R_i \quad (1)$$

$$F_1(X) = \min(P_{loss}) \quad (2)$$

که I_i و R_i به ترتیب جریان و مقاومت هر شاخه می‌باشند.

شاخص انحراف از ولتاژ

شاخص انحراف از ولتاژ که یکی از پارامترهای مطرح در کیفیت توان شبکه‌های قدرت می‌باشد به صورت زیر قابل بیان است:

$$VD = \sum_{i=1}^{n_{bus}} |1 - V_i| \quad (3)$$

$$F_2(X) = \min(VD) \quad (4)$$

که V_i ولتاژ شین i ام و n_{bus} تعداد کل شین‌ها می‌باشد.

صورت یک گراف غیر جهت دار در نظر گرفته می شود در این مقاله موضوع اصلی غالباً گراف های غیر جهت داراند.

با تجدید آرایش شبکه های توزیع می توان آرایش شعاعی را بدست آورد که تلفات آن حداقل باشد. از آنجائیکه تعداد آرایش های یک شبکه توزیع بسیار زیاد است و بررسی تمامی آرایش ها بسیار دشوار است، همچنین بازآرایی یک مسأله بهینه سازی پیچیده بوده و امکان استفاده مستقیم از روش های بهینه سازی ریاضی در آن ساده نمی باشد. لذا در این مقاله از الگوریتم مورچگان برای یافتن آرایش بهینه و از نظریه گراف به منظور بررسی ساختار شعاعی شبکه و تغذیه همه بارها استفاده گردیده است. هر آرایش از شبکه توزیع با مشخص شدن وضعیت همه کلیدها در شبکه ایجاد می شود. در این روش ابتدا کلیه کلیدها به صورت وصل در نظر گرفته می شود. سپس با استفاده از الگوریتم کلیدها باز می گردند. اما یکی از مهم ترین قسمت های مسأله بازآرایی، چگونگی رعایت کردن قید شعاعی بودن برای راه حل های ارائه شده می باشد. بدین منظور با استفاده از تابع اتصال، شبکه مورد بررسی قرار می گیرد.

به طور کلی در هر گراف اگر رئوس را با v_1, v_2, \dots, v_n نمایش دهیم، ماتریس مجاورت آن ماتریس $n \times n$ می باشد که درایه A_{ij} آن برابر است با تعداد یال هایی که v_i را به v_j متصل می کند. بدیهی است در گراف های غیرجهت دار A_{ij} برابر با A_{ji} می باشد. همچنین به دلیل نداشتن طوقه در شبکه توزیع درایه های روی قطر اصلی همگی برابر صفر می باشند. به طور کلی اگر A ماتریس مجاورت یک گراف باشد، درایه a_{ij} در ماتریس A^k تعداد مسیرهای با طول k از رأس i به j را نشان می دهد. به منظور محاسبه همبندی گراف می توان از قضیه کیلی-همیلتون استفاده کرد. این قضیه بیان می کند که هر ماتریس مربعی مانند $A_{n \times n}$ در معادله مشخصه خود صدق می کند و آنگاه خواهیم داشت [۲۹]:

$$|\lambda I - A| = \alpha_0 + \alpha_1 \lambda^1 + \dots + \alpha_{n-1} \lambda^{n-1} + \lambda^n \quad (15)$$

پس:

$$0 = \alpha_0 I + \alpha_1 A^1 + \dots + \alpha_{n-1} A^{n-1} + A^n \quad (16)$$

اگر یک گراف همبند باشد آنگاه همه درایه های ماتریس $W = (I + A)^n$ برابر مقداری بزرگتر از صفر خواهد بود. یعنی هر دو رأس آن متصل می باشند. به منظور برآورد عدم همبندی گراف ساخته شده می توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$c_{ij} = \begin{cases} 1, & w_{ij} > 0 \\ 0, & w_{ij} = 0 \end{cases} \quad (17)$$

$$DC = 1 - \frac{\sum_{j=0}^n \sum_{i=0}^n c_{ij}}{n^2} \quad (18)$$

در نتیجه می توان با استفاده از تابع اتصال بررسی ساختار شعاعی شبکه و شایستگی هر عضو از جمعیت پرداخته شود.

$$P_{gn}^{min} \leq P_{gn_i} \leq P_{gn}^{max} \quad (10)$$

$$Q_{gn}^{min} \leq Q_{gn_i} \leq Q_{gn}^{max} \quad (11)$$

به منظور حفظ ساختار شعاعی شبکه قید زیر باید برقرار باشد.

$$N_{bus} = N_{Branch} + 1 \quad (12)$$

که N_{bus} تعداد شین ها و N_{Branch} تعداد شاخه ها می باشد.

مدلسازی منابع تولید پراکنده

همانطور که قبلاً اشاره شد می توان منابع تولید پراکنده را به عنوان منابع تولید کننده توان اکتیو و راکتیو در نظر گرفت که در این صورت می توان آن ها را مطابق رابطه ۱۳ و ۱۴ به عنوان بار مصرفی با توان منفی تعریف نمود [۲۶، ۲۷].

$$P_{net} + \sum P_{DG} = P_{demand} + P_{loss} \quad (13)$$

$$Q_{net} + \sum Q_{DG} = Q_{demand} + Q_{loss} \quad (14)$$

در روابط فوق P_{DG} و Q_{DG} توان اکتیو و راکتیو تزریقی شده توسط منابع تولید پراکنده می باشد. P_{demand} و Q_{demand} نیز مجموع توان اکتیو و راکتیو بار مصرفی شبکه در نظر گرفته شده است.

نظریه گراف و ساختار روش بازآرایی شبکه

گراف مدلی ریاضی برای یک مجموعه گسسته است که اعضای آن به طریقی به هم مرتبط هستند. از گراف ها برای حل مسایل زیادی در ریاضیات و علوم کامپیوتر استفاده می شود. مهم ترین کاربرد گراف مدل سازی پدیده های گوناگون و بررسی بر روی آن هاست. گراف مجموعه ای از رأس ها است، که توسط خانواده ای از زوج های مرتب که همان یال ها هستند به هم مربوط (وصل) شده اند. در هر گراف اگر راسی مسیری منتهی به خودش داشته باشد گویند گراف دارای دور است. همچنین گرافی که بین هر دو راس دلخواه از آن حداقل یک مسیر وجود داشته باشد گراف همبند و گرافی که همبند بوده و هیچ دوری نداشته باشد درخت نامیده می شود. با گراف می توان به راحتی یک شبکه بسیار بزرگ را در درون یک ماتریس به نام ماتریس مجاورت گراف ذخیره کرد. برای هر گراف یک ماتریس مجاورت منحصر به فرد (یکتا) وجود دارد و هیچ دو گرافی یک ماتریس مجاورت ندارند [۲۸].

شبکه های توزیع از شبکه های حلقوی متصل به هم تشکیل شده است که به دلیل مسایل حفاظتی به صورت شعاعی بهره برداری می شوند. آرایش شبکه ممکن است با تغییر حالت کلیدهای موجود در شبکه به منظور انتقال بار بین فیدها تغییر یابد. شبکه توزیع را می توان به درختی تشبیه کرد که در آن شین ها معادل گره ها و خطوط معادل یال ها می باشند. با توجه به اینکه شبکه توزیع به

الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی

الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی یکی از الگوریتم‌های مبتنی بر هوش ازدحامی می‌باشد که اولین بار در سال ۲۰۰۵ توسط Karaboga معرفی شده است [۳۱]. این الگوریتم از رفتار زنبورهای عسل در هنگام جستجو برای منابع غذایی الهام گرفته شده است. کلونی زنبور مصنوعی از سه نوع زنبور شامل کارگر، جستجوگر و پیش‌آهنگ تشکیل شده است. زنبورهایی که در ابتدا وظیفه بهره‌برداری از منابع غذایی را دارند، زنبورهای کارگر می‌باشند که بدون توجه به مطلوبیت هر کدام از منابع غذایی صرفاً به جستجوی منبع غذایی می‌پردازند. هر زنبور کارگر مطابق با رابطه ۲۳ از مکان فعلی x_{ij} به موقعیت جدید v_{ij} می‌رود.

$$v_{ij} = x_{ij} + \phi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (23)$$

که در آن ϕ_{ij} عددی تصادفی بین $[-1, 1]$ می‌باشد. زنبورهای جستجوگر در حالی که زنبورهای کارگر مشغول پایش فضا می‌باشند در کندو حضور داشته و با بازگشت زنبورهای کارگر و انجام نوعی رقص خاص توسط آن‌ها اطلاعات مربوط به منابع غذایی را دریافت می‌کنند. این رقص که به نام رقص چرخشی شناخته می‌شود، اطلاعات مربوط به جهت منبع غذایی (نسبت به کندو)، فاصله و کیفیت را به زنبورهای دیگر انتقال می‌دهد. به محض دریافت کامل اطلاعات براساس نیاز و غنای منبع غذایی به جستجوی هر کدام از منابع غذایی می‌پردازند. منظور انتخاب یک منبع غذایی خاص با توجه به ارزش آن منبع از رابطه زیر بهره می‌برند [۲۳]:

$$p_i = \frac{fit_i}{\sum_{j=1}^{SN} fit_j} \quad (24)$$

که fit_i مقدار برازندگی منبع غذایی جستجو شده توسط زنبورهای کارگر می‌باشد و به صورت زیر قابل بیان است:

$$fit_i = \begin{cases} \frac{1}{1+f(x_i)} & f(x_i) \geq 0 \\ \frac{1}{1+|f(x_i)|} & f(x_i) < 0 \end{cases} \quad (25)$$

که $f(x_i)$ مقدار تابع هزینه می‌باشد. پس از آنکه تمام زنبورهای جستجوگر در منابع غذایی توزیع شدند، منابع مورد بررسی قرار می‌گیرند. تا زمانی که در یک منبع غذایی اصطلاحاً شاهد برداشت شود. زنبورها سطح آن منبع را بازبینی می‌کنند. اما اگر یک منبع غذایی پس از تعداد مشخصی پایش هیچ بهبودی از خود نشان ندهد، آنگاه آن منبع به عنوان منبع تمام شده در نظر گرفته می‌شود و اصلاحاً آن منبع ترک می‌شود. زنبور پیش‌آهنگ یک جستجوی تصادفی را در قلمرو به منظور ایجاد پاسخ جدید انجام خواهند داد. هدف از این کار رهایی از کمینه محلی و رسیدن به پاسخ بهتر در فضای جستجو می‌باشد. روندنمای بهینه‌سازی

الگوریتم بهینه‌سازی

الگوریتم مورچگان

این روش، از توانایی مورچه‌ها در پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر بین لانه و منبع غذایی الهام گرفته شده است. وقتی مورچه‌ها در محیط اطراف حرکت می‌نمایند، اثری شیمیایی به نام فرمون از خود به جای می‌گذارند. هنگامی که جمعیتی از مورچه‌ها از چند مسیر بین لانه و یک منبع غذایی حرکت می‌کنند، پس از مدت زمان معینی مشاهده می‌شود که در مسیرهای متفاوت مقدار فرمون‌های بر جای گذاشته شده متفاوت می‌باشد. این امر ناشی از این واقعیت است که مورچه‌هایی که در مسیر کوتاه‌تر حرکت می‌کنند، به علت کوتاه‌تر بودن مسیر در یک مدت زمان معین تردد بیش‌تری داشته‌اند. چون مورچه‌ها ذاتاً مسیری را انتخاب می‌کنند که دارای فرمون بیش‌تری است. لذا پس از مدت زمانی معین مشاهده می‌شود که مورچه‌ها، مسیر کوتاه‌تر را با تابع احتمال زیر انتخاب کرده‌اند [۳۰]:

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{(\tau_{ij})^\alpha (\eta_{ij})^\beta}{\sum_{m \in N_i^k} (\tau_{im})^\alpha (\eta_{im})^\beta} & j \in N_i^k \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (19)$$

که P_{ij}^k بیان‌کننده احتمال حرکت مورچه k ام از مکان i ام به مکان j ام است. η مربوط به اطلاعات زمینه‌ای و τ_{ij} مقدار کل فرمون در مسیر i به j می‌باشد. α و β عملگرهای وزنی هستند که اهمیت توجه به تجربه و اطلاعات مسأله را بیان می‌کنند. در الگوریتم مورچه‌ها، روش جستجویی پیاده‌سازی می‌شود که در هر مرحله از اطلاعات مراحل قبلی برای رسیدن به هدف استفاده می‌نماید. به منظور جلوگیری از افتادن الگوریتم در کمینه محلی و تقویت مسیرهای که کارایی بهتری (داری مسیر کوتاه‌تر) هستند در این الگوریتم از تبخیر فرمون بهره‌گیری می‌شود. لذا وقتی یک مورچه مسیر کوتاهی را از خانه تا غذا بیاید با تقویت مداوم آن مسیر و تبخیر ردهای دیگر با گذشت زمان، به مرور همه مورچه‌ها هم مسیر می‌شوند. هدف الگوریتم مورچه‌ها تقلید این رفتار توسط مورچه‌هایی مصنوعی است. در هر تکرار به روز رسانی فرمون در مسیرهای مختلف به صورت زیر صورت می‌پذیرد:

$$\tau_{ij} \leftarrow \tau_{ij} + \Delta\tau_{ij}^k \quad (20)$$

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{f(\psi^k)} & l_{ij} \in \psi^k \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (21)$$

مرحله تبخیر به منظور فراموش کردن راه‌های ضعیف‌تر به صورت زیر قابل بیان است:

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho)\tau_{ij} \quad (22)$$

که در آن Q و ρ مقادیر ثابتی هستند و $f(\psi^k)$ بیان‌کننده ارزش راه حل ارائه شده توسط مورچه k ام می‌باشد.

ترکیب الگوریتم مورچگان و کلونی زنبور مصنوعی

به منظور بهینه‌سازی همزمان بازآرایی شبکه و مقدار یابی منابع پراکنده از ترکیب دو الگوریتم مورچگان و کلونی زنبور مصنوعی استفاده شده است. این الگوریتم جدید که ویژگی‌های هر دو الگوریتم را دارا می‌باشد. هر ساختار شبکه به عنوان مسیر برای یک مورچه انتخاب می‌شود. پس در هر تکرار ابتدا ساختار جدید شبکه توسط الگوریتم مورچگان مشخص شده و سپس جایابی و تعیین مقدار بهینه تولیدات پراکنده برای هر ساختار با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی انجام می‌پذیرد.

این جداسازی باعث کاهش فضای جستجو و افزایش احتمال یافتن بهینه سراسری می‌گردد. همچنین با توجه به قرار گیری الگوریتم مورچگان در کمینه محلی [۲۴]، یکی دیگر از مزایای ترکیب دو الگوریتم استفاده از توانایی الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی در عبور از کمینه محلی و یافتن بهینه سراسری می‌باشد [۲۳]. الگوریتم پیاده‌سازی شده محدود به این مسأله نمی‌باشد و قابلیت گسترش و استفاده در دیگر مسایلی که از ترکیب دو فضای گسسته و پیوسته هستند؛ را دارا می‌باشند. روندنمای بهینه‌سازی توسط ترکیب الگوریتم مورچگان و کلونی زنبور مصنوعی در شکل ۳ نشان داده شده است.

پاسخ‌های بهینه فراگیر

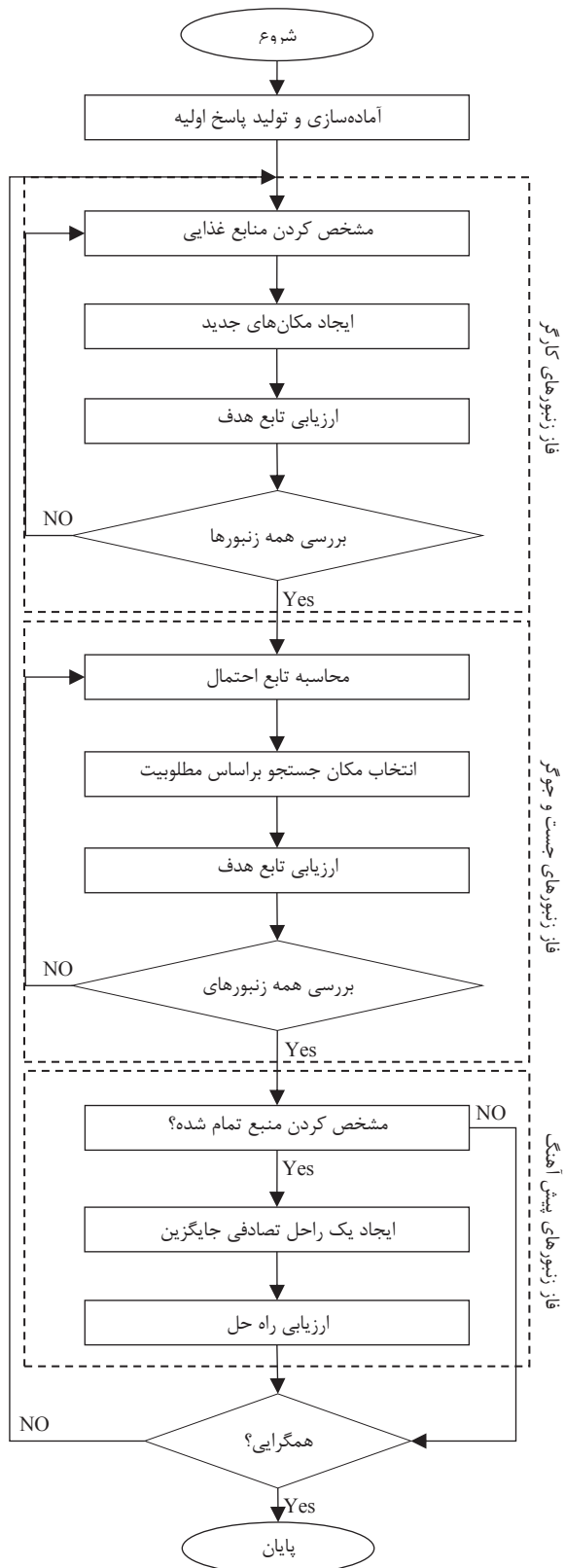
انتخاب مناسب پاسخ‌های بهینه فراگیر در الگوریتم چند هدفه یک مرحله مهم از روند بهینه‌سازی محسوب می‌شود. از آنجا که در حل مسایل چند هدفه به دلیل وجود تناقض بین اهداف، جواب واحدی که همه اهداف در آن بهینه باشند، وجود ندارد؛ در نهایت مجموعه‌ای از جواب‌های غالب به عنوان جواب‌های بهینه، ارایه خواهند شد که به آن‌ها جواب‌های پارتو گویند. در حالت تک هدفه الگوریتم، با برداری واحد سر و کار داریم که یافتن مقدار کمینه از بین نتایج محاسبه شده از تابع هدف کار آسانی است اما در حالت چند هدفه با یک فضای برداری ترتیب ناپذیر مواجه هستیم که این امر گزینش پاسخ مناسب را با مشکل مواجه می‌کند. به همین منظور برای یافتن پاسخ بهینه از مفهوم غلبگی استفاده می‌شود که برای بیان مفهوم غلبگی بین اعضای جمعیت فرضی می‌توان گفت [۳۲]:

$$\forall i \in \{1, 2, \dots, N_{obj}\}: f_i(X_1) \leq f_i(X_2) \quad (26)$$

$$\exists j \in \{1, 2, \dots, N_{obj}\}: f_j(X_1) < f_j(X_2) \quad (27)$$

که در رابطه بالا، X_1 بر X_2 غالب است اگر X_1 بهتر از X_2 حداقل برای تابع هدف f_j و برای تابع هدف f_i بدتر نباشد. در چنین حالتی یک عضو بر عضو دیگر غلبه یافته و آن را حذف می‌کند.

توسط الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. روندنمای الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی

ممکن تعریف نمود. بنابراین باید معیاری برای مقایسه طرح‌های قابل قبول مختلف و انتخاب بهترین آن‌ها تعیین شود که به صورت تابعی از متغیرها بیان شده، تابع معیار، تابع مزیت و یا تابع هدف نام می‌گیرد. بدین منظور یک رهیافت فازی با تابع عضویت خطی برای تصمیم گیرنده پیشنهاد می‌گردد. تابع عضویت روش فازی پیشنهادی بصورت زیر تعریف می‌شود [۳۲]:

$$\mu_i(X) = \begin{cases} 1 & f_i(X) \leq f_i^{\min} \\ 1 - \frac{f_i(X) - f_i^{\min}}{f_i^{\max} - f_i^{\min}} & f_i^{\min} \leq f_i(X) \leq f_i^{\max} \\ 0 & f_i(X) \geq f_i^{\max} \end{cases} \quad (28)$$

$$G_i(X) = (\mu_i(X))^{-1} \quad (29)$$

به منظور انتخاب پاسخی از میان جواب‌های فازی شده، باید مصالح‌های بین مقادیر تابع هدف انجام گیرد که پس از حل تمامی زیرمسئله‌ها و بدست آوردن کلیه جواب‌های پارتوی مسئله، تصمیم گیرنده سیستم می‌بایست از میان جواب‌های پارتو بدست آمده با توجه به اولویت‌ها و همچنین کاربردهای متفاوت، یکی از جواب‌های پارتو را به عنوان جواب نهایی مسئله مورد نظر انتخاب کند. با استفاده از رابطه زیر می‌توان از میان جواب‌های فازی شده با توجه به اهمیت هر شاخص، بهترین جواب انتخاب گردد [۲۱]:

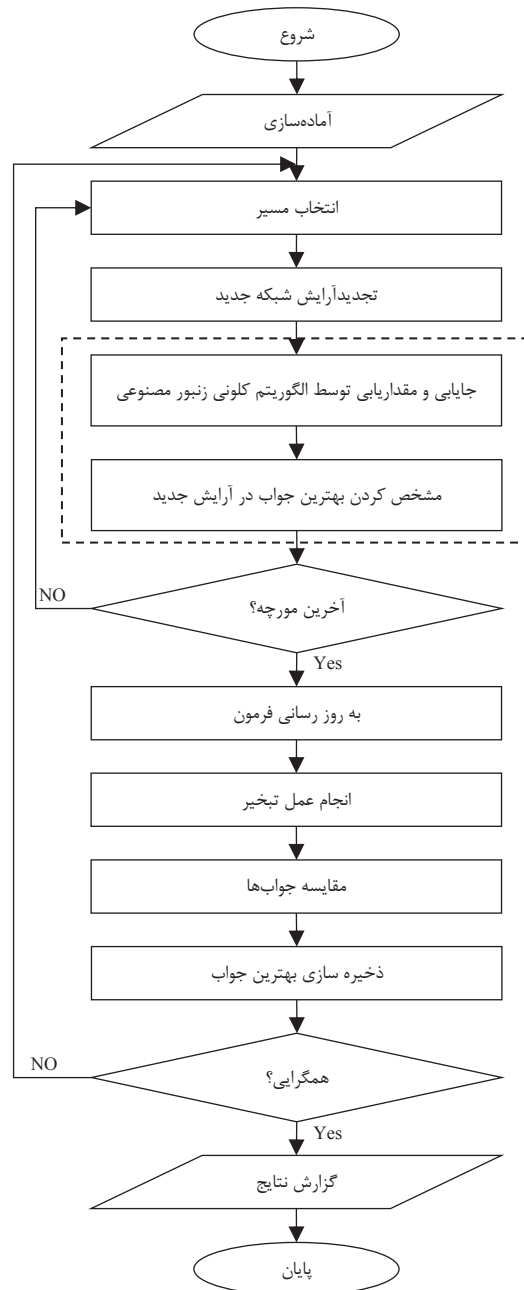
$$F(X) = \sum_{i=1}^3 k_i G_i(X) + L_1 \left(\sum_{j=1}^{N_{eq}} E_j(X) \right) + L_2 \left(\sum_{j=1}^{N_{ueq}} U_j(X) \right) + L_3 \times DC \quad (30)$$

$$k_i \geq 0, \quad \sum_{i=1}^3 k_i = 1 \quad (31)$$

که در رابطه بالا k_i ضرایب ثابتی هستند که بیانگر میزان تأثیر و اهمیت هر یک از شاخص‌ها در جستجوی محل نصب و ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده می‌باشند. E_j و U_j توابع برآورده شدن قیود مساوی و نامساوی هستند. L_1 ، L_2 و L_3 ضرایب جریمه مربوط به قیود مساوی، نامساوی و همبندی گراف می‌باشند، به دلیل اینکه این شرایط همیشه باید برقرار باشند برای مقادیر آن‌ها اعداد بزرگی در نظر گرفته می‌شود.

نتایج شبیه سازی

به منظور بررسی کارایی روش پیشنهادی، الگوریتم اشاره شده بر روی یک شبکه استاندارد ۳۳ شینه IEEE که مبنای کار بسیاری از مطالعات تجدید آرایش بوده پیاده‌سازی شده است [۲۰]. در شکل ۴ نمای تک خطی این شبکه دارای ۳۲ شاخه نشان داده شده است. مطابق نتایج پخش بار شبکه مورد مطالعه در شرایط اولیه دارای



شکل ۳. نحوه ارتباط دو الگوریتم بهینه‌سازی

در این مقاله به منظور ذخیره جواب‌های غیر مغلوب از یک روش مبتنی بر آرشو خارجی استفاده شده است. این روش اولین بار در سال ۲۰۰۴ بر الگوریتم ازدحام ذرات مورد استفاده قرار گرفت. در آرشو مذکور، با توجه به جواب‌هایی که دارای کم‌ترین فاصله با مرز بهینه سازی و همچنین بالاترین پراکندگی (مقدار فاصله ازدحام بیش‌تری) هستند، الویت بیش‌تری داده می‌شود [۳۳].

انتخاب جواب بهینه با استفاده از منطق فازی

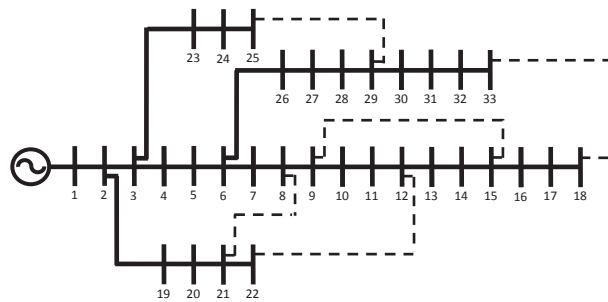
بهینه سازی را می‌توان به عنوان یک ابزار ریاضی برای پیدا کردن بهترین استراتژی جهت انجام یک کار معین از بین چندین روش

بهینه‌سازی موثر بودن الگوریتم در رسیدن به جواب بهینه مشهود است.

تلفات اکتیو ۰,۲۰۲۷ مگاوات، شاخص انحراف از ولتاژ ۱,۷۰۱۱ پریونیت و شاخص پایداری ۱,۴۳۸۷ پریونیت می‌باشد.

جدول ۱. مقایسه بهینه‌سازی تک هدفه تلفات در حالت اول

تعداد منابع	الگوریتم بهینه‌سازی	محل (شین)	ظرفیت (MW)	تلفات (MW)
۱	PSO[11]	۶	۲,۵۷۷۵	۰,۱۰۵۰
	ABC	۶	۲,۵۷۵۳	۰,۱۰۳۹
۲	PSO[11]	۶	۱,۹۷۰۷	۰,۰۸۹۹
		۱۵	۰,۵۷۵۷	
	ABC	۱۳	۰,۸۴۷۸	۰,۰۸۵۹
		۳۰	۱,۱۵۶۵	
۳	PSO[11]	۶	۱,۷۵۶۹	۰,۰۷۹۲
		۱۵	۰,۵۷۵۷	
		۲۵	۰,۷۸۲۶	
	ABC	۱۴	۰,۷۷۰۷	۰,۰۷۱۵
		۲۴	۱,۰۴۹۱	
		۳۰	۱,۰۴۶۲	



شکل ۴. شبکه ۳۳ شینه مورد مطالعه

در شبیه‌سازی این شبکه همانطور که قبلاً اشاره شد به منظور بررسی تاثیر تولیدات پراکنده در حین بازآرایی به بررسی چهار حالت مختلف پرداخته شده است.

حالت اول (Case 1): جایابی و مقدار یابی بهینه تولیدات پراکنده با استفاده از الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی

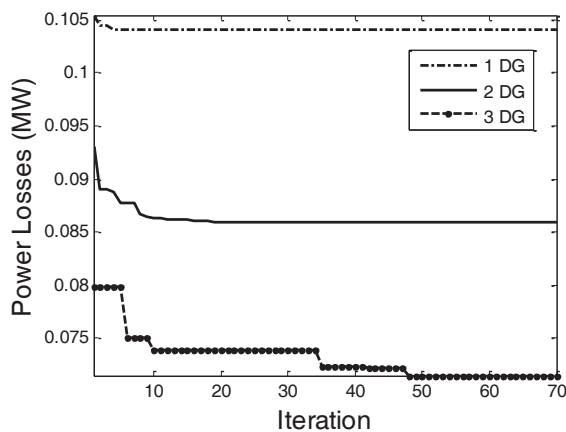
حالت دوم (Case 2): بازآرایی با استفاده از الگوریتم مورچگان

حالت سوم (Case 3): بازآرایی شبکه، همزمان با جایابی و مقدار یابی بهینه تولیدات پراکنده با استفاده از ترکیب دو الگوریتم مورچگان و کلونی زنبور مصنوعی

حالت چهارم (Case 4): بازآرایی شبکه، همزمان با جایابی و مقدار یابی بهینه توان اکتیو و راکتیو تولیدات پراکنده با استفاده از ترکیب دو الگوریتم مورچگان و کلونی زنبور مصنوعی

در حالت اول، برای هر یک از منابع تولید پراکنده الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی به صورت تک هدفه به بررسی محل نصب و ظرفیت بهینه پرداخته شده است. مقایسه روش الگوریتم ارایه شده به منظور جایابی و مقدار یابی بهینه منابع تولید پراکنده در جدول ۱، به منظور بررسی عملکرد الگوریتم در بهینه‌سازی تابع تلفات ارایه شده است. در حالت استفاده از یک منبع با توجه به اینکه مسأله دارای پیچیدگی کم‌تری می‌باشد، هر دو الگوریتم به جواب‌های تقریباً یکسان و مشابه دست یافته‌اند. اما با ازدیاد تعداد منابع پراکنده و افزایش فضای جستجو کارایی الگوریتم هر چه نمایان می‌شود.

در شکل ۵ روند همگرایی روش ارایه شده برای یک، دو و سه منبع تولید پراکنده رسم گردیده است. با توجه به شکل هر چه تعداد تکرار بیش‌تر می‌شود مقدار تابع هدف کاهش یافته و به سمت بهترین جواب همگرا می‌گردد. با مقایسه روند بهینه‌سازی سه مسأله همانگونه که انتظار می‌رود با تغییر تعداد منابع، به دلیل افزایش پیچیدگی مسأله، برای رسیدن به جواب بهینه به تعداد تکرار بیش‌تری نیاز می‌باشد، در هر صورت در سه مسأله

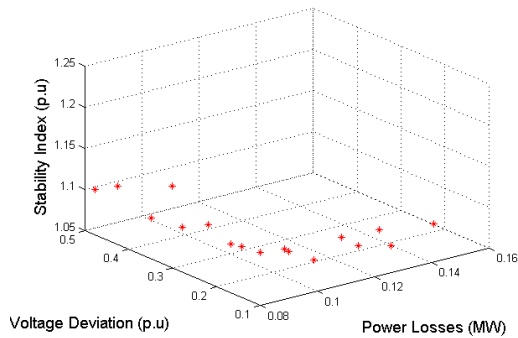


شکل ۵. روند بهینه‌سازی تلفات در حالت اول

در مرحله اول الگوریتم پیشنهادی به ازای انواع توابع تک هدفه، پیاده‌سازی شده که نتایج آن در جدول ۲ ارایه گردیده است. همان‌طور که انتظار می‌رود پراکندگی این تولیدات می‌تواند تاثیر آن‌ها را در سیستم بیش‌تر نماید.

بهینه‌سازی به صورت چند هدفه روشی برای پیدا کردن مناسب‌ترین هدف بین اهداف متفاوت و گاه متضاد می‌باشد. با استفاده از روش ذکر شده تصمیم گیرنده سیستم می‌تواند با اختصاص وزن‌های متفاوت به خروجی، میزان اهمیت هر یک را مشخص نماید و با توجه به جواب‌های پارتو جواب مناسب را بدست آورد. به منظور بررسی جواب‌های متفاوت در روش بهینه‌سازی چند هدفه ۴ سناریو با در نظر گرفتن مقادیر وزنی متفاوت برای تابع هدف در جدول ۳ بیان شده است.

تصمیم گیرنده سیستم مناسب تر و بهینه تر است. در شکل ۶ مجموعه جواب‌های پرتو پس اجرای الگوریتم پیشنهادی به صورت سه بعدی نشان داده شده است.



شکل ۶. مجموعه جواب‌های بهینه در بهینه‌سازی چند هدفه

الگوریتم بازآرایی ارائه شده در این مقاله در جدول ۵ با سایر الگوریتم‌های ابتکاری مقایسه گردیده است. در مقایسه این روش با دیگر روش‌های شناخته شده تجدید آرایش سیستم ملاحظه می‌گردد که این روش به مقدار بهینه همگرا شده است. همچنین در مقایسه با الگوریتم‌های ذکر شده در مقالات [۲۰-۱۹] دارای عملکرد بهتری می‌باشد.

جدول ۵. مقایسه بازآرایی شبکه با مرجع [۲۰]

روش پیشنهادی	روش مرجع [۲۰]	روش مرجع [۱۹]	حالت اولیه
S7	S7	S7	S33
S9	S9	S10	S34
S14	S14	S14	S35
S32	S32	S33	S36
S33	S33	S37	S37
تلفات	۰,۱۳۹۵	۰,۱۴۱۵	۰,۲۰۲۶

در جدول ۶ نتایج حاصل از بازآرایی تک هدفه توابع هدف شبکه نمایش داده شده است. نتایج بیان می‌کند بکارگیری الگوریتم پیشنهادی در بازآرایی تک هدفه به ازای هر یک از اهداف اشاره شده می‌تواند بر شاخص دیگر نیز تأثیرگذار باشد. با مقایسه نتایج با حالت اول مقدار کاهش کمتری در توابع هدف مشاهده می‌گردد. بررسی نتایج در دو مرحله قبل نشان می‌دهد که بکارگیری منابع تولید پراکنده و بازآرایی شبکه به ازای هر یک از اهداف اشاره شده می‌تواند بر شبکه تأثیرات متفاوتی بگذارد. بلکه دستیابی به مقدار بهینه برای هر یک از حالت‌های اول یا دوم لزوماً به معنای بهترین شرایط بهره برداری سیستم نیست. لذا در چنین شرایطی مطالعه و برنامه ریزی ترکیبی دو حالت در تعیین بهینه واحدهای مقیاس کوچک در ساختار جدید شبکه‌های توزیع قابل اهمیت می‌باشد.

نتایج به دست آمده از جدول ۷ نشانگر آن است که با استفاده از الگوریتم ترکیبی (ACOABC) در بهینه سازی شبکه به ترتیب

جدول ۲. جایابی و مقداربایی تولیدات پراکنده به صورت تک هدفه

هدف	محل (شین)	ظرفیت (MW)	$F_1(X)$ (MW)	$F_2(X)$ (p.u.)	$F_3(X)$ (p.u.)
تلفات	۱۴	۰,۷۷۰۷	۰,۰۷۱۵	۰,۵۹۴۱	۱,۱۳۹۵
	۲۴	۱,۰۴۹۱			
	۳۰	۱,۰۴۶۲			
انحراف ولتاژ و تلفات	۱۵	۰,۸۲۷۲	۰,۱۰۹۳	۰,۰۹۲۱	۱,۰۶۸۱
	۲۶	۱,۷۴۴۹			
	۳۱	۱,۱۶۳۴			
ولتاژ پایداری و تلفات	۱۷	۱,۳۴۱۰	۰,۱۵۲۸	۰,۲۱۹۶	۱,۰۲۹۲
	۲۵	۰,۶۸۴۷			
	۳۳	۱,۷۷۹۱			

جدول ۳. ضرایب توابع هدف در سناریوهای مختلف

ضریب وزنی	k_1	k_2	k_3
اول	۰,۳۳	۰,۳۳	۰,۳۳
دوم	۰,۶	۰,۲	۰,۲
سوم	۰,۲	۰,۶	۰,۲
چهارم	۰,۲	۰,۲	۰,۶

در این مرحله الگوریتم پیشنهادی با هدف بهبود توابع هدف مختلف به صورت همزمان با در نظر گرفتن سناریوهای متفاوت شبکه برای منابع تولید پراکنده پیاده‌سازی شده است. نتایج حاصل از شبیه سازی در این شرایط در جدول ۴ ارائه شده است. به طور کلی منابع تولید پراکنده، به دلیل تأمین بار در محل و کاهش ظرفیت اشغال شده خطوط شبکه، می‌تواند به طور چشم گیری در کاهش تلفات شبکه تأثیرگذار باشد.

جدول ۴. جایابی چند هدفه تولیدات پراکنده با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف بهره برداری

هدف	محل (شین)	ظرفیت (MW)	$F_1(X)$ (MW)	$F_2(X)$ (p.u.)	$F_3(X)$ (p.u.)
۱	۷	۱,۰۵۱۷	۰,۰۹۳۳	۰,۲۵۲۹	۱,۰۷۸۵
	۱۳	۰,۹۴۲۵			
	۳۳	۱,۰۸۲۶			
۲	۳	۱,۹۲۳۵	۰,۰۸۰۳	۰,۴۷۸۴	۱,۱۰۴۳
	۱۵	۰,۸۲۲۲			
	۳۲	۱,۰۰۵۹			
۳	۷	۱,۳۰۸۵	۰,۱۰۵۴	۰,۱۴۲۰	۱,۰۷۳۷
	۱۶	۰,۸۶۵۵			
	۳۳	۱,۲۱۶۳			
۴	۵	۱,۶۰۰۵	۰,۰۹۹۶	۰,۲۲۷۷	۱,۰۶۸۸
	۱۶	۰,۸۱۳۸			
	۳۳	۱,۲۶۵۲			

بر اساس نتایج تحلیل فازی به دست آمده هر چه میزان ضریب وزنی برای یک تابع هدف بیشتر باشد آن تابع برای گزینش توسط

مقدار ۲۴۱۳۰، ۲۳۳۲۰ و ۲۲۰۵۰ وات نسبت به الگوریتم‌های ژنتیک (GA)، ژنتیک تصحیح شده (RGA) و جستجوی هارمونی (HSA) کاهش بیش تری حاصل می‌شود.

جدول ۹. بهینه‌سازی حالت سوم با استفاده از الگوریتم پیشنهادی به صورت چند

هدفه

سناریو	کلید	محل	ظرفیت (MW)	$F_1(X)$ (MW)	$F_2(X)$ (p.u.)	$F_3(X)$ (p.u.)
۱	S8	۶	۰.۸۵۶۴	۰.۰۶۱۳	۰.۳۱۰۸	۱.۱۰۰۳
	S26					
	S34	۱۳	۱.۰۱۶۹			
	S36					
S37	۳۰	۱.۴۹۹۵				
۲	S8	۵	۱.۰۶۹۰	۰.۰۵۸۰	۰.۳۹۸۸	۱.۱۰۴۵
	S27					
	S34	۱۳	۰.۸۰۸۵			
	S36					
S37	۳۰	۱.۳۷۴۴				
۳	S8	۷	۱.۶۰۸۴	۰.۰۸۴۹	۰.۱۴۸۸	۱.۰۷۰۲
	S33					
	S34	۱۳	۱.۰۹۱۴			
	S36					
S37	۳۰	۱.۰۸۲۷				
۴	S8	۱۶	۰.۹۲۳۹	۰.۰۸۶۸	۰.۱۶۱۴	۱.۰۵۲۸
	S25					
	S34	۲۹	۱.۸۹۳۵			
	S36					
S37	۳۳	۰.۷۵۰۰				

جدول ۶. بازآرایی شبکه به صورت تک هدفه

هدف	محل (شین)	$F_1(X)$ (MW)	$F_2(X)$ (p.u.)	$F_3(X)$ (p.u.)
تلفات	S7,S9,S14,S32,S33	۰.۱۳۹۵	۱.۱۴۷۴	۱.۲۹۲۸
انحراف ولتاژ	S9,S14,S28,S34,S37	۰.۱۴۶۷	۱.۰۵۱۳	۱.۳۰۳۸
پایداری ولتاژ	S7,S10,S14,S28,S32	۰.۱۴۰۷	۱.۰۸۶۲	۱.۲۷۴۱

جدول ۷. مقایسه بهینه‌سازی تک هدفه تلفات در حالت سوم

روش بهینه‌سازی	تلفات (MW)	درصد کاهش تلفات	کمترین ولتاژ
GA[12]	۰.۰۷۵۱۳	۶۲.۹۲	۰.۹۷۶۶
RGA[12]	۰.۰۷۴۳۲	۶۳.۳۳	۰.۹۶۹۱
HAS[12]	۰.۰۷۳۰۵	۶۳.۹۵	۰.۹۷۰۰
ACOABC	۰.۰۵۱۰	۷۴.۸۲	۰.۹۶۸۷

در صورتیکه واحدهای تولید پراکنده علاوه بر انجام وظیفه اصلی شان که تولید توان اکتیو است، با تولید توان راکتیو، نقش خازن را هم ایفا گردانند. بدین صورت علاوه بر تامین بار اکتیو در محل به تامین بار راکتیو نیز پرداخته خواهد شد. نتایج حاصل از بهینه سازی تک هدفه حالت چهارم برای چهار شاخص مورد بحث در جدول ۱۰ ارائه شده است. مطابق با نتایج بیشترین بهبود مقادیر تک هدفه شاخص‌ها به ازای بکارگیری الگوریتم ترکیبی استخراج شده است.

در این شرایط شاخص تلفات، انحراف ولتاژ و پایداری ولتاژ نسبت به حالت اولیه شبکه به ترتیب حدود ۹۵، ۹۸ و ۳۱ درصد بهبود یافته است. نمودار میله‌ای شکل ۷ خلاصه‌ای از تغییرات توابع هدف در بهینه‌سازی تک هدفه در چهار حالت پیشنهادی را نشان می‌دهد.

جدول ۱۰. بهینه‌سازی حالت چهارم با استفاده از الگوریتم پیشنهادی به صورت

تک هدفه

هدف	کلید	محل	ظرفیت MW/MVar	$F_1(X)$ (MW)	$F_2(X)$ (p.u.)	$F_3(X)$ (p.u.)
F_1	S13	۹	۱.۰۲۵۳	۰.۰۰۹۹	۰.۱۰۰۱	۱.۰۲۵۳
	S21					
	S25	۲۴	۱.۰۲۳۶			
	S33					
	S34	۳۰	۱.۰۲۵۳			

هدفه

هدف	کلید	محل	ظرفیت (MW)	$F_1(X)$ (MW)	$F_2(X)$ (p.u.)	$F_3(X)$ (p.u.)
F_1	S11	۷	۱.۰۱۱۳	۰.۰۵۱۰	۰.۴۸۱۹	۱.۱۳۵۸
	S28					
	S30	۲۵	۱.۱۸۵۳			
	S34					
S36	۳۳	۰.۸۳۴۶				
F_2	S14	۹	۱.۸۴۷۲	۰.۱۲۰۳	۰.۰۸۰۰	۱.۰۷۰۴
	S20					
	S21	۲۸	۱.۰۸۷۵			
	S33					
S37	۳۱	۰.۸۵۹۶				
F_3	S9	۱۵	۱.۴۵۴۷	۰.۰۹۴۰	۰.۱۱۳۴	۱.۰۲۶۴
	S26					
	S34	۲۸	۰.۳۵۴۴			
	S35					
S37	۳۰	۱.۹۹۹۹				

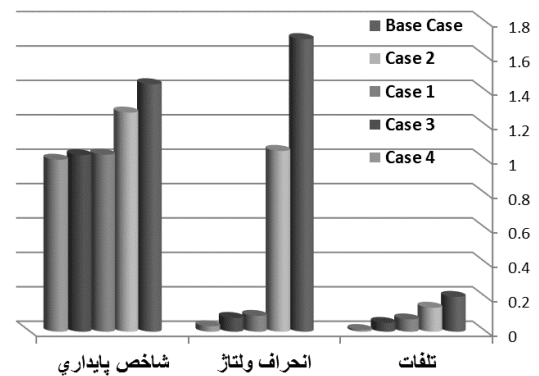
جدول ۱۱. بهینه‌سازی حالت چهارم با استفاده از الگوریتم پیشنهادی به صورت چند هدفه

سناریو	کلید	محل	ظرفیت MW/MVAr	$F_1(X)$ (MW)	$F_2(X)$ (p.u.)	$F_3(X)$ (p.u.)
۱	S9	۱۴	۰.۸۳۷۹	۰.۱۲۱	۰.۰۶۹۲	۱.۰۲۳۸
	S33		۰.۴۱۳۲			
	S34	۲۴	۱.۲۵۰۰			
	S35		۰.۵۲۴۰			
	S37	۳۰	۱.۱۳۶۴			
	۰.۹۰۲۳					
۲	S9	۱۴	۰.۷۹۵۷	۰.۱۱۷	۰.۰۸۰۳	۱.۰۲۴۱
	S33		۰.۴۶۳۱			
	S34	۲۴	۱.۱۷۴۴			
	S35		۰.۴۹۴۸			
	S37	۳۰	۱.۱۲۰۳			
	۰.۸۸۹۸					
۳	S8	۱۳	۰.۸۰۹۸	۰.۱۹۳	۰.۰۶۴۳	۱.۰۱۶۱
	S33		۰.۳۵۳۹			
	S34	۲۴	۱.۲۶۶۵			
	S36		۰.۵۱۴۰			
	S37	۲۹	۱.۴۸۰۴			
	۰.۹۴۹۶					
۴	S8	۱۴	۰.۹۱۹۰	۰.۲۴۶	۰.۱۳۸۰	۱.۰۰۵۶
	S33		۰.۳۳۲۲			
	S34	۲۴	۱.۱۳۲۳			
	S36		۰.۷۲۰۴			
	S37	۲۹	۱.۶۵۹۰			
	۰.۹۸۵۷					

بکارگیری مولدهای مقیاس کوچک در مکان مناسب و با در نظر گرفتن ساختار مناسب شبکه می‌تواند باعث افزایش کارایی منابع تولید پراکنده گردد، که البته این موضوع با توجه به هزینه‌های ساخت و بهره برداری منابع تولید پراکنده نسبت به منابع تولید متمرکز همیشه از لحاظ اقتصادی و فنی توجیه پذیر می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم چند هدفه ترکیب شده با فازی قادر به پیدا کردن مناسب‌ترین راه حل برای چند تابع هدف می‌باشد. این بدین معنی است که نتایج بیان شده در چهار سناریوهای متفاوت به دلیل قابلیت انعطاف روش بهینه‌سازی پیشنهادی، با توجه به اولویت‌های بهره‌بردار سیستم می‌باشد و می‌تواند انتخاب‌های گوناگونی را در گزینش تابع هدف در اختیار اپراتور قرار دهد.

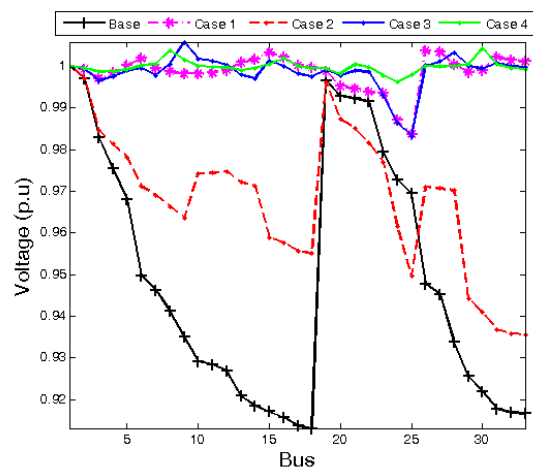
در حل مسایل بهینه‌سازی باید در جهتی تلاش نمود که بتوان بهینه‌ترین بهره برداری و بیش‌ترین کارایی را داشته باشیم. به طور یقین چنین امری فقط در سایه یک برنامه ریزی چند هدفه با لحاظ نمودن شاخص‌های مختلف الکتریکی امکان پذیر خواهد بود. همانطور که مشاهده می‌شود در انواع حالات بررسی شده، تاثیر حالت چهارم بر سیستم در شرایط یکسان به مراتب بیش‌تر است.

F_2	S12	۸	۱.۲۴۱۱	۰.۰۳۵۴	۰.۰۳۱۹	۱.۰۱۵۵
	S20		۰.۴۶۶۰			
	S27	۱۶	۰.۵۰۹۳			
	S35		۰.۰۶۹۹			
	S37	۳۰	۲.۰۰۰۰			
	۰.۵۲۱۱					
F_3	S3	۱۰	۱.۴۴۲۱	۰.۰۹۱۹	۱.۴۰۶۹	۱.۰۰۰۰
	S12		۰.۶۱۵۲			
	S18	۱۶	۱.۴۱۲۰			
	S21		۱.۰۰۰۰			
	S30	۲۸	۰.۹۵۲۸			
	۰.۷۶۰۳					



شکل ۷. مقایسه حالت‌های مختلف بهینه‌سازی

در شکل ۸ مقایسه پروفیل ولتاژ شبکه در چهار حالت بهینه‌سازی مورد بررسی قرار گرفته است. همان طور که در شکل مشاهده می‌شود پروفیل ولتاژ در حالت چهارم بهترین وضعیت را دارد.



شکل ۸. مقایسه اثرات حالت‌های مختلف بهینه‌سازی در ولتاژ شین‌ها

جدول ۱۱ نتیجه بهینه‌سازی چند هدفه تولیدات پراکنده را نشان می‌دهد.

نتیجه گیری

در این مقاله، یک الگوریتم ترکیبی براساس الگوریتم مورچگان و کلونی زنبور مصنوعی به منظور بازآرایی شبکه، جاییابی و مقداریابی همزمان منابع تولید پراکنده ارائه شده است. از الگوریتم بهینه‌سازی کلونی زنبور مصنوعی برای جاییابی و مقداریابی بهینه منابع تولید پراکنده و از الگوریتم مورچگان به منظور بازآرایی شبکه استفاده بعمل آمده است. الگوریتم ترکیبی پیاده‌سازی شده به دلیل مقید نبودن به حالت اولیه سیستم قابلیت پیاده‌سازی بر حالات مختلف را دارا می‌باشد. همچنین در این مقاله روشی نوین مبتنی بر نظریه‌های گراف به منظور بازآرایی شبکه توسط الگوریتم مورچگان ارائه شده است. روش پیاده‌سازی شده به دلیل عدم نیاز به محاسبات پیچیده ریاضی قابلیت پیاده‌سازی بر تمام شبکه‌های توزیع را دارا می‌باشد. مقایسه نتایج این واقعیت را بیان می‌کند که بکارگیری تولیدات پراکنده همراه با بازآرایی، در مقایسه با بهینه‌سازی غیرهمزمان، می‌تواند تاثیری به مراتب بیش‌تری داشته باشد. روش پیشنهادی به منظور بهینه‌سازی توابع هدف تلفات، انحراف از ولتاژ و شاخص پایداری ولتاژ بر روی شبکه ۳۳ شینه IEEE به صورت تک هدفه و چند هدفه پیاده‌سازی شده است. ضمناً به منظور گزینش جواب میان جواب‌های پارتو از منطق فازی با در نظر گرفتن ضریب تاثیر متفاوت در توابع هدف استفاده شده است. این روش این امکان را برای بهره برداران سیستم فراهم می‌کند که با توجه به شرایط شبکه به انتخاب جواب مناسب دست یابند.

مرجع ها

- [7] Y. M. Atwa, E. F. El-Saadany, M. M. A. Salama, and R. Seethapathy, "Optimal Renewable Resources Mix for Distribution System Energy Loss Minimization," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 25, pp. 360-370, 2010.
- [8] A. Kumar and W. Gao, "Optimal distributed generation location using mixed integer non-linear programming in hybrid electricity markets," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 4, pp. 281-298, 2010.
- [9] J. A. Martín García and A. J. Gil Mena, "Optimal distributed generation location and size using a modified teaching-learning based optimization algorithm," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 50, pp. 65-75, 2013.
- [10] S. K. Injeti and N. Prema Kumar, "A novel approach to identify optimal access point and capacity of multiple DGs in a small, medium and large scale radial distribution systems," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 45, pp. 142-151, 2013.
- [11] M. P. Lalitha, V. V. Reddy, and V. Usha, "Optimal DG placement for minimum real power loss in radial distribution systems using PSO," *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, vol. 13, pp. 107-116, 2010.
- [12] R. Rao, K. Ravindra, K. Satish, and S. Narasimham, "Power loss minimization in distribution system using network reconfiguration in the presence of distributed generation," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, pp. 317-325, 2013.
- [13] A. Merlin and H. Back, "Search for a minimal-loss operating spanning tree configuration in an urban power distribution system," in *Proc. of the Fifth Power System Conference (PSCC), Cambridge, 1975*, pp. 1-18.
- [14] M. E. Baran and F. F. Wu, "Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing," *IEEE Transactions on Power Delivery* vol. 4, pp. 1401-1407, 1989.
- [15] T. Niknam, A. Kavousifard, S. Tabatabaei, and J. Aghaei, "Optimal operation management of fuel cell/wind/photovoltaic power sources connected to distribution networks," *Journal of Power Sources*, vol. 196, pp. 8881-8896, 2011.
- [16] T. Niknam, "An efficient hybrid evolutionary algorithm based on PSO and HBMO algorithms for multi-objective Distribution Feeder Reconfiguration," *Energy Conversion and Management*, vol. 50, pp. 2074-2082, 2009.
- [17] D. Das, "A fuzzy multiobjective approach for network reconfiguration of distribution systems," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 21, pp. 202-209, 2006.
- [18] A. R. Malekpour, T. Niknam, A. Pahwa, and A. K. Fard, "Multi-Objective Stochastic Distribution Feeder Reconfiguration in Systems With Wind Power Generators and Fuel Cells Using the Point Estimate Method," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, pp. 1483-1492, 2013.
- [19] D. Shirmohammadi and H. W. Hong, "Reconfiguration of electric distribution networks for
- [1] J. Zhu, *Optimization of power system operation* vol. 49: John Wiley & Sons, 2009.
- [2] R. Viral and D. K. Khatod, "Optimal planning of distributed generation systems in distribution system: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 5146-5165, 2012.
- [3] G. Pepermans, J. Driesen, D. Haeseldonckx, R. Belmans, and W. D'haeseleer, "Distributed generation: definition, benefits and issues," *Energy Policy*, vol. 33, pp. 787-798, 2005.
- [4] P. S. Georgilakis and N. D. Hatziargyriou, "Optimal Distributed Generation Placement in Power Distribution Networks: Models, Methods, and Future Research," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, pp. 3420-3428, 2013.
- [5] H. L. Willis, "Analytical methods and rules of thumb for modeling DG-distribution interaction," in *Power Engineering Society Summer Meeting, 2000. IEEE, 2000*, pp. 1643-1644 vol. 3.
- [6] L. Soo-Hyoung and P. Jung-Wook, "Selection of Optimal Location and Size of Multiple Distributed Generations by Using Kalman Filter Algorithm," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 24, pp. 1393-1400, 2009.

- [33] C. A. C. Coello, G. T. Pulido, and M. S. Lechuga, "Handling multiple objectives with particle swarm optimization," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* vol. 8, pp. 256-279, 2004.
- resistive line losses reduction," *IEEE Transactions on Power Delivery* vol. 4, pp. 1492-1498, 1989.
- [20] J. Z. Zhu, "Optimal reconfiguration of electrical distribution network using the refined genetic algorithm," *Electric Power Systems Research*, vol. 62, pp. 37-42, 2002.
- [21] M. R. Narimani, A. A. Vahed, R. Azizipanah-Abarghooee, and M. Javidsharifi, "Enhanced gravitational search algorithm for multi-objective distribution feeder reconfiguration considering reliability, loss and operational cost," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 8, pp. 55-69, 2014.
- [22] W. Yuan-Kang, L. Ching-Yin, L. Le-Chang, and T. Shao-Hong, "Study of Reconfiguration for the Distribution System With Distributed Generators," *IEEE Transactions on Power Delivery* vol. 25, pp. 1678-1685, 2010.
- [23] H. Nasiraghdam and S. Jadid, "Optimal hybrid PV/WT/FC sizing and distribution system reconfiguration using multi-objective artificial bee colony (MOABC) algorithm," *Solar Energy*, vol. 86, pp. 3057-3071, 2012.
- [24] Y.-K. Lin, C.-T. Yeh, and P.-S. Huang, "A hybrid ant-tabu algorithm for solving a multistate flow network reliability maximization problem," *Applied Soft Computing*, vol. 13, pp. 3529-3543, 2013.
- [25] M. M. Aman, G. B. Jasmon, A. H. A. Bakar, and H. Mokhlis, "A new approach for optimum DG placement and sizing based on voltage stability maximization and minimization of power losses," *Energy Conversion and Management*, vol. 70, pp. 202-210, 2013.
- [26] A. Soroudi and M. Ehsan, "Imperialist competition algorithm for distributed generation connections," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 6, pp. 21-29, 2012.
- [۲۷] ف. کربلائی، س. م. عباسی، ر. قندهاری، "بررسی عوامل تأثیرگذار در روشهای تشخیص حالت جزیره‌های مبتنی بر بازخورد مثبت ولتاژ بر روی پایداری سیگنال کوچک منابع تولید پراکنده اینورتری،" فصلنامه صنایع الکترونیک، دوره ۴، شماره ۲، صفحه ۶۲-۶۹، تابستان ۱۳۹۲.
- [28] J. A. Bondy and U. S. R. Murty, *Graph theory with applications* vol. 6: Macmillan London, 1976.
- [29] S.-G. Hwang, "A generalized Cayley-Hamilton theorem for polynomials with matrix coefficients," *Linear Algebra and its Applications*, vol. 434, pp. 475-479, 2011.
- [30] M. Dorigo and C. Blum, "Ant colony optimization theory: A survey," *Theoretical Computer Science*, vol. 344, pp. 243-278, 2005.
- [31] R. Akbari, R. Hedayatzadeh, K. Ziarati, and B. Hassanizadeh, "A multi-objective artificial bee colony algorithm," *Swarm and Evolutionary Computation*, vol. 2, pp. 39-52, 2012.
- [32] T. Niknam, S. I. Taheri, J. Aghaei, S. Tabatabaei, and M. Nayeripour, "A modified honey bee mating optimization algorithm for multiobjective placement of renewable energy resources," *Applied Energy*, vol. 88, pp. 4817-4830, 2011.

