جایابی و مقداریابی بهینه تولیدات پراکنده در شبکه‌های توزیع با در نظر گرفتن رشد بار با استفاده از الگوریتم چند هدفه مبتنی بر آموزش و یادگیری اصلاح شده

میلاد کفایت*[۱]

*۱- کارشناس برق، شرکت بهره برداری تولید و انتقال آب غدیر خوزستان، اهواز، ایران، milad.kefayat@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۲۳

چکیده: در این مقاله یک روش بهینه سازی اصلاح شده مبتنی بر الگوریتم مبتنی بر آموزش و یادگیری برای حل بهینه سازی تک و چند هدفه جایابی و مقداریابی منابع تولید پراکنده ارایه شده است. کاهش تلفات، انحراف ولتاژ، هزینه و بهبود پایداری ولتاژ به عنوان توابع هدف در نظر گرفته شده است. افزایش بار یک پدیده ذاتی سیستم قدرت می‌باشد. به علت اینکه مقدار شاخص‌های سیستم توزیع به مقدار بار وابسته است، هر تغییر در بار باعث تغییر شاخصه‌های سیستم توزیع می‌شود. بنابراین، برای بررسی میزان معتبر بودن پژوهش‌های کنونی سیستم و کارا بودن سیستم در آینده، رشد بار در مطالعات بررسی شده است. در الگوریتم اصلاح شده فاکتور تدریس تطبیقی، و یک استراتژی متقاطع و جهش، به گسترش جواب کمک می‌نماید. بهینه سازی چند هدفه با استفاده از یک آرشیو خارجی برای ذخیره جواب‌های نامغلوب پیاده سازی شده است. با توجه به اهمیت متفاوت توابع هدف از تکنیک فازی جهت یکسان سازی و انتخاب جواب استفاده شده است. الگوریتم پیشنهادی بر روی شبکه ۳۳ شینه IEEE پیاده‌سازی و جهت اثبات کارآیی نتایج شبیه سازی با نتایج روش‌های دیگر مقایسه گردیده است.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم مبتنی بر آموزش و یادگیری، بهینه سازی چند هدفه، تولید پراکنده، رشد بار، پایداری ولتاژ.

۱- مقدمه

گسترش و افزایش پیچیدگی سیستم توزیع برق به همراه کاهش بهروری شبکه‌های توزیع متمرکز سبب گردیده تا بهره برداران سیستم قدرت به استفاده از راه حل‌های جایگزین برای بهبود صنعت برق روی آوردند. مطالعات نشان می‌دهد که تقریباً ۱۰٪-۱۳٪ از کل انرژی تولید شده به عنوان تلفات در سطح توزیع از بین می‌رود [۱-۲]. از روش‌های بهبود کارآیی سیستم توزیع می‌توان به بازآرایی شبکه، استفاده از منابع تولید پراکنده، خازن گذاری، تغییر محل تغذیه سیستم و ... اشاره کرد [۳-۵].

یکی از شایع‌ترین روش مورد استفاده برای تنظیم ولتاژ و کاهش تلفات در سیستم‌های توزیع برق قرار دادن منابع تولید پراکنده می‌باشد. موسسه تحقیقات الکتریکی، تولیدات پراکنده را به عنوان منابعی تولیدی از چند کیلو وات تا ۵۰ مگاوات تعریف می‌کنند. آژانس بین المللی انرژی مولدهای پراکنده را به عنوان منابع تولیدی در محل مصرف در سطح ولتاژهای توزیع متصل به شبکه تعریف می‌کنند [۶]. تولیدات پراکنده به ویژه انرژی‌های تجدید پذیر به دلایل فنی، زیست محیطی و اقتصادی در حال گسترش در سراسر جهان می‌باشند. از جمله مزایای نصب منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع کاهش تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ، کیفیت توان و قابلیت اطمینان می‌باشند

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.4.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019

[۷]. استفاده بهینه از منابع تولید پراکنده وابسته به تعیین محل و ظرفیت مناسب این ادوات می‌باشد [۵].

تکنیک‌های مختلفی جهت جایابی و مقداریابی استفاده می‌شوند. از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به تکنیک‌های قراردادی، هوش مصنوعی و ترکیبی اشاره کرد [۸]. تکنیک‌های قراردادی از دو روش کلی تحلیلی و عددی تشکیل شده است. در [۹] روش تحلیلی با استفاده از شاخص حساسیت تلفات براساس معادلات جریان تزریقی جهت مقدار و مکان بهینه تولیدات پراکنده توسعه داده شده است. به طور کلی روش‌های تحلیلی به دلیل استفاده از فرضیات ساده سازی مسئله نمی‌توانند به منظور بررسی رفتار کلی سیستم مورد استفاده قرار گیرند. در مرجع [۱۰] از روش عددی برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح به منظور جایابی و تعیین مقدار بهینه تولیدات پراکنده استفاده شده است. اما روش‌های عددی راه حل مناسبی در بهینه سازی شبکه‌های بزرگ از خود ارایه نمی‌دهند.

در [۱۱] از الگوریتم اردحام ذرات به منظور جایابی و مقداریابی منابع تولید پراکنده با در نظر گرفتن افزایش بار بهره گیری شده است. در [۱۲] از الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی جهت بهینه سازی چندین تولید پراکنده مورد استفاده قرار گرفته است که در آن فقط کاهش تلفات به عنوان تابع هدف درنظر گرفته شده است.

تکنیک‌های ترکیبی از ترکیب روش‌های هوش مصنوعی با دیگر روش‌ها یا تکنیک‌ها حاصل می‌شوند. مزیت اصلی این تکنیک بهره گیری از مزایای هر دو روش و رفع کاستی‌ها می‌باشد. از جمله تکنیک‌های ترکیبی می‌توان به ترکیب الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات [۱۳]، ژنتیک ترکیب شده با فازی [۱۴] و ترکیب الگوریتم مورچگان و کلونی زنبور مصنوعی [۱۵] اشاره داشت.

افزایش تعداد مشترکین خانگی به مرور زمان بر پارامترهای شبکه نظیر ولتاژ، فرکانس و ... تاثیر گذار است. بنابراین طراحی و توسعه پایدار شبکه قدرت مستلزم بررسی سیستم با در نظر گرفتن رشد بار می‌باشد. این مقاله به بررسی مسئله اتصال بهینه منابع تولید پراکنده با در نظر گرفتن رشد بار اختصاص داده شده است. در مسئله مورد بررسی علاوه بر در نظر گرفتن توابع هدف سیستمی شامل: تلفات، انحراف ولتاژ و پایداری ولتاژ، تابع هدف هزینه به عنوان یک شاخص مهم در بهره برداری در نظر گرفته شده است و مسئله با هدف کمینه سازی مجموع هزینه‌های سیستم شامل هزینه‌های سرمایه گذاری، نگهداری و بهره‌برداری تولیدات پراکنده و هزینه تولید شبکه مدلسازی شده است. برای مقایسه بهتر این مسئله در دو حالت با و بدون در نظر گرفتن رشد بار بررسی گردیده است. در این مقاله الگوریتم مبتنی بر آموزش و یادگیری اصلاح شده جدیدی استفاده شده است. در این الگوریتم از عملگرهای تقاطع و جهش به منظور افزایش نرخ همگرایی و همچنین از معادله جستجو خود تطبیقی جهت بهبود پاسخ‌های بدست آمده بهره گیری شده است. در طول فرآیند بهینه سازی چند هدفه مجموعه جواب‌های غیرمغلوب در یک حافظه خارجی به نام آرشیو ذخیره می‌شوند. از آنجایکه توابع هدف دارای واحدهای یکسان نمی‌باشند، از روش تصمیم گیری فازی برای انتخاب بهترین راه حل استفاده شده است. نتایج محاسباتی با الگوریتم‌های کلونی زنبور مصنوعی (ABC)، ازدحام ذرات با ضرایب انقباضی (PSOCFA) در مسایل مختلف مقایسه گردیده که بیانگر عملکرد بهتر الگوریتم پیشنهادی است.

در این مقاله ابتدا به بیان مسئله و توصیف و پیاده‌سازی توابع هدف پرداخته شده است و در ادامه پس از بررسی رشد بار و روش بهینه سازی، الگوریتم مبتنی بر آموزش و یادگیری اصلاح شده و بهینه سازی چند هدفه بیان گردیده است. در بخش پنجم به بررسی، تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از شبیه سازی روی شبکه استاندارد ۳۳ شینه IEEE پرداخته شده است و در نهایت نتایج شبیه سازی نشان داده شده مورد نتیجه گیری قرار گرفته است.

۲- فرمول بندی مسئله

۲-۱- شاخص تلفات

یکی از پارامترهای مهم در یک سیستم قدرت تلفات است. تلفات با ساختار ذاتی، نوع طراحی، تجهیزات اندازه گیری و اجزای سیستم قدرت دارای رابطه مستقیم می‌باشد. در سیستم‌های توزیع با دور شدن از پست، ولتاژ باس‌ها کاهش و جریان افزایش می‌یابد. تلفات یک عامل غیر قابل اجتناب در سیستم قدرت است. این تاثیر خصوصاً در بارهای سنگین مشهود است. کل تلفات در یک سیستم توزیع به صورت زیر بیان می‌شود [۱۳]:

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^{n_{br}} I_i^2 R_i \qquad (۱)$$

$$f_1(X) = min(P_{loss}) \qquad (۲)$$

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

۲-۲- شاخص انحراف ولتاژ

برای کمینه سازی انحراف ولتاژ، مقدار ولتاژ تمام شین‌ها که از پخش بار به دست آمده، از مقدار نامی ولتاژ کم شده و سپس مجموع به دست آمده حداقل گردیده است [۱۱]:

$$VD = \sum_{i=1}^{n_{bus}} |1 - V_i| \qquad (۳)$$

$$f_2(X) = min(VD) \qquad (۴)$$

که V_i ولتاژ شین iام و n_{bus} تعداد شین‌ها می‌باشد.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.4.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019

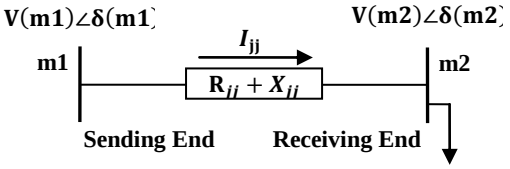
۲-۳- شاخص پایداری ولتاژ

پدیده فروپاشی ولتاژ چیزی غیر از گسترش غیرقابل کنترل ناپایداری ولتاژ در سیستم های انتقال یا توزیع و رسیدن ولتاژ به حد غیرقابل قبول نیست. در این شرایط ممکن از مقدار افت ولتاژ به حدی برسد که سرانجام به خاموشی کامل سیستم منجر شود. شناسایی حساس‌ترین شین شبکه نسبت به تغییرات بار مصرفی به عنوان پایداری ولتاژ شبکه مطرح بوده و توسط رابطه (۵) بیان می‌شود [۱۵].

$$SI(m2) = |V(m1)|^4 - 4\left[P(m2)X_{jj} - Q(m2)R_{jj}\right]^2 - 4\left[P(m2)R_{jj} + Q(m2)X_{jj}\right]|V(m1)|^2 \quad (۵)$$

$$f_3(X) = min\left(\frac{1}{SI(m2)}\right) \quad (۶)$$

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 درنظر گرفته شده است.



شکل (۱): شبکه نمونه شعاعی

۲-۴- شاخص هزینه

پس از هر پخش بار هزینهٔ توان تولید شده محاسبه می‌شود و به طوری که شایستگی بیش‌تر مستلزم هزینهٔ توان کم‌تر می‌باشد. هزینه خریداری برق از منبع اصلی به صورت زیر قابل بیان است [۱۶]:

$$PW = \frac{1 + InfR}{1 + IntR} \quad (۷)$$

$$C_{ss} = \sum_{y=1}^{n_{yr}} PW^y k_{ss}\left(Real\left(V_{ss}I_{inj}^*\right)\right)T \quad (۸)$$

که در آن T دوره بهره برداری، n_{yr} دوره برنامه ریزی، $IntR$ نرخ بهره و $InfR$ نرخ تورم، k_{ss} بهاء انرژی در بازار، V_{ss} ولتاژ نامی شین منبع، I_{inj} جریان تزریقی از شین منبع در نظرگرفته شده است. هزینه نصب تولیدات پراکنده به صورت مجموع ادوات نصب شده بیان می‌گردد:

$$C_{IDG} = \sum_{i=1}^{n_{DG}} C_{DGni}K_{IDG} \quad (۹)$$

که در آن C_{DGni} حداکثر ظرفیت انتخابی تولید پراکنده، K_{IDG} هزینه سرمایه گذاری و n_{DG} تعداد منابع می‌باشد. همچنین هزینه بهره برداری و نگهداری به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$C_{O\,\&\,M\,DG} = \sum_{y=1}^{n_{yr}}\sum_{i=1}^{n_{DG}} PW^y\, P_{gni}K_{EDG}T \quad (۱۰)$$

$$PW = \frac{1 + InfR}{1 + IntR} \quad (۱۱)$$

که در آن P_{gni} توان اکتیو خروجی منبع در باس iام، K_{EDG} هزینه بهره برداری و نگهداری تولید پراکنده می‌باشند. تابع کلی هزینه به صورت زیر تعریف می‌گردد.

$$f_4(X) = min(C_{ss} + C_{IDG} + C_{O\&M\,DG}) \quad (۱۲)$$

۲-۵- قیود مسئله بهینه سازی

در این بهینه سازی قیود پخش بار به عنوان قیود مساوی و قیود ولتاژ به عنوان قیود نامساوی در نظر گرفته شده است [۱۷]:

$$P_i = \sum_{j=1}^{n_{bus}} V_iV_jY_{ij}\,cos\left(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j\right) \quad (۱۳)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^{n_{bus}} V_iV_jY_{ij}\,sin\left(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j\right) \quad (۱۴)$$

$$V_{min} \le V \le V_{max} \quad (۱۵)$$

که در آن V_i و δ_i اندازه و زاویه ولتاژ در شین iام، P_i و Q_i به ترتیب توان اکتیو و راکتیو تزریقی به شین iام می‌باشند.

۲-۶- مدل سازی رشد بار

هرگونه توسعه در سیستم قدرت زمانی بهینه است که نسبت به بار مشترکین انجام شود. در نتیجه جایابی واحدهای تولید پراکنده نسبت به بار مشترکین باعث می‌گردد که شرکت‌های توزیع از تمامی ظرفیت خود استفاده کنند. همچنین کمک شایانی به بهره برداری و توسعه بهینه شبکه‌های برق، می‌کند. لذا استفاده از بار با مقدار واقعی در شبکه توزیع می‌تواند نتایج مناسب‌تری را در بهینه سازی سیستم قدرت به همراه داشته باشد. در نتیجه پیش بینی رفتار بار در آینده، می‌تواند مبنای برنامه ریزی توسعه سیستم‌های انرژی الکتریکی گردد. مدل رشد بار براساس رابطه توان قابل اقتباس به فرم زیر می‌باشد [۶, ۱۱].

$$P_{L_i} = P_L(1 + r)^m \quad (۱۶)$$

$$Q_{L_i} = Q_L(1 + r)^m \quad (۱۷)$$

که P_L و Q_L توان اکتیو و راکتیو در سال پایه، r درصد افزایش سالیانه و m دوره طراحی برحسب سال در نظر گرفته می‌شود.

۳- الگوریتم بهینه‌سازی آموزش و یادگیری

یکی از روش‌های حل مسائل بهینه سازی الگوریتم‌های هوش ازدحامی است که الگوریتم آموزش و یادگیری است. الگوریتم بهینه‌سازی

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.4.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019

آموزش و یادگیری یک الگوریتم گروهی مبتنی بر جستجو است که در سال ۲۰۱۱ میلادی ابداع شده است.
این الگوریتم شبیه‌سازی بر اساس مفهوم فرآیند آموزش و یادگیری در یک کلاس می‌باشد و دو مرحله طبیعی از مطالعه که عبارتند از: آموزش و مرحله یادگیری. را دارد. در تکنیک این روش، یک گروه از دانش‌آموزان در یک کلاس بعنوان یک جمعیت و بردار راه حل هدف، مشابه نقطه نظر موضوعات مختلف ارائه شده به دانش‌آموزان است [۱۸].

۳-۱- فاز آموزش

در قسمت اول دانش دانش آموز تا حد دانش معلم بالا می‌رود. به طور کلی رفتار دانش آموز برخواسته از کیفیت معلم به عنوان بهترین فرد است. در این مرحله، بهترین عضو جامعه معلم می باشد که میانگین جمعیت را به سمت خودش هدایت می کند. فاز آموزش الهام گرفته از رفتار یک معلم است که به صورت مرتب انجام می‌پذیرد. میانگین (M) بیانگر موفقیت معلم است و مقدار آن حاصل تقسیم مجموع نمرات دانش‌آموزان بر تعداد دانش‌آموزان می‌باشد. در نتیجه کارآیی یک معلم با میانگین مشخص می‌شود.

$$\mathrm{X_{new,D}} = \mathrm{X_{old,D}} + r(\mathrm{X_{teacher,D}} - \mathrm{T_F M_D}) \quad (۱۸)$$

$$TF = round\ (1 + r_2) \quad (۱۹)$$

اندیس D بیانگر تعداد موضوعات یا دروس (متغییر مسئله)، $\mathrm{X_{old,D}}$ عضو قدیمی که هنوز برای افزایش سطح دانش مجبور است از مدرس بیاموزد. r یک عدد تصادفی است، $\mathrm{X_{teacher,D}}$ بهترین عضو جمعیت در این تکرار است

۳-۲- فاز یادگیری

فاز یادگیری یا فاز دانش آموز، در این فاز دانش آموزان اطلاعات خود را به اشتراک می گذارند و باعث می‌شود که دانش آن‌ها بهبود یابد. نهایتاً دانش و اطلاعات دانش آموزان با نمرات آن‌ها ارزیابی می‌گردد (N تعداد دانش آموزان است). در فاز یادگیری دو حالت وجود دارد.

حالت اول: $\mathrm{X}_i < \mathrm{X}_j$

$$\mathrm{X_i}(new) = \mathrm{X_j} = \mathrm{X}_i + (\mathrm{X_j} - \mathrm{X}_i) \quad (۲۰)$$

حالت دوم: $\mathrm{X}_j < \mathrm{X}_i$

$$\mathrm{X_i}(new) = \mathrm{X}_i + (\mathrm{X}_i - \mathrm{X_j}) \quad (۲۱)$$

۳-۳- الگوریتم بهینه سازی آموزش و یادگیری اصلاح شده

نکته مهم برای داشتن عملکرد مناسب در مسائل مختلف بهینه سازی توانایی برای یک جستجوی عمومی خوب در فضای مسئله است. در الگوریتم‌های بهینه سازی وابسته به جمعیت باید دو جنبه مهم کاوش و بهره‌برداری مورد توجه قرار گیرد. کاوش توانایی تولید پاسخ جدید و بهره‌برداری توانایی پروراندن پاسخ‌های فعلی می‌باشد. به منظور ترمیم بهره‌برداری و بهبود کاوش از دو روش اصلاحی زیر در الگوریتم بهره گیری شده است.

۳-۴- فاز اول

در الگوریتم طراحی شده حرکت ذرات به صورت تطبیقی تنظیم شده و از معادله جستجو اصلاح شده در فضا با توجه به منبع غذایی، استفاده می‌شود. عملکرد TLBO اصلی بستگی به عامل تدریس دارد. در اصلاح اول، به روز رسانی خودکار برای تنظیم فاکتور تدریس براساس نتایج یادگیرنده و معلم استفاده می‌شود. این عامل هماهنگی میان سرعت جستجو و اکتشاف را کنترل می‌کند [۱۹].

$$TF_i = \frac{M_{D,i}}{M_{D,i}^{new}} \quad D = 1,2,\dots,D_n \quad (۲۲)$$

که در آن $M_{D,i}$ میانگین دانش آموزان در همتن مرحله و $M_{D,i}^{new}$ مقدار ذره معلم در همان تکرار می‌باشد.

۳-۵- فاز دوم

الگوریتم ژنتیک یک تکنیک بهینه‌سازی است و سعی در پیداکردن مقادیری از ورودی دارد که بهترین خروجی (نتایج) را حاصل کنند. در این مقاله، به‌منظور تنوع راه حل و جلوگیری از به دام افتادن در بهینه محلی، از فرایند تقاطع و جهش در الگوریتم ژنتیک که در [۲۰] ارائه‌شده، استفاده شده است. در هر تکرار، برای دانش آموز i ام، سه دانش آموز X_{g_1}, X_{g_2} و X_{g_3} در میان یادگیرنده از جمعیت به صورت تصادفی انتخاب شده اند به طوری که $g_1 \neq g_2 \neq g_3 \neq i$، سپس فرد یادگیرنده جدید محاسبه می‌شود. ترکیب دو فاز باعث می‌گردد تمامی فضای جست و جو به صورت کامل بررسی گردد [۲۰].

$$X_{mod} = X_{g_1} + \gamma \times (X_{g_2} - X_{g_3}) \quad (۲۳)$$

$$X_{mod} = [x_{mod,1}, x_{mod,2}, \dots, x_{mod,n}] \quad (۲۴)$$

$$x_{mod1,k} = \begin{cases} x_{mod,k} & if\ \varphi_1 \leq \varphi_2 \\ x_{Teacher,k} & otherwise \end{cases} \quad (۲۵)$$

$$x_{mod2,k} = \begin{cases} x_{mod,k} & if\ \varphi_3 \leq \varphi_2 \\ x_{i,k} & otherwise \end{cases}) \quad (۲۶)$$

$$X_{new,D} = X_{old,D} + r(X_{teacher,D} - T_F M_D) \quad (۲۷)$$

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.4.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019

$$X_{mod3} = \varphi \times X_{Teacher} + \rho \times (X_{Teacher} - X_{mod}) \quad (۲۸)$$

که در آن $\varphi, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ و ρ اعداد تصادفی بین ۰ و ۱ می‌باشند و در نهایت بهترین شاگرد از مقایسه میان X_{mod1}, X_{mod2} , X_{mod3} با X_i بدست می‌آید.

۴- بهینه سازی چند هدفه

مسئله بهینه سازی چند هدفه برخواسته از روش های تصمیم گیری در دنیای واقعی است که شخص تصمیم گیرنده نیازمند بهینه سازی هم زمان چندین هدف و دستیابی به چندین معیار متضاد هستیم. ایده اصلی بهینه سازی به کمک جبهه پارتو تعیین چندین جواب بهینه به عنوان مجموعه بهینه پارتو می‌باشد. به همین منظور بر اساس مفهوم غلبه یا چیرگی پارتو بصورت زیر می توان معیار بهینگی در یک مسئله چند هدفه را تعریف نمود [۳]:

$$\forall\, i \in \{1, 2, \dots, N_{obj}\}: f_i(X_1) \le f_i(X_2) \quad (۲۹)$$

$$\exists\, j \in \{1, 2, \dots, N_{obj}\}: f_j(X_1) \le f_j(X_2) \quad (۳۰)$$

رابطه بالا، بیان می‌کند که بردار X_1 بردار X_2 را مغلوب می‌کند. اگر X_1 در همه اهداف بدتر از X_2 نباشد و X_1 در حداقل یک هدف مطلقاً بهتر از X_2 باشد. برای حفظ راه حل‌های خوب را در طول فرآیند بهینه سازی راه حل‌ها در هر تکرار در یک آرشیو خارجی ذخیره می‌شود.

حال با مشخص شدن مجموعه بهینه پارتو که مجموعه تمام جواب‌های بهینه پارتو در یک مسئله چند هدفه است. باید معیاری برای مقایسه طرح‌های قابل قبول مختلف و انتخاب بهترین آن‌ها تعیین شود که به صورت تابعی از متغیرهای طراحی بیان شده باشد. سیستم‌های فازی را می‌توان برای ترکیب و یکسان سازی چندین هدف متفاوت و تبدیل آن یک شاخص نرمال و نهایتاً برای تعیین یک جواب مناسب بین مجموعه جواب‌های تولید شده استفاده کرد. بدین منظور تابع عضویت روش فازی پیشنهادی بصورت زیر تعریف می‌شود [۱۵]:

$$U_i(X) = \begin{cases} 1 & F_i(X) \le F_i^{min} \\ \dfrac{F_i^{max} - F_i(X)}{F_i^{max} - F_i^{min}} & F_i^{min} \le F_i(X) \le F_i^{max} \\ 0 & F_i(X) \ge F_i^{max} \end{cases} \quad (۳۱)$$

اگر تصمیم گیرنده بطور کامل از نتیجه بهینه راضی باشد؛ مقدار F_i برابر یک و اگر تصمیم گیرنده بطور کامل ناراضی باشد؛ مقدار F_i برابر صفر می‌باشد. بنابراین مقدار F_i بیان کننده مطلوبیت تابع هدف بدون در نظر گرفتن واحد و یا مقدار واقعی آن می‌باشد. با استفاده از رابطه زیر می‌توان از میان جواب‌های فازی شده با توجه به اهمیت هر شاخص بهترین جواب انتخاب گردد:

$$G(X) = max \sum_{i=1}^{n} k_i U_i(X) \quad (۳۲)$$

$$k_i \ge 0, \qquad \sum_{i=1}^{n} k_i = 1 \quad (۳۳)$$

که در رابطه بالا n تعداد ضرایب وزنی و k_i ضرایب ثابتی هستند که بیانگر میزان تاثیر و اهمیت هر یک از شاخص‌ها می‌باشد. مقادیر متفاوت برای k_i در جدول (۱) بیان شده است.

جدول (۱): ضرایب توابع هدف در سناریوهای مختلف

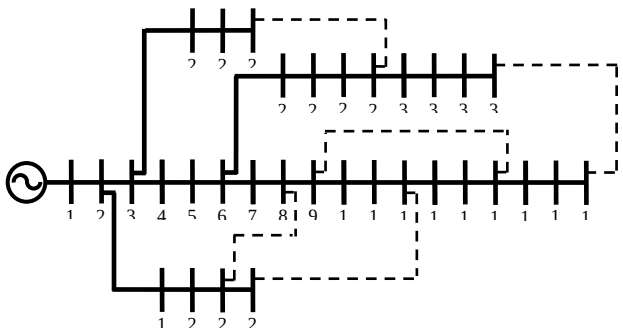
ضریب وزنی	k_1	k_2	k_3	k_4
اول	۰.۳۳	۰.۳۳	۰.۳۳	-
دوم	۰.۶	۰.۲	۰.۲	-
سوم	۰.۲۵	۰.۲۵	۰.۲۵	۰.۲۵
چهارم	۰.۵۵	۰.۱۵	۰.۱۵	۰.۱۵

سناریو اول و دوم فقط شاخص‌های سیستمی مد نظر قرار گرفته است و در سناریو سوم و چهارم شاخص هزینه نیز اضافه گریده است.

۵- شبیه سازی

روش شرح داده شده در قسمت‌های قبل برای انجام جایابی و مقداریابی بهینه بر روی شبکه استاندارد ۳۳ شینه *IEEE* که مبنای کار بسیاری از مطالعات شبکه توزیع بوده، پیاده سازی شده است نتایج عددی شبیه سازی روی این سیستم در این قسمت آورده شده است. اطلاعات این سیستم که دارای تلفات اکتیو ۰.۲۰۲۷ مگاوات، انحراف ولتاژ ۱.۷۰۱۱ پریونیت و شاخص پایداری ولتاژ ۱.۴۳۸۷ پریونیت در حالت پایه می‌باشد. در مرجع [۱۱] آورده شده است. دیاگرام تک خطی این شبکه همراه با محل کلیدها در شکل (۲) نشان داده شده است.

در این مقاله چون هدف بررسی تاثیر رشد بار و همچنین بهینه سازی چند هدفه، بر نتایج بهینه سازی و پارامترهای شبکه می‌باشد. به بررسی بهینه سازی تک هدفه و چند هدفه با و بدون در نظر گرفتن تاثیر رشد بار در سیستم می‌پردازیم و آن‌ها را با هم مقایسه می‌کنیم.



شکل (۲): نمای تک خطی شبکه استاندارد

در جدول (۲) و شکل (۳) عملکرد الگوریتم ارایه شده به منظور جایابی و مقداریابی در بهینه سازی تابع تلفات برای تعداد مختلف منابع ارایه شده است. هرچه تعداد منابع تولید پراکنده بیش‌تر شود، قاعدتاً الگوریتم باید توانایی بیش‌تری در بهینه سازی از خود نشان

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.4.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019

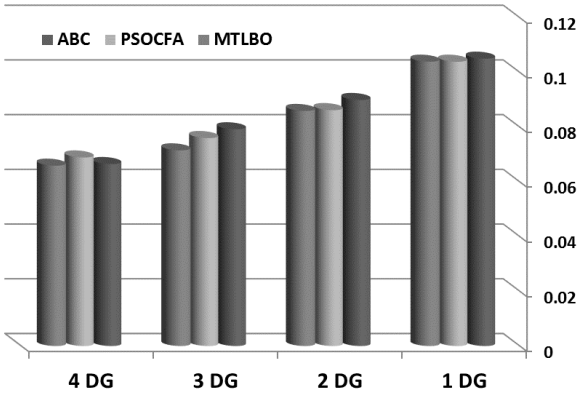
دهد. با توجه به جدول (۲) الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با دیگر الگوریتم‌ها در همه حالات بهینه سازی دارای جواب مناسب‌تری است. کم‌ترین تلفات شبکه وقتی حاصل می‌شود که تغذیه بارها در محل مصرف انجام شود. این در حالی است که تعداد زیاد منابع تولید پراکنده نه تنها سودآور نیست، بلکه باعث افزایش هزینه مالی نیز خواهد شد. درواقع اگر بتوان با تغذیه بار در محل جریان عبوری از خطوط شبکه را کاهش داد، تلفات آن حداقل می‌شود.

جدول (۲): مقایسه بهینه سازی تلفات در حالت دوم

تعداد منابع	روش	محل (شین)	ظرفیت (MW)	تلفات (MW)
۱	ABC[12]	۶	۲.۵۷۷۵	۰.۱۰۵۰
	PSOCFA[11]	۶	۲.۵۷۵۲	۰.۱۰۳۹
	MTLBO	۶	۲.۵۷۵۳	۰.۱۰۳۹
۲	ABC[12]	۶	۱.۹۷۰۷	۰.۰۸۹۹
		۱۵	۰.۵۷۵۷	
	PSOCFA[11]	۱۴	۰.۷۸۷۶	۰.۰۸۶۲
		۲۹	۱.۲۴۸۷	
	MTLBO	۱۳	۰.۸۴۶۴	۰.۰۸۵۹
		۳۰	۱.۱۵۸۷	
۳	ABC[12]	۶	۱.۷۵۶۹	۰.۰۷۹۲
		۱۵	۰.۵۷۵۷	
		۲۵	۰.۷۸۲۶	
	PSOCFA[11]	۱۰	۱.۰۴۹۱	۰.۰۷۶۰
		۲۵	۰.۸۷۸۶	
		۳۳	۰.۸۰۴۹	
	MTLBO	۱۴	۰.۷۵۴۰	۰.۰۷۱۵
		۲۴	۱.۰۹۹۴	
		۳۰	۱.۰۷۱۴	
۴	ABC[12]	۶	۱.۰۷۶۵	۰.۰۶۶۵
		۱۵	۰.۵۷۵۷	
		۲۵	۰.۷۸۲۴	
		۳۲	۰.۶۵۳۸	
	PSOCFA[11]	۱۳	۰.۷۴۸۴	۰.۰۶۸۹
		۲۴	۱.۰۷۵۹	
		۲۸	۰.۵۹۹۴	
		۳۱	۰.۵۹۷۶	
	MTLBO	۷	۰.۹۱۶۲	۰.۰۶۵۹
		۱۴	۰.۵۸۵۳	
		۲۴	۰.۹۸۰۹	
		۳۱	۰.۷۰۸۶	

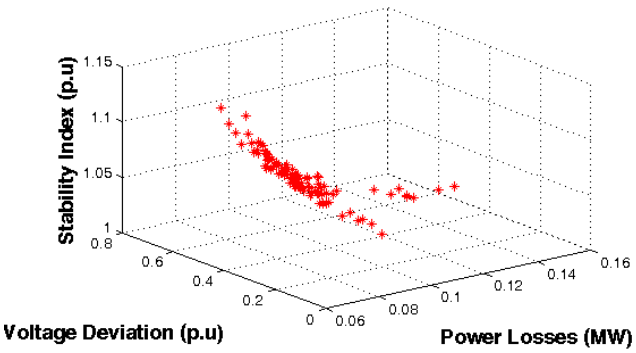
جدول (۳) نتایج بهینه سازی تک هدفه به ازای انواع توابع هدف را نشان می‌دهد. همان‌طور که انتظار می‌رود پراکندگی منابع می‌تواند تاثیر آن‌ها به علت کاهش جریان عبوری، تامین بار در محل و بهبود ولتاژ در سیستم، بیش‌تر نماید.

از نتایج جدول (۳) می‌توان به این نکته اشاره کرد که هرچه ظرفیت منابع تولید پراکنده‌ها بیش‌تر می‌شوند، سیر بهبود وضعیت شاخص پایدای ولتاژ بیش‌تر می‌شود و البته این امر باعث تاثیر نامناسب بر دیگر شاخص‌های سیستم به ویژه تلفات می‌گردد.

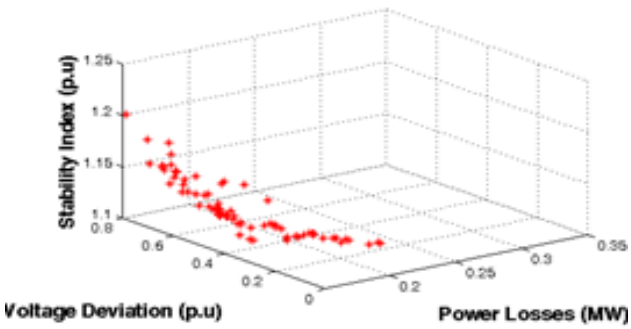


شکل (۳): مجموعه جواب بهینه بدون در نظر گرفتن رشد بار

گاهی در بهینه سازی چند شاخص داریم. زمانی که چند شاخص وجود داشته باشد، هرکدام ممکن است دارای هدف‌های متناقضی با یکدیگر باشند. در این حالت باید طوری بهینه سازی شود که مصالحه‌ای بین همه برقرار گردد. با استفاده از روش تصمیم گیری فازی بهره برداران و برنامه ریزان سیستم می‌تواند با اختصاص وزن‌های متفاوت به شاخص‌ها میزان اهمیت هریک را مشخص نماید. با توجه به مجموعه جواب‌های پارتو، جواب مناسب را بدست آورد. در جدول (۴) بهینه سازی سه هدفه و در جدول (۵) بهینه سازی چهار هدفه با در نظر گرفتن شاخص هزینه بیان شده است.



شکل (۴): مجموعه جواب بهینه بدون در نظر گرفتن رشد بار



شکل (۵): مجموعه جواب بهینه با در نظر گرفتن رشد بار

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.4.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019

جدول (۳): بهینه سازی تک هدفه

هدف	بدون در نظر گرفتن رشد بار						با در نظر گرفتن رشد بار					
	محل	ظرفیت (MW)	$F_1(X)$ (MW)	$F_2(X)$ (p.u.)	$F_3(X)$ (p.u.)	$F_4(X)$ (M$)	محل	ظرفیت (MW)	$F_1(X)$ (MW)	$F_2(X)$ (p.u.)	$F_3(X)$ (p.u.)	$F_4(X)$ (M$)
F_1	۱۴	۰.۷۵۴۰	۰.۰۷۱۵	۰.۵۸۷۴	۱.۱۳۴۶	۷.۷۸۳۵	۱۴	۱.۰۹۰۷	۰.۱۵۱۴	۰.۸۴۸۳	۱.۲۰۱۶	۱۰.۴۰۸۴
	۲۴	۱.۰۹۹۴					۲۴	۱.۵۹۶۶				
	۳۰	۱.۰۷۱۴					۳۰	۱.۵۵۹۱				
F_2	۱۴	۰.۸۴۵۶	۰.۱۰۸۳	۰.۰۸۸۱	۱.۰۶۷۶	۷.۴۱۹۴	۶	۲.۰۰۰۰	۰.۲۲۲۷	۰.۱۳۴۱	۱.۱۰۳۳	۱۰.۰۲۳۰
	۲۶	۱.۸۳۱۳					۱۳	۱.۴۰۷۰				
	۳۱	۱.۰۹۰۴					۳۱	۱.۸۵۳۳				
F_3	۱۲	۱.۵۲۶۵	۰.۱۰۷۸	۰.۱۱۵۹	۱.۰۲۵۱	۷.۳۹۵۸	۱۳	۲.۰۰۰۰	۰.۲۱۱۱	۰.۲۳۱۸	۱.۰۶۱۰	۹.۸۶۷۱
	۲۵	۰.۷۶۵۹					۲۴	۱.۵۴۴۱				
	۳۱	۱.۵۳۰۳					۳۱	۲.۰۰۰۰				

جدول (۴): بهینه سازی سه هدفه

سناریو	بدون در نظر گرفتن رشد بار					با در نظر گرفتن رشد بار				
	محل (شین)	ظرفیت (MW)	$F_1(X)$ (MW)	$F_2(X)$ (p.u.)	$F_3(X)$ (p.u.)	محل (شین)	ظرفیت (MW)	$F_1(X)$ (MW)	$F_2(X)$ (p.u.)	$F_3(X)$ (p.u.)
۱	۱۳	۱.۱۰۷۸	۰.۰۹۵۳	۰.۱۴۷۴	۱.۰۳۶۰	۷	۱.۸۸۲۷	۰.۱۹۱۲	۰.۳۱۹۱	۱.۱۱۲۵
	۲۵	۰.۹۶۷۷				۱۴	۱.۳۴۲۴			
	۳۰	۱.۷۱۶۶				۳۰	۱.۴۵۹۵			
۲	۱۴	۱.۰۶۹۴	۰.۰۸۷۱	۰.۲۲۱۴	۱.۰۵۰۹	۱۴	۱.۴۵۲۳	۰.۱۶۴۴	۰.۵۱۳۷	۱.۱۲۹۶
	۲۴	۰.۹۵۶۳				۲۴	۱.۴۵۷۳			
	۳۰	۱.۵۵۴۰				۳۰	۱.۸۹۱۵			

جدول (۵): بهینه سازی چهار هدفه

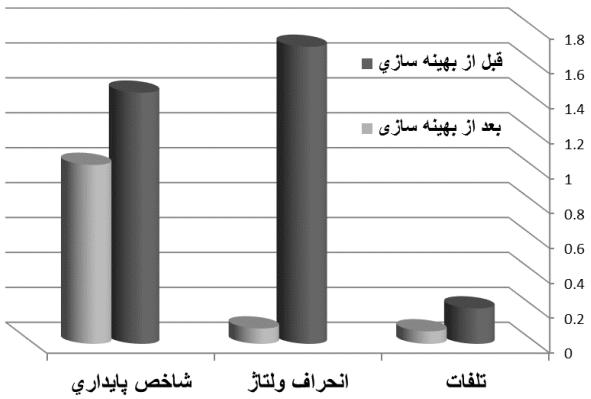
سناریو	بدون در نظر گرفتن رشد بار						با در نظر گرفتن رشد بار					
	محل	ظرفیت (MW)	$F_1(X)$ (MW)	$F_2(X)$ (p.u.)	$F_3(X)$ (p.u.)	$F_4(X)$ (M$)	محل	ظرفیت (MW)	$F_1(X)$ (MW)	$F_2(X)$ (p.u.)	$F_3(X)$ (p.u.)	$F_4(X)$ (M$)
۳	۱۴	۱.۱۰۹۸	۰.۰۹۰۲	۰.۱۷۵۱	۱.۰۴۴۲	۷.۳۶۹۲	۱۳	۱.۹۶۹۹	۰.۱۹۱۰	۰.۳۰۱۲	۱.۱۰۸۵	۹.۸۳۹۰
	۲۴	۱.۱۱۷۳					۲۴	۱.۷۳۵۲				
	۳۰	۱.۵۶۸۹					۳۰	۱.۷۹۱۵				
۴	۱۴	۱.۰۳۷۵	۰.۰۸۶۷	۰.۲۱۸۰	۱.۰۴۹۲	۷.۴۰۷۹	۱۲	۱.۶۴۱۹	۰.۱۶۴۳	۰.۵۲۶۰	۱.۱۳۰۲	۹.۹۹۱۵
	۲۴	۱.۱۰۹۰					۲۴	۱.۶۴۴۷				
	۳۰	۱.۵۶۱۸					۳۰	۱.۸۱۵۵				

نتایج ارائه شده در جدول (۴) نشان می‌دهد که تابع هدف وقتی کمینه می‌شود که واحدهای تولید پراکنده به بارهای بزرگ نزدیک‌تر باشند. در شکل (۴) و (۵) مجموعه جواب‌های پرتو برای بهینه سازی سه هدفه برای توابع هدف تلفات، انحراف ولتاژ و شاخص پایداری پس اجرای الگوریتم پیشنهادی با و بدون در نظر گرفتن رشد بار نشان داده شده است.

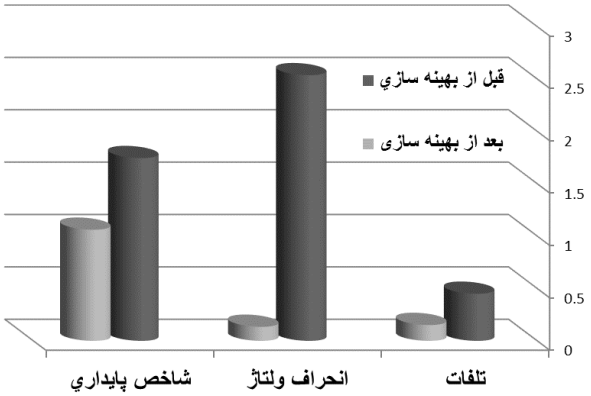
برای درک تاثیر بهینه سازی جایابی و مقداریابی بهینه منابع تولید پراکنده نتایج شبیه سازی به صورت تک هدفه به ترتیب در شکل (۶) و (۷) بدون در نظر گرفتن رشد بار و با در نظر گرفتن رشد بار نمایش داده شده اند.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.4.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019



شکل (۶): مقایسه توابع مختلف بدون در نظر گرفتن رشد بار



شکل (۷): مقایسه توابع مختلف با در نظر گرفتن رشد بار

۶- نتیجه گیری

در این مقاله، جایابی و مقداریابی بهینه منابع تولید پراکنده با بهره گیری از الگوریتم مبتنی بر آموزش و یادگیری اصلاح شده ارایه شده است. در این روش حرکت ذرات به صورت تطبیقی مطابق با پاسخ بدست آمده تنظیم شده و عملگرهای جهش و تقاطع به بهبود جواب کمک می‌نمایند. بدینوسیله جستجو با هوشمندی بیش‌تری انجام می‌گردد. از آنجایی که بارالکتریکی پارامتر ثابتی نیست و در طول زمان تغییر می‌کند؛ این بهینه سازی با و بدون در نظر گرفتن رشد بار در دو مرحله انجام گرفته است. با استفاده از مسئله بهینه سازی توابع بهینه سازی تلفات، انحراف از ولتاژ، شاخص پایداری ولتاژ و هزینه در قالب تصمیم گیری تک هدفه و چند هدفه مورد بررسی قرار گرفت. همچنین به منظور گزینش جواب میان جواب‌های پرتو از منطق فازی با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف توابع هدف، استفاده شده است که سرمایه گذاران می‌توانند بر اساس اهمیت اهداف در رابطه شاخص تعیین ضرایب تصمیم گیری نمایند.

مراجع

[1] A. Mohamed Imran, M. Kowsalya, and D. P. Kothari, "A novel integration technique for optimal network reconfiguration and distributed generation placement in power distribution networks," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 63, pp. 461-472, 2014.

[2] J. Zhu, Optimization of power system operation: John Wiley & Sons, 2014.

[3] 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.

[4] D. Shirmohammadi and H. W. Hong, "Reconfiguration of electric distribution networks for resistive line losses reduction," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 4, pp. 1492-1498, 1989.

[5] 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.

[6] V. V. S. N. Murty and A. Kumar, "Optimal placement of DG in radial distribution systems based on new voltage stability index under load growth," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 69, pp. 246-256, 2015.

[7] 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.

[8] W.-S. Tan, M. Y. Hassan, M. S. Majid, and H. Abdul Rahman, "Optimal distributed renewable generation planning: A review of different approaches," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 18, pp. 626-645, 2013.

[9] T. Gözel and M. H. Hocaoglu, "An analytical method for the sizing and siting of distributed generators in radial systems," Electric Power Systems Research, vol. 79, pp. 912-918, 2009.

[10] 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.

[11] K. D. Mistry and R. Roy, "Enhancement of loading capacity of distribution system through distributed generator placement considering techno-economic benefits with load growth," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 54, pp. 505-515, 2014.

[12] M. P. Lalitha, N. S. Reddy, and V. V. Reddy, "Optimal DG Placement for maximum loss reduction in radial distribution system using ABC Algorithm," Journal of Theoretical and Applied Information Technology, vol. 3, pp. 44-52, 2010.

[13] M. H. Moradi and M. Abedini, "A combination of genetic algorithm and particle swarm optimization for optimal DG location and sizing in distribution systems," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 34, pp. 66-74, 2012.

[14] M. F. Akorede, H. Hizam, I. Aris, and M. Z. A. Ab Kadir, "Effective method for optimal allocation of distributed generation units in meshed electric power systems," IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 5, pp. 276-287, 2011.

[15] M. Kefayat, A. Lashkar Ara, and S. A. Nabavi Niaki, "A hybrid of ant colony optimization and artificial bee colony algorithm for probabilistic optimal placement and

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.4.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

sizing of distributed energy resources," Energy Conversion and Management, vol. 92, pp. 149-161, 2015.
[16] M. Sedighizadeh, M. Esmaili, and M. Esmaeili, "Application of the hybrid Big Bang-Big Crunch algorithm to optimal reconfiguration and distributed generation power allocation in distribution systems," Energy, vol. 76, pp. 920-930, 2014.
[17] 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.
[18] Rao, R. V., V. J. Savsani and D. J. I. s. Vakharia (2012). "Teaching–learning-based optimization: an optimization method for continuous non-linear large scale problems." **183**(1): 1-15.
[19] Lin, W., D. Yu, C. Zhang, X. Liu, S. Zhang, Y. Tian, S. Liu and Z. J. J. o. C. P. Xie (2015). "A multi-objective teaching– learning-based optimization algorithm to scheduling in turning processes for minimizing makespan and carbon footprint." **101**: 337-347.
[20] Niknam, T., A. Kavousi Fard and A. Baziar (2012). "Multi-objective stochastic distribution feeder reconfiguration problem considering hydrogen and thermal energy production by fuel cell power plants." Energy **42**(1): 563-573.

رزومه



میلاد کفایت در سال (۱۳۶۷) در اهواز متولد شده است. تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی، کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول در سال‌های (۱۳۹۰) و (۱۳۹۲) اخذ نموده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه تولیدات پراکنده، انرژی‌های تجدید پذیر، شبکه‌های هوشمند، روش‌های بهینه سازی و الگوریتم‌های تکاملی است.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.4.7]
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019

Optimal Location and Sizing of Distributed Generations in Distribution Networks Considering Load Growth using Modified Multi-objective Teaching Learning Based Optimization Algorithm

M. Kefayat [1*]

*1- Senior Electrical Engineer, Ghadir Khoouzestan Water Operation Production and Transmission Company, Ahvaz, Iran, milad.kefayat@gmail.com

Abstract: This paper presents a modified method based on teaching learning based optimization algorithm to solve the problem of the single- and multi-objective optimal location of distributed generation units to cope up the load growth in the distribution network .Minimizing losses, voltage deviation, energy cost and improved voltage stability are the objective functions in this problem. Load growth in a system is a natural phenomenon. As the value of distribution system indices depend on load growth, any change in load causes changes in distribution system indices. Therefore, for assessing the current studies the level of validity and the adequacy of system in future, load growth in future are discussed. The proposed algorithm integrates an adaptive teaching factor, and a crossover and mutation strategy. In the proposed algorithm, an external repository is considered to save non-dominated (Pareto) solutions. Since the objective functions are not the same, a fuzzy clustering technique is used to select the best compromise solution from the repository. The proposed algorithm is tested on the 33-bus IEEE test system. To demonstrate the effectiveness of the proposed approach, simulation results are compared with the results obtained by other methods.

Keywords: Teaching learning based optimization algorithm, Multi-objective optimization, Distributed generation, Load growth, Voltage stability.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.2.4.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 2- Summer 2019
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]