

جایابی و مقدار یابی 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

میلاذ کفایت*^۱

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

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۱۵

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 مقدار یابی منابع تولید پراکنده ارائه 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 شاخص‌های 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 کارایی 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

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

گسترش و افزایش پیچیدگی سیستم توزیع برق به همراه کاهش بهره‌وری شبکه‌های توزیع متمرکز سبب گردیده تا بهره برداران سیستم قدرت به استفاده از راه حل‌های جایگزین برای بهبود صنعت برق روی آورند. 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 کارایی سیستم توزیع می‌توان به بازآرایی شبکه، استفاده از منابع تولید پراکنده، خازن گذاری، تغییر محل تغذیه سیستم و ... اشاره کرد [۳-۵].

آرشیو ذخیره می‌شوند. از آنجاکه توابع هدف دارای واحدهای یکسان نمی‌باشند، از روش تصمیم‌گیری 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 بهینه‌سازی، الگوریتم مبتنی بر آموزش و یادگیری اصلاح شده و بهینه‌سازی چند هدفه بیان گردیده است. در بخش پنجم به بررسی، تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از شبیه‌سازی روی شبکه استاندارد ۳۳ شینه IEEE پرداخته شده است و در نهایت نتایج شبیه‌سازی نشان داده شده مورد نتیجه‌گیری 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 اندازه‌گیری 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]:

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

$$f_1(X) = \min(P_{loss}) \quad (2)$$

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

۲-۲- شاخص انحراف ولتاژ

برای کمینه‌سازی 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]:

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

$$f_2(X) = \min(VD) \quad (4)$$

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

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

تکنیک‌های مختلفی جهت جابجایی و مقداربایی 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 ساده‌سازی 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 جابجایی و تعیین مقدار بهینه تولیدات پراکنده استفاده شده است. اما روش‌های عددی راه حل مناسبی در بهینه‌سازی شبکه‌های بزرگ از خود ارایه نمی‌دهند.

در [۱۱] از الگوریتم ازدحام ذرات به منظور جابجایی و مقداربایی منابع تولید پراکنده با در نظر گرفتن افزایش بار بهره‌گیری شده است. در [۱۲] از الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی جهت بهینه‌سازی چندین تولید پراکنده مورد استفاده قرار گرفته است که در آن فقط کاهش تلفات به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است.

تکنیک‌های ترکیبی از ترکیب روش‌های هوش مصنوعی با دیگر روش‌ها یا تکنیک‌ها حاصل می‌شوند. مزیت اصلی این تکنیک بهره‌گیری 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 بهره‌برداری در نظر گرفته شده است و مسئله با هدف کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های سیستم شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری، 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 بهره‌گیری شده است. در طول فرآیند بهینه‌سازی چند هدفه مجموعه جواب‌های غیرمغلوب در یک حافظه خارجی به نام

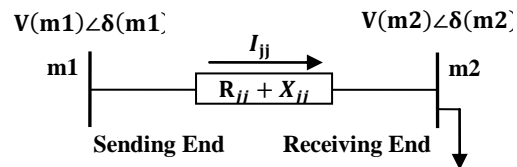
۳-۲- شاخص پایداری ولتاژ

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 حساس ترین شین شبکه نسبت به تغییرات بار مصرفی به عنوان پایداری ولتاژ شبکه مطرح بوده و توسط رابطه (۵) بیان می شود [۱۵].

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

$$f_3(X) = \min\left(\frac{1}{SI(m2)}\right) \quad (6)$$

که در آن $SI(m2)$ شاخص پایداری ولتاژ مربوط به شین $m2$ می باشد. $V(m1)$ 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 شعاعی

۴-۲- شاخص هزینه

پس از هر پخش بار هزینه تولید شده محاسبه می شود و به طوری که شایستگی بیش تر مستلزم هزینه توان کم تر می باشد. هزینه خریداری برق از منبع اصلی به صورت زیر قابل بیان است [۱۶]:

$$PW = \frac{1 + InfR}{1 + IntR} \quad (7)$$

$$C_{SS} = \sum_{y=1}^{n_{yr}} PW^y k_{SS} \left(Real(V_{SS} I_{inj}^*) \right) T \quad (8)$$

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 نظر گرفته شده است. هزینه نصب تولیدات پراکنده به صورت مجموع ادوات نصب شده بیان می گردد:

$$C_{IDG} = \sum_{i=1}^{n_{DG}} C_{DGni} K_{IDG} \quad (9)$$

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

$$C_{O \& M DG} = \sum_{y=1}^{n_{yr}} \sum_{i=1}^{n_{DG}} PW^y P_{gni} K_{EDGT} \quad (10)$$

$$PW = \frac{1 + InfR}{1 + IntR} \quad (11)$$

که در آن P_{gni} توان اکتیو خروجی منبع در باس i ام، K_{EDGT} هزینه بهره برداری و نگهداری تولید پراکنده می باشند. تابع کلی هزینه به صورت زیر تعریف می گردد.

$$f_4(X) = \min(C_{SS} + C_{IDG} + C_{O \& M DG}) \quad (12)$$

۵-۲- 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]:

$$P_i = \sum_{j=1}^{n_{bus}} V_i V_j Y_{ij} \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (13)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^{n_{bus}} V_i V_j Y_{ij} \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (14)$$

$$V_{min} \leq V \leq V_{max} \quad (15)$$

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 می باشند.

۶-۲- 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 می گردد که شرکت های توزیع از تمامی ظرفیت خود استفاده کنند. همچنین کمک شایانی به بهره برداری و توسعه بهینه شبکه های برق، می کند. لذا استفاده از بار با مقدار واقعی در شبکه توزیع می تواند نتایج مناسب تری را در بهینه سازی سیستم قدرت به همراه داشته باشد. در نتیجه پیش بینی رفتار بار در آینده، می تواند مبنای برنامه ریزی توسعه سیستم های انرژی الکتریکی گردد. مدل رشد بار براساس رابطه توان قابل اقتباس به فرم زیر می باشد [۱۶]:

$$P_{L_i} = P_L (1 + r)^m \quad (16)$$

$$Q_{L_i} = Q_L (1 + r)^m \quad (17)$$

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 می شود.

۳- الگوریتم بهینه سازی آموزش و یادگیری

یکی از روش های حل مسائل بهینه سازی الگوریتم های هوش ازدحامی است که الگوریتم آموزش و یادگیری است. الگوریتم بهینه سازی

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 بهره‌گیری 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].

$$TF_i = \frac{M_{D,i}}{M_{D,i}^{new}} \quad D = 1, 2, \dots, D_n \quad (22)$$

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 پیدا کردن 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] ارائه شده، 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].

$$X_{mod} = X_{g_1} + \gamma \times (X_{g_2} - X_{g_3}) \quad (23)$$

$$X_{mod} = [x_{mod,1}, x_{mod,2}, \dots, x_{mod,n}] \quad (24)$$

$$x_{mod1,k} = \begin{cases} x_{mod,k} & \text{if } \phi_1 \leq \phi_2 \\ x_{Teacher,k} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (25)$$

$$x_{mod2,k} = \begin{cases} x_{mod,k} & \text{if } \phi_3 \leq \phi_2 \\ x_{i,k} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (26)$$

$$X_{new,D} = X_{old,D} + r(X_{teacher,D} - T_F M_D) \quad (27)$$

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 برخاسته از کیفیت معلم به عنوان بهترین فرد است. در این مرحله، بهترین عضو جامعه معلم می‌باشد که میانگین جمعیت را به سمت خودش هدایت می‌کند. 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 کارایی یک معلم با میانگین مشخص می‌شود.

$$X_{new,D} = X_{old,D} + r(X_{teacher,D} - T_F M_D) \quad (18)$$

$$TF = \text{round}(1 + r_2) \quad (19)$$

اندیس D بیانگر تعداد موضوعات یا دروس (متغیر مسئله)، $X_{old,D}$ عضو قدیمی که هنوز برای افزایش سطح دانش مجبور است از مدرس بیاموزد. r یک عدد تصادفی است، $X_{teacher,D}$ 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 می‌گذارند و باعث می‌شود که دانش آن‌ها بهبود یابد. نهایتاً دانش و اطلاعات دانش‌آموزان با نمرات آن‌ها ارزیابی می‌گردد (N تعداد دانش‌آموزان است). در فاز یادگیری دو حالت وجود دارد.

حالت اول: $X_i < X_j$

$$X_i(\text{new}) = X_j = X_i + (X_j - X_i) \quad (20)$$

حالت دوم: $X_j < X_i$

$$X_i(\text{new}) = X_i + (X_i - X_j) \quad (21)$$

$$k_i \geq 0, \quad \sum_{i=1}^n k_i = 1 \quad (33)$$

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

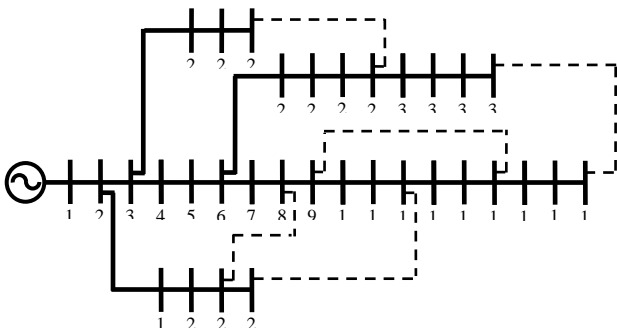
ضریب وزنی	k_1	k_2	k_3	k_4
اول	۰.۳۳	۰.۳۳	۰.۳۳	-
دوم	۰.۶	۰.۲	۰.۲	-
سوم	۰.۲۵	۰.۲۵	۰.۲۵	۰.۲۵
چهارم	۰.۵۵	۰.۱۵	۰.۱۵	۰.۱۵

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

۵- شبیه سازی

روش شرح داده شده در قسمت‌های قبل برای انجام جایابی و مقدار یابی بهینه بر روی شبکه استاندارد ۳۳ شینه IEEE که مبنای کار بسیاری از مطالعات شبکه توزیع بوده، پیاده سازی شده است. 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. دیگرام 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 ارائه شده به منظور جایابی و مقدار یابی در بهینه سازی تابع تلفات برای تعداد مختلف منابع ارائه شده است. هرچه تعداد منابع تولید پراکنده بیش‌تر شود، قاعدتاً الگوریتم باید توانایی بیش‌تری در بهینه سازی از خود نشان

$$X_{mod3} = \varphi \times X_{Teacher} + \rho \times (X_{Teacher} - X_{mod}) \quad (28)$$

که در آن $\varphi, \rho, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ 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 برخاسته از روش‌های تصمیم‌گیری در دنیای واقعی است که شخص تصمیم‌گیرنده نیازمند بهینه سازی هم‌زمان 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 می‌توان معیار بهینگی در یک مسئله چند هدفه را تعریف نمود [۳]:

$$\forall i \in \{1, 2, \dots, N_{obj}\}: f_i(X_1) \leq f_i(X_2) \quad (29)$$

$$\exists j \in \{1, 2, \dots, N_{obj}\}: f_j(X_1) < f_j(X_2) \quad (30)$$

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 راه‌حل‌های خوب را در طول فرآیند بهینه سازی راه‌حل‌ها در هر تکرار در یک آرشیو خارجی ذخیره می‌شود.

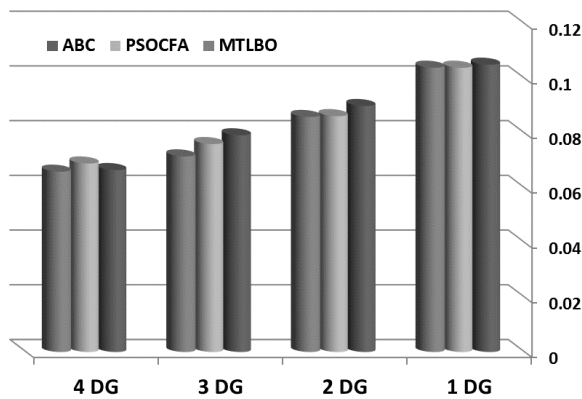
حال با مشخص شدن مجموعه بهینه پارتو که مجموعه تمام جواب‌های بهینه پارتو در یک مسئله چند هدفه است. باید معیاری برای مقایسه طرح‌های قابل قبول مختلف و انتخاب بهترین آن‌ها تعیین شود که به صورت تابعی از متغیرهای طراحی بیان شده باشد. سیستم‌های فازی را می‌توان برای ترکیب و یکسان سازی چندین هدف متفاوت و تبدیل 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]:

$$U_i(X) = \begin{cases} 1 & F_i(X) \leq F_i^{min} \\ \frac{F_i^{max} - F_i(X)}{F_i^{max} - F_i^{min}} & F_i^{min} \leq F_i(X) \leq F_i^{max} \\ 0 & F_i(X) \geq F_i^{max} \end{cases} \quad (31)$$

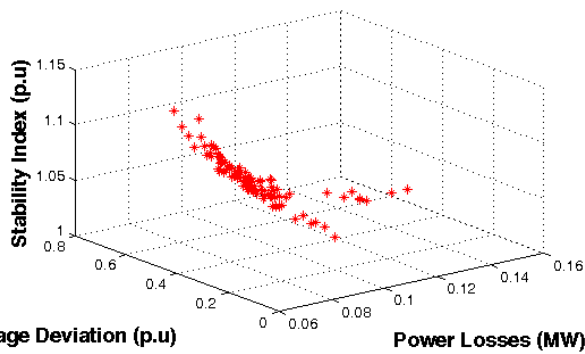
اگر تصمیم‌گیرنده بطور کامل از نتیجه بهینه راضی باشد؛ مقدار F_i برابر یک و اگر تصمیم‌گیرنده بطور کامل ناراضی باشد؛ مقدار F_i برابر صفر می‌باشد. بنابراین مقدار F_i بیان‌کننده مطلوبیت تابع هدف بدون در نظر گرفتن واحد و یا مقدار واقعی آن می‌باشد. با استفاده از رابطه زیر می‌توان از میان جواب‌های فازی شده با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

$$G(X) = \max \sum_{i=1}^n k_i U_i(X) \quad (32)$$

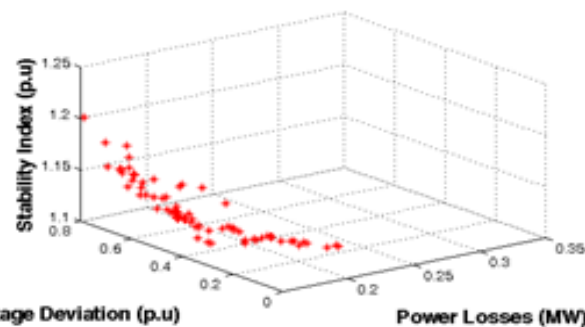
شاخص پایداری ولتاژ بیش تر می شود و البته این امر باعث تاثیر نامناسب بر دیگر شاخص های سیستم به ویژه تلفات می گردد.



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 هدف های متناقضی با یکدیگر باشند. در این حالت باید طوری بهینه سازی شود که مصالحه ای بین همه برقرار گردد. با استفاده از روش تصمیم گیری فازی بهره برداران و برنامه ریزان سیستم می تواند با اختصاص وزن های متفاوت به شاخص ها میزان اهمیت هر یک را مشخص نماید. با توجه به مجموعه جواب های 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

دهد. با توجه به جدول (۲) الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با دیگر الگوریتم ها در همه حالات بهینه سازی دارای جواب مناسب تری است. کمترین تلفات شبکه وقتی حاصل می شود 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. در واقع اگر بتوان با تغذیه بار در محل جریان عبوری از خطوط شبکه را کاهش داد، تلفات آن حداقل می شود.

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	۲.۵۷۵۲	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 می دهد. همان طور که انتظار می رود پراکندگی منابع می تواند تاثیر آن ها به علت کاهش جریان عبوری، تامین بار در محل و بهبود ولتاژ در سیستم، بیش تر نماید.

از نتایج جدول (۳) می توان به این نکته اشاره کرد که هرچه ظرفیت منابع تولید پراکنده ها بیش تر می شوند، سیر بهبود وضعیت

جدول (۳): بهینه سازی تک هدفه

با در نظر گرفتن رشد بار						بدون در نظر گرفتن رشد بار						هدف
$F_4(X)$ (M\$)	$F_3(X)$ (p.u.)	$F_2(X)$ (p.u.)	$F_1(X)$ (MW)	ظرفیت (MW)	محل	$F_4(X)$ (M\$)	$F_3(X)$ (p.u.)	$F_2(X)$ (p.u.)	$F_1(X)$ (MW)	ظرفیت (MW)	محل	
۱۰۴۰۸۴	۱.۲۰۱۶	۰.۸۴۸۳	۰.۱۵۱۴	۱.۰۹۰۷	۱۴	۷.۷۸۳۵	۱.۱۳۴۶	۰.۵۸۷۴	۰.۰۷۱۵	۰.۷۵۴۰	۱۴	F_1
				۱.۵۹۶۶	۲۴					۱.۰۹۹۴	۲۴	
				۱.۵۵۹۱	۳۰					۱.۰۷۱۴	۳۰	
۱۰۰۲۳۰	۱.۱۰۳۳	۰.۱۳۴۱	۰.۲۲۲۷	۲.۰۰۰۰	۶	۷.۴۱۹۴	۱.۰۶۷۶	۰.۰۸۸۱	۰.۱۰۸۳	۰.۸۴۵۶	۱۴	F_2
				۱.۴۰۷۰	۱۳					۱.۸۳۱۳	۲۶	
				۱.۸۵۳۳	۳۱					۱.۰۹۰۴	۳۱	
۹.۸۶۷۱	۱.۰۶۱۰	۰.۲۳۱۸	۰.۲۱۱۱	۲.۰۰۰۰	۱۳	۷.۳۹۵۸	۱.۰۲۵۱	۰.۱۱۵۹	۰.۱۰۷۸	۱.۵۲۶۵	۱۲	F_3
				۱.۵۴۴۱	۲۴					۰.۷۶۵۹	۲۵	
				۲.۰۰۰۰	۳۱					۱.۵۳۰۳	۳۱	

جدول (۴): بهینه سازی سه هدفه

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

جدول (۵): بهینه سازی چهار هدفه

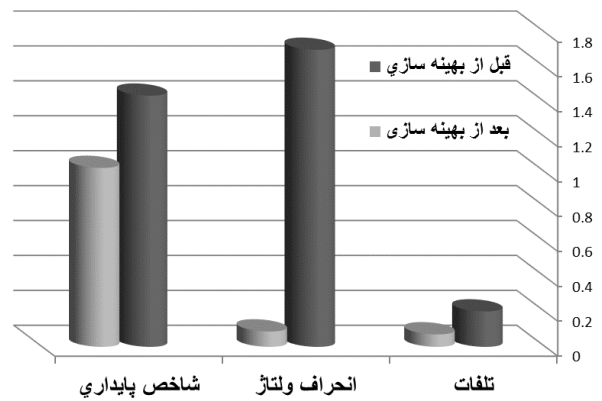
با در نظر گرفتن رشد بار						بدون در نظر گرفتن رشد بار						سناریو
$F_4(X)$ (M\$)	$F_3(X)$ (p.u.)	$F_2(X)$ (p.u.)	$F_1(X)$ (MW)	ظرفیت (MW)	محل	$F_4(X)$ (M\$)	$F_3(X)$ (p.u.)	$F_2(X)$ (p.u.)	$F_1(X)$ (MW)	ظرفیت (MW)	محل	
۹.۸۳۹۰	۱.۱۰۸۵	۰.۳۰۱۲	۰.۱۹۱۰	۱.۹۶۹۹	۱۳	۷.۳۶۹۲	۱.۰۴۴۲	۰.۱۷۵۱	۰.۰۹۰۲	۱.۱۰۹۸	۱۴	۳
		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

شکل (۶) و (۷) بدون در نظر گرفتن رشد بار و با در نظر گرفتن رشد بار نمایش داده شده اند.

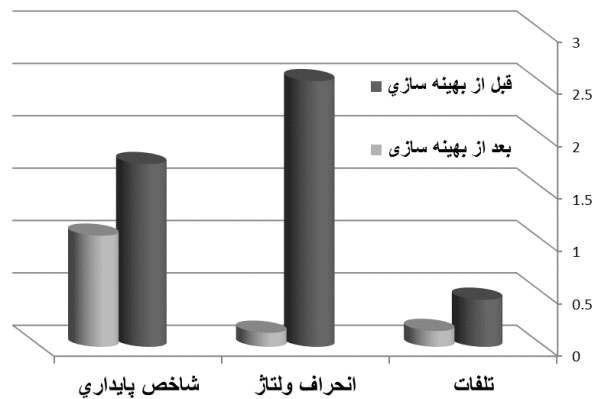
نتایج ارائه شده در جدول (۴) نشان می‌دهد که تابع هدف وقتی کمینه می‌شود که واحدهای تولید پراکنده به بارهای بزرگ نزدیک‌تر باشند. در شکل (۴) و (۵) مجموعه جواب‌های پرتو برای بهینه سازی سه هدفه برای توابع هدف تلفات، انحراف ولتاژ و شاخص پایداری پس اجرای الگوریتم پیشنهادی با و بدون در نظر گرفتن رشد بار نشان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

برای درک تاثیر بهینه سازی جابجایی و مقدار یابی بهینه منابع تولید پراکنده نتایج شبیه سازی به صورت تک هدفه به ترتیب در

- 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



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 مقدار یابی بهینه منابع تولید پراکنده با بهره گیری از الگوریتم مبتنی بر آموزش و یادگیری اصلاح شده ارائه 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 می نمایند. بدینوسیله جستجو با هوشمندی بیش تری انجام می گردد. از آنجایی که بار الکتریکی پارامتر ثابتی نیست و در طول زمان تغییر می کند؛ 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 جواب های پرتو از منطق فازی با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف توابع هدف، استفاده شده است که سرمایه گذاران می توانند 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

- sizing of distributed energy resources," *Energy Conversion and Management*, vol. 92, pp. 149-161, 2015.
- [16] M. Sedighzadeh, 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



میلااد 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.

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 Khoouzeestan 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.