



Computational Intelligence in Electrical Engineering
Vol. 15, No. 2, 2024
pp. 115-134
Research Paper

Simultaneous Reconfiguration, Optimal Allocation of D-STATCOM and Distributed Generation Units in Distribution Networks for Reducing Losses, Improving Reliability, Voltage Stability, and Operating Costs by Using a Combination of Horse Optimization and Genetic Algorithm

Hajar Bagheri Tolabi^{*1}, Afshin Lashkar Ara²

¹ Department of Electrical Engineering, Islamic Azad University, Khorramabad Branch, Khorramabad, Iran

² Department of Electrical Engineering, Islamic Azad University, Dezful Branch, Dezful, Iran

Abstract:

Reconfiguration along with the optimal allocation of DG resources and DSTATCOM units in power distribution networks is one of the effective tasks to improve power quality indicators in distribution networks, that as a non-linear combination scenario with high complexity, has been less discussed in research. This problem is a challenge with a discrete-continuous nature in the field of electrical power engineering, the solution of which requires powerful techniques in the field of optimization. To solve the proposed problem, a new hybrid algorithm named (GA-HOA) is introduced in this article. Fuzzy logic has also been used to find the most optimal solution among the obtained Pareto solutions. Considering a multi-purpose objective function including reducing losses, improving voltage stability, reliability, as well as operating costs, solving the proposed scenario along with four other scenarios using a new combined algorithm and a number of the proposed optimization algorithms has been evaluated on a distribution network with 70 buses. Also, different scenarios have been implemented on two distribution networks with 33 and 84 buses to reduce active power losses and compared with the outputs obtained from other methods in various articles. The obtained results show the success of the new hybrid algorithm in solving the proposed complex scenario along with providing a new topology for switches, locations, and optimal capacities for DG and DSTATCOM units with lower losses, more stable voltage, more reliability, and suitable operating cost. Also, the obtained results indicate the relative superiority of the proposed hybrid algorithm in finding the optimal solution and proper convergence time compared to other compared methods.

Keywords: Hybrid GA-HOA algorithm, Reconfiguration, D-STATCOM, Distribution network, Reliability, Voltage stability, Distributed generation resources.



This is an open access article under the CC BY-NC-ND/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).



<https://doi.org/10.22108/ISEE.2023.136749.1614>

بازآرایی هم‌زمان با تخصیص بهینه واحدهای D-STATCOM و تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع به‌منظور کاهش تلفات، بهبود قابلیت اطمینان، پایداری ولتاژ و هزینه‌های بهره‌برداری با ترکیب الگوریتم بهینه‌سازی گله‌اسب و ژنتیک

هاجر باقری طولابی^{۱*}، افشین لشکر آرا^۲

۱- استادیار گروه مهندسی برق، واحد خرم آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم آباد، ایران

hbagheritolabil@khoiau.ac.ir

۲- دانشیار گروه مهندسی برق، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

lashkarara@alumni.iust.ac.ir

چکیده: بازآرایی همراه با تخصیص بهینه منابع تولید پراکنده و واحدهای DSTATCOM در شبکه‌های توزیع برق، از اقدامات تأثیرگذار برای بهبود شاخص‌های کیفیت توان در شبکه‌های توزیع است که به‌عنوان یک سناریوی ترکیبی غیرخطی با پیچیدگی بالا در پژوهش‌ها کمتر به آن پرداخته شده است. این مسئله، یک چالش با ماهیت گسسته-پیوسته در حوزه مهندسی برق قدرت است که حل آن نیازمند تکنیک‌های قدرتمند در حوزه بهینه‌سازی است. برای حل مسئله پیشنهادی مذکور، الگوریتم ترکیبی جدیدی به نام (GA-HOA) در این مقاله معرفی شده است. از منطق فازی نیز برای یافتن بهینه‌ترین جواب در میان جواب‌های پارتو به‌دست‌آمده استفاده شده است. با در نظر گرفتن یک تابع هدف چندمنظوره دربرگیرنده شاخص‌های مهم کیفیت توان شامل کاهش تلفات، بهبود پایداری ولتاژ، بهبود قابلیت اطمینان و همچنین هزینه‌های بهره‌برداری حل سناریوی پیشنهادی به همراه چهار سناریوی دیگر با استفاده از الگوریتم ترکیبی جدید و تعدادی از الگوریتم‌های بهینه‌سازی مطرح بر یک شبکه توزیع ۷۰ شینه ارزیابی شده است. همچنین، سناریوهای مختلف بر دو شبکه توزیع ۳۳ و ۸۴ شینه نیز با هدف کاهش تلفات توان اکتیو، پیاده‌سازی و با خروجی‌های حاصل از روش‌های دیگر در مقالات مختلف مقایسه شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده موفقیت الگوریتم ترکیبی جدید در حل سناریوی پیچیده پیشنهادی همراه با ارائه توپولوژی جدیدی برای سوئیچ‌ها، مکان‌ها و ظرفیت‌های بهینه برای منابع تولید پراکنده و واحدهای DSTATCOM همراه با تلفات کمتر، ولتاژ پایدارتر، قابلیت اطمینان بیشتر و هزینه بهره‌برداری مناسب‌تر برای شبکه توزیع آزمون‌شده است. همچنین، نتایج به‌دست‌آمده حاکی از برتری نسبی الگوریتم ترکیبی پیشنهادی در یافتن راه‌حل بهینه، قدرت و زمان همگرایی نسبت به سایر روش‌های مقایسه‌شده است.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ترکیبی GA-HOA، بازآرایی، D-STATCOM، شبکه توزیع، قابلیت اطمینان، پایداری ولتاژ، منابع تولید پراکنده.

۱- مقدمه

است. یک شبکه توزیع دارای دو نوع سوئیچ است: سوئیچ‌های در حالت نرمال باز (NO) و سوئیچ‌های در حالت نرمال بسته (NC). با بستن یک یا برخی از سوئیچ‌های NO و بازکردن همان تعداد سوئیچ NC، ضمن حفظ ساختار شبکه شعاعی، مسیر تغذیه بار را می‌توان با اهداف مختلف تغییر داد. این فرایند به‌عنوان بازآرایی^۱ در شبکه‌های توزیع معروف است [۱] و نخستین بار مرلین و بک [۲] پیشنهاد دادند.

شبکه توزیع واسط بین سیستم انتقال و مصرف‌کنندگان

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۱۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۲۷

نام نویسنده مسئول: هاجر باقری طولابی

نشانی نویسنده مسئول: ایران، خرم آباد، دانشگاه آزاد اسلامی،

واحد خرم آباد، گروه مهندسی برق

توزیع نامتوازن را ارائه می‌دهد. این روش دارای دو مرحله اصلی محاسبه تقاضای توان راکتیو و تخصیص گسسته خازن است. در [۱۳] از الگوریتم جستجوی صاعقه فازی (FLSA^۱) به منظور یافتن مکان و اندازه بهینه DSTSTCOM در شبکه‌های توزیع استفاده شده است. نتایج به دست آمده از اعمال این روش بر شبکه ۳۰ شینه IEEE نشان می‌دهد با استفاده از FLSA، مقادیر پروفیل ولتاژ بهبود یافته، تلفات توان کمتر شده و مشکلات پایداری ولتاژ کاهش یافته است.

در مطالعات مختلف، روش‌های متنوعی برای بازآرایی همراه با تخصیص بهینه خازن‌ها یا همراه با جایابی بهینه واحدهای DG یا واحدهای DSTATCOM پیشنهاد شده است. از الگوریتم IEJAYA^۳ برای حل مسئله بازآرایی هم‌زمان با تخصیص بهینه منابع DG در [۱۴] بهره گرفته شده است. یک مدل محدب برای تخصیص هم‌زمان خازن و بازآرایی فیدرها در [۱۵] پیشنهاد شده است. یک روش مبتنی بر منطق فازی و الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان به منظور حل مسئله بازآرایی هم‌زمان با جایابی بهینه واحدهای فتولتاییک و واحدهای DSTATCOM در مرجع [۱۶] پیشنهاد شده است.

با وجود تحقیقات مذکور و سایر پژوهش‌ها، سناریوی بازآرایی چندمنظوره هم‌زمان با تخصیص واحدهای DSTATCOM و واحدهای DG، با هدف کاهش تلفات، کاهش هزینه‌های بهره‌برداری، بهبود پایداری ولتاژ و افزایش قابلیت اطمینان در پژوهش‌های اندکی شایان توجه قرار گرفته است. مهم‌ترین چالش فنی سناریوی پیشنهادی، شامل قیود بهره‌برداری و ماهیت غیرخطی و گسسته-پیوسته مسئله مدنظر است.

برای پرکردن شکاف موجود، در این پژوهش، یک تکنیک قوی بهینه‌سازی جدید شامل ترکیب دو الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی گله اسب برای نخستین بار پیشنهاد شده است که با بهره‌گیری از ویژگی‌های دو الگوریتم مذکور قابلیت حل مسائل پیچیده غیرخطی را دارد. از دیگر مزیت‌های پژوهش حاضر نسبت به تحقیقات پیشین این است که برای بررسی بهبود شاخص‌های فنی و اقتصادی نیز از یک تابع هدف چندمنظوره با هدف کاهش تلفات، بهبود

روش‌های مختلفی با اهداف مختلف برای بازآرایی شبکه توزیع استفاده شده است. یک روش پایداری سیگنال کوچک برای بازآرایی در شرایط عدم قطعیت در مرجع [۳] مطالعه شده است. به حداقل رساندن اتلاف انرژی، به حداقل رساندن تعداد عملیات سوئیچینگ و همچنین، تقویت شاخص پایداری ولتاژ (VSI^۱) از اهداف اصلی بازآرایی در این مطالعه است. در مراجع [۴] و [۵]، بازآرایی به منظور بهبود قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع، مطالعه شده است. اجرای بازآرایی دینامیکی، با توجه به قیمت برق و بارهای ناپایدار نیز در مرجع [۶] پیشنهاد شده است.

به تازگی استفاده از منابع تولید پراکنده (DG^۲) توسعه یافته است [۷]. در تحقیقات اخیر، سعی شده است محل نصب و ظرفیت بهینه برای این منابع یافته شود [۸]. در مرجع [۹]، روشی به نام ZBLF^۴ برای تخصیص DG در شرایطی که میزان برق تولیدی از پست فرعی مشخص است، ارائه شده است. همچنین، جنبه‌های اقتصادی قرارگیری DG در این پژوهش بررسی شده‌اند. یک الگوریتم تکاملی دیفرانسیل هرج و مرج^۵ در مرجع [۱۰] برای تخصیص بهینه DG پیشنهاد شده است. این روش با استفاده از نقشه‌برداری لجستیک، دنباله آشوبی برای پارامترهای کنترل تولید می‌کند و نتایج حاصل از اجرای آن روی دو سیستم توزیع شعاعی نشان می‌دهد این روش تخصیص DG می‌تواند از نظر بهبود اتلاف توان و به حداقل رساندن هزینه اقتصادی سالانه و همچنین، بهبود افت ولتاژ موفقیت‌آمیز باشد.

با توجه به ماهیت اندوکتیو سیستم‌های توزیع، منابع توان راکتیو برای این شبکه‌ها ضروری است. منابع شناخته شده برای تولید توان راکتیو کندانسورسنکرون، تنظیم‌کننده‌های ولتاژ، سیستم‌های انتقال جریان متناوب توزیع شده انعطاف‌پذیر (D-FACTS^۱) و خازن‌های شنت هستند. گسترش کاربرد خازن‌ها و ادوات D-FACTS همچون جبران‌ساز استاتیکی توزیع یا D-STATCOM^۱ در شبکه‌های توزیع، با در نظر گرفتن نیاز تأمین انرژی برق با کیفیت بالا، امری اجتناب‌ناپذیر است. مکان بهینه این عناصر در شبکه، نقش حیاتی در پارامترهای اساسی نظیر بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات الکتریکی شبکه دارد [۱۱].

مرجع [۱۲] روشی برای تخصیص خازن در شبکه‌های

محدودیت‌های بهره‌برداری نیاز دارد که در ادامه ارائه می‌شوند.

پایداری ولتاژ، افزایش قابلیت اطمینان و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری استفاده شده است.

به‌طور خلاصه نوآوری‌های این مقاله عبارت‌اند از:

۲-۱- مدل‌سازی واحدهای DG

شکل (۱) نصب یک واحد DG را در یک مکان دل‌خواه نشان می‌دهد. واحدهای DG توان حقیقی و توان راکتیو را در محل مصرف یا به شبکه توزیع تزریق می‌کنند و باعث کاهش تلفات و بهبود پروفایل ولتاژ می‌شوند؛ با این حال، گاهی برعکس است و برخی از واحدهای DG توان راکتیو از شبکه جذب می‌کنند. توان حقیقی و راکتیو واحدهای DG با استفاده از معادلات زیر محاسبه می‌شود:

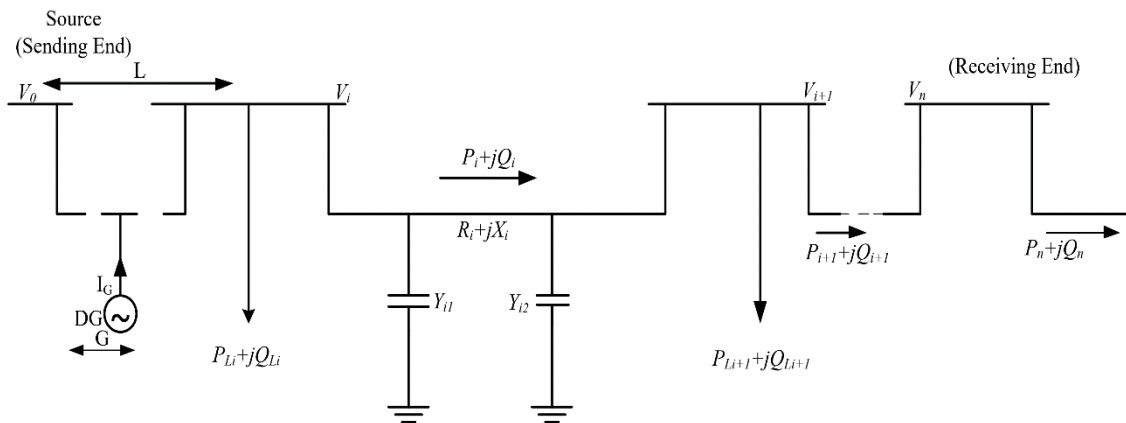
$$P_{DG} = \left[\frac{V_i^2}{R_i} P_{DG,loss} - (P_i^2 + Q_i^2) - (P_{DG}^2 - 2P_i P_{DG} - 2Q_i Q_{DG}) \left(\frac{G}{L} \right)^{1/2} \right]^{1/2} \quad (1)$$

- حل مسئله بازآرایی با در نظر گرفتن منابع تولید پراکنده و واحدهای DSTATCOM با استفاده از روش بهینه‌سازی ترکیبی جدید پیشنهادی GA-HOA و الگوریتم‌های بهینه‌سازی دیگر.

- بهینه‌سازی چندمنظوره فنی و اقتصادی شبکه توزیع با هدف کاهش تلفات، بهبود پایداری ولتاژ، افزایش قابلیت اطمینان (در قالب کاهش شاخص انرژی تأمین‌نشده) و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری.

۲- تنوری و فرمول‌بندی حل مسئله بازآرایی همراه با تخصیص بهینه DSTATCOM و منابع چندگانه تولید پراکنده

حل سناریوی پیشنهادی به مدل‌سازی واحدهای DG و DSTATCOM و همچنین، توابع هدفی مقید به



شکل (۱): سیستم توزیع نمونه با نصب DG.

کیلومتر است.

علامت مثبت توان نشان می‌دهد این توان با واحد DG به شبکه تزریق می‌شود. درمقابل، علامت منفی نشان می‌دهد واحد DG، انرژی را از شبکه جذب می‌کند.

$$Q_{DG} = \left[\frac{V_i^2}{R_i} P_{DG,loss} - (P_i^2 + Q_i^2) - (P_{DG}^2 - 2P_i P_{DG} - 2Q_i Q_{DG}) \left(\frac{G}{L} \right)^{1/2} \right]^{1/2} \quad (2)$$

که در آن P_i : توان اکتیو شین i ام، Q_i : توان راکتیو شین i ام، V_i : ولتاژ شین i ام، G : فاصله بین منبع و محل نصب DG به کیلومتر و L : فاصله بین منبع و شین i به

۲-۲- مدل‌سازی واحدهای DSTATCOM

DSTATCOM یکی از عناصر ادوات فکت در شبکه

$$Q_{i+1} = Q_i - Q_{Li+1} - X_i \left(\frac{P_{i+1}^2 + Q_{i+1}^2}{V_{i+1}^2} \right) \quad (6)$$

$$V_{i+1} = \left[\frac{V_i^2 - 2(P_i R_i + Q_i X_i) + (R_i^2 + X_i^2) \left(\frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \right)}{R_i^2 + X_i^2} \right]^{1/2} \quad (7)$$

$$\delta_{i+1} = \delta_i + \tan^{-1} \left(\frac{Q_i R_i - P_i X_i}{V_i^2 + P_i R_i - Q_i X_i} \right) \quad (8)$$

که در آن δ_i و δ_{i+1} به ترتیب زاویه فاز ولتاژ شین i و $i+1$ هستند.

دامنه و زاویه فاز ولتاژ شین جبران‌سازی شده برای محاسبه ولتاژ شین‌های پایین دست DSTATCOM در عملیات پخش بار استفاده می‌شوند. ولتاژ جدید شین‌ها و توان راکتیو تزریق شده با DSTATCOM نیز برای تعیین جریان‌ها استفاده می‌شوند و این پروسه تا برآورده شدن شرط همگرایی پخش بار تکرار می‌شود. در هر مرحله، اگر توان راکتیو تخمین زده شده برای DSTATCOM بیشتر از ماکزیمم مقدار مشخص شده باشد، این توان بر ماکزیمم مقدار خود به صورت یک مقدار ثابت منفی در مدل بار لحاظ می‌شود و برنامه پخش بار با فرض عدم حضور DSTATCOM ادامه می‌یابد.

۲-۳- مدل‌سازی تابع هدف

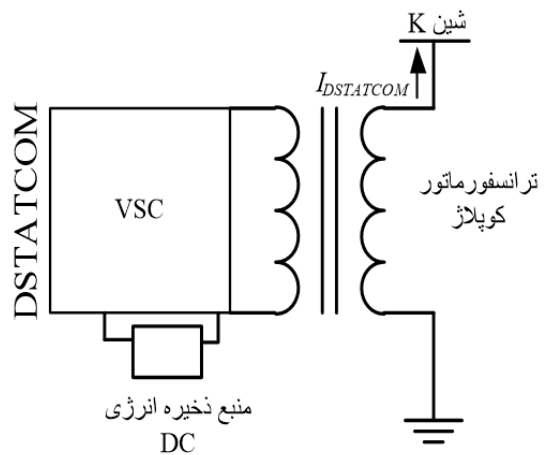
سناریوی پیشنهادی چهار هدف متمایز را برای بهبود کیفیت توان دنبال می‌کند. در ادامه، توابع هدف متناظر با اهداف تعیین شده توصیف و مدل‌سازی شده‌اند.

۲-۳-۱- کاهش تلفات توان اکتیو

تلفات شبکه توزیع مستقیماً با مقاومت اهمی هادی‌های خط و جریان جاری در آنها ارتباط دارد [۱۸]. بر این اساس، بخش اول تابع هدف (f_1) تلفات توان حقیقی را به شرح زیر ارزیابی می‌کند [۱]:

$$f_1 = \sum_{n_f} \sum_{j=1}^{n_s} R_j |I_j|^2 \quad (8)$$

توزیع است که شامل یک ترانسفورماتور کوپلاژ با یک راکتانس نشتی، یک مبدل منبع ولتاژ^{۱۴} GTO/IGBT (VSC) و یک خازن DC است. شکل (۲) یک شین مجهز به DSTATCOM را در یک سیستم توزیع نشان می‌دهد. توان اکتیو و راکتیو DSTATCOM با معادلات زیر محاسبه می‌شوند [۱۶]:



شکل (۲): DSTATCOM متصل به شین k در شبکه

$$P_{DSTATCOM} = (V_k V_M / X_L) \sin \delta \quad (3)$$

$$Q_{DSTATCOM} = (V_k^2 / X_L) - (V_k V_M / X_L) \cos \delta \quad (4)$$

که در آن V_k ولتاژ شین است، V_M ولتاژ DSTATCOM، X_L راکتانس خط و δ زاویه فاز بین V_k و V_M است.

در این مقاله از روش پخش بار ارائه شده در [۱۷] استفاده شده است. برای مدل‌سازی DSTATCOM در معادلات پخش بار، ابتدا دامنه ولتاژ شین جبران‌سازی شده برابر ۱ pu فرض می‌شود و سپس زاویه فاز ولتاژ جبران‌سازی و نیز مقدار توان راکتیو تزریقی از سوی DSTATCOM تعیین می‌شوند [۱۷]. با توجه به شکل (۱) و با صرف نظر از ادمیتانس خازنی خطوط، توان حقیقی، توان راکتیو، دامنه و زاویه فاز شین‌ها از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$P_{i+1} = P_i - P_{Li+1} - R_i \left(\frac{P_{i+1}^2 + Q_{i+1}^2}{V_{i+1}^2} \right) \quad (5)$$

گره i ام به صورت زیر تعیین می شود:

$$ENS_i = P_i \sum_{i,j \in V, i \neq j} (U_{ij} + U'_{ij}) \quad (10)$$

که P_i توان حقیقی گره i ام، $V = \{0, 1, \dots, n-1\}$ مجموعه گره های شبکه، U_{ij} عدم دسترسی به گره j به علت تعمیرات و U'_{ij} نیز در دسترس نبودن خط ij به دلیل خارج کردن آن است که به ترتیب با معادلات (۱۱) و (۱۲) محاسبه می شوند:

$$U_{ij} = d_{ij} \times t_{ij} \quad (11)$$

$$U'_{ij} = \lambda_{ij} \times d_{ij} \times t'_{ij} \quad (12)$$

که d_{ij} طول خط بین گره i و گره j ام بر حسب km، λ_{ij} نرخ خرابی بر حسب fail/km-yr و t_{ij} میانگین زمان تعمیر بر حسب h/fail است.

بنابراین، انرژی تأمین نشده تقریبی ($AENSI$) کل سیستم به عنوان تابع هدف چهارم به صورت زیر محاسبه می شود:

$$f_3 = AENSI = \sum_{i=1}^{N_{Bus}} ENS_i \quad (13)$$

مقدار $AENSI$ محاسبه شده در این پژوهش، انرژی تأمین نشده تقریبی را با توجه به دو سناریوی عدم دسترسی به گره به علت تعمیرات و در دسترس نبودن خط به دلیل خارج کردن آن محاسبه می کند. برای افزایش دقت در پژوهش های آتی، می توان سناریوهای بیشتری را در محاسبه $ENSI$ لحاظ کرد.

۲-۳-۴- هزینه بهره برداری

هدف اصلی در طراحی و توسعه شبکه های توزیع، انتقال توان الکتریکی از پست های توزیع به مشترکین با کمترین هزینه با حفظ قیود بهره برداری شبکه است. هزینه بهره برداری شبکه توزیع با در نظر گرفتن منابع DG و واحدهای $DSTATCOM$ به شرح زیر محاسبه می شود:

که در آن R_j مقاومت اهمی و I_j جریان عبوری از خط j هستند.

کاهش f_1 منجر به کاهش تلفات کل شبکه توزیع می شود. بازآرایی، نصب واحدهای DG و $DSTATCOM$ در مکان ها و ظرفیت بهینه، باعث کاهش تلفات توان در شبکه توزیع می شود [۱۶].

۲-۳-۲- پایداری و لتاژ

بخش دوم تابع هدف منعکس کننده پایداری و لتاژ در شبکه توزیع است. معیارهای مختلفی که نشان دهنده ارتباط بین توان راکتیو سیستم با پایداری و لتاژ است، در مطالعات مختلف تعریف شده است. در این مقاله از معیار زیر استفاده شده است:

$$f_2 = 4[(X_{i,i+1}P_{Li+1} - R_{i,i+1}Q_{Li+1})^2 + (X_{i,i+1}Q_{Li+1} - R_{i,i+1}P_{Li+1})^2] / V_i^4 \quad (9)$$

که در آن،

$R_{i,i+1}$: مقدار مقاومت اهمی بین شین i و شین $i+1$ ،

$X_{i,i+1}$: مقدار راکتانس بین شین i و شین $i+1$ است.

شین بحرانی شبکه که در معرض فروپاشی و لتاژ قرار دارد، شین با مینیمم مقدار f_2 است [۱۹]. بازآرایی منجر به کاهش افت و لتاژ و افزایش معیار پایداری و لتاژ در شبکه توزیع می شود. علاوه بر این، $DSTATCOM$ و واحدهای DG که قادر به تزریق مستقیم یا غیرمستقیم توان حقیقی و راکتیو به سیستم هستند، پایداری و لتاژ شبکه را بهبود می بخشد.

۲-۳-۲- قابلیت اطمینان

به توانایی سیستم های قدرت در حفظ تغذیه بارها قابلیت اطمینان گفته می شود [۱]. یکی از مهم ترین شاخص های قابلیت اطمینان در شبکه توزیع برق، شاخص انرژی تأمین نشده ($ENSI$) است که با استفاده از آن، مقدار انرژی توزیع نشده به علت قطعی برق محاسبه می شود. طبق روش ارائه شده در [۲۰] انرژی تأمین نشده در

(۱۶) برقرار باشد، حل X_1 ، حل X_2 را مغلوب کرده است:

$$\forall \quad i \in \{1, 2, \dots, N_{obj}\}, \quad F_i(X_1) \leq F_i(X_2) \quad (16)$$

$$\exists \quad i \in \{1, 2, \dots, N_{obj}\}, \quad F_j(X_1) \leq F_j(X_2)$$

که N_{obj} تعداد توابع هدف مسئله است.

۳-۱- تصمیم‌گیری فازی

پس از یافتن دسته جواب بهینه پارتو، با استفاده از منطق

فازی به‌صورت معادله (۱۷) برای یافتن بهترین جواب

ممکن از میان جواب‌های بهینه به‌دست‌آمده استفاده

می‌شود.

$$N_{\mu_{ij}} = \frac{\sum_{k=1}^{N_{obj}} \beta_k \times \mu_{jk}}{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n \beta_k \times \mu_{jk}} \quad (17)$$

که β_k بردار وزن برای k امین تابع هدف و m تعداد جواب‌های نامطلوب است. بردار β_k براساس اهمیت توابع هدف مختلف تعیین می‌شود که در اینجا با در نظر گرفتن اهمیت یکسان برای توابع هدف، مقدار β برای تمامی اهداف برابر 0.25 در نظر گرفته شده است. جواب با بیشترین مقدار N_{μ} ، بهترین جواب به‌دست‌آمده با الگوریتم است.

۴- الگوریتم بهینه‌سازی اسب^{۱۷}

این الگوریتم براساس الگوهای رفتاری اسب‌ها در محیط زندگی آنها است. عموماً شامل الگوهای رفتاری اسب یعنی چراکردن، سلسله‌مراتب، معاشرت‌پذیری، تقلید، مکانیزم دفاعی و تکاپو در سنین مختلف می‌شود. حرکت اسب‌ها در هر تکرار مطابق معادله زیر در نظر گرفته شده است:

$$X_m^{Iter, AGE} = \vec{V}_m^{\rightarrow Iter, AGE} + X_m^{(Iter-1), AGE}, \quad (18)$$

$$AGE = \alpha, \beta, \gamma, \delta$$

که در آن $X_m^{Iter, AGE}$ موقعیت اسب m ام را نشان می‌دهد، AGE دامنه سنی اسب در نظر گرفته شده را نشان می‌دهد، $Iter$ به معنای شماره تکرار است و $\vec{V}_m^{Iter, AGE}$

$$f_4 = \sum_{i=1}^{N_{DG}} C_{DG_i} \times Price_{DG, i} + \sum_{j=1}^{N_{DST}} C_{DST_j} \times Price_{DST_j} + \sum_{k=1}^{N_{SW}} C_{SW_k} Price_{SW, k} \times |S_k - S_{k0}| + \sum_{l=1}^{N_{SUB}} C_{SUB_l} \times Price_{SUB} \quad (14)$$

که در آن $Price_{DG}$ هزینه منابع DG ، $Price_{DST}$ هزینه واحدهای $DSTATCOM$ ، $Price_{SW}$ هزینه هر جفت کلیدزنی در شبکه و $Price_{SUB}$ هزینه بهره‌برداری پست‌های توزیع است. C_{DST} ، C_{SW} ، C_{SUB} ، C_{DG} به ترتیب ضرایب هزینه بهره‌برداری مربوط به واحدهای منابع تولید پراکنده، پست‌های توزیع، کلیدزنی و واحدهای $DSTATCOM$ است. S_k و S_{k0} به ترتیب وضعیت اولیه و جدید کلید k ام شبکه است. N_{SUB} تعداد پست‌های توزیع، N_{SW} تعداد کلیدزنی‌های شبکه، N_{DST} تعداد واحدهای $DSTATCOM$ و N_{DG} تعداد منابع DG در شبکه‌اند. (هزینه‌ها با در نظر گرفتن کل هزینه بهره‌برداری بدون اعمال هیچ سناریویی به‌عنوان مبنا، به‌صورت پریونیت محاسبه خواهند شد).

با توجه به توضیحات فوق، تابع هدف کلی زیر برای ارزیابی شاخص‌های کیفیت توان با توجه به راه‌حل‌های به‌دست‌آمده تعریف شده است:

$$F = \min 1 / [|(f_{1b} - f_1) / f_{1b}| + |(f_2 - f_{2b}) / f_{2b}| + |(f_{3b} / (f_{3b} - f_3))| + |(f_4 - f_{4b}) / f_{4b}|] \quad (15)$$

که در آن f_{1b} ، f_{2b} ، f_{3b} و f_{4b} به ترتیب مقادیر مبنا برای توابع هدف f_1 ، f_2 ، f_3 و f_4 در نظر گرفته شده‌اند.

۳- راه‌حل بهینه پارتو

استفاده از روش حل بهینه پارتو، یکی از روش‌های مناسب برای رسیدن به چندین جواب بهینه به جای یک جواب بهینه در مسائل بهینه‌سازی چندهدفه است. در این روش، اساس کار بدین صورت است که اگر شرایط

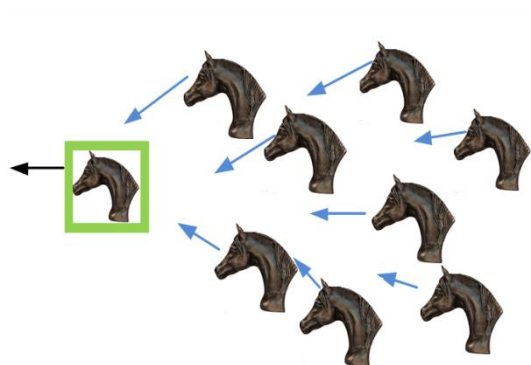
$$\vec{G}_m^{Iter,AGE} = g_{Iter} \left(u + \rho l \right) \left[X_m^{(Iter-1)} \right] \quad (20)$$

$$g_m^{Iter,AGE} = g_m^{(Iter-1),AGE} \times \omega_g \quad (21)$$

در معادله بالا $\vec{G}_m^{Iter,AGE}$ گرایش اسب مدنظر را برای چرا نشان می‌دهد. این عامل باعث کاهش شنوایی با تکرار ω_g می‌شود. ρl و u به ترتیب مرزهای پایینی و بالایی فضای چرا هستند و ρ یک عدد تصادفی بین ۰ و ۱ است.

۴-۲- سلسله مراتب^{۱۹}

در زندگی اسب‌ها، یک نریان یا مادبان بزرگسال مسئولیت رهبری در گله‌های اسب‌های وحشی را دارد که در قانون سلسله مراتب اتفاق می‌افتد. در این حالت، ضریب h در HOA میزان تمایل یک گله اسب به دنبال باتجربه‌ترین و قوی‌ترین اسب در نظر گرفته می‌شود (شکل ۳).



شکل (۳): شبیه‌سازی سلسله مراتب در اسب‌ها

مطالعات نشان داده است اسب‌ها از قانون سلسله مراتب در سن‌های میانی β و γ (در سنین ۵-۱۵ سال) پیروی می‌کنند که می‌توان آن را به صورت معادلات زیر تعریف کرد:

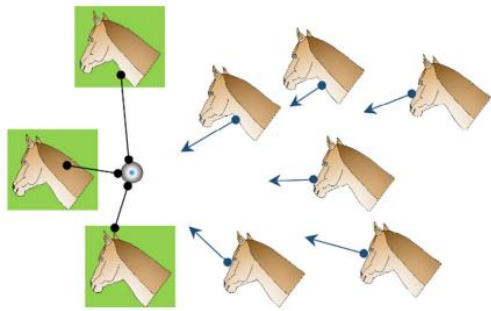
بردار سرعت اسب m را نشان می‌دهد. اسب‌ها در سنین مختلف رفتارهای مختلفی از خود نشان می‌دهند. در این رابطه، δ نشان‌دهنده اسب‌های در محدوده سنی ۰-۵ سال، γ شامل اسب‌هایی در محدوده سنی ۵-۱۰ سال و β اسب‌های محدوده ۱۰-۱۵ سال و α اسب‌های بالای ۱۵ سال را نشان می‌دهد. برای انتخاب سن اسب‌ها یک ماتریس جامع^{۱۸} از واکنش‌ها باید در هر تکرار انجام شود. در این رابطه، ماتریس را می‌توان براساس بهترین پاسخ‌ها مرتب کرد و در نتیجه، ۱۰ درصد اول اسب‌ها از بالای ماتریس طبقه‌بندی شده به عنوان اسب‌های α انتخاب می‌شوند. ۲۰ درصد بعدی در گروه β قرار دارند. اسب‌های γ ۳۰ درصد و اسب‌های δ ۴۰ درصد باقی‌مانده را تشکیل می‌دهند. مراحل شبیه‌سازی شش‌گانه رفتار اسب‌ها برای تشخیص بردار سرعت در سنین مختلف در طول هر چرخه الگوریتم به صورت ریاضی با معادله زیر پیاده‌سازی می‌شود:

$$\begin{aligned} \vec{V}_m^{Iter,\alpha} &= \vec{G}_m^{Iter,\alpha} + \vec{D}_m^{Iter,\alpha} \\ \vec{V}_m^{Iter,\beta} &= \vec{G}_m^{Iter,\beta} + \vec{H}_m^{Iter,\beta} + \vec{S}_m^{Iter,\beta} + \vec{D}_m^{Iter,\beta} \\ \vec{V}_m^{Iter,\gamma} &= \vec{G}_m^{Iter,\gamma} + \vec{H}_m^{Iter,\gamma} + \vec{S}_m^{Iter,\gamma} + \vec{I}_m^{Iter,\gamma} + \vec{D}_m^{Iter,\gamma} + \vec{R}_m^{Iter,\gamma} \\ \vec{V}_m^{Iter,\delta} &= \vec{G}_m^{Iter,\delta} + \vec{I}_m^{Iter,\delta} + \vec{R}_m^{Iter,\delta} \end{aligned} \quad (19)$$

مراحل اصلی هوش فردی و گروهی الگوریتم بهینه‌سازی گله اسب در زیر ارائه شده است.

۴-۱- چرا

اسب‌ها جزو حیوانات چرایی هستند که در هر سنی از گیاهان، علوفه‌های علف‌ها و غیره تغذیه می‌کنند. الگوریتم HOA منطقه چرا را در اطراف هر اسب با ضریب g مدل‌سازی می‌کند. انجام محاسبات ریاضی چرا مطابق معادلات زیر است:



شکل (۴): شبیه‌سازی جامعه‌پذیری اسب‌ها

۴-۴-۱- تقلید^{۲۱}

اسب‌ها عادات خوب و بد یکدیگر را پیدا و از هم تقلید می‌کنند. رفتار تقلیدی اسب‌ها عامل i در نظر گرفته شده است و به‌صورت معادلات زیر بیان می‌شود:

$$\vec{I}_m^{Iter,AGE} = \dot{i}_m^{Iter,AGE} \times \left[\left(\frac{1}{pN} \sum_{j=1}^{pN} \hat{X}_j^{(Iter-1)} \right) \right], \quad (26)$$

$$AGE = \gamma$$

$$\dot{i}_m^{Iter,AGE} = \dot{i}_m^{(Iter-1),AGE} \times \omega_i \quad (27)$$

در معادلات بالا $\dot{i}_m^{Iter,AGE}$ بردار حرکتی اسب i به سمت میانگین بهترین اسب‌ها با مکان‌های \hat{X} است. pN تعداد اسب‌های با بهترین مکان را نشان می‌دهد.

۴-۵-۰ مکانیزم دفاعی^{۲۲}

اسب‌ها برای غذا و آب می‌جنگند تا رقبا را حذف کنند و از محیط‌های پرخطر، جایی که دشمنانی مانند گرگ‌ها وجود دارند، دوری می‌کنند. سیستم دفاعی اسب‌ها در الگوریتم HOA با فاکتور d به‌صورت یک ضریب منفی در معادلات زیر ارائه می‌شود تا اسب را از موقعیت‌های نامناسب دور نگه دارد:

$$\vec{H}_m \xrightarrow{Iter,AGE} = h_m^{Iter,AGE} \times \left[X_*^{(Iter-1)} - X_m^{(Iter-1)} \right], \quad (22)$$

$$AGE = \alpha, \beta \text{ and } \gamma$$

$$h_m^{Iter,AGE} = h_m^{(Iter-1),AGE} \times \omega_h \quad (23)$$

$\vec{H}_m \xrightarrow{Iter,AGE}$ تأثیرات بهترین مکان اسب را بر پارامتر سرعت و محل بهترین اسب را نشان می‌دهد.

۴-۳-۰ جامعه‌پذیری^{۲۰}

اسب‌ها به زندگی اجتماعی احتیاج دارند؛ زیرا زندگی گله‌ای امنیت اسب‌ها را تضمین می‌کند. کثرت‌گرایی احتمال بقا را افزایش می‌دهد و امکان فرار را آسان می‌سازد. این رفتار به‌عنوان حرکتی به سمت موقعیت متوسط اسب‌های دیگر در نظر گرفته و توسط عامل s مطابق شکل (۴) نشان داده می‌شود. علاقه‌مندی اسب‌ها به گله در سنین ۵-۱۵ سالگی به‌صورت معادلات زیر بیان می‌شود:

$$\vec{S}_m \xrightarrow{Iter,AGE} = s_m^{Iter,AGE} \times \left[\left(\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_j^{(Iter-1)} \right) - X_j^{(Iter-1)} \right], \quad (24)$$

$$AGE = \beta, \gamma$$

$$s_m^{Iter,AGE} = s_m^{(Iter-1),AGE} \times \omega_s \quad (25)$$

در معادله (۲۴)، $\vec{S}_m^{Iter,AGE}$ بردار حرکت اجتماعی اسب m و $s_m^{Iter,AGE}$ جهت‌گیری اسب مدنظر را به سمت گله در تکرار مشخص نشان می‌دهد. $\vec{S}_m^{Iter,AGE}$ در هر چرخه با عامل ω_s کاهش می‌یابد. N تعداد کل اسب‌ها و AGE محدوده سنی هر اسب است.

A. ساختار اولیه: معرفی متغیرهای موجود و پارامترهای دیگر.
 B. مقداردهی اولیه: توزیع تصادفی یکنواخت اسب‌ها در فضای جستجو.
 C. بررسی سازگاری: بررسی هزینه هر اسب بر اساس مکان و تابع هدف.
 D. تعیین سن: محاسبه سن اسب‌های $\alpha, \beta, \gamma, \delta$.
 E. اعمال سرعت: اعمال سرعت هر اسب بر اساس سن.
 F. تعیین موقعیت‌های جدید: به روزرسانی موقعیت اسب در فضای جستجو.
 G. تکرار: بازگشت به مرحله C تا رسیدن به شاخص توقف الگوریتم.

شکل (۵): گام‌های حل با الگوریتم بهینه‌سازی اسب

۵- الگوریتم ژنتیک^{۲۴} (GA)

در الگوریتم ژنتیک، جمعیت شامل n کروموزوم است که تعداد راه‌حل‌ها را نشان می‌دهد. هر کروموزوم یک بردار m بعدی است که m تعداد پارامترهای بهینه شده است.

مرحله ۱ (مقداردهی اولیه): شمارنده زمان $t = 0$ را تنظیم می‌کند و به‌طور تصادفی n کروموزوم تولید می‌شود $[X_j(0), j = 1, \dots, n]$.

مرحله ۲ (برازندگی^{۲۵}): ارزیابی هر کروموزوم در جمعیت اولیه با استفاده از تابع هدف F ، جستجو برای یافتن بهترین مقدار تابع هدف F_{best} و در نظر گرفتن کروموزوم مربوط به آن

به‌عنوان بهترین سراسری^{۲۶}.

مرحله ۳ (به‌روزرسانی زمان): به‌روزرشدن شمارشگر $t = t + 1$.

مرحله ۴ (تولید جمعیت جدید): با تکرار مراحل زیر جمعیت جدیدی ایجاد می‌شود

تا زمانی که جمعیت جدید تکمیل و بهینه شود:

- انتخاب^{۲۷}: با توجه به میزان برازندگی آنها دو کروموزوم والد از یک جمعیت انتخاب می‌شوند

- تقاطع^{۲۸}: با یک احتمال تقاطع، والدین به هم برخورد می‌کنند تا یک فرزند جدید ایجاد شود.

- جهش^{۲۹}: با یک روش جهش احتمالی، فرزند جدید در هر کروموزوم جهش پیدا می‌کند.

- پذیرش^{۳۰}: فرزند جدید در جمعیت جدید قرار می‌گیرد.

مرحله ۵ (جایگزینی^{۳۱}): از جمعیت جدید ایجادشده برای اجرای مراحل الگوریتم استفاده می‌شود.

$$\vec{D}_m^{Iter, AGE} = -d_m^{Iter, AGE} \times \left[\left(\frac{1}{qN} \sum_{j=1}^{pN} \vec{X}_j^{(Iter-1)} \right) - \vec{X}^{(Iter-1)} \right], \quad (28)$$

$AGE = \alpha, \beta \text{ and } \gamma$

$$d_m^{Iter, AGE} = d_m^{(Iter-1), AGE} \times \omega_d \quad (29)$$

در فرمول‌های بالا، بردار فرار اسب $\vec{D}_m^{Iter, AGE}$ را از میانگین اسب‌های با بدترین موقعیت نشان می‌دهد که با بردار $\vec{X}^{(Iter-1)}$ نشان داده شده است. همچنین، qN تعداد اسب‌های با بدترین موقعیت است.

۴-۶- تکاپو^{۳۳}

اسب‌ها در جستجوی غذا در طبیعت از مرتعی به مرتع دیگر پرسه می‌زنند. ممکن است یک اسب به‌طور ناگهانی برای چرا به مکان دیگری برود. اسب‌ها بسیار کنجکاوند و برای کشف مراتع جدید به همه‌جا سر می‌زنند. این رفتار به‌صورت یک حرکت تصادفی با معادلات زیر توصیف و با عامل r نشان داده می‌شود:

$$\vec{R}_m^{Iter, AGE} = r_m^{Iter, AGE} P \vec{X}^{(Iter-1)}, \quad (30)$$

$AGE = \gamma, \delta$

$$r_m^{Iter, AGE} = r_m^{(Iter-1), AGE} \times \omega_r \quad (31)$$

که $\vec{R}_m^{Iter, AGE}$ بردار سرعت تصادفی اسب i را برای جستجوی محلی و فرار از مینیمم‌های محلی نشان می‌دهد و ω_r ضریب کاهش در هر چرخه است.

بردار سرعت کلی با جایگزینی معادلات (۲۰) تا (۳۱) در معادله (۱۹) برای هر طیف سنی به دست می‌آید.

مراحل حل گام به گام با الگوریتم HOA در شکل (۵) ارائه شده است.

مرحله ۳) شرط توقف را بررسی کن، اگر ارضا شده، به مرحله ۷ برو.

مرحله ۴) پاسخ‌های ذخیره‌شده را با به‌روزرسانی سرعت و موقعیت اسب‌ها توسط HOA به‌روزرسانی، رتبه‌بندی و ذخیره کن و سپس به‌عنوان جمعیت راه‌حل وارد GA کن. مرحله ۵) اعمال اپراتورهای انتخاب، تقاطع و جهش و به‌روزرسانی و رتبه‌بندی جواب‌ها با GA.

مرحله ۶) پاسخ‌های رتبه‌بندی‌شده دو مرحله ۴ و ۵ را با هم مقایسه کن و بهترین راه‌حل‌ها را انتخاب و ذخیره کن و به مرحله ۲ برو.

مرحله ۷) معرفی جواب‌های ایدئال و خاتمه الگوریتم.

مرحله ۶: اگر یکی از معیارهای توقف برآورده شد، الگوریتم متوقف شود، در غیر این صورت الگوریتم به مرحله ۲ می‌رود.

۶- حل سناریوی پیشنهادی با الگوریتم ترکیبی GA-HOA

روش حل سناریوی بازآرایی هم‌زمان با تخصیص بهینه واحدهای DSTATCOM و DG با الگوریتم ترکیبی پیشنهادی از پروسه زیر تبعیت می‌کند که در شکل (۶) نیز به صورت یک فلوجارت ارائه شده است:

۷- شبیه‌سازی، نتایج و بحث

بر اساس روش پیشنهادی، برنامه‌ای در نرم‌افزار متلب نوشته شده است. به منظور ارزیابی عملکرد رویکرد پیشنهادی، این برنامه بر سه سیستم آزمایشی در بار نامی اعمال شده است. در این مقاله، پنج سناریوی مختلف برای تحلیل اثربخشی رویکرد پیشنهادی در نظر گرفته شده است:

سناریوی I: شبکه پایه

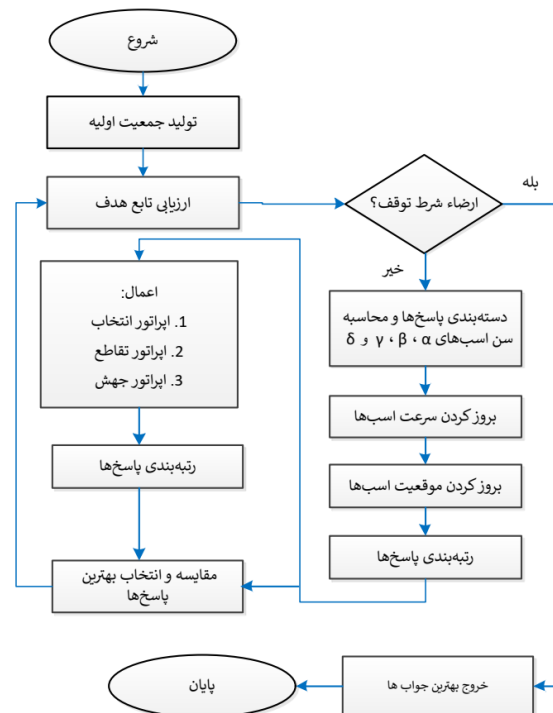
سناریوی II: شبکه پایه فقط با بازآرایی بهینه.

سناریوی III: شبکه پایه با بازآرایی و تخصیص بهینه منابع تولید پراکنده PV و WT.

سناریوی IV: سیستم پایه با بازآرایی و تخصیص بهینه واحدهای DSTATCOM.

سناریوی V: سیستم پایه با بازآرایی و تخصیص بهینه منابع تولید پراکنده و واحدهای و STATCOM هم‌زمان.

از آنجایی که مشابه اعمال سناریوی V با چهار هدف کاهش تلفات، بهبود پایداری ولتاژ، بهبود قابلیت اطمینان و همچنین هزینه‌های بهره‌برداری، در پژوهش‌ها یافت نشد، برای برخورداری از یک معیار مقایسه‌ای با روش‌های دیگر، این سناریو و سایر سناریوها با چهار هدف ذکر شده با روش ترکیبی پیشنهادی و الگوریتم‌های GA، PSO، AC، BA، HOA و GA-PSO بر شبکه آزمون ۷۰ شینه، اعمال و نتایج آن در بخش ۷-۲ ارائه شدند. به علاوه، با توجه به اینکه نتایج اعمال سناریوهای مختلف صرفاً با در نظر گرفتن



شکل (۶): فلوجارت الگوریتم بهینه‌سازی ترکیبی اسب و ژنتیک

مرحله ۱) کاندیداهای (شین‌های) اولیه برای محل نصب DSTATCOM، شماره تای سوئیچ‌ها، شین‌های نصب واحدهای DG و ظرفیت اولیه برای واحدهای DSTATCOM و DG را به‌طور تصادفی تعیین و ذخیره کن. مرحله ۲) میزان برانزنگی تابع هدف را ارزیابی کن.

پیشنهادی، در مقایسه با سایر روش‌های ارائه‌شده در پژوهش‌ها برنامه مدنظر بر یک سیستم نمونه واقعی ۸۴ شینه (شبکه توزیع TPC^{۳۳} تایوان) آزمایش شده است. این شبکه، یک سیستم ۱۱,۴ کیلو ولت، ۸۳ سکشنلایزر و ۱۳ تای سوئیچ است. مقدار کل بار اکتیو پایه برابر ۲۸,۳۵ کیلووات و مقدار کل بار راکتیو پایه نیز معادل ۲۰,۷ کیلووار است. اطلاعات ساختار الکتریکی این سیستم شامل مقاومت، راکتانس، توان اکتیو و راکتیو هر سکشن در [۱۶] ارائه شده است.

در جدول (۱) پارامترهای انتخاب‌شده برای الگوریتم‌ها ارائه شده‌اند. در این پژوهش پارامترهای الگوریتم‌ها با استفاده از آزمون و خطا طراحی شده‌اند. همچنین، راه‌حل‌های اولیه برای موقعیت اولیه DGها و DSTATCOMها و شماره تای سوئیچ‌ها با استفاده از یک سری اعداد صحیح تصادفی در یک بازه از پیش تعیین شده در نظر گرفته شده‌اند؛ در حالی که راه‌حل‌های اولیه برای ظرفیت DGها و واحدهای DSTATCOM با کمک یک توزیع پیوسته با توجه به محدودیت‌های تعیین‌شده در نظر گرفته شده‌اند.

شاخص تلفات، بر دو شبکه آزمون ۳۳ و ۸۴ شینه در منابع مختلف وجود دارد، برای تکمیل فرآیند مقایسه، سناریوهای مختلف با هدف کاهش تلفات بر این دو شبکه آزمون پیاده‌سازی شده‌اند و نتایج به‌دست‌آمده در بخش‌های ۷-۳ و ۷-۴ با نتایج پژوهش‌های مختلف مقایسه شده‌اند.

۷-۱- مشخصات شبکه آزمون و پارامترهای الگوریتم

اولین شبکه، یک شبکه ۷۰ شینه و ۷۹ خط است که به دو پست توزیع تغذیه می‌شود [۱۹]. سطح ولتاژ شبکه، ۱۱ کیلوولت است و خطوط ۶۹ تا ۷۹ آن در حالت عادی در وضعیت باز قرار دارند. سایر مشخصات مربوط به بارها، امپدانس خطوط و ... در [۱۹] ارائه شده‌اند.

دومین شبکه، یک شبکه ۳۳ شینه با سطح ولتاژ شبکه، ۱۲,۶۶ کیلوولت است و خطوط ۳۳ تا ۳۷ آن در حالت عادی در وضعیت باز قرار دارند. مقدار کل بار اکتیو پایه برابر ۳,۷ کیلووات و مقدار کل بار راکتیو پایه نیز معادل ۲,۳ کیلووار است. سایر مشخصات مربوط به بارها، امپدانس خطوط و ... در [۲۱] ارائه شده‌اند.

همچنین، به منظور بررسی اثربخشی روش GA-HOA

جدول (۱): پارامترهای انتخاب‌شده برای الگوریتم‌ها

GA	$n = 50$, نرخ جهش = $0/8$, نرخ تقاطع = $0/8$
ACO	$\alpha = 0/9$, $\beta = 0/6$, $\rho = 0/07$, $m = 45$
PSO	$n = 50$, $\omega_{min} = 0/4$, $\omega_{max} = 0/9$, $c_1 = 2$, $c_2 = 2$
BA	$n = 50$, $m = 8$, $e = 2$, $nep = 26$, $nsp = 6$, $ngh = 5$
HOA	$n = 50$, $h_{\beta} = 0/9$, $h_{\gamma} = 0/5$, $s_{\beta} = 0/2$, $s_{\gamma} = 0/1$, $i_{\gamma} = 0/3$, $d_{\alpha} = 0/5$, $d_{\beta} = 0/2$, $d_{\gamma} = 0/1$, $r_{\gamma} = 0/1$, $r_{\delta} = 0/05$

سناریوهای مختلف سناریو بر شبکه تست ۷۰ شینه پرداخته می‌شود.

سناریو I: در این سناریو سیستم آزمون بدون بازآرایی و

۷-۲- نتایج اعمال سناریوهای مختلف بر شبکه ۷۰ شینه با اهداف چهارگانه

در این بخش به تحلیل نتایج به‌دست‌آمده از اعمال

واحدهای DG و DSTATCOM تجزیه و تحلیل شد. نتایج در جدول (۲) ارائه شده‌اند. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود کل تلفات توان اکتیو برابر $227/3673$ کیلو وات محاسبه شده است. مقدار شاخص پایداری ولتاژ (VSI) برابر با $0,66$ pu، مقدار شاخص انرژی تأمین‌نشده تقریبی برابر 13663 kwh/year و هزینه‌های بهره‌برداری معادل 1 pu محاسبه شد (برای داشتن یک ارزیابی مشخص، هزینه بهره‌برداری شبکه تست پایه، مقدار مبنا در نظر گرفته می‌شود و هزینه سناریوهای مختلف به صورت پریونیت با تقسیم بر هزینه سناریوی پایه محاسبه و ارائه می‌شود).

سناریو II: در این حالت، سیستم آزمون با بازآرایی همراه با تخصیص بهینه واحدهای DSTATCOM تجزیه و تحلیل شد. نتایج این حالت برای سیستم 70 شینه در جدول (۲) ارائه شده‌اند. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود بازکردن یازده خط $0,75, 0,76, 0,77, 0,79, 0,81, 0,83, 0,84, 0,85, 0,86, 0,87, 0,88, 0,89, 0,90, 0,91, 0,92, 0,93, 0,94, 0,95, 0,96, 0,97, 0,98, 0,99, 1,00$ برای بازآرایی بهینه توسط GA-HOA پیشنهاد شده است. نصب یک واحد DSTATCOM در شین 29 با ظرفیت بهینه $0,151$ مگاوات آمپر پیشنهاد شده است. تلفات کل پس از تخصیص بهینه DSTATCOM به $202,094$ kW کاهش یافته است. شاخص پایداری ولتاژ VSI از $0,66$ به $0,85$ pu بهبود یافته، مقدار شاخص مقدار شاخص انرژی تأمین‌نشده تقریبی به 4372 kwh/year تقلیل یافته است و هزینه‌های بهره‌برداری نیز معادل 1.264 pu محاسبه شده‌اند. در این سناریو، شاخص‌های تلفات، پایداری ولتاژ و قابلیت اطمینان بهبود بیشتری نسبت به دو سناریوی I و II نشان می‌دهد؛ اما نسبت به سناریوی III بهبودها کمتر است. با توجه به اینکه شاخص هزینه سناریوی III مقدار بالاتری را نشان می‌دهد، می‌توان نتیجه گرفت حضور منابع تولید پراکنده چندگانه تأثیر بیشتری در بهبود شاخص‌های فنی شبکه نسبت به حضور DSTATCOM دارد؛ اگرچه هزینه بیشتری را نیز تحمیل می‌کند.

سناریو V: در این حالت، سیستم آزمون با بازآرایی و تخصیص بهینه هر دو واحدهای DG و DSTATCOM بررسی شده است. نتایج این سناریو برای سیستم 70 شینه در جدول (۲) ارائه شده‌اند. همان‌طور که در این جدول

مشاهده می‌شود کل تلفات توان اکتیو برابر $227/3673$ کیلو وات محاسبه شده است. مقدار شاخص پایداری ولتاژ (VSI) برابر با $0,66$ pu، مقدار شاخص انرژی تأمین‌نشده تقریبی برابر 13663 kwh/year و هزینه‌های بهره‌برداری معادل 1 pu محاسبه شد (برای داشتن یک ارزیابی مشخص، هزینه بهره‌برداری شبکه تست پایه، مقدار مبنا در نظر گرفته می‌شود و هزینه سناریوهای مختلف به صورت پریونیت با تقسیم بر هزینه سناریوی پایه محاسبه و ارائه می‌شود).

سناریو III: در این حالت، سیستم آزمون 70 شینه تنها با بازآرایی بهینه تجزیه و تحلیل شد. نتایج این سناریو برای سیستم 70 شینه در جدول (۲) ارائه شده‌اند. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود بازکردن یازده خط $0,75, 0,76, 0,77, 0,79, 0,81, 0,83, 0,84, 0,85, 0,86, 0,87, 0,88, 0,89, 0,90, 0,91, 0,92, 0,93, 0,94, 0,95, 0,96, 0,97, 0,98, 0,99, 1,00$ برای بازآرایی بهینه توسط GA-HOA پیشنهاد شده است. نتایج بررسی شاخص‌ها در نتیجه اعمال این سناریو با روش GA-HOA به منظور بازآرایی چند هدفه نشان می‌دهد میزان تلفات توان اکتیو به $205,01$ کیلو وات کاهش یافته، شاخص VSI به $0,69$ pu افزایش یافته، مقدار شاخص انرژی تأمین‌نشده به 12703 kwh/year تقلیل یافته و هزینه‌های بهره‌برداری نیز معادل $0,957$ pu محاسبه شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود با بازآرایی، همه شاخص‌ها نسبت به حالت پایه بهبود یافته‌اند.

سناریو III: در این حالت، سیستم آزمون با بازآرایی همراه با تخصیص بهینه واحدهای DG تجزیه و تحلیل شد. نتایج این سناریو نیز در جدول (۲) ارائه شده‌اند. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود بازکردن یازده خط $0,75, 0,76, 0,77, 0,79, 0,81, 0,83, 0,84, 0,85, 0,86, 0,87, 0,88, 0,89, 0,90, 0,91, 0,92, 0,93, 0,94, 0,95, 0,96, 0,97, 0,98, 0,99, 1,00$ برای بازآرایی بهینه توسط GA-HOA پیشنهاد شده است. به منظور نشان دادن اثر منابع DG در کاهش تلفات شبکه، در این حالت 3 واحد تولید پراکنده با ظرفیت 700 kW، 700 kW و 600 kW به ترتیب به شین‌های $9, 15$ و 22 اختصاص می‌یابد. تلفات کل پس از تخصیص بهینه واحدهای DG به

در شکل (۷) نتایج شاخص‌های گوناگون به‌ازای پیاده‌سازی سناریوی V برای الگوریتم‌های مختلف برای شبکه تست ۷۰ شینه ارائه شده‌اند. همان‌طور که از این شکل و جدول (۳) مشاهده می‌شود اعمال سناریوی بازآرایی همراه با تخصیص بهینه منابع تولید پراکنده و DSTATCOM با الگوریتم ترکیبی پیشنهادی GA-HOA بر شبکه ۷۰ شینه توانسته است بیشترین بهبودها را در زمینه کاهش تلفات، افزایش پایداری ولتاژ، بهبود قابلیت اطمینان و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری نسبت به سایر روش‌ها و سناریوها ارائه دهد.

در شکل (۸) رفتار همگرایی روش‌های مختلف به‌ازای پیاده‌سازی سناریوی V با هم مقایسه شده‌اند. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود الگوریتم ترکیبی جدید در مقایسه با سایر الگوریتم‌های متداول، در حل مسئله مذکور، از برازندگی نهایی و رفتار همگرایی مناسب‌تری برخوردار است. سرعت و دقت بالا در یافتن راه‌حل بهینه تابع هدف، رفتار همگرایی مناسب الگوریتم پیشنهادی جدید را در حل مسئله بازآرایی هم‌زمان با تخصیص بهینه DSTATCOM و منابع تولید پراکنده تأیید می‌کند.

۷-۳- حل تک‌هدفه مسئله بازآرایی بر شبکه تست ۷۰ شینه با در نظر گرفتن شاخص کاهش تلفات

در این قسمت، نتیجه حل تک‌هدفه مسئله بازآرایی با در نظر گرفتن صرفاً شاخص کاهش تلفات بر شبکه تست ۷۰ شینه ارائه می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد با اعمال بازآرایی به‌منظور صرفاً کاهش تلفات، بازکردن یازده خط ۵۱، ۷۰، ۷۱، ۶۶، ۳۰، ۴۵، ۳۸، ۷۶، ۷۷، ۷۸ و ۷۹ برای بازآرایی بهینه توسط GA-HOA پیشنهاد شده و مقدار تلفات به ۲۰۲٫۵ کیلووات کاهش یافته است. این در حالی است که نتایج ارائه‌شده در [۱۸] نشان می‌دهد روش SAPSO-MSFLA^{۳۳} با بازکردن خطوط ۴۹، ۵۰، ۵۱، ۶۵، ۶۷، ۴۸، ۴۳، ۷۶، ۷۷، ۷۸ و ۷۹ منجر به تلفات ۲۰۵٫۱ کیلوواتی، روش GA، با بازکردن خطوط ۵۱، ۷۰، ۷۱، ۶۶،

مشاهده می‌شود بازکردن یازده خط ۷۹، ۱۳، ۷۷، ۷۶، ۷۵، ۶۱، ۳۰، ۶۶، ۴۷، ۳۸، ۵۰ برای بازآرایی بهینه توسط GA-HOA پیشنهاد شده است. یک واحد DSTATCOM در شین ۲۹ با اندازه بهینه ۰٫۱۹۰ مگاوات آمپر نصب می‌شود. ۳ واحد تولید پراکنده با ظرفیت ۶۵۰Kw، ۷۲۰kW و ۴۸۰kW به ترتیب به شین‌های ۲۲، ۱۵، ۹ اختصاص یافته است. تلفات کل در این حالت به ۹۷٫۵۷ kW کاهش یافته است. شاخص VSI از ۰٫۶۶ به ۰٫۹۶ p.u. بهبود یافته، مقدار شاخص انرژی تأمین نشده تقریبی به ۲۲۴۱ kwh/year تقلیل یافته و هزینه‌های بهره‌برداری نیز برابر ۱٫۸۲ pu محاسبه شده است. بهبودها در همه شاخص‌های فنی نسبت به چهار سناریوی قبل بیشتر است. افزایش هزینه‌ها با توجه به حضور منابع تولید پراکنده و DSTATCOM توجیه‌پذیر است.

نتایج به‌دست‌آمده از سناریوی V بر سیستم تست ۷۰ شینه با استفاده از الگوریتم‌های مختلف در جدول (۳) آورده شده‌اند. همان‌طور که در این جدول دیده می‌شود در این حالت، الگوریتم‌های مختلف، خطوط باز، مکان‌ها و ظرفیت‌های مختلفی را برای واحدهای DG و DSTATCOM برای حل سناریوی مدنظر پیشنهاد داده‌اند. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۳، میزان تلفات شبکه با استفاده از الگوریتم‌های GA، ACO، PSO، BA، HOA و GA-PSO به ترتیب برابر است با: ۱۰۸٫۶۳، ۱۰۴٫۵۶، ۱۰۱٫۷۴، ۱۰۴٫۹۷، ۱۰۱٫۶۱ و ۱۰۰٫۵۰ کیلووات، مقدار شاخص VSI شبکه با استفاده از الگوریتم‌های GA، ACO، PSO، BA، HOA و GA-PSO به ترتیب برابر است با: ۰٫۹۱، ۰٫۹۳، ۰٫۹۳، ۰٫۹۲، ۰٫۹۳ و ۰٫۹۴، مقدار شاخص انرژی تأمین نشده تقریبی شبکه بر حسب kwh/year با استفاده از الگوریتم‌های GA، ACO، PSO، BA، HOA و GA-PSO به ترتیب برابر است با: ۲۳۹۷، ۲۳۹۶، ۲۲۹۳، ۲۲۸۱ و ۲۲۷۵ و هزینه‌های بهره‌برداری شبکه با استفاده از الگوریتم‌های GA، ACO، PSO، BA، HOA و GA-PSO به ترتیب برابر است با: ۱٫۹۱، ۱٫۹۸، ۲٫۳، ۲٫۸ و ۱٫۹۵ پریونیت است.

۳۲ به تلفاتی حدود ۱۳۸,۳ کیلووات منجر می‌شود. برای سناریوهای III تا V، روش پیشنهادی به ترتیب با تلفاتی معادل ۹۰,۷۶، ۹۵,۱ و ۳۳,۲۹ در مقایسه با سایر روش‌ها، کمترین تلفات را نشان می‌دهد. تای سوئیچ‌ها، محل نصب و ظرفیت واحدهای DG و DSTATCOM به ازای سناریوها و روش‌های مختلف در جدول (۴) ارائه شده‌اند.

۷-۵- نتایج اعمال سناریوهای مختلف بر شبکه توزیع ۸۴ شینه با هدف کاهش تلفات

در این بخش به تحلیل نتایج به دست آمده از اعمال سناریوهای مختلف سناریو بر سومین سیستم تست یعنی شبکه توزیع ۸۴ شینه تایوان پرداخته می‌شود. سناریوی I تحلیل شبکه پایه است که در بیشتر مطالعات مقدار تلفات مربوطه حدود ۵۳۱ کیلووات گزارش شده است. نتایج حاصل از سناریوهای II، III، IV و V به ازای روش‌های موجود در مراجع مختلف، در جدول (۵) ارائه شده‌اند. همان‌طور که در این جدول دیده می‌شود برای سناریوی II (فقط بازآرایی) از میان روش‌های [۲۱] IWO، [۲۲] SFL، [۲۴] VSO^{۳۹}، [۲۳] ACS، [۲۴] QCP، [۲۲] SA و روش پیشنهادی، کمترین تلفات مربوط به روش IWO و روش پیشنهادی به میزان ۴۶۹,۷۱ کیلووات است. برای سناریوهای III تا V نیز روش پیشنهادی به ترتیب با تلفاتی معادل ۳۶۳,۶، ۳۸۳,۱ و ۲۹۲,۶۴ کیلووات در مقایسه با سایر روش‌ها کمترین تلفات را نشان می‌دهد. تای سوئیچ‌ها، محل نصب و ظرفیت واحدهای DG و DSTATCOM به ازای سناریوها و روش‌های مختلف در جدول (۵) ارائه شده‌اند.

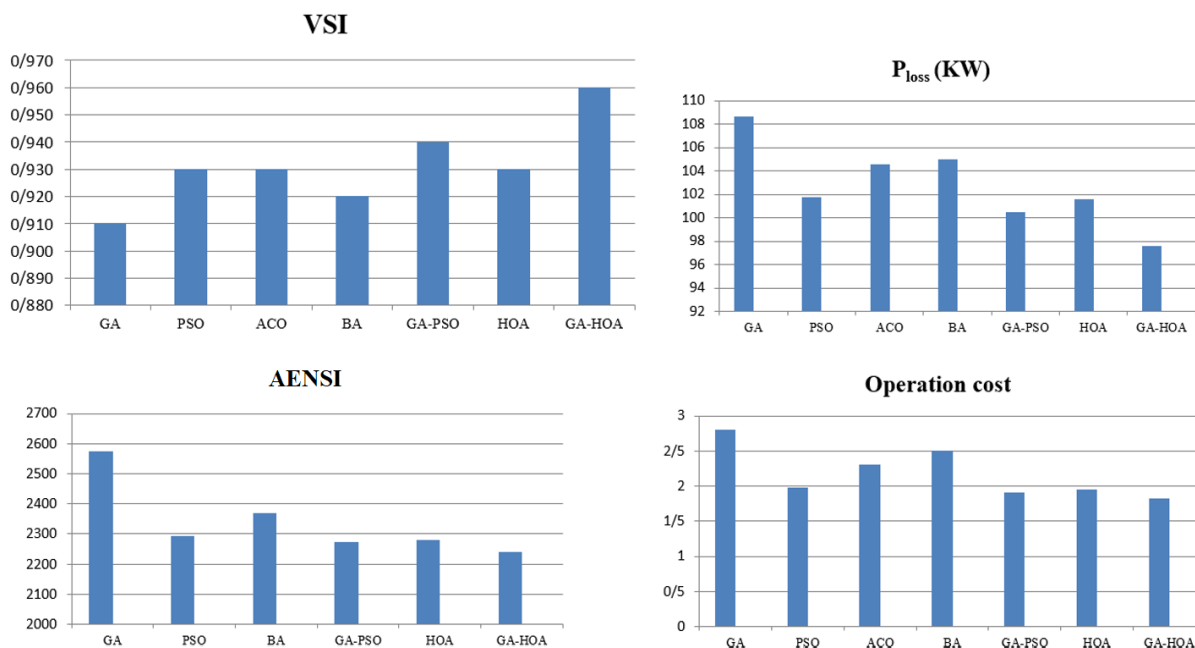
۳۰، ۴۵، ۳۸، ۷۶، ۷۷، ۷۸ و ۷۹ منجر به تلفات ۲۰۲,۵ کیلوواتی، روش PSO با بازکردن خطوط ۵۱، ۷۰، ۷۱، ۶۶، ۳۰، ۴۶، ۳۸، ۷۶، ۷۷، ۷۸ و ۷۹ منجر به تلفات ۲۰۲,۶ کیلوواتی و روش PSO^{۳۴} منجر به تلفاتی معادل ۲۰۲,۱ کیلوواتی شده است؛ بنابراین، روش پیشنهادی نتایجی بهتر از دو روش SAPSO-MSFLA و PSO داشته است؛ درحالی‌که روش PSO با اختلاف اندکی عملکرد موفق تری نسبت به روش پیشنهادی GA-HOA در حل تک‌هدفه مسئله بازآرایی با در نظر گرفتن شاخص کاهش تلفات داشته است.

۷-۴- نتایج اعمال سناریوهای مختلف بر شبکه توزیع ۳۳ شینه با هدف کاهش تلفات

در این بخش به تحلیل نتایج به دست آمده از اعمال سناریوهای مختلف سناریو بر دومین سیستم تست یعنی شبکه توزیع ۳۳ شینه پرداخته می‌شود. سناریوی I تحلیل شبکه پایه است که در بیشتر مطالعات مقدار تلفات آن حدود ۲۰۲ کیلووات گزارش شده است. نتایج حاصل از سناریوهای II، III، IV و V به ازای روش‌های موجود در مراجع مختلف، در جدول (۴) ارائه شده‌اند. همان‌طور که در این جدول دیده می‌شود برای سناریوی II (فقط بازآرایی) از میان روش‌های [۲۱] IWO^{۳۵}، [۲۲] SFL، [۲۳] ACS^{۳۶}، [۲۴] QCP^{۳۷}، [۲] SA^{۳۸}، یک روش کدگذاری بازآرایی همراه با یک رویکرد ابتکاری اصلاح شده [۲۵] و روش پیشنهادی، کمترین تلفات مربوط به روش ارائه شده در [۲۵] به میزان ۱۳۶,۵ کیلووات است؛ درحالی‌که روش پیشنهادی با اختلاف اندکی با پیشنهاد تای سوئیچ‌های ۷، ۹، ۱۴، ۲۸ و

جدول (۲): نتایج به دست آمده از اعمال سناریوهای I-V بر شبکه تست ۷۰ شینه با روش GA-HOA

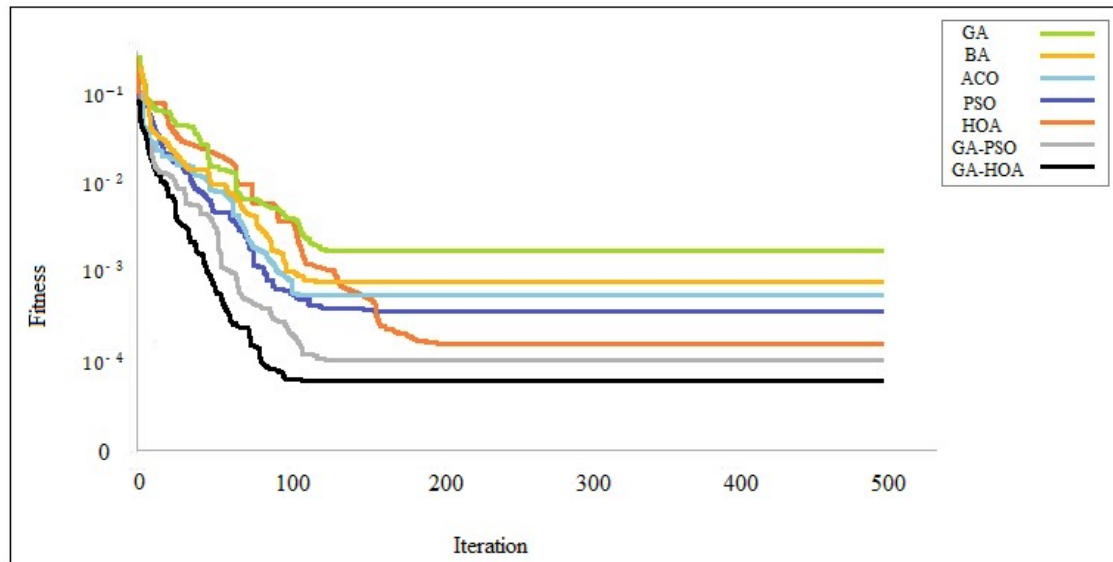
سناریو	خطوط باز	ظرفیت DG (KVA) @ bus	DSTATCOM (KVA) ظرفیت @ bus	$P_{loss}(KW)$, VSI, AENSI (KWh/year) هزینه بهره‌برداری (pu)
I	۶۹، ۷۰، ۷۱، ۷۲، ۷۳، ۷۴، ۷۵، ۷۶، ۷۷ ۷۸، ۷۹	-	-	۲۲۷/۳۶۷۳ ۰/۶۶، ۱۳۶۶۳، ۱
II	۳۰، ۶۱، ۷۵، ۷۶، ۷۷، ۱۳، ۷۹، ۵۰، ۳۸، ۴۷، ۶۶	-	-	۲۰۵/۰۱، ۰/۶۹، ۱۲۷۰۳، ۰/۹۵۷
III	۷۵، ۶۱، ۳۰، ۶۶، ۷۷، ۱۳، ۴۷، ۵۰، ۳۸، ۷۹، ۷۶	۵۰۰@۲۲ ۶۰۰@۱۵ ۷۰۰@۹	-	۱۵۱/۷۲، ۰/۹۱، ۲۷۴۱، ۱/۷۵۹
IV	۳۰، ۳۸، ۷۵، ۷۶، ۷۷، ۱۳، ۶۱، ۵۰، ۷۹، ۴۷، ۶۶	-	۱۵۱@۲۹	۲۰۲/۵۹۴، ۰/۸۵، ۴۳۷۲، ۱/۲۶۴
V	۱۳، ۶۶، ۵۰، ۷۶، ۷۷، ۳۰، ۷۹، ۷۵، ۳۸، ۴۷، ۶۱	۴۸۰@۹ ۶۵۰@۲۲ ۷۲۰@۱۵	۱۹۰@۲۹	۹۷/۵۷، ۰/۹۶، ۲۲۴۱، ۱/۸۲



شکل (۷): مقایسه نتایج شاخص‌های گوناگون به‌ازای پیاده‌سازی سناریوی V برای الگوریتم‌های مختلف برای شبکه تست ۷۰ شینه

جدول (۳): نتایج به دست آمده از اعمال سناریوی V بر شبکه تست ۷۰ شینه با روش‌های مختلف

روش	خطوط باز	ظرفیت DG (KVA) @ bus	ظرفیت DSTATCOM (KVA) @ bus	$P_{loss} (KW), VSI, AENSI (KWh/year)$ هزینه بهره‌برداری (pu)
GA	۳۰، ۶۱، ۷۵، ۷۶، ۷۷، ۱۳، ۷۹، ۵۰، ۳۸، ۴۷، ۶۶	۷۴۰@۱۲، ۸۶۰@۲۸ ۲۵۰@۷۷	۱۹۸@۲۸	۱۰/۶۳، ۰/۹۱، ۲۵۷۶، ۲/۸
PSO	۳۰، ۶۱، ۷۵، ۷۶، ۷۷، ۱۳، ۷۹، ۵۰، ۳۸، ۴۷، ۶۶	۳۸۰@۹، ۷۵۰@۴۴ ۷۴۰@۱۵	۱۸۳@۴۳	۱۰/۷۴، ۰/۹۳، ۲۲۹۳، ۱/۹۸
ACO	۷۵، ۶۱، ۳۰، ۶۶، ۷۷، ۱۳، ۴۷، ۵۰، ۳۸، ۷۹، ۷۶	۵۰۰@۹، ۸۵۰@۴۴ ۵۰۰@۶۵	۱۸۰@۲۵	۱۰/۵۶، ۰/۹۳، ۲۳۹۷، ۲/۳
BA	۳۰، ۳۸، ۷۵، ۷۶، ۷۷، ۱۳، ۶۱، ۵۰، ۷۹، ۴۷، ۶۶	۳۴۴@۱۱، ۶۲۶@۵۲ ۸۸۰@۳۶	۱۹۰@۴۳	۱۰/۴۹۷، ۰/۹۲، ۲۳۶۹، ۲/۵
GA-PSO	۳۰، ۶۱، ۷۵، ۷۶، ۷۷، ۱۳، ۷۹، ۵۰، ۳۸، ۴۷، ۶۶	۵۰۰@۹، ۶۵۰@۲۴ ۷۰۰@۶۷	۱۹۳@۲۹	۱۰۰/۵، ۰/۹۴، ۲۲۷۵، ۱/۹۱
HOA	۷۵، ۶۱، ۳۰، ۶۶، ۷۷، ۱۳، ۴۷، ۵۰، ۳۸، ۷۹، ۷۶	۵۱۲@۱۷، ۵۰۰@۷۸، ۸۵۵@۴۴	۱۸۹@۲۹	۱۰/۶۱، ۰/۹۳، ۲۲۸۱، ۱/۹۵
GA-HOA	۱۳، ۶۶، ۵۰، ۷۶، ۷۷، ۳۰، ۷۹، ۷۵، ۳۸، ۴۷، ۶۶	۴۸۰@۹، ۶۵۰@۲۲، ۷۲۰@۱۵	۱۹۰@۲۹	۹۷/۵۷، ۰/۹۶، ۲۲۴۱، ۱/۸۲



شکل (۸): رفتار همگرایی تابع هدف به ازای روش‌های مختلف برای شبکه تست ۷۰ شینه

جدول (۴): نتایج به دست آمده از اعمال سناریوهای II تا V بر شبکه تست ۳۳ شینه با روش های مختلف

سناریو	[مرجع] روش	تای سوئیچها	ظرفیت DG (MVA) @ bus	ظرفیت DSTATCOM (MVA) @ bus	تلفات $P_{loss} (KW)$
II	IWO [۲۱]	۷, ۱۴, ۹, ۳۲, ۳۷	-	-	۱۳۹/۵
	ACS [۲۳]	۷, ۱۴, ۹, ۲۸, ۳۲			۱۳۷/۰
	SFL [۲۲]	۷, ۱۴, ۹, ۲۸, ۳۲			۱۳۹/۹
	QCP [۲۴]	۳۷, ۳۲, ۱۴, ۹, ۷			۱۳۹/۵
	SA [۲۲]	۳۷, ۳۲, ۱۴, ۹, ۷			۱۶۳/۲۹
	[۲۵]	۳۷, ۳۲, ۱۴, ۹, ۷			۱۳۶, ۵۷
	GA-HOA	۷, ۱۴, ۹, ۲۸, ۳۲			۱۳۸/۳
III	[±] GOA [۲۶]	۷, ۱۴, ۹, ۳۲, ۳۷	۱/۱۵@۲۹	-	۹۸/۱۰
	ACO [۱۶]	۲۸, ۲۰, ۱۷, ۱۰, ۱۴	۱/۳۸۷@۹		۹۳/۳۰
	ACS [۲۳]	۶, ۱۰, ۱۴, ۱۷, ۲۸	۰/۲@۲۴, ۰/۱@۲۹, ۰/۱@۶, ۰/۰۵@۳		۱۱۰/۲۶
	GA-HOA	۷, ۱۴, ۹, ۲۸, ۳۲	۱/۴۵@۹		۹۰/۷۶
IV	SFL [۲۲]	۷, ۹, ۱۴, ۳۲, ۳۷	-	۱/۱@۲۸	۹۸/۵
	GOA [۲۶]	۷, ۱۴, ۹, ۳۲, ۳۷		۱/۰۲۹@۳۰	۱۰۱/۸۲
	GA-HOA	۷, ۱۴, ۹, ۲۸, ۳۲		۱/۲@۱۰	۹۵/۱
V	ACO [۱۶]	۹, ۱۴, ۲۷, ۳۳, ۳۶	۱/۳۱۶@۹	۰/۷۴@۱۰	۴۸/۷۳
	GOA [۲۶]	۳۳, ۱۲, ۱۰, ۱۵, ۲۶	۱/۳۷@۳۱	۱/۹۸@۲۹	۳۵/۰۲
	GA-HOA پیشنهادی	۷, ۱۴, ۹, ۲۸, ۳۲	۱/۳۷@۹	۲/۰۴@۱۰	۳۳/۲۹

جدول (۵): نتایج به دست آمده از اعمال سناریوهای II تا V بر شبکه تست ۸۴ شینه واقعی TPC با روش های مختلف

سناریو	روش [مرجع]	تای سوئیچها	ظرفیت DG (MVA) @ bus	ظرفیت DSTATCOM (MVA) @ bus	تلفات $P_{loss} (KW)$
II	IWO [۲۱]	۷, ۱۳, ۳۴, ۳۹, ۴۲, ۵۵, ۶۲, ۷۲, ۸۳, ۸۳, ۸۹, ۹۰, ۹۲	-	-	۴۶۹/۷۱
	ACS [۲۳]	۷, ۱۳, ۳۴, ۳۹, ۴۱, ۵۵, ۶۲, ۷۲, ۸۳, ۸۶, ۸۹, ۹۰, ۹۲			۴۷۱/۰۷
	SFL [۲۲]	۷, ۱۳, ۳۴, ۳۹, ۴۲, ۵۵, ۶۲, ۷۲, ۸۳, ۸۶, ۸۹, ۹۰, ۹۲			۴۶۹/۸۱
	GA-HOA	۵۵, ۱۳, ۹۲, ۳۹, ۴۲, ۷, ۶۲, ۷۲, ۸۳, ۸۶, ۸۹, ۹۰, ۳۴			۴۶۹/۷۱
	SA [۲۲]	۷, ۱۳, ۳۳, ۳۹, ۵۴, ۶۱, ۷۱, ۸۶, ۸۹, ۹۰, ۹۱, ۹۲, ۹۵			۵۱۶/۵۳
	VSO [۲۴]	۷, ۱۳, ۳۴, ۳۹, ۴۲, ۵۵, ۶۲, ۷۲, ۸۳, ۸۶, ۸۹, ۹۰, ۹۲			۴۶۹/۸۸
III	GA-HOA	۵۵, ۱۳, ۹۲, ۳۹, ۴۲, ۷, ۶۲, ۷۲, ۸۳, ۸۶, ۸۹, ۹۰, ۳۴	۳/۷۶۲@۲۱	-	۳۶۳/۶
	ACS [۲۳]	۷, ۱۳, ۳۴, ۳۹, ۴۱, ۵۵, ۶۲, ۷۲,	۰/۲۵@۷, ۰/۴۵@۱۲, ۰/۵@۱۹, ۰/۴@۲۸,		۳۸۳/۵۲

سناریو	روش [مرجع]	تای سوئیچ‌ها	ظرفیت DG (MVA) @ bus	ظرفیت DSTATCOM (MVA) @ bus	تلفات P_{loss} (KW)
		۸۳, ۸۶, ۸۹, ۹۰, ۹۲	۰/۵@۳۴, ۰/۵@۷۱, ۰/۴@۷۵, ۰/۴@۷۹		
IV	SFL [۲۲]	۷, ۱۳, ۳۴, ۳۹, ۴۲, ۵۵, ۶۲, ۷۲, ۸۳, ۸۶, ۸۹, ۹۰, ۹۲	-	۲/۳۱@۱۸	۳۹۸/۳
	[۲۷] DEA ^۱	۸۴, ۷, ۶۱, ۸۷, ۱۳, ۸۹, ۸۳, ۹۱, ۹۲, ۴۱, ۳۴, ۳۷, ۹۶		-	۴۴۵/۵۴
GA-HOA	۵۵, ۱۳, ۹۲, ۳۹, ۴۲, ۷, ۶۲, ۷۲, ۸۳, ۸۶, ۸۹, ۹۰, ۳۴	۲/۴۷@۷۹		۳۸۳/۱	
V	ACO [۱۶]	۷, ۱۳, ۳۴, ۳۹, ۴۲, ۵۵, ۷۲, ۸۶, ۸۹, ۹۰, ۹۱, ۹۲, ۹۶	۲/۴۵۳@۲۳	۱/۸۷@۷۹	۲۹۳/۵۵
	GA-HOA	۷, ۱۳, ۳۴, ۳۹, ۴۲, ۵۵, ۷۲, ۸۶, ۸۹, ۹۰, ۹۱, ۹۲, ۹۶	۲/۵۶۷@۲۱	۱/۸۶@۷۹	۲۹۲/۶۴

۸- نتیجه‌گیری

حل مسئله تک‌هدفه بازآرایی با در نظر گرفتن شاخص تلفات بر شبکه تست ۷۰ شینه نیز الگوریتم پیشنهادی تلفات کمتری نسبت به دو روش SAPSO-MSFLA و PSO ارائه می‌دهد؛ درحالی‌که روش PSOGSA با اختلاف اندکی عملکرد موفق‌تری نسبت به روش GA-HOA از خود نشان می‌دهد. به‌علاوه، سناریوهای مختلف بر دو شبکه توزیع ۳۳ و ۸۴ شینه واقعی TPC نیز با هدف کاهش تلفات توان اکتیو، پیاده‌سازی و با خروجی‌های حاصل از روش‌های دیگر در مقالات مختلف مقایسه شده‌اند. نتایج برای هر دو شبکه آزمون نشان‌دهنده برتری یا فاصله بسیار کم با بهترین خروجی گزارش شده روش‌های مقایسه‌شده است.

مراجع

- [1] H. B. Tolabi, M. H. Ali, S. B. M. D. Ayob, M. Rizwan. "Novel hybrid fuzzy-Bees algorithm for optimal feeder multi-objective reconfiguration by considering multiple-distributed generation". Energy, Vol. 71; pp. 507-515, 2014.
- [2] A. Merlin, H. Back. "Search for a minimal-loss operating spanning tree configuration in an urban power distribution system". In: 1975 conference on Power System Computation Conference (PSCC). Cambridge, U.K., pp. 1-18, 1975.
- [3] J. Shukla, B. Das, V. Pant. "Stability constrained optimal distribution system reconfiguration considering uncertainties in correlated loads and distributed generations". International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol. 99, pp. 121-133, 2018.
- [4] M. A. Tavakoli Ghazi Jahani, P. Nazarian, A. Safari, M. R. Haghifam. "Multi-objective

در این مقاله عملیات بازآرایی هم‌زمان با تخصیص بهینه منابع تولید پراکنده و DSTATCOM در شبکه‌های توزیع با ترکیب دو الگوریتم بهینه‌سازی گله اسب و ژنتیک با چهار هدف کاهش تلفات، بهبود پایداری و لتاژ، افزایش قابلیت اطمینان و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری پیاده‌سازی شده است. از منطق فازی نیز برای یافتن بهینه‌ترین جواب در میان جواب‌های پارتو به‌دست‌آمده استفاده شده است. به‌منظور ارزیابی عملکرد تکنیک پیشنهادی، چهار سناریو به همراه سناریوی مدنظر بر یک سیستم تست ۷۰ شینه پیاده‌سازی شد. بررسی نتایج، نشان‌دهنده بهبود هر چهار شاخص تابع هدف برای شبکه تست مدنظر توسط الگوریتم پیشنهادی است. همچنین، نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهند الگوریتم ترکیبی پیشنهادی نسبت به الگوریتم‌هایی چون GA, PSO, HOA, BA, GA-PSO در بهبود شاخص‌های کاهش تلفات، بهبود پایداری و لتاژ، افزایش قابلیت اطمینان و کاهش هزینه بهره‌برداری موفق‌تر عمل کرده است. به‌علاوه، سرعت بالا و دقت مناسب در یافتن راه‌حل بهینه تابع هدف، رفتار همگرایی پذیرفتنی الگوریتم ترکیبی جدید GA-HOA را در حل سناریوی بازآرایی هم‌زمان با تخصیص بهینه DSTATCOM و منابع تولید پراکنده به‌منظور کاهش تلفات، بهبود پایداری و لتاژ، افزایش قابلیت اطمینان و کاهش هزینه بهره‌برداری نشان می‌دهد. در

- ACO Approach," in IEEE Transactions on Sustainable Energy, Vol. 6, No. 1, pp. 210-218, Jan. 2015.
- [17] M. Hosseini, H.A. Shayanfar, M. Fotuhi, "Modeling of Series and Shunt Distribution FACTS Devices in Distribution Systems Load Flow", Journal of Electrical Systems, Vol. 4, No. 4, pp. 1-12, 2008.
- [18] S. Amini, S. Ghasemi, J. Moshtagh, "Distribution Feeder Reconfiguration Using PSO GSA Algorithm in Presence of Distribution Generation Based on a Fuzzy Approach", Computational Intelligence in Electrical Engineering, Vol. 23, No. 12 (3), pp. 73-86, 2021.
- [19] H. Chen, J. Chen, D. Shi and X. Duan, "Power flow study and voltage stability analysis for distribution systems with distributed generation", In 2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting, pp. 1-8, 2006.
- [20] S. K. Injeti, V. K. Thunuguntla, M. Shareef. "Optimal allocation of capacitor banks in radial distribution systems for minimization of real power loss and maximization of network savings using bio-inspired optimization algorithms." International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol. 69, pp. 441-455, 2015.
- [21] D. Sudha Rani, N. Subrahmanyam, M. Sydulu, "Multi-Objective Invasive Weed Optimization – An application to optimal network reconfiguration", in radial distribution systems, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 73, pp. 932-942, 2015.
- [22] H. D. DEHNAVI, S. ESMAEILI, "A new multiobjective fuzzy shuffled frog-leaping algorithm for optimal reconfiguration of radial distribution systems in the presence of reactive power compensators", *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, Vol. 21, No. 3, 2013.
- [23] Y. -K. Wu, C. -Y. Lee, L. -C. Liu, S. -H. Tsai, "Study of Reconfiguration for the Distribution System With Distributed Generators", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 25, No. 3, pp. 1678-1685, July 2010.
- [24] M. Mahdavi, H. H. Alhelou, N. D. Hatziargyriou, F. Jurado, "Reconfiguration of Electric Power Distribution Systems: Comprehensive Review and Classification", *IEEE Access*, Vol. 9, pp. 118502-118527, 2021.
- [25] S. Ghasemi, J. Moshtagh, "A novel codification and modified heuristic approaches for optimal reconfiguration of distribution networks considering losses cost and cost benefit from voltage profile improvement" *Applied Soft Computing*, Vol. 1, No. 25, pp.360-368, 2014.
- [26] K.S. Sambaiah, T. Jayabarathi, "Optimal Reconfiguration of Distribution Network in Presence of D-STATCOM and Photovoltaic Array using a Metaheuristic Algorithm", *European Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, Vol. 4, No. 5, 2020.
- [27] S. Jazebi, S.H. Hosseinian, B. Vahidi, "DSTATCOM allocation in distribution networks considering reconfiguration using differential optimization model for optimal reconfiguration of distribution networks with demand response services." *Sustainable Cities and Society*, 101514, 2019.
- [5] A. Kavousi-Fard, T. Niknam. "Multi-objective stochastic Distribution Feeder Reconfiguration from the reliability point of view." *Energy*, Vol. 64, pp. 342-354, 2014.
- [6] H. J. Kim, T. Y. Yong. "Reconfiguration for load balancing of feeder in distribution system including distributed generation." *Journal of International Council on Electrical Engineering*, vol. 6, no. 1, pp. 166-170, 2016.
- [7] M. Ahmadigorji, N. Amjadi, "Dynamic expansion planning of power distribution grids with distributed generation resources using a new two-level optimization algorithm," *Journal of Modeling in Engineering*, Vol. 14, No. 44, pp. 143-157, 2016.
- [8] R. Kollu, S. R. Rayapudi, V. L. N. Sadhu. "A novel method for optimal placement of distributed generation in distribution systems using HSDO". *International Transactions on Electrical Energy Systems*, Vol. 24, pp. 547-561, 2014.
- [9] B. Das, V. Mukherjee, D. Das. "Optimum DG placement for known power injection from utility/substation by a novel zero bus load flow approach." *Energy*, Vol. 175, pp. 228-249, 2019.
- [10] S. Kumar, K. K. Mandal, N. Chakraborty. "Optimal DG placement by multi-objective opposition based chaotic differential evolution for techno-economic analysis". *Applied Soft Computing*, Vol. 78, pp. 70-83, 2019.
- [11] C. F. Chang. "Reconfiguration and capacitor placement for loss reduction of distribution systems by ant colony search algorithm." *IEEE Transaction on Power Systems*, Vol. 23, No. 4, pp. 1747-1755, 2008.
- [12] L. R. D. Araujo, D. R. R. Penido, S. Carneiro, J. L. R. Pereira. "Optimal unbalanced capacitor placement in distribution systems for voltage control and energy losses minimization." *Electric Power System Research*, Vol. 154, pp. 110-121, 2018.
- [13] G. Isha & P. Jagatheeswari (2021) Optimal allocation of DSTATCOM and PV array in distribution system employing fuzzy-lightning search algorithm, *Automatika*, 62:3, 339-352, DOI: 10.1080/00051144.2021.1963080
- [14] U. Raut, S. Mishra. "An improved Elitist-Jaya algorithm for simultaneous network reconfiguration and DG allocation in power distribution systems." *Renewable Energy Focus*, Vol. 30, pp. 92-106, 2019.
- [15] J. M. Home-Ortiz, R. Vargas, L. H. Macedo, R. Romero. "Joint reconfiguration of feeders and allocation of capacitor banks in radial distribution systems considering voltage-dependent models." *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 107, pp. 298-310, 2019.
- [16] H. Bagheri Tolabi, M. H. Ali and M. Rizwan, "Simultaneous Reconfiguration, Optimal Placement of DSTATCOM, and Photovoltaic Array in a Distribution System Based on Fuzzy-

-
- 1 Genetic Algorithm
 - 2 Horse Optimization Algorithm
 - 3 Normally open
 - 4 Normally close
 - 5 Reconfiguration
 - 6 Voltage stability index
 - 7 Distributed generation
 - 8 Zero Bus Load Flow
 - 9 Chaotic differential evolution algorithm
 - 10 Distributed-Flexible Alternating Current Transmission Systems
 - 11 Distribution Static Compensator
 - 12 Fuzzy-Lightning Search Algorithm
 - 13 Improved Elitist-Jaya
 - 14 Voltage Source Convertor
 - 15 Energy Not Supplied Index
 - 16 Approximate ENSI
 - 17 Horse Optimization Algorithm
 - 18 Comprehensive matrix
 - 19 Hierarchy
 - 20 Sociability
 - 21 Imitation
 - 22 Defense Mechanism
 - 23 Roam
 - 24 Genetic Algorithm
 - 25 Fitness
 - 26 Global best
 - 27 Selection
 - 28 Crossover
 - 29 Mutation
 - 30 Acceptance
 - 31 Replacement
 - 32 Taiwan Power Company
 - 33 Self adaptive particle swarm optimization and modified shuffled frog leaping algorithm
 - 34 Particle swarm optimization and gravitational optimization algorithm
 - 35 Invasive Weed Optimization
 - 36 Ant Colony Search
 - 37 Quadratically constrained programming
 - 38 Simulated Annealing
 - 39 Vector Shift Operation
 - 40 Grasshopper Optimization Algorithm
 - 41 Differential Evolution Algorithm