بازآرایی شبکه‌های توزیع هوشمند باهدف کاهش تلفات و بهبود پایداری ولتاژ در حضور D-STATCOM

فاطمه افتخاری[۱]، افشین لشکرآرا [۲*]

۱- کارشناسی ارشد، گروه برق، دانشکده فنی و مهندسی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران
Eftekhari.fa.eng@gmail.com
*۲- دانشیار گروه برق، دانشکده فنی و مهندسی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران
Lashkarara@ieee.org

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۳۰

چکیده: بازآرایی شبکه توزیع و استفاده از D-STATCOM دو روش متعارف برای کاهش تلفات و بهبود پایداری ولتاژ در شبکه توزیع هستند که می‌باید به‌صورت بهینه انجام شوند تا بیشتر منفعت را برای شبکه توزیع به ارمغان بیاورند. هدف از این مقاله تعیین آرایش بهینه شبکه توزیع در حضور D-STATCOM است. برای حل مسئله بازآرایی شبکه توزیع به همراه تعیین ظرفیت و محل نصب D-STATCOM، از الگوریتم ملخ (GOA) به همراه روش چندهدفه ضریب وزنی با توابع هدف کاهش تلفات و بهبود پایداری ولتاژ استفاده‌شده است. روش پیشنهادی بر روی دو تست سیستم استاندارد ۳۳ و ۶۹ شینه IEEE با نرم‌افزار MATLAB شبیه سازی و اعمال شده است. سه سناریو مختلف برای شبیه‌سازی در نظر گرفته شد که عبارت‌اند از حضور D-STATCOM تنها در شبکه توزیع، بازآرایی تنها شبکه توزیع و بازآرایی شبکه توزیع با حضور D-STATCOM و نتایج حاصل از روش پیشنهادی با الگوریتم PSO مقایسه خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: شبکه توزیع، بازآرایی، ادوات DSTATCOM، الگوریتم ملخ

۱- مقدمه

افزایش روزافزون مصرف انرژی الکتریسیته، هزینه بالای سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری و تأمین سوخت نیروگاه‌های حرارتی، پایان‌پذیر بودن منابع سوخت‌های فسیلی و آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از سوختن این نوع سوخت‌ها برای تولید انرژی الکتریکی و ایجاد فضای رقابتی در تولید و فروش توان، باعث شده که متخصصان و مهندسان صنعت برق روی روش‌های جدید در شبکه‌های قدرت جهت بهره‌وری و کاهش تلفات انرژی توجه بیشتری داشته باشند [۱]. ازآنجاکه شبکه‌های توزیع آخرین بخش از سیستم قدرت می‌باشد و چون به مصرف‌کننده نزدیک است درنتیجه دامنه جریان بالا بوده و تلفات در این بخش زیاد می‌باشد. به همین خاطر این بخش از سیستم قدرت از اهمیت بالایی برخوردار است [۲].

روش‌های مختلفی جهت کاهش تلفات در سیستم‌های توزیع و بهبود شرایط کاری پیشنهادشده است. ازجمله خازن گذاری، استفاده از منابع تولیدات پراکنده، بازآرایی شبکه‌ای توزیع و استفاده از تجهیزات D-FACTs در این سیستم می‌باشد [۶-۳]. با توجه به این‌که استفاده از منابع انرژی تولیدات پراکنده نیاز به برنامه‌ریزی و هزینه‌های اولیه بالا و حتی هزینه تعمیر و نگهداری بالا می‌باشد، توصیه به استفاده از این منابع کم می‌باشد. همچنین خازن نیز به دلیل عدم کنترل در میزان تزریق توان راکتیو نیز توصیه نمی‌شود [۷].

از کم‌هزینه‌ترین روش‌های کاهش تلفات در سیستم‌های توزیع و افزایش قابلیت اطمینان در این شبکه‌ها استفاده از روش بازآرایی و تجدید آرایش شبکه توزیع می‌باشد. همچنین استفاده از تجهیزات کنترل‌پذیر مانند D-STSTCOM در این شبکه‌ها علاوه بر کاهش تلفات و بهبود قابلیت اطمینان باعث بهبود پایداری ولتاژ در شبکه

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.3.3.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.3 Autumn 2020

توزیع می‌شود [۸]. این ادوات که به سیستم‌های انتقال AC انعطاف‌پذیر توزیع‌شده D- FACTS مشهورند در ابعاد و ظرفیت‌های کوچک‌تری ساخته‌شده به‌طور مستقیم در شبکه توزیع به کار می‌روند. این ادوات می‌توانند با کنترل اندازه و زاویه ولتاژ شین‌ها و امپدانس خطوط در تغییر توان اکتیو و راکتیو جاری خطوط مؤثر باشند [۹]. روش بازآرایی شبکه توزیع در کنار روش‌هایی مانند قرار دادن D-STATCOM در شبکه توزیع می‌تواند مکملی خوب برای بهره‌وری هرچه بهتر از شبکه توزیع و کاهش تلفات در آن باشد. روش بازآرایی شبکه توزیع و جایابی و تعیین ظرفیت D-STATCOM در حقیقت یک مسئله بهینه‌سازی است که متغیرهای آن تعیین حالت کلیدهای بازشونده و بسته شونده و میزان ظرفیت و محل نصب D-STATCOM می‌باشد؛ که برای حل این مسئله بهینه‌سازی تحقیقات متعددی انجام‌شده است که در ادامه شرح داده‌شده است.

در مرجع [۱۰] پیدا کردن مکان بهینه D-STATCOM به‌منظور بهبود پروفیل ولتاژ موردتوجه قرارگرفته است. محققین در مرجع [۱۱] از D-STATCOM برای کاهش کمبود ولتاژ و کاهش تلفات در شبکه توزیع با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی بهره گرفته‌اند. بازآرایی شبکه توزیع هم‌زمان با تخصیص بهینه D-STATCOM به‌منظور کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ توسط الگوریتم بهینه‌سازی تکامل تفاضلی در مرجع [۱۲] انجام‌شده است. الگوریتم جستجوی گرانشی باینری در مرجع [۱۳] جهت جایابی D-STATCOM به‌منظور بهبود قابلیت اطمینان به‌کاررفته است. همین محققین در ادامه کار خود در مرجع [۱۴] نیز روش پیشین خود را با اضافه نمودن یک بازآرایی پس از جایابی D-STATCOM تکمیل نمودند. در مرجع [۱۵] بهبود پروفیل ولتاژ شبکه توزیع با استفاده از بازگرداننده ولتاژ دینامیکی (DVR) و D-STATCOM محقق شده است. محققین در مرجع [۱۶] با استفاده از یک الگوریتم ترکیبی مسئله جایابی D-STATCOM و بازآرایی شبه توزیع باهدف کاهش تلفات را هم به‌صورت مجزا و هم به‌صورت هم‌زمان حل نموده‌اند. الگوریتم ترکیبی ژنتیک-کولونی مورچه نیز ازجمله الگوریتم‌های مورداستفاده جهت حل مسئله جایابی بهینه D-STATCOM به‌منظور کاهش تلفات در مرجع [۱۷] می‌باشد. در مرجع [۱۸] روشی تحلیل جهت جایابی D-STATCOM در شبکه توزیع جهت کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ پیشنهادشده است. جایابی بهینه D-STATCOM توسط الگوریتم ایمنی نیز در مرجع [۱۹] و باهدف کمینه‌سازی تلفات و بهبود پایداری ولتاژ بررسی‌شده است. در همین کار برای شبکه توزیعی که شامل منابع تولید پراکنده می‌باشد انجام‌شده است. محققین در مرجع [۲۰] استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات را جهت جایابی هم‌زمان منابع تولید پراکنده و D-STATCOM پیشنهاد نموده‌اند. در مراجع [۲۲-۲۱] نیز از الگوریتم ازدحام ذرات جهت جایابی D-STATCOM باهدف کاهش تلفات بهره گرفته‌شده است. در [۲۳] جایابی هم‌زمان D-STATCOM و آرایه‌های خورشیدی همراه با بازآرایی شبکه توزیع با استفاده از الگوریتم فاخته-فازی انجام‌شده است. در مرجع [۲۴] برای جایابی D-STATCOM و تعیین ظرفیت آن در سیستم توزیع جهت ذخیره‌سازی انرژی و کاهش تلفات از شاخص‌های پایداری ولتاژ VSI و شاخص تلفات PLI استفاده‌شده است. در مرجع [۲۵] برای بهبود پروفیل ولتاژ و افزایش ظرفیت بارپذیری سیستم توزیع از جایابی و تعیین ظرفیت DG و D-STATCOM استفاده‌شده است. برای جایابی و تعیین ظرفیت این دو از روش حداکثر شاخص پایداری ولتاژ VSI و شاخص حساسیت تلفات ترکیبی CPLI استفاده‌شده است. در این مقاله در سطوح و بارهای مختلف روش پیشنهادی بررسی‌شده است. در مرجع [۲۶] بازآرایی شبکه توزیع در حضور منابع تجدید پذیر انجام‌شده است. در این مقاله بازآرایی به‌صورت ساعت‌به‌ساعت انجام‌شده است.

با توجه به موارد ذکرشده در مراجع فوق، بیشتر بر روی بازآرایی برای یک نقطه کار تأکید شده و برنامه‌ریزی برای ظرفیت D-STATCOM در طول زمان‌های مختلف انجام‌نشده است. بنابراین در این مقاله هدف تعیین آرایش بهینه شبکه توزیع در حضور D-STATCOM به‌صورت ساعت‌به‌ساعت می‌باشد. برای همین منظور فضای شبکه موردنظر به‌صورت هوشمند در نظر گرفته‌شده و فرض می‌شود که با توجه به حضور سیستم‌های اندازه‌گیری هوشمند، اطلاعات شبکه در هر ساعت در اختیار بهره‌بردار قرار دارد. در این مسئله بهینه‌سازی دو تابع هدف کاهش تلفات و بهبود پایداری ولتاژ شبکه در نظر گرفته‌شده است. برای حل این مسئله نیز از روش بهینه‌سازی ملخ استفاده‌شده است. با استفاده از روش پیشنهادی برای هر ساعت آرایش بهینه شبکه برای هر ساعت و همچنین محل نصب D-STATCOM و ظرفیت آن برای کل ساعات بر اساس تابع هدف کاهش تلفات و بهبود پایداری ولتاژ به‌صورت چندهدفه و مجموعه جواب‌های بهینه به دست می‌آید. نتایج به‌صورت آرایش بهینه ساعت‌به‌ساعت و ظرفیت و محل نصب D-STATCOM برای ۲۴ ساعت باحالت قبل مقایسه می‌شود. حل این مسئله همراه با قیودی همراه است که در روند حل مسئله باید رعایت شوند. ازجمله مهم‌ترین قیود شبکه می‌توان به تأمین توان مصرفی، نگه‌داشتن ولتاژ شین‌ها در محدود مجاز، عدم تجاوز توان عبوری از خطوط از حد حرارتی آن‌ها و نگه‌داشتن حالت شعاعی شبکه توزیع اشاره کرد. مسئله مهم دیگری که در رابطه با مسائل بهینه‌سازی وجود دارد روش حل یا الگوریتم بهینه‌سازی است. روش پیشنهادی بر روی دو شبکه نمونه استاندارد ۳۳ و ۶۹ شینه IEEE اعمال خواهد شد. همچنین میزان درصد بارگذاری شبکه که به‌صورت اندازه‌گیری هوشمند است از مراجع استفاده خواهد شد. روش پیشنهادی با الگوریتم PSO نیز مقایسه شده است.

سازمان‌دهی مقاله به صورت زیر می‌باشد:

[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.3.3.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.3 Autumn 2020
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

در ادامه در بخش دوم فرمول‌بندی مساله به همراه بررسی توابع هدف و قیود مساله شرح داده شده است. در بخش سوم روش الگوریتم بهینه‌سازی ملخ شرح داده شده است. در بخش چهارم نتایج شبیه‌سازی بر روی دو شبکه نمونه ارائه شده و در چند سناریو بررسی شده است. در بخش آخر نیز نتیجه‌گیری مقاله آورده شده است.

۲- فرمول‌بندی مسئله

۲-۱ تابع هدف کاهش تلفات

کاهش تلفات اولین تابع هدف در نظر گرفته‌شده برای حل مسئله بازآرایی است، زیرا تلفات سیستم هزینه‌های بهره‌برداری را در نسبت به سود دریافتی شرکت‌های برق افزایش می‌دهد. تلفات سیستم مؤثر از نامتعادلی بار، ولتاژهای شین و خطوط طولانی شبکه توزیع است. توزیع بهینه و متناسب بار بین فیدرهای مختلف شبکه توزیع، یکی از مهم‌ترین ابزارهای بهره‌برداری جهت کاهش تلفات، کاهش اضافه‌بار شاخه‌ها، کاهش افت ولتاژ گره‌ها و نهایتاً بهره‌برداری بهینه از تجهیزات شبکه است.

هدف از حل مسئله بازآرایی شبکه در سیستم توزیع پیدا کردن آرایش مناسبی از شبکه شعاعی است به‌طوری‌که تلفات سیستم حداقل شده و قیود مربوط به بهره‌برداری از شبکه ارضا شود، می‌باشد [۱۴].

$$F1 = \min \sum P_{loss} \qquad (۱)$$

در رابطه فوق P_{loss} تلفات ایجادشده در فیدرها می‌باشد. در مرجع [۱۴] P_{loss} به‌صورت زیر تعریف‌شده است.

$$P_{loss,k} = r_k I_k^2 \qquad (۲)$$

که در این رابطه $P_{loss,k}$ تلفات و r_k مقاومت فیدر k و I_k جریان فیدر k است.

۲-۲ تابع هدف بهبود شاخص پایداری ولتاژ

مفهوم پایداری ولتاژ به‌عنوان توانایی سیستم قدرت برای حفظ ولتاژ تمام شینه‌های شبکه در یک محدوده قابل‌قبول، پس از وقوع اختلال تعریف‌شده است. در حقیقت علت اصلی ناپایداری ضعف سیستم در تأمین توان راکتیوی کافی برای بارها است [۱۷]. در این مقاله شاخص پایداری ولتاژ به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$VSI(n_i) = |V_{mi}|^4 - 4\left[P_{ni}(ni)R_{ni} + Q_{ni}(ni)X_{ni}\right]|V_{mi}|^2 - 4\left[P_{ni}(ni)R_{ni} + Q_{ni}(ni)X_{ni}\right]^2 \qquad (۳)$$

$$F_2 = \left(\frac{1}{\min(VSI(n_i))}\right)$$

۲-۳ قیود

در بازآرایی یک شبکه توزیع واقعی، قیودی باید در شبکه در نظر گرفته شوند. مهم‌ترین قیودی که در بازآرایی شبکه توزیع مورداستفاده قرار می‌گیرد عبارت‌اند از: قید شعاعی بودن ساختار شبکه، قید توان عبوری از شاخه‌ها، قید ولتاژ.

۲-۳-۱ قید شعاعی بودن ساختار شبکه

یکی از قیودی که در بازآرایی باید به آن توجه شود شعاعی ماندن شبکه است. اگر ماتریس تلاقی رأس‌ها در گراف متناظر با شبکه را A در نظر بگیریم؛ آنگاه صفر بودن دترمینان ماتریس A نشان‌دهنده غیر شعاعی بودن شبکه است. شرط شعاعی بودن به‌صورت زیر تعریف خواهد شد [۱۹].

$$\det(A) = 1 OR -1 \qquad (۴)$$

۲-۳-۲ قید توان عبوری از شاخه‌ها

اگر $S_{n,n+1}$ توان عبوری از شاخه‌ی بین شین‌های n و n+1 باشد، آنگاه برای عملکرد صحیح شبکه نباید توان ظاهری عبوری از هر شاخه از حد مجاز خود عبور کند [۱۴].

$$S_{n,n+1} < S_{n,n+1}^{\max} \qquad (۵)$$

البته این قید به‌صورت جریان عبوری از خطوط نیز بیان می‌شود [۱۴].

$$I_{n,n+1} < I_{n,n+1}^{\max} \qquad (۶)$$

۲-۳-۳ قید محدوده ولتاژ

ولتاژ شین‌های غیر حساس شبکه نیز نباید از محدوده نرمال تجاوز کند. هرچند که ولتاژ نرمال در شین‌های غیر حساس محدوده‌ی وسیع‌تری را نسبت به شین‌های حساس شامل می‌شود [۱۴].

$$V_{\min} < |V_k| < V_{\max} \qquad (۷)$$

۲-۳-۴ قید ظرفیت DSTATCOM

$$Q_{DSTATCOMi,\min} \le Q_{DSTATCOMi} \le Q_{DSTATCOMi,\max} \qquad (۸)$$

که $Q_{DSTATCOMi,\min}$ و $Q_{DSTATCOMi,\max}$ حداقل و حداکثر ظرفیت iامین DSTATCOM است.

۲-۴ اعمال الگوریتم ملخ برای حل مسئله

برای حل مسئله ارائه شده هر ملخ یک بردار (2n+25)*1 است؛ که n تعداد تای‌لاین است. درایه ۱ تا n نشان که مقداری بین ۰ و ۱ دارد و نشان می‌دهد که کدام تای‌لاین‌ها وارد مدار می‌شوند. درایه n+1 تا 2n نشان می‌دهد که کدام خطوط از مدار خارج می‌شوند. درایه 2n+1 نشان می‌دهد که D-STATCOM در کدام شین قرار می‌گیرد و درایه‌های 2n+2 تا 2n+24 نشان می‌دهند که در هر ساعت چه مقدار توان راکتیو توسط D-STATCOM به سیستم تزریق می‌شود. تابع هدف به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$fit = w_1 f_1 + w_2 f_2 + penalty \qquad (۹)$$

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

[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.3.3.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.3 Autumn 2020

که f_1 و f_2 به‌صورت زیر تعریف می‌شوند.

$$f_1 = \frac{\sum_{t=1}^{24} Loss_t^{after}}{\sum_{t=1}^{24} Loss_t^{befor}} \qquad (۱۰)$$

$$f_2 = \frac{\sum_{t=1}^{24} VSI_t^{after}}{\sum_{t=1}^{24} VSI_t^{befor}} \qquad (۱۱)$$

۳- الگوریتم بهینه‌سازی ملخ

الگوریتم بهینه‌سازی ملخ توسط میر جلیلی و همکاران با الهام گرفتن از نحوه پرواز دسته‌جمعی ملخ‌ها در پیدا کردن مزرعه ارائه شده است. جنبه منحصربه‌فرد دسته ملخ‌ها این است که رفتار گروهی هم در بچگی و هم در بزرگ‌سالی آن‌ها دیده می‌شود. جستجو برای غذا، دیگر خصیصه مهم گروه ملخ‌هاست [۲۷].

مدل ریاضیاتی بکار گرفته‌شده برای شبیه‌سازی رفتار گروهی ملخ‌ها به‌صورت زیر است:

$$X_i = S_i + G_i + A_i \qquad (۱۲)$$

که در آن X_i جایگاه iام ملخ است، S_i تعامل اجتماعی، G_i نیروی جاذبه در ملخ iام است و A_i حرکت افقی باد است. توجه داشته باشید که برای ایجاد رفتار اتفاقی، معادله می‌تواند به‌صورت $X_i = r_1 S_i + r_2 G_i + r_3 A_i$ نوشته شود که در آن r_1 و r_2 و r_3 اعداد اتفاقی در [۰، ۱] است [۸۶].

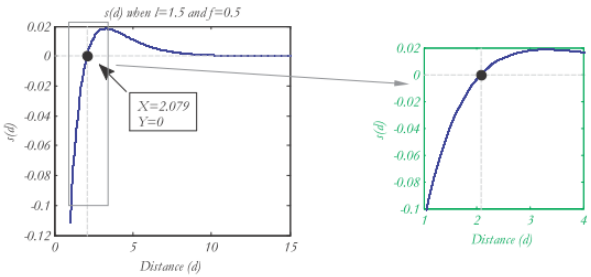
$$S_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{N} s(d_{ij})\hat{d}_{ij} \qquad (۱۳)$$

که در آن d_{ij} فاصله بین ملخ iام و jام است و به‌صورت $d_{ij} = |X_j - X_i|$ محاسبه می‌شود، S تابعی است برای تعریف قدرت نیروهای اجتماعی نشان داده می‌شود و $\hat{d}_{ij} = \frac{X_j - X_i}{d_{ij}}$ یک بردار واحد از ملخ iام به ملخ jام است.

تابع s که نیروهای اجتماعی را تعریف می‌کند به‌صورت زیر محاسبه می‌شود [۲۷]:

$$S(r) = f^{\frac{-r}{l}} - e^{-r} \qquad (۱۴)$$

که در آن f نشان‌دهنده شدت جذب و l مقیاس طولی جذب است.



شکل (۱): (چپ) تابع s زمانی که l=1.5 و f=0.5 (راست) محدوده تابع s زمانی که x در [۱،۴] است [۲۷]

عامل g در معادله (۱۲) به‌صورت زیر محاسبه می‌شود [۸۶]:

$$G_i = -g\hat{e}_g \qquad (۱۵)$$

که در آن gثابت گرانش و $\hat{e}_g$ نشان‌دهنده یک بردار واحد به سمت مرکز زمین است. عامل A در معادله (۱۲) به‌صورت زیر محاسبه می‌شود [۲۷]:

$$A_i = U\hat{e}_w \qquad (۱۶)$$

که در آن u ثابت جسم شناور و $\hat{e}_w$ بردار واحد در مسیر باد است. ملخ‌های نوزاد هیچ بالی ندارند ازاین‌رو حرکت آن‌ها به‌شدت وابسته به مسیر باد است.

با تعویض S، G و A در معادله (۱۲)، این معادله می‌تواند به‌صورت زیر گسترده شود [۲۷]:

$$X_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{N} s(|X_j - X_i|)\frac{X_j - X_i}{d_{ij}} - g\hat{e}_g + U\hat{e}_w \qquad (۱۷)$$

که در آن $s(r)=fe^{-r/l}-e^{-r}$ و N تعداد ملخ‌ها هستند.

به‌هرحال، این مدل ریاضیاتی نمی‌تواند مستقیماً برای حل مسائل بهینه‌سازی استفاده شود، بیشتر به این دلیل که ملخ‌ها به‌سرعت به منطقه راحت می‌رسند و گروه یک نقطه مشخص را تحت پوشش قرار نمی‌دهند. نسخه اصلاح‌شده این معادله به‌صورت زیر ارائه‌شده است تا مسائل بهینه‌سازی را حل کند [۲۷]:

$$X_i^d = c\left(\sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{N} c\frac{ub_d - lb_d}{2} s(|X_j^d - X_i^d|)\frac{X_j - X_i}{d_{ij}}\right) + \hat{T}_d \qquad (۱۸)$$

که در آن ub_d محدوده بالا در بُعد Dام، Ib_d محدوده پایین در بعد Dام، $S(r) = f^{\frac{-r}{l}} - e^{-r}$ مقدار بعد Dام در هدف (بهترین راه‌حل به‌دست‌آمده) و c ضریب کاهشی برای کوچک کردن منطقه راحت، منطقه دافعه و منطقه جاذبه است. توجه داشته باشید که S بسیار شبیه به عامل S در معادله (۱۲) است؛ بنابراین، نمی‌توانیم گرانش را در نظر بگیریم (هیچ عامل Gوجود ندارد) و فرض کنیم که مسیر باد (عامل A) همیشه به سمت هدف است $\left(\hat{T}_d\right)$.

معادله (۱۸) نشان می‌دهد که جای بعدی یک ملخ بر اساس جای فعلی، جای هدف و جای دیگر ملخ‌ها تعریف می‌شود. توجه کنید که اولین عامل در این معادله، مکان فعلی ملخ با توجه به دیگر ملخ‌هاست. درواقع، باید توجه کنیم که شرایط تمام ملخ‌ها را برای تعیین مکان عوامل جستجو حول هدف در نظر بگیریم.

گام‌های اعمال الگوریتم ملخ به شرح زیر می‌باشد:

گام ۱: فراخوانی اطلاعات مربوط به شبکه، مساله و الگوریتم (تعداد جمعیت- تعدا حداکثر تکرار – تعداد پارامپرهای بهینه سازی – کران بالا و پایین).

گام ۲: ایجاد جمعیت اولیه به صورت تصادفی

گام ۳: ارزیابی و محاسبه تابع هدف (وارد کردن موقعیت ملخ به عنوان ظرفیت منابع و محل نصب منابع و محاسبه تابع هدف تلفات و پایداری ولتاژ)

[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.3.3.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.3 Autumn 2020
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

گام ۴: انتخاب بهترین موقعیت از ملخ و محل غذا

گام ۵: شروع تکرار اصلی (t=1)

گام ۶: بروز رسانی موقعیت ملخ با توجه به رابطه ۱۸

گام ۷: بررسی محدوده موقعیت بین کران بالا و پایین

گام ۸: محاسبه تابع هدف (وارد کردن موقعیت ملخ به عنوان ظرفیت منابع و محل نصب منابع و محاسبه تابع هدف تلفات و پایداری ولتاژ)

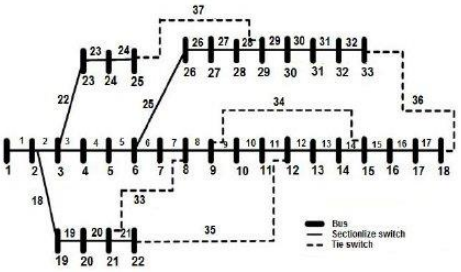
گام ۹: انتخاب بهترین جواب از بین جواب‌ها و وقعیت‌های بروز شده

گام ۱۰: بررسی حداکثر تکرار (t>tmax) ادامه یا رفتن به مرحله ۶

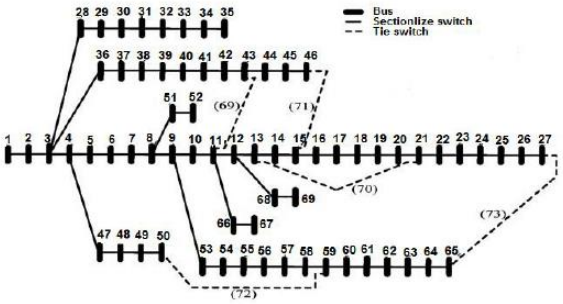
گام ۱۱: چاپ نتایج بهینه‌سازی

۴- نتایج شبیه‌سازی

برای نشان دادن عملکرد و اثربخشی روش ارائه‌شده توسط الگوریتم بهینه‌سازی ملخ در حل مسئله ارائه شده، آن را بر روی دو سیستم ۳۳ شین و ۶۹ شین IEEE اعمال کرده‌ایم. برای هر دو سیستم ولتاژ پست توزیع یک پریونیت است و تمام سوئیچ‌ها به‌عنوان کاندید در نظر گرفته‌شده‌اند. پیکربندی اولیه دو سیستم در شکل (۲ و ۳) به‌صورت تک‌خطی نشان داده‌شده است.



شکل (۲): پیکربندی پایه سیستم توزیع شعاعی ۳۳ شین [۱۸].



شکل (۳): پیکربندی پایه سیستم توزیع شعاعی ۶۹ شین [۱۸].

در این مقاله سه سناریو برای شبیه‌سازی در نظر گرفته‌شده است که عبارت‌اند از:

۱) تعیین مکان و اندازه بهینه D-STATCOM

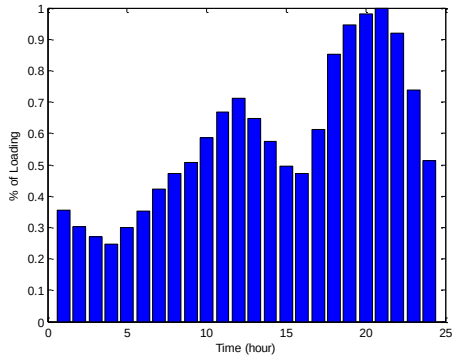
۲) بازآرایی بهینه شبکه توزیع

۳) بازآرایی بهینه شبکه توزیع و تعیین مکان و اندازه بهینه D-STATCOM

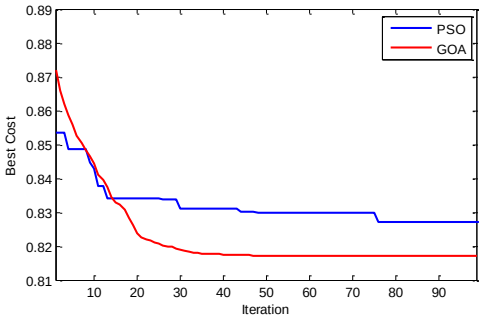
۴-۱ سناریو اول: تعیین مکان و اندازه بهینه D-STATCOM

در این سناریو فقط از D-STATCOM در شبکه توزیع استفاده می‌شود تا تأثیرگذاری آن در شبکه توزیع مشخص گردد. مقدار بار در ۲۴ ساعت برحسب پریونیت در شکل (۴) ارائه شده است. در شکل (۵) نمودار همگرایی GOA و PSO سیستم ۳۳ شین ارائه شده است که مشاهده می‌شود GOA همگرایی بهتر از PSO داشته است. در جدول (۱) نتایج حاصل از D-STATCOMگذاری سیستم ۳۳ شین برای هر دو الگوریتم PSO و GOA ارائه شده است. می‌توان با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۱) ملاحظه کرد که بعد از به‌کارگیری D-STATCOM تلفات اکتیو و راکتیو کاهش و پایداری ولتاژ بهبودیافته است. بااین‌حال می‌توان ملاحظه کرد که الگوریتم GOA حدود ۱ درصد بیشتر از الگوریتم PSO تلفات را کاهش داده است اما PSO حدود ۰/۰۴ پایداری ولتاژ بهتری را ارائه می‌دهد که می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد. در کل باملاحظه جدول (۱) و شکل (۵) می‌توان نتیجه گرفت که GOA عملکرد بهتر از PSO را دارد.

در جدول (۲) مقادیر توان اکتیو تولیدشده D-STATCOM در ۲۴ ساعت سیستم ۳۳ شین که توسط الگوریتم GOA به دست آمد را ملاحظه کرد.



شکل (۴): نمودار تقاضای بار ۲۴ ساعتی



شکل (۵): همگرایی تابع هدف در سناریو ۱ سیستم ۳۳ شین

در شکل (۶) و (۷) مقادیر توان اکتیو و راکتیو تولیدشده D-STATCOM در ۲۴ ساعت سیستم ۳۳ شین که توسط الگوریتم GOA به دست آمد را ملاحظه کرد.

در شکل (۸) پایداری ولتاژ در ۲۴ ساعت برای قبل و بعد از به‌کارگیری D-STATCOM سیستم ۳۳ شین ارائه شد که در این شکل نیز ملاحظه می‌شود VSI نیز در تمام ساعات کاهش‌یافته است.

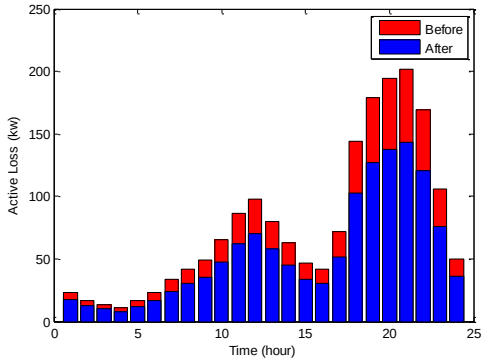
[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.3.3.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.3 Autumn 2020
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

جدول (۱): نتایج به‌دست‌آمده در سناریو ۱ سیستم ۳۳ شین

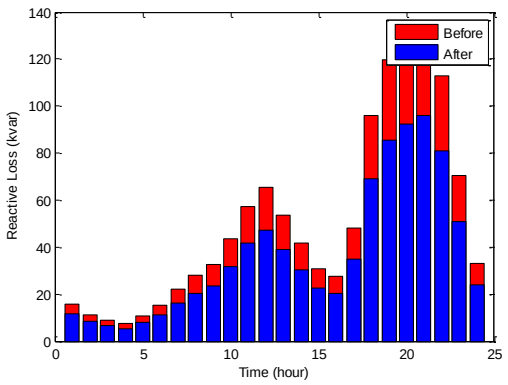
ساعت	۱	۲	۳	٤	۸	٦	۷	۸
KVAR	٤٦٥	۳۹۸	۳٥۷	۳۲٦	۳۹۳	٤٥۹	٥٤۸	٦۱۱
ساعت	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱٤	۱٥	۱٦
KVAR	٦٥٦	۷٥٤	۸٥۸	۹۱۲	۸۳۱	۷٤۰	٦٤۰	٦۰۹
ساعت	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲٤
KVAR	۷۸۹	۱۰۹۳	۱۲۱۳	۱۲٥۸	۱۲۸۲	۱۱۷۸	۹۷۱	٦٦۲

جدول (۲): توان راکتیو D-STATCOM در سناریو ۱ سیستم ۳۳ شین

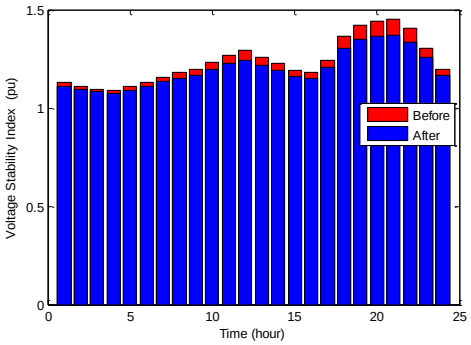
	قبل از DSTATCOM گذاری	GOA	PSO
اندازه (Mvar) DSTATCOM	--	۱۲۸۲	۱٥۰۰
مکان DSTATCOM	--	۳۰	۳۰
تلفات اکتیو (KW)	۱۸۲٤ /۸	۱۳۰٦/۳۳	۱۳۳٥/۹۲
درصد کاهش تلفات اکتیو ٪	--	۲٤/۷۲	۲۷/۸٤
تلفات راکتیو (KVar)	۱۲۱٦ /٤	۸۷۷/۰	۸۹۹
درصد کاهش تلفات اکتیو ٪	--	۲۸/۲۱	۲۷/۲
٪ΔV	--	۰/۰۲٦۸۸	۰/۰۳٥۸٥۲
حداقل ولتاژ (pu)	۰/۹٥۷۱۲	۰/۹٦۳۲٤	۰/۹٦٤٥۸
حداکثر ولتاژ (pu)	۱	۱	۱
VSI	۲۹/٦٦	۲۸/۷٥	۲۸/۷۱



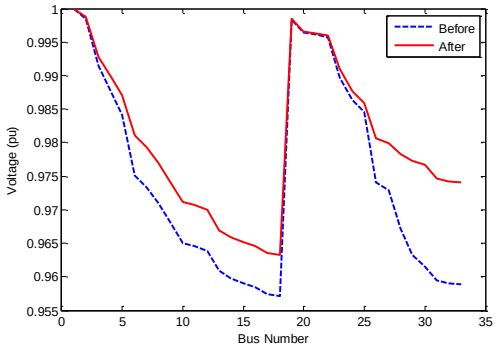
شکل (۶): مقایسه تلفات اکتیو ساعتی در سناریو ۱ سیستم ۳۳ شین



شکل (۷): مقایسه تلفات راکتیو ساعتی در سناریو ۱ سیستم ۳۳ شین



شکل (۸): مقایسه VSI ساعتی در سناریو ۱ سیستم ۳۳ شین



شکل (۹): مقایسه پروفیل ولتاژ در سناریو ۱ سیستم ۳۳ شین

در شکل (۹) نیز پروفیل ولتاژ سیستم ۳۳ شین در ساعتی که بیشترین بار وجود دارد ارائه شده است که می‌توان بهبود پروفیل ولتاژ را مشاهده کرد.

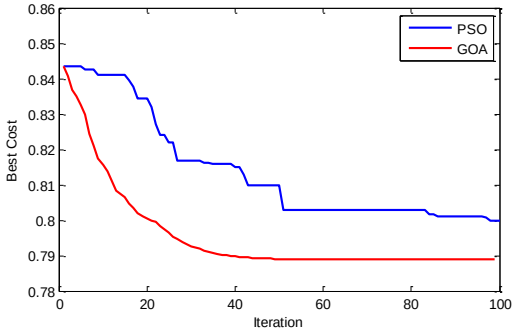
در شکل (۱۰) نمودار همگرایی GOA و PSO سیستم ۶۹ شین ارائه شده است که مشاهده می‌شود GOA همگرایی بهتر از PSO داشته است. در جدول (۳) نتایج حاصل از D-STATCOM گذاری سیستم ۶۹ شین برای هر دو الگوریتم PSO و GOA ارائه شده است. می‌توان در جدول ارائه شده ملاحظه کرد که بعد از به‌کارگیری D-STATCOM تلفات اکتیو و راکتیو کاهش و پایداری ولتاژ بهبودیافته است. بااین‌حال می‌توان ملاحظه کرد که الگوریتم GOA حدود ۱ درصد بیشتر از الگوریتم PSO تلفات را کاهش داده است و همچنین حدود ۰/۰۴ پایداری ولتاژ بهتری را نیز ارائه می‌دهد. در کل باملاحظه جدول (۳) و شکل (۱۰) می‌توان نتیجه گرفت که GOA عملکرد بهتر از PSO را دارد.

در جدول (۴) مقادیر توان اکتیو تولیدشده D-STATCOM در ۲۴ ساعت سیستم ۶۹ شین که توسط الگوریتم GOA به دست آمد را ملاحظه کرد.

در شکل (۱۱) و (۱۲) مقادیر تلفات اکتیو و راکتیو در ۲۴ ساعت سیستم ۶۹ شین که توسط الگوریتم GOA به دست آمد را ملاحظه کرد که مشخص است در تمام ساعات تلفات کاهش‌یافته است.

در شکل (۱۳) پایداری ولتاژ در ۲۴ ساعت برای قبل و بعد از به‌کارگیری D-STATCOM سیستم ۶۹ شین ارائه شد که در این شکل نیز ملاحظه می‌شود VSI نیز در تمام ساعات کاهش‌یافته است.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.3.3.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.3 Autumn 2020
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]



شکل (۱۰): همگرایی تابع هدف در سناریو ۱ سیستم ۶۹ شین

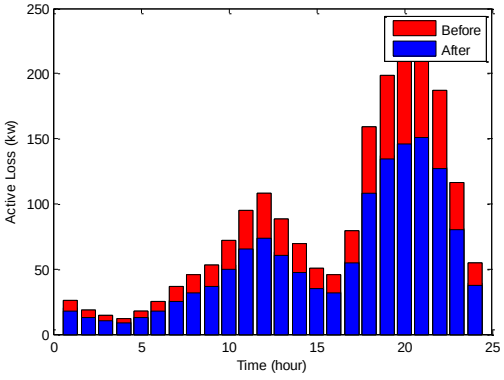
جدول (۳): نتایج به‌دست‌آمده در سناریو ۱ سیستم ۶۹ شین

	قبل از DSTATCOM گذاری	GOA	PSO
اندازه (Mvar) DSTATCOM	--	۱۳٦٥/٦۳	۱٥۰۰
مکان DSTATCOM	--	٦۱	٦۱
تلفات اکتیو (KW)	۲۰۱۲ /۸۷	۱۳۷٦/۲۳	۱٤۱۰/٥
درصد کاهش تلفات اکتیو ٪	--	۳۲	۳۱/۱۷
تلفات راکتیو (KVar)	۹۱٦ /۳	٦۳۹/۱۳	٦٥۳/۱۳
درصد کاهش تلفات اکتیو ٪	--	۳۰/٦	۳۰
٪ΔV	--	۰/۰۲۷٤۷۲	۰/۰۱۹٤٤٦
حداقل ولتاژ (pu)	۰/۹٥٥٤۹	۰/۹٦٦۰۸	۰/۹٦۳۰٥
حداکثر ولتاژ (pu)	۱	۱	۱
VSI	۳۰/۱۲	۲۸/٥۲	۲۸/٥۸

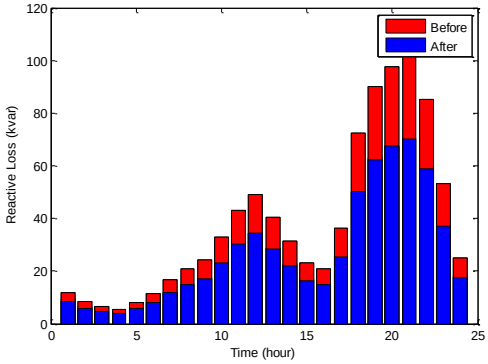
جدول (۴): توان راکتیو D-STATCOM در سناریو ۱ سیستم ۶۹ شین

ساعت	۱	۲	۳	۴	۸	۶	۷	۸
KVAR	۴۹۸	۴۲۷	۳۸۵	۳٥۱	۴۲۲	۴۹۴	۵۸۸	۶۵۳
ساعت	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
KVAR	۷۰۱	۸۰۶	۹۱۶	۹۷۲	۸۸۷	۷۹۱	۶۸۶	۶۵۱
ساعت	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
KVAR	۸۴۲	۱۱۶۶	۱۲۹۲	۱۳۴۱	۱۳۶۶	۱۲٥۸	۱۰۰۹	۷۰۸

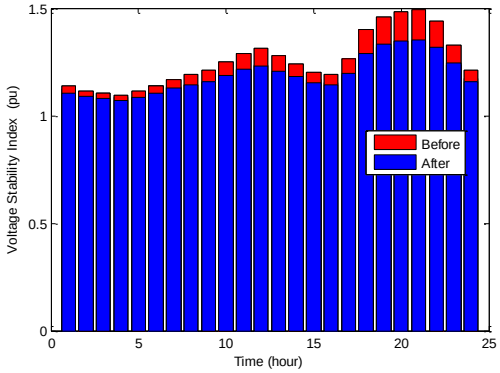
در شکل (۱۴) نیز پروفیل ولتاژ سیستم ۶۹شین در ساعتی که بیشترین بار وجود دارد ارائه شده است که می‌توان بهبود پروفیل ولتاژ را مشاهده کرد.



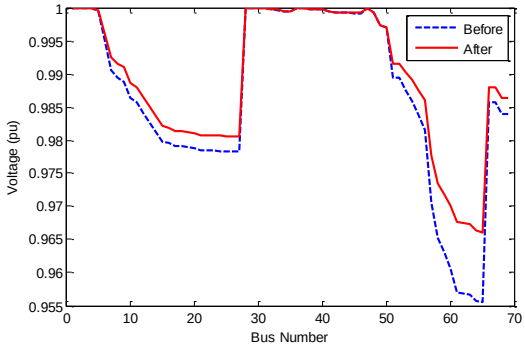
شکل (۱۱): مقایسه تلفات اکتیو ساعتی در سناریو ۱ سیستم ۶۹ شین



شکل (۱۲): مقایسه تلفات راکتیو ساعتی در سناریو ۱ سیستم ۶۹ شین



شکل (۱۳): مقایسه VSI ساعتی در سناریو ۱ سیستم ۶۹ شین



شکل (۱۴): مقایسه پروفیل ولتاژ در سناریو ۱ سیستم ۶۹ شین

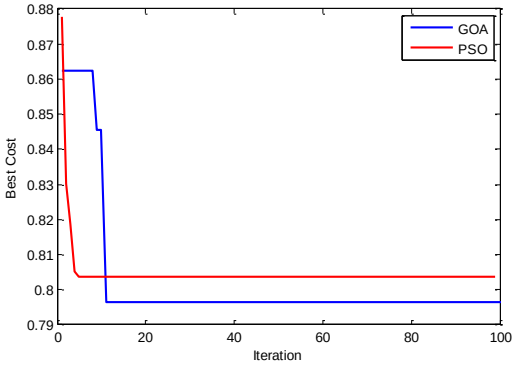
٤-۲ سناریو دوم: بازآرایی بهینه

در این سناریو فقط از بازآرایی در شبکه توزیع استفاده می‌شود تا تأثیرگذاری آن در شبکه توزیع مشخص گردد.

در شکل (۱۵) نمودار همگرایی GOA و PSO سیستم ۳۳ شین ارائه شده است که مشاهده می‌شود GOA همگرایی بهتر از PSO داشته است. در جدول (۵) نتایج حاصل از بازآرایی سیستم ۳۳ شین برای هر دو الگوریتم PSO و GOA ارائه شده است. می‌توان در جدول ارائه شده ملاحظه کرد که بعد از به‌کارگیری بازآرایی تلفات اکتیو و راکتیو کاهش‌یافته است. بااین‌حال می‌توان ملاحظه کرد که الگوریتم GOA حدود ۱ درصد بیشتر از الگوریتم PSO تلفات اکتیو را کاهش داده است و PSO افزایش توان راکتیو بیشتری را داشته است ولی حدود ۰/۰۴ درصد حداقل ولتاژ بهتری را ارائه می‌دهد که می‌توان از

[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.3.3.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.3 Autumn 2020
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

آن چشم‌پوشی کرد. در کل باملاحظه جدول (۵) و شکل (۱۵) می‌توان نتیجه گرفت که GOA عملکرد بهتر از PSO را دارد.



شکل (۱۵): همگرایی تابع هدف در سناریو ۲ سیستم ۳۳ شین

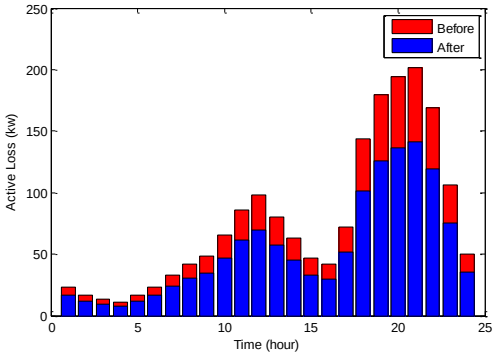
در شکل (۱۶) و (۱۷) مقادیر تلفات اکتیو و راکتیو سیستم ۳۳ شین در ۲۴ ساعت که توسط الگوریتم GOA به دست آمد را می‌توان ملاحظه کرد. تلفات اکتیو و راکتیو در تمام ساعات کاهش‌یافته است.

در شکل (۱۸) نیز پروفیل ولتاژ سیستم ۳۳ شین در ساعتی که بیشترین بار وجود دارد ارائه شده است که می‌توان بهبود پروفیل ولتاژ را مشاهده کرد.

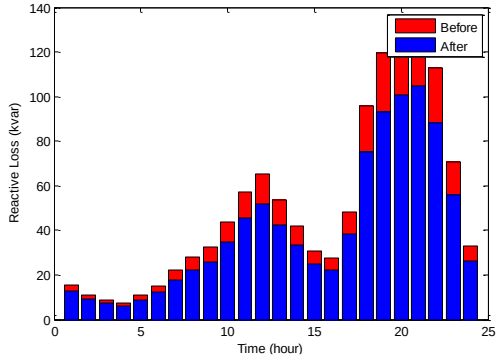
در شکل (۱۹) پیکربندی سیستم ۳۳ شین بعد از بازآرایی مشاهده می‌شود.

جدول (۵): نتایج به‌دست‌آمده در سناریو ۲ سیستم ۳۳ شین

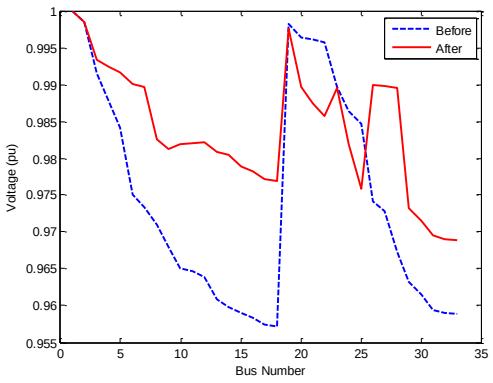
	قبل از بازآرایی	GOA	PSO
خطوط خارج‌شده	۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۶، ۳۷	۳۲، ۹، ۳۷، ۱۴، ۷	۲۸، ۹، ۱۴، ۷، ۳۶
تلفات اکتیو (KW)	۱۸۲۴ /۸	۱۲۷۳/۱	۱۲۹۴/۲
درصد کاهش تلفات اکتیو ٪	--	۳۰/۶۲	۲۹/۴۵
تلفات راکتیو (KVar)	۱۲۱۶ /۴	۹۳۳/۳۵	۹۵۸/۹
درصد کاهش تلفات اکتیو ٪	--	۲۳/۷	۲۱/۶
٪ΔV	--	۰/۰۲۱۰۱۹	۰/۰۲۳۱۵
حداقل ولتاژ (pu)	۰/۹۵۷۱۲	۰/۹۶۸۹۶	۰/۹۶۸۹۱
حداکثر ولتاژ (pu)	۱	۱	۱



شکل (۱۶): مقایسه تلفات اکتیو ساعتی در سناریو ۲ سیستم ۳۳ شین



شکل (۱۷): مقایسه تلفات راکتیو ساعتی در سناریو ۲ سیستم ۳۳ شین



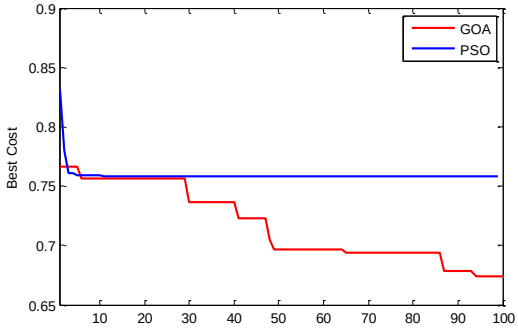
شکل (۱۸): مقایسه پروفیل ولتاژ در سناریو ۲ سیستم ۳۳ شین

در شکل (۱۹) نمودار همگرایی GOA و PSO سیستم ۶۹ شین ارائه شده است که مشاهده می‌شود GOA همگرایی بهتر از PSO داشته است. در جدول (۶) نتایج حاصل از بازآرایی سیستم ۶۹ شین برای هر دو الگوریتم PSO و GOA ارائه شده است. می‌توان در جدول ارائه شده ملاحظه کرد که بعد از به‌کارگیری بازآرایی تلفات اکتیو کاهش و راکتیو افزایش‌یافته است. بااین‌حال می‌توان ملاحظه کرد که الگوریتم GOA حدود ۱ درصد بیشتر از الگوریتم PSO تلفات اکتیو را کاهش داده است و PSO افزایش تلفات راکتیو بیشتر از GOA را داشت. در کل باملاحظه جدول (۶) و شکل (۱۹) می‌توان نتیجه گرفت که GOA عملکرد بهتر از PSO را دارد.

در شکل (۲۰) و (۲۱) مقادیر تلفات اکتیو و راکتیو در ۲۴ ساعت سیستم ۶۹ شین که توسط الگوریتم GOA به دست آمد را ملاحظه کرد که مشخص است در تمام ساعات تلفات اکتیو کاهش‌یافته است ولی تلفات راکتیو در تمام ساعات افزایش‌یافته است.

در شکل ۲۲ نیز پروفیل ولتاژ سیستم ۶۹ شین در ساعتی که بیشترین بار وجود دارد ارائه شده است که می‌توان بهبود پروفیل ولتاژ را مشاهده کرد.

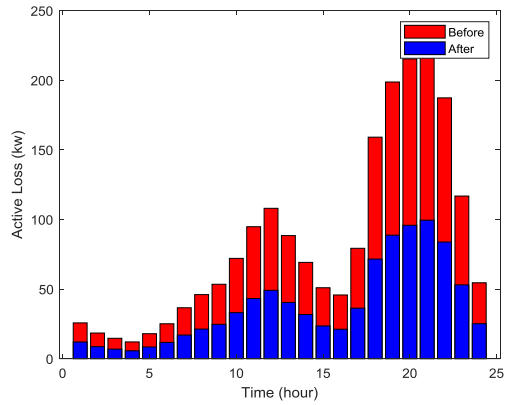
[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.3.3.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.3 Autumn 2020
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]



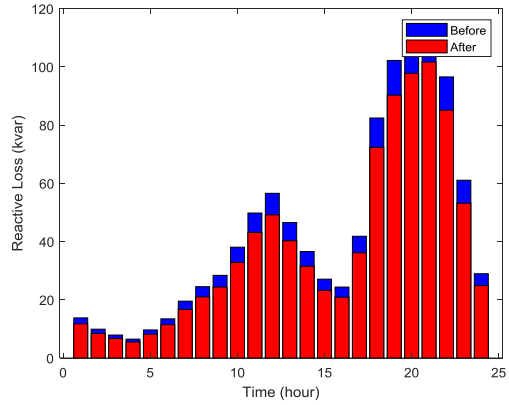
شکل (۱۹): همگرایی تابع هدف در سناریو ۲ سیستم ۶۹ شین

جدول (۶): نتایج به‌دست‌آمده در سناریو ۲ سیستم ۶۹ شین

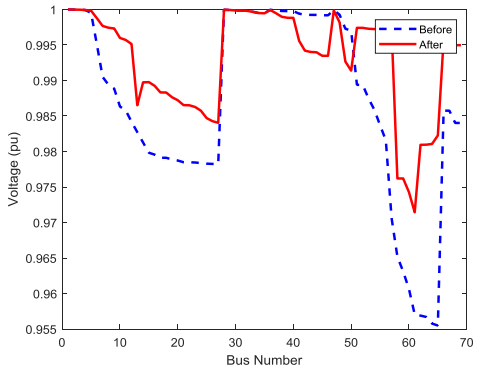
	قبل از بازآرایی	GOA	PSO
مکان DSTATCOM	۶۹، ۷۰، ۷۱، ۷۲، ۷۳	۱۲، ۱۳، ۶۱،۵۷،۶۹	۱۶، ۱۰، ۴۵، ۵۵، ۷۳
تلفات اکتیو (KW)	۲۰۱۲ /۸۷	۹۱۱/۱۲	۱۱۷۲
درصد کاهش تلفات اکتیو ٪	--	۵۵/۱	۴۲
تلفات راکتیو (KVar)	۹۱۶ /۳	۱۰۵۰/۵۱	۱۳۹۹/۷
درصد کاهش تلفات اکتیو ٪	--	-۱۳/۹	-۵۲/۲
٪ΔV	--	۰/۰۳۰۱۵۷	۰/۰۱۹۶۱۳
حداقل ولتاژ (pu)	۰/۹۵۵۴۹	۰/۹۷۱۴۴	۰/۹۶۳۵۵
حداکثر ولتاژ (pu)	۱	۱	۱



شکل (۲۰): مقایسه تلفات اکتیو ساعتی در سناریو ۲ سیستم ۶۹ شین



شکل (۲۱): مقایسه تلفات راکتیو ساعتی در سناریو ۲ سیستم ۶۹ شین



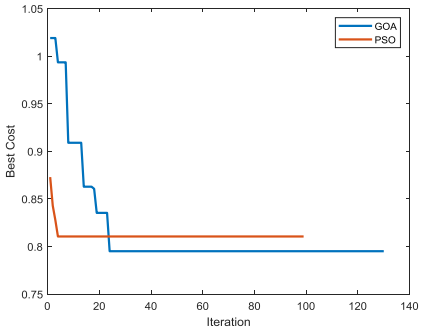
شکل (۲۲): مقایسه پروفیل ولتاژ در سناریو ۲ سیستم ۳۳ شین

۴ -۳ سناریو سوم: بازآرایی بهینه و تعیین مکان و اندازه بهینه D-STATCOM هم‌زمان

در این سناریو از D-STATCOM و بازآرایی به‌طور هم‌زمان در شبکه توزیع استفاده می‌شود تا تأثیرگذاری آن در شبکه توزیع مشخص گردد.

در شکل (۲۳) نمودار همگرایی GOA و PSO سیستم ۳۳ شین ارائه شده است که مشاهده می‌شود GOA همگرایی بهتر از PSO داشته است. در جدول (۷) نتایج حاصل از D-STATCOMگذاری و بازآرایی هم‌زمان سیستم ۳۳ شین برای هر دو الگوریتم PSO و GOA ارائه شده است. می‌توان در جدول ارائه شده ملاحظه کرد که بعد از به‌کارگیری D-STATCOM و بازآرایی تلفات اکتیو و راکتیو کاهش و پایداری ولتاژ بهبودیافته است. بااین‌حال می‌توان ملاحظه کرد که الگوریتم GOA حدود ۲ درصد بیشتر از الگوریتم PSO تلفات را کاهش داده است اما PSO حدود ۰/۱۳ پایداری ولتاژ بهتری را ارائه می‌دهد که می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد. در کل با ملاحظه‌ی جدول (۷) و شکل (۲۳) می‌توان نتیجه گرفت که GOA عملکرد بهتر از PSO را دارد.

در جدول (۸) مقادیر توان اکتیو تولیدشده D-STATCOM در ۲۴ ساعت سیستم ۳۳ شین که توسط الگوریتم GOA به دست آمد را ملاحظه کرد. همچنین در شکل (۲۴) و (۲۵) تلفات توان اکتیو و راکتیو در ۲۴ ساعت سیستم ۳۳ شین که توسط الگوریتم GOA به دست آمد را ملاحظه کرد؛ که ملاحظه می‌شود در تمام ساعات تلفات اکتیو و راکتیو کاهش‌یافته است.



شکل (۲۳): همگرایی تابع هدف در سناریو ۳ سیستم ۳۳ شین

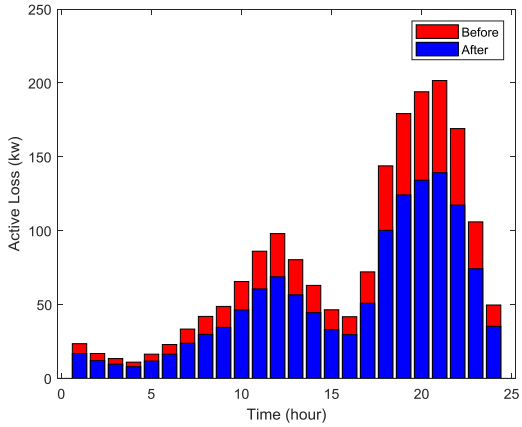
[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.3.3.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.3 Autumn 2020
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

جدول (۷): نتایج به‌دست‌آمده در سناریو ۳ سیستم ۳۳ شین

	قبل از بهینه‌سازی	GOA	PSO
اندازه (Mvar) DSTATCOM	--	۱۵۰۰	۱۵۰۰
مکان DSTATCOM	--	۳۱	۱۷
خطوط خارج‌شده	۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۶، ۳۷	۹، ۷، ۲۸، ۱۴، ۳۲	۳۳، ۹، ۱۴، ۲۸، ۳۲
تلفات اکتیو (KW)	۱۸۲۴/۸	۱۲۷۷/۳۱	۱۳۱۸/۵۲
درصد کاهش تلفات اکتیو ٪	--	۳۰/۴	۲۸/۱۳
تلفات راکتیو (KVar)	۱۲۱۶/۴	۹۵۷/۸۸	۹۱۷/۸۳
درصد کاهش تلفات اکتیو ٪	--	۲۱/۷	۲۵
٪ΔV	--	۰/۰۲۳۲۹۱	۰/۰۲۶۸۰۲
حداقل ولتاژ (pu)	۰/۹۵۷۱۲	۰/۹۷۰۶۱	۰//۹۶۹۴۱
حداکثر ولتاژ (pu)	۱	۱	۱
VSI	۲۹/۶۶	۲۷/۸۱	۲۷/۹۵

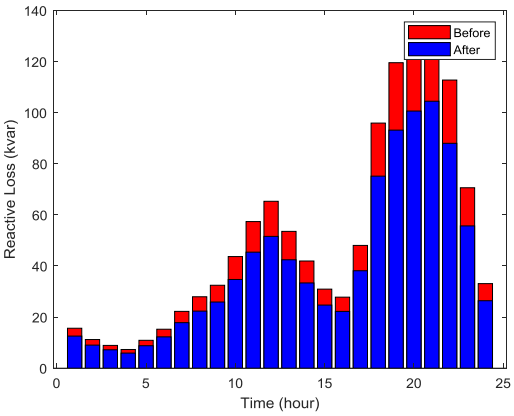
جدول (۸): توان راکتیو D-STATCOM در سناریو ۳ سیستم ۳۳ شین

ساعت	۱	۲	۳	۴	۶	۷	۸
KVAR	۳۸۹	۱۳۶۳	۱۲۳۰	۶۰۷	۱۱۲۰	۹۴۹	۱۲۴۱
ساعت	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۶
KVAR	۱۰۰۵	۱۲۲۲	۴۷۸	۱۵۰۰	۶۴۷	۱۰۱۲	۴۷۰
ساعت	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۴
KVAR	۱۰۶۶	۷۵۷	۷۰۶	۲۸	۳۹۶	۷۵۲	۹۲۳

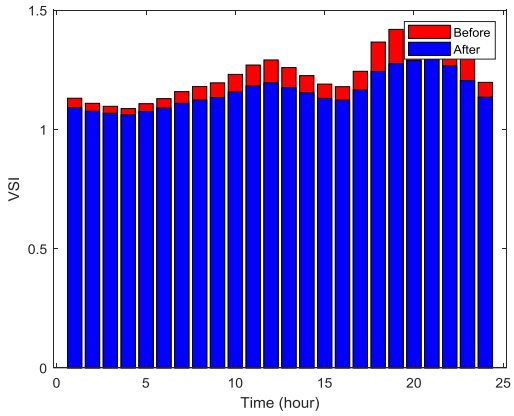


شکل (۲۴): مقایسه تلفات اکتیو ساعتی در سناریو ۳ سیستم ۳۳ شین

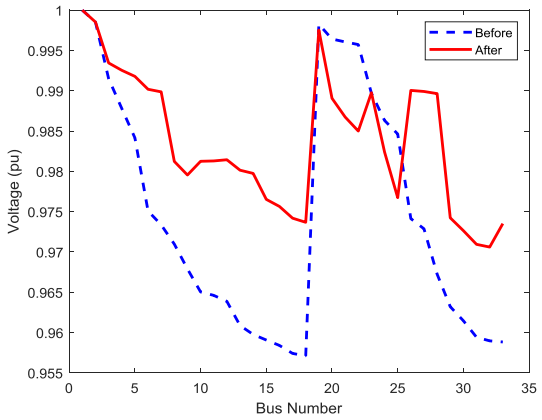
در شکل (۲۶) پایداری ولتاژ در ۲۴ ساعت برای قبل و بعد از به‌کارگیری D-STATCOM و بازآرایی سیستم ۳۳ شین ارائه شد که در این شکل نیز ملاحظه می‌شود VSI نیز در تمام ساعات کاهش‌یافته است.



شکل (۲۵): مقایسه تلفات راکتیو ساعتی در سناریو ۳ سیستم ۳۳ شین



شکل (۲۶): مقایسه VSI ساعتی در سناریو ۳ سیستم ۳۳ شین



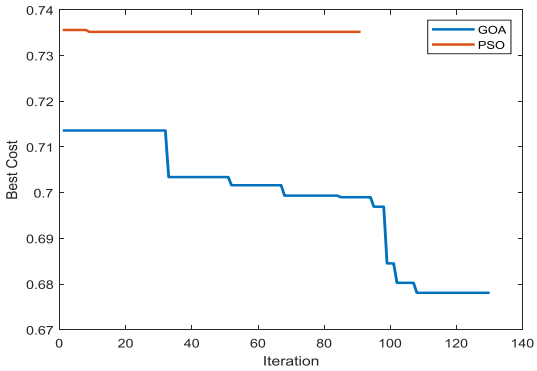
شکل (۲۷): مقایسه پروفیل ولتاژ در سناریو ۳ سیستم ۳۳ شین

در شکل (۲۷) نیز پروفیل ولتاژ سیستم ۳۳ شین در ساعتی که بیشترین بار وجود دارد ارائه شده است که می‌توان بهبود پروفیل ولتاژ را مشاهده کرد.

در شکل (۲۸) نمودار همگرایی GOA و PSO سیستم ۶۹ شین ارائه شده است که مشاهده می‌شود GOA همگرایی بهتر از PSO داشته است. در جدول (۹) نتایج حاصل از D-STATCOMگذاری و بازآرایی سیستم ۶۹ شین برای هر دو الگوریتم PSO و GOA ارائه شده است. می‌توان در جدول ارائه شده ملاحظه کرد که بعد از

[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.3.3.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.3 Autumn 2020
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

به‌کارگیری D-STATCOM و بازآرایی تلفات اکتیو و راکتیو کاهش و پایداری ولتاژ بهبودیافته است. بااین‌حال می‌توان ملاحظه کرد که الگوریتم GOA حدود ۱۰ درصد بیشتر از الگوریتم PSO تلفات را کاهش داده است اما PSO حدود ۰/۱۵ پایداری ولتاژ بهتری را ارائه داد. در کل باملاحظه جدول(۹) و شکل (۲۸) می‌توان نتیجه گرفت که GOA عملکرد بهتر از PSO را دارد.



شکل (۲۸): همگرایی تابع هدف در سناریو ۳ سیستم ۶۹ شین

در شکل (۲۹) و (۳۰) مقادیر تلفات اکتیو و راکتیو در ۲۴ ساعت سیستم ۶۹ شین که توسط الگوریتم GOA به دست آمد را ملاحظه کرد که مشخص است در تمام ساعات تلفات کاهش‌یافته است.

در شکل (۳۱) پایداری ولتاژ در ۲۴ ساعت برای قبل و بعد از به‌کارگیری D-STATCOM و بازآرایی سیستم ۶۹ شین ارائه شد که در این شکل نیز ملاحظه می‌شود VSI نیز در تمام ساعات کاهش‌یافته است.

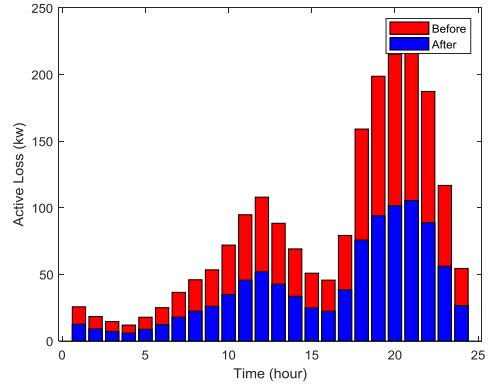
جدول (۹): نتایج به‌دست‌آمده در سناریو ۳ سیستم ۶۹ شین

	قبل از DSTATCOM گذاری	GOA	PSO
اندازه (Mvar) DSTATCOM	--	۱٤۹۸	۱٤۳۹
مکان DSTATCOM	--	٤۹	۳٥
خطوط خارج‌شده	٦۹، ۷۰، ۷۱، ۷۲، ۷۳	۷۰، ۱۰، ٦۲، ۱٤، ٥٥	٦۱، ۳٥، ٤٥، ٥۷، ۱۷
تلفات اکتیو (KW)	۲۰۱۲ /۸۷	۹٦٥/۲٥	۱۱٦۳/۲٥
درصد کاهش تلفات اکتیو ٪	--	٥۲/٤۰	٤۲/۷
تلفات راکتیو (KVar)	۹۱٦ /۳	۷۳۳	۷۸۳
درصد کاهش تلفات اکتیو ٪	--	۲٥/٤	۱۷
٪ΔV	--	۰/۰۲۸۷۱۱	۰/۰۲٤۳۱۸
حداقل ولتاژ (pu)	۰/۹٥٥٤۹	۰/۹۷۰۷۹	۰/۹۷۱٤۳
حداکثر ولتاژ (pu)	۱	۱	۱
VSI	۳۰/۱۲	۲۹/٤	۲۹/۲٥

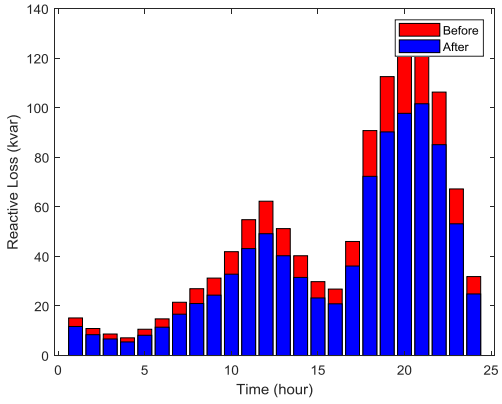
در جدول (۱۰) مقادیر توان اکتیو تولیدشده D-STATCOM در ۲۴ ساعت سیستم ۶۹ شین که توسط الگوریتم GOA به دست آمد را ملاحظه کرد.

جدول (۱۰): توان راکتیو D-STATCOM در سناریو ۳ سیستم ۶۹ شین

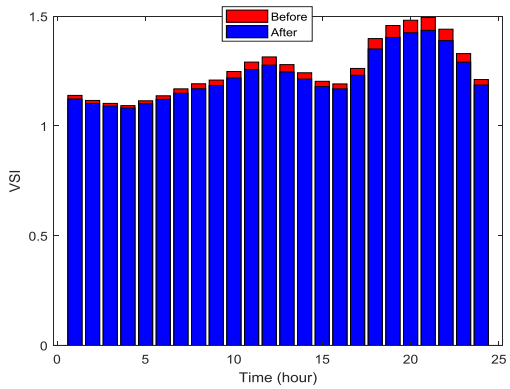
ساعت	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸
KVAR	۱٤٤۹	۳٥٦	۷٦۹	٤۰۰	۷۷۲	۱٤۹۸	۱۲٦	٥٤۰
ساعت	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱٤	۱٥	۱٦
KVAR	۸٦۳	٦۰۱	٦۱۷	۰	٦۲٤	٦۷۹	۱٥۳	٦٦٦
ساعت	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲٤
KVAR	۱۳۳۰	٤٥۱	۸٥٤	۱۳۷۱	۰	۲٦٥	۹٤۰	۷۱۸



شکل (۲۹): مقایسه تلفات اکتیو ساعتی در سناریو ۳ سیستم ۶۹ شین

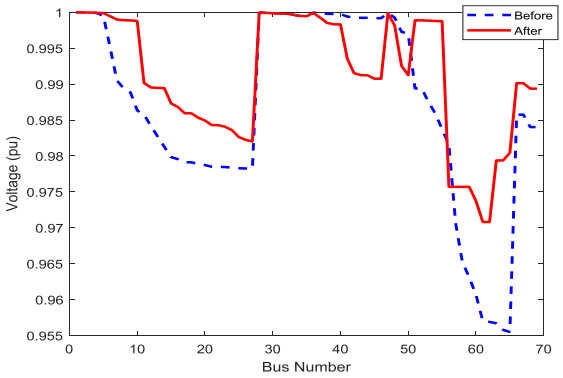


شکل (۳۰): مقایسه تلفات راکتیو ساعتی در سناریو ۳ سیستم ۶۹ شین



شکل (۳۱): مقایسه VSI ساعتی در سناریو ۳ سیستم ۶۹ شین

[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.3.3.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.3 Autumn 2020
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]



شکل (۳۲): مقایسه پروفیل ولتاژ در سناریو ۳ سیستم ۶۹ شین

در شکل (۳۲) نیز پروفیل ولتاژ سیستم ۶۹شین در ساعتی که بیشترین بار وجود دارد ارائه شده است که می‌توان بهبود پروفیل ولتاژ را مشاهده کرد.

۵- نتیجه‌گیری

این مقاله باهدف تعیین آرایش بهینه شبکه توزیع در حضور D-STATCOM انجام شد. فرض شد که با توجه به حضور سیستم‌های اندازه‌گیری هوشمند، اطلاعات شبکه در هر ساعت در اختیار بهره‌بردار قرار دارد. مسئله با دو تابع هدف کاهش تلفات و بهبود پایداری ولتاژ شبکه حل گردید. در این تحقیق مسئله بهینه‌سازی موردنظر از طریق روش‌های فرا ابتکاری حل شد. در این تحقیق از الگوریتم ملخ به همراه روش چندهدفه فازی برای حل مسئله بازآرایی شبکه توزیع به همراه تعیین ظرفیت و محل نصب D-STATCOM با توابع هدف کاهش تلفات و بهبود پایداری ولتاژ استفاده شد. روش پیشنهادی بر روی دو تست سیستم استاندارد ۳۳ و ۶۹ شینه IEEE اعمال گردید. همچنین میزان درصد بارگذاری شبکه که به‌صورت اندازه‌گیری هوشمند است از مراجع استفاده شد. روش پیشنهادی با الگوریتم PSO نیز مقایسه شده است. سه سناریو مختلف برای شبیه‌سازی در نظر گرفته شد که عبارت‌اند از حضور D-STATCOM تنها در شبکه توزیع، بازآرایی تنها شبکه توزیع و بازآرایی شبکه توزیع با حضور D-STATCOM. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که الگوریتم GSO در تمام سناریوها عملکرد بهتری را نسبت به PSO دارد. همچنین مشخص شد که در سیستم‌های کوچک‌تر حضور D-STATCOM تنها موجب کاهش تلفات راکتیو می‌شود ولی تلفات اکتیو را افزایش می‌دهد. همچنین بازآرایی تنها تلفات اکتیو را بهتر کاهش می‌دهد ولی بازآرایی با حضور D-STATCOM تأثیر بیشتری بر VSI دارد و در سناریو سوم VSI بهترین مقدار را در سیستم کوچک داشت؛ اما در سیستم بزرگ بازآرایی با حضور D-STATCOM بیشترین کاهش تلفات را داشت و بازآرایی تنها موجب افزایش تلفات شبکه شد، درحالی‌که VSI در سناریو ۱ بهترین مقدار و در سناریو ۳ بدترین مقدار را داشت.

مراجع

[1] Rukmani DK, Thangaraj Y, Subramaniam U, Ramachandran S, Madurai Elavarasan R, Das N, Baringo L, Imran Abdul Rasheed M. A new approach to optimal location and sizing of DSTATCOM in radial distribution networks using bio-inspired cuckoo search algorithm. Energies. 2020 Jan;13(18):4615.

[2] Sambaiah KS, Jayabarathi T. 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. 2020 Sep 27;4(5).

[3] Narimani Mohammad Rasoul, Vahed Ali Azizi, Azizipanah-Abarghooee Rasoul, Javidsharifi Mahshid. Enhanced gravitational search algorithm for multi objective distribution feeder reconfiguration considering reliability, loss and operational cost. IET Gener Transm Distrib 2014;8(1):55–69.

[4] Franco, John, et al. "An efficient implementation of Tabu search in feeder reconfiguration of distribution systems." Power and Energy Society General Meeting, 2012 IEEE. IEEE, 2012.

[5] Sanam J. Optimization of planning cost of radial distribution networks at different loads with the optimal placement of distribution STATCOM using differential evolution algorithm. Soft Computing. 2020 Feb 4:1-6.

[6] Asrari, Arash, Saeed Lotfifard, and Mohammad S. Payam. "Pareto dominance-based multiobjective optimization method for distribution network reconfiguration." IEEE Transactions on Smart Grid 7.3 (2016): 1401-1410.

[7] Nguyen, Thuan Thanh, et al. "A Backtracking Search Algorithm for Distribution Network Reconfiguration Problem." AETA 2015: Recent Advances in Electrical Engineering and Related Sciences. Springer International Publishing, 2016. 223-234.

[8] Pereira, Jorge, Jorge Alves, and Manuel Matos. "Optimization of electrical distribution network operation based on EPSO." Intelligent System Application to Power Systems (ISAP), 2015 18th International Conference on. IEEE, 2015.

[9] Herazo, Efren, et al. "Optimal power distribution network reconfiguration using Cuckoo Search." Electric Power and Energy Conversion Systems (EPECS), 2015 4th International Conference on. IEEE, 2015.

[10] Ganesh S, Kanimozhi R. Meta-heuristic technique for network reconfiguration in distribution system with photovoltaic and D-STATCOM. IET Generation, Transmission & Distribution. 2018 Sep 17;12(20):4524-35.

[11] Capitanescu, Florin, et al. "Assessing the potential of network reconfiguration to improve distributed

[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.3.3.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.3 Autumn 2020
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

generation hosting capacity in active distribution systems." IEEE Transactions on Power Systems 30.1 (2015): 346-356.
[12] S. Das, D. Das, and A. Patra, "Reconfiguration of distribution networks with optimal placement of distributed generations in the presence of remote voltage controlled bus," Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 73, pp. 772–781, 2017 .
[13] Ameli, A. Ahmadifar, M.-H. Shariatkhah, M. Vakilian, and M.-R. Haghifam, "A dynamic method for feeder reconfiguration and capacitor switching in smart distribution systems," Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 85, pp. 200–211, 2017 .
[14] M. Abdelaziz, "Distribution network reconfiguration using a genetic algorithm with varying population size," 2017.
[15] L. W. de Oliveira, F. da S. Seta, and E. J. de Oliveira, "Optimal reconfiguration of distribution systems with representation of uncertainties through interval analysis," Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 83, pp. 382–391, Dec. 2016.
[16] M. Kaur and S. Ghosh, "Network reconfiguration of unbalanced distribution networks using fuzzy-firefly algorithm," Appl. Soft Comput., vol. 49, pp. 868–886, Dec. 2016 .
[17] T. T. Nguyen, T. T. Nguyen, A. V. Truong, Q. T. Nguyen, and T. A. Phung, "Multi-objective electric distribution network reconfiguration solution using runner-root algorithm," Appl. Soft Comput., vol. 52, pp. 93–108, 2017.
[18] J. C. López, M. Lavorato, and M. J. Rider, "Optimal reconfiguration of electrical distribution systems considering reliability indices improvement," Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 78, pp. 837–845, Jun. 2016 .
[19] A. Bayat, A. Bagheri, and R. Noroozian, "Optimal siting and sizing of distributed generation accompanied by reconfiguration of distribution networks for maximum loss reduction by using a new UVDA-based heuristic method," Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 77, pp. 360–371, May 2016 .
[20] S. Sultana and P. K. Roy, "Oppositional krill herd algorithm for optimal location of capacitor with reconfiguration in radial distribution system," Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 74, pp. 78–90, Jan. 2016 .
[21] B. B. Sahoo, "Analysis of distribution systems with DSTATCOM," Dissertation, Thapar University, Patiala, India, 2010.
[22] D. Tanti, B. Singh, M. Verma, and O. Mehrotra, "An ANN based approach for optimal placement of DSTATCOM for voltage sag mitigation," Int. J. Eng. Sci. Technol., vol. 3, no. 2, pp. 827–835, 2011.
[23] S. Jazebi, S. H. Hosseinian, and B. Vahidi, "DSTATCOM allocation in distribution networks considering reconfiguration using differential evolution algorithm," Energy Convers. Manag., vol. 52, no. 7, pp. 2777–2783, Jul. 2011.
[24] S. Nesrullah, M. Azah, and S. Hussain, "Reliability Improvement in Distribution Systems by Optimal Placement of DSTATCOM Using Binary Gravitational Search Algorithm," Przegl Ąd Elektrotechniczny (Electrical Rev., vol. 88, no. 2, pp. 295–299, 2012.
[25] S. Nesrullah, M. Azah, and S. Hussain, "Reliability improvement in distribution systems employing an integrated voltage sag mitigation method using binary gravitational search algorithm," J. Cent. South Univ., vol. 20, no. 11, pp. 3002–3014, Nov. 2013.
[26] C. Chodavadiya, V. Kumar, and B. Parmar, "Improve Voltage Profile of Power System Network using D-STATCOM and DVR with Matlab Simulation," Int. J. Eng. Res. Technol., vol. Vol.1, no. Issue 6, Aug. 2012.
[27] Mirjalili, Seyedeh Zahra, et al. "Grasshopper optimization algorithm for multi-objective optimization problems." Applied Intelligence (2017): 1-16.

رزومه



فاطمه افتخاری تحصیل خود را در مقطع کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق - قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، به اتمام رسانده است. فعالیت پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه قابلیت اطمینان، سیستمهای توزیع انرژی الکتریکی، و روش‌های بهینه‌سازی و ایجاد پایداری در سیستم‌های قدرت است.



افشین لشکرآرا در سال (۱۳۵۲) در تهران متولد شد. مدارک کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترای خود را در سالهای (۱۳۷۴)، (۱۳۸۰) و (۱۳۸۹) به‌ترتیب از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دانشگاه مازندران و دانشگاه علم و صنعت ایران در رشته مهندسی برق -قدرت اخذ نموده است. ایشان هم اکنون عضو ارشد انجمن مهندسی برق و الکترونیک آمریکا (IEEE Senior Member) و از سال (۱۳۸۰) تاکنون عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول می‌باشند. زمینه تحقیقاتی ایشان مطالعات استاتیکی و دینامیکی سیستم‌های قدرت، پایداری و کنترل و ادوات FACTS می‌باشند.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.3.3.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.3 Autumn 2020
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Reconfiguration smart distribution networks with the aim of loss reduction and voltage stability enhancement in the presence of D-STATCOM

Fatemeh Eftekhari[1], Afshin Lashkarara[2*]

1- MSc, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran, Eftekhari.fa.eng@gmail.com
*2- Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran Lashkarara@ieee.org

Abstract: Distribution of distribution network and use of D-STATCOM are two conventional methods to reduce losses and improve voltage stability in the distribution network that must be done optimally to bring more benefits to the distribution network. The purpose of this paper is to determine the optimal distribution network arrangement in the presence of D-STATCOM. To solve the problem of rearrangement of the distribution network along with determining the capacity and installation location of D-STATCOM, the propeller algorithm (GOA) along with multi-objective weighted method with the objective of reducing losses and improving voltage stability has been used. The proposed method is simulated on two IEEE standard 33 and 69 bus tests. Three different scenarios were considered for the simulation, which are the presence of D-STATCOM only in the distribution network, rearrangement of the only distribution network and rearrangement of the distribution network with the presence of D-STATCOM and the results of the proposed method will be compared with PSO algorithm.

Keywords: Distribution Network, Rearrangement, DSTATCOM Tools, Locust Algorithm

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

[DOR: 20.1001.1.23222468.1399.9.3.3.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 9-No.3 Autumn 2020