بازآرایی بهینه سیستم توزیع شعاعی با هدف کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی صاعقه بهبود یافته

محسن پورصابری[۱و۳]، حسن براتی[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی برق، واحد دزفول،دانشگاه آزاد اسلامی ، دزفول، ایران m.poursaberi@yahoo.com
*۲- دانشیار، گروه مهندسی برق، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران، Barati216@gmail.com
۳- مدیر تعمیرات پروژه‌های ترانسفورماتور شرکت تعمیر و نگهداری انتقال نیرو خوزستان (تنانیر)، اهواز، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۲۷

چکیده: در این مقاله، نسخه اصلاح شده الگوریتم جستجوی صاعقه به منظور تجدید آرایش بهینه کلیدها و مکان‌یابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده در فیدر توزیع، پیشنهاد شده است . اهداف اصلی بهینه‌سازی، کاهش تلفات اهمی و انحراف ولتاژ در فیدرهای استاندارد ۳۳ شین و ۹۴ گره‌ای IEEE می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی حاکی از آن است زمانی تاثیرگذاری حضور منابع تولید پراکنده در کاهش تلفات اهمی فیدر و اصلاح پروفیل ولتاژ حداکثر است که آرایش شبکه به درستی انتخاب شود. همچنین با مقایسه نتایج حاصله از بهینه‌سازی توسط الگوریتم جستجوی صاعقه و مقایسه آن با الگوریتم ژنتیک، می‌توان به کارآیی و دقت الگوریتم پیشنهادی پی برد. بکارگیری منابع توید پراکنده در فیدر توزیع تجدید آرایش شده سبب کاهش تلفات حدود ۴۰٪ و اصلاح پروفیل ولتاژ ۶۶٪ شده است در حالیکه تجدید آرایش شبکه در صورت عدم حضور منابع تولید پراکنده می‌تواند تلفات را ۳۱٪ و انحراف ولتاژ را ۴۸٪ کاهش دهد.

کلمات کلیدی: سیستم توزیع، بازآرایی کلیدها، تولیدات پراکنده، الگوریتم جستجوی صاعقه

۱- مقدمه

کاهش تلفات در شبکه‌های توزیع مهم‌ترین اولویت در طراحی و بهره‌برداری شبکه‌های برق می‌باشد. در شبکه‌های برق‌رسانی درصد قابل‌توجهی از انرژی الکتریکی تولیدشده در نیروگاه‌ها در مسیر تولید تا مصرف به هدر می‌رود. تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که حدود ۱۳٪-۵٪ کل توان تولیدی به صورت تلفات خطوط در سیستم توزیع تلف می‌شود. از سویی در شبکه توزیع به علت بالا بودن جریان و بالا بودن نسبت R/X، مسئله افت ولتاژ به طور جدی مطرح می‌شود. روش‌های متعددی به منظور کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ شبکه توزیع ارائه شده است. از جمله آن‌ها می‌توان به خازن‌گذاری مدیریت مصرف برای پیک‌سایی، تعویض هادی شبکه، تغییر سطح ولتاژ، مدیریت بار ترانسفورمرها و بازآرایی شبکه اشاره کرد. یکی از ارزان‌ترین راه‌حل‌های موجود جهت کاهش تلفات فیدرهای توزیع، تجدید آرایش شبکه می‌باشد. از سویی در سال‌های اخیر، استفاده از منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع روندی افزایشی داشته است. حال می‌توان از این فرصت برای اصلاح پارامترهای شبکه و کاهش تلفات استفاده کرد. در چنین شرایطی انتخاب ظرفیت بهینه و مکان مناسب نصب تولیدات پراکنده و همچنین تعیین آرایش بهینه کلیدها در فیدر توزیع ضرورت پیدا می‌کند [۳-۱]. از آنجایی که یک سیستم توزیع دارای تعداد زیادی کلید با قابلیت مانور می‌باشد، در نظر گرفتن تمام آرایش‌های موجود و امکان بررسی تمامی آن‌ها توسط روش‌های کلاسیک میسر نیست، لذا رفته رفته تکنیک روش‌های هوشمند والگوریتم‌های فراابتکاری مورد توجه قرار گرفت. تمرکز اصلی در این تحقیق بر روی الگوریتم‌های فراابتکاری است.

در [۳] بازآرایی سیستم توزیع در حضور منابع بادی، توسط الگوریتم اجتماع ذرات بهبود یافته تطبیقی انجام شده است. اهدافی همچون کاهش تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ و همچنین کاهش آلایندگی در شبیه‌سازی‌ها در نظر گرفته شده است. مطالعات بر روی سیستم ۳۳ شینه استاندارد IEEE انجام شده است. نتایج شبیه‌سازی بیانگر آن است که الگوریتم اصلاح شده اجتماع ذرات به نسبت الگوریتم ژنتیک تابع هدف را بیشتر کاهش داده است. در [۴] از الگوریتم ژنتیک که الگوریتمی برمبنای مکانیسم انتخاب طبیعی و طبیعت ژنتیک است، برای

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.1.2.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No.1 Spring 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

حل مسئله استفاده می‌کند. شماره کلیدهای باز در مکان‌های تعریف شده به عنوان متغیر در نظر گرفته شده‌اند و از الگوریتم ژنتیک باینری برای کدگذاری استفاده گردیده است. در [۵] از الگوریتم زنبور عسل فازی بر مبنای رویکرد چند هدفه فازی برای حل مسئله استفاده شده است. با استفاده از روش فازی امکان کمینه سازی همزمان تلفات، انحراف ولتاژ و تعداد کلیدزنی با درنظرگیری محدودیتهای ولتاژ و جریان و سیستم شعاعی فراهم می‌شود. در [۶] از تجدید ساختار با هدف بهبود قابلیت انتقال توان در سیستم توزیع انجام شده است. می‌توان با تغییر آرایش کلیدها در شبکه توزیع علاوه بر کاهش تلفات، حد بارگذاری خطوط را نیز بهبود بخشید. در [۷] از روش باینری به منظور یافتن آرایش بهینه کلیدها استفاده شد. در این مرجع روش بهینه سازی برای تعیین ساختارسیستم توزیع باحداقل تلفات انرژی برای یک‌دوره معین ارائه شده است. در [۸] روشی نو بر مبنای الگوریتم جهش قورباغه برای تجدید آرایش شبکه‌های توزیع ارائه می‌شود. هدف کاهش تلفات در نظر گرفته شده است و تغییرات دامنه ولتاژ را به عنوان محدودیت در شبیه-سازی‌ها اعمال کرده است. الگوریتم قورباغه علیرغم سرعت بالایش در بعضی از موارد به جواب صحیح همگرا نمی‌شود و در نتیجه نیاز به بهبود دارد. در این مقاله به منظور بهبود عملکرد الگوریتم قورباغه، تغییری در قسمت جستجوی محلی الگوریتم اعمال شده است و بدین شکل با بهبود جستجوی محلی، الگوریتم را بهبود داده‌اند. مطالعات بر روی دو سیستم استاندارد ۳۳ و ۶۹ شینه تکرار شده است. نتایج حاکی از آن است که در صورت جایابی و تعیین ظرفیت منابع تولید پراکنده و بطور همزمان با بازآرایی سیستم توزیع، حداقل تلفات حاصل خواهد شد. در تحقیق [۹] از ذخیره‌ساز در کنار منابع تولید پراکنده در سیستم توزیع به منظور کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ استفاده شده است. در نهایت برای کاهش بیشتر تلفات سیستم توزیع بازآرایی صورت گرفته است. در تحقیق [۱۰] از الگوریتم هیبرید بیگ بنگ بیگ کرانچ* (HBB-BC) به منظور بازآرایی و تعیین مکان منابع تولید پراکنده در سیستم توزیع ۳۲ شینه استفاده شد. در این تحقیق اهدافی همچون کاهش تلفات و کاهش آلایندگی مد نظر نویسندگان بوده است. نتایج حاکی از آن است که این الگوریتم نسبت به دوالگوریتم ژنتیک و اجتماع ذرات عملکرد مناسب‌تر و دقیق‌تری دارد. در تحقیق [۱۱] از الگوریتم (HBB-BC) با در نظر گرفتن اهداف چندگانه برای بازآرایی سیستم توزیع استفاده شد. اهدافی همچون بهبود پروفیل ولتاژ، کاهش تلفات، بهبود پایداری ولتاژ سیستم، هزینه و آلایندگی. همچنین در این مرجع تاثیر عدم قطعیت در میزان بار فیدر نیز در نظر گرفته شد. در تحقیق [۱۲]، از نسخه اصلاح شده الگوریتم ازدحام ذرات به منظور جایابی و تعیین اندازه بهینه منابع تولید پراکنده و همچنین تجدید آرایش کلیدها در سیستم قدرت ۳۳ و ۶۹ شینه با هدف کاهش تلفات انجام شده است. حضور منابع تولید پراکنده در سیستم تاثیر بسزایی در کاهش تلفات اهمی سیستم توزیع دارد. اگر چه میزان کاهش تلفات در صورت بازآرایی به نسبت استفاده از تولیدات پراکنده کمتر بدست آمده است اما به دلیل نداشتن هزینه می تواند راهکاری مناسب باشد.

در این مقاله، نسخه اصلاح شده الگوریتم جستوی صاعقه به منظور تعیین آرایش فیدرهای توزیع استاندارد ۳۳ شین و ۹۴ گره‌ای IEEE با هدف کاهش تلفات اهمی و اصلاح پروفیل ولتاژ شبکه پیشنهاد شده است. تابع هدف مورد استفاده تابعی وزنی از مجموع تلفات اهمی و شاخص انحراف ولتاژ می‌باشد که هر یک از دو هدف تلفات اهمی و انحراف ولتاژ، با توجه به ضرورت‌شان وزن‌دهی شدند.

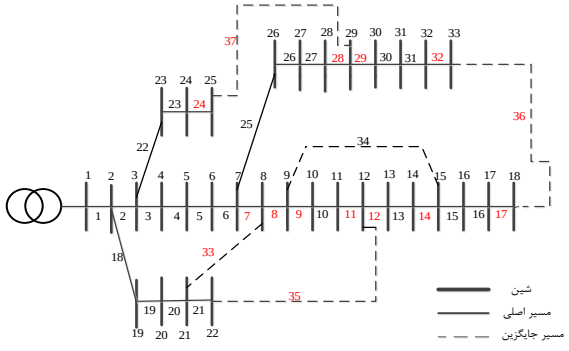
در ادامه مقاله در بخش دوم به مدلسازی مسئله آورده شده است. بخش سوم به معرفی الگوریتم پیشنهادی اصلاح شده جستجوی صاعقه اختصاص یافته است. توضیحات شبیه‌سازی و تحلیل بر نتایج در بخش چهارم آورده شده است و در نهایت این مقاله با ارائه نتایج در بخش پنجم به خاتمه می‌رسد.

۲- مدل‌سازی مسئله

در این مقاله، تجدید آرایش کلیدها و تعیین ظرفیت و مکان بهینه نصب منابع تولید پراکنده در فیدرهای توزیع استاندارد ۳۳ شین و ۹۴ گره‌ای IEEE انجام شده است. بدین روی در این بخش ابتداً شبکه‌های مورد مطالعه معرفی شده و سپس توابع هدف و محدودیت‌های حاکم بر مسئله بهینه‌سازی آورده شده است.

۲-۱ معرفی سیستم‌های مورد مطالعه

در شکل (۱) توپولوژی فیدر استاندارد توزیع ۳۳ شین به همراه وضعیت کلیدهای مانور در آن به نمایش درآمده است. سیستم مورد مطالعه دارای ۳۳ گره و ۳۷ خط می‌باشد که در حالت عادی شبکه ۳۲ خط به واسطه قطع و وصل ۱۶ کلید تعبیه شده در طول فیدر در مدار می‌باشند. در شرایط اولیه سیستم کلیدهای ۳۳-۳۴-۳۵-۳۶-۳۷ باز بوده و مابقی کلیدها بسته‌اند.



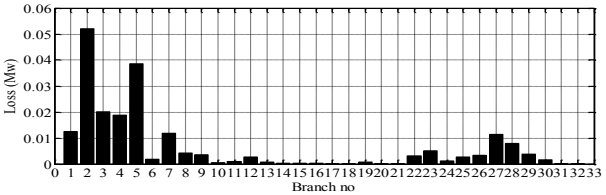
شکل (۱): دیاگرام تک‌خطی سیستم توزیع ۳۳ شینه با کلیدهای مانور

این شبکه شعاعی بوده و تمامی بارها تنها از یک مسیر تغذیه می-شوند. مجموع بار اکتیو و راکتیو آن به ترتیب 3.72 MW و 2.3

* Hybrid Big Bang Big Crunch

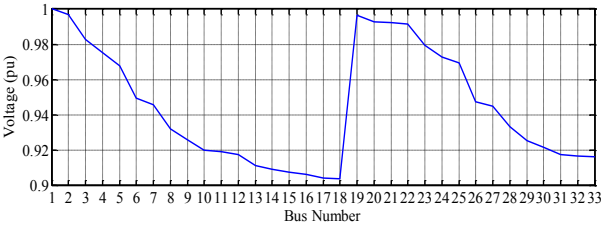
[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.1.2.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No.1 Spring 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Mvar می‌باشد. خطوط مسیرهای پیش‌فرض بسته و خط‌چین‌ها مسیرهایی که در آن کلید باز می‌باشد را نشان می‌دهد. در شکل (۲) مقدار تلفات هر یک از خطوط به صورت جداگانه نشان داده شده است. مجموع تلفات اهمی سیستم پیش از انجام هرگونه تغییراتی برابر با ۲۱۱ کیلووات محاسبه شده است.



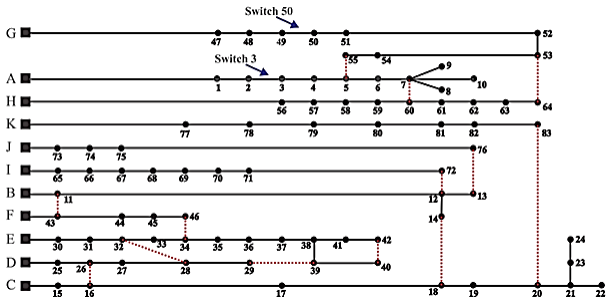
شکل (۲): تلفات خطوط در شبکه مورد مطالعه

در شکل (۳) دامنه ولتاژ هر یک از شین‌ها به نمایش درآمده است. کمترین دامنه ولتاژ در سیستم مربوط به شین شماره ۱۸ می‌باشد که مقدار آن تا ۰/۹ پریونیت کاهش می‌یابد.



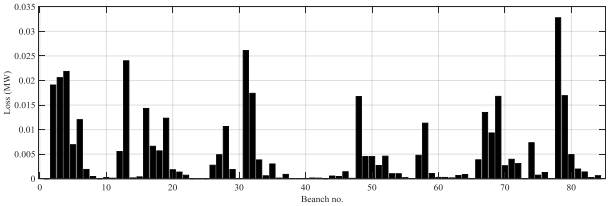
شکل (۳): پروفیل ولتاژ در شبکه مورد مطالعه

دیگر سیستم توزیع مورد مطالعه، شبکه ۹۴ گره‌ای استاندارد IEEE می‌باشد که ساختار آن مشابه شکل (۴)، است.



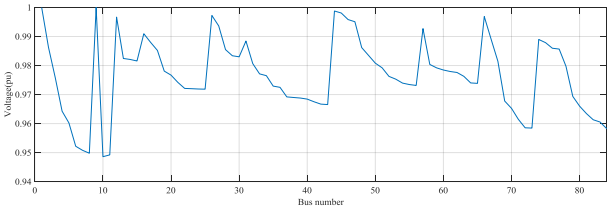
شکل (۴): دیاگرام تک‌خطی سیستم توزیع ۹۴ گره‌ای با کلیدهای مانور

در شکل (۴)، خط‌چین‌های قرمز نشان دهنده مسیرهای جایگزین می‌باشند. این سیستم متشکل از ۱۱ فیدر با ولتاژ نامی ۱۱/۴ کیلوولت، ۸۳ کلید بسته و ۱۳ کلید مسیر ۸۴ تا ۹۶ ابتدا باز می‌باشند. تلفات سیستم، پیش از اجرای هر گونه اصلاحاتی، ۵۳۲ کیلووات محاسبه شده است. در شکل (۵) اندازه تلفات هر یک از خطوط به صورت جداگانه به صورت نمودارهای میله‌ای نشان داده شده است.



شکل (۵): تلفات خطوط در شبکه ۹۴ گره‌ای IEEE

در ادامه در شکل (۶) دامنه ولتاژ هر یک از شین‌ها در شبکه نمونه ۹۴ گره‌ای IEEE به نمایش درآمده است.



شکل (۶): پروفیل ولتاژ در شبکه ۹۴ گره‌ای مورد مطالعه

۲-۲ تابع هدف مسئله

در این مقاله، به منظور تجدید آرایش کلیدها و همچنین مکان‌یابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده در فیدرهای مورد مطالعه، از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده شده است که در نتیجه لازم است که تابع هدف مناسبی انتخاب شود. تابع هدف بکارگرفته شده در این مقاله، تابعی وزنی از مجموع تلفات خطوط و مجموع انحراف ولتاژ شین‌ها می‌باشد. مجموع تلفات توسط رابطه (۱) و مجموع انحراف ولتاژ نیز به فرم رابطه (۲) محاسبه می‌شوند.

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^{N_{branch}} RI^2 \qquad (۱)$$

$$VD = \sum_{i=1}^{n} \left| v_i - v_{nom} \right| \qquad (۲)$$

که در رابطه (۱)، P_{loss} تلفات اکتیو سیستم و R_i و I_i به ترتیب مقاومت و جریان عبوری از شاخه iام و N_{branch} تعداد شاخه‌ها می‌باشند. در رابطه (۲)، VD، مجموع انحراف ولتاژ، V_i ولتاژ شین iام برحسب پریونیت، V_{nom} ولتاژ نامی برحسب پریونیت (که برابر با ۱ در نظر گرفته شده است)، i شماره شین و n تعداد شین‌ها می‌باشد. به‌دلیل آن‌که الگوریتم پیشنهادی برای انجام بهینه‌سازی، تک هدفه می‌باشد، بایستی دو تابع هدف با توجه به اهمیت‌شان، با استفاده از ضرایب وزنی به تابع هدفی واحد تبدیل شوند. در نتیجه تابع هدف پیشنهادی به فرم رابطه (۳)، مورد استفاده قرار گرفته است.

$$OBJ = \alpha \sum_{i=1}^{N_{branch}} R_i I_i^2 + \beta \sum_{i=1}^{n} \left| v_i - v_{nom} \right| \qquad (۳)$$

در رابطه فوق تلفات بر حسب کیلووات می‌باشد. ضرایب α و β برای فیدر ۳۳ شین IEEE به ترتیب برابر با ۰/۰۰۴۷ $^{-1}$(کیلووات) و ۰/۵۵ پریونیت و برای فیدر ۹۴ گره‌ای نیز ۰/۰۰۱۸۸ $^{-1}$(کیلووات) و ۰/۵۰۵ پریونیت در نظر گرفته شده است. این ضرایب بر اساس مقدار تابع تلفات و ولتاژ در شرایط پیش از اصلاح شبکه توزیع بدست آمده است.

۲-۳ محدودیت‌های بهینه‌سازی

در هنگام تغییر آرایش کلیدها در فیدر مورد مطالعه، بایستی دو قید در نظر گرفته شود. قید اول مربوط به شعاعی بودن شبکه و قید دوم

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.1.2.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No.1 Spring 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

مربوط به عدم ایجاد جزیره در شبکه می‌باشد. این امر با در نظر گرفتن چهار حالت بدست می‌آید:

- در سیستم توزیع هیچ‌گونه حلقه‌ای ایجاد نشود.
- در سیستم توزیع هیچ باری به صورت جزیره‌ای باقی نماند.
- در هنگام باز و بسته شدن سوئیچ‌های سیستم، در ماتریس مربوط به گروه سوئیچ‌های بهینه شده، نبایستی هیچ‌گونه سوئیچ تکراری داشته باشیم، و در صورت انجام شدن این امر، سبب می‌شود که عمل پخش بار در سیستم به صورت اشتباه انجام شود.
- شاخه‌ای از سیستم که بین شین‌های i و j است را در نظر بگیرید. (به فرض اینکه شین i ، شین فرستنده توان باشد و شین j، شین گیرنده توان باشد). جهت عبور توان از این شاخه بایستی به گونه‌ای باشد، که توان از شین i باس فرستنده به شین j باس گیرنده انتقال پیدا کند. در غیر این صورت پخش بار سیستم اشتباه می‌شود.

از دیگر محدودیت‌های در نظر گرفته شده برای بازآرایی سیستم، ظرفیت محدودیت توان انتقالی از خطوط می‌باشد. نبایستی توان عبوری از خطوط پس از بازآرایی از حداکثر ظرفیت حرارتی مجاز تجاوز کند.

$$P_{Line}(ij) \le P_{Line}^{Max}(ij) \qquad (۴)$$

در رابطه فوق، $P_{Line}^{Max}(ij)$ حداکثر توان مجاز عبوری از خط بین شین i و j می‌باشد. همچنین ولتاژ تمامی شین‌ها در بازه مجاز ۰/۹ پریونیت تا ۱/۱ پریونیت قرار داشته باشند.

$$0.9 \le V_i \le 1.1 \qquad (۵)$$

از طرفی به سبب بکارگیری منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع، همواره بایستی بین تولید و مصرف توازن برقرار باشد.

$$P_{grid} + P_{DG} = P_{demand} + P_{Loss} \qquad (۶)$$

$$Q_{grid} + Q_{DG} = Q_{demand} + Q_{Loss} \qquad (۷)$$

که در روابط فوق، P_{grid}، P_{DG} و P_{demand} به ترتیب توان اکتیو دریافت شده از شبکه، توان اکتیو تولیدی توسط منابع تولید پراکنده و توان اکتیو مصرفی بار می‌باشند و Q_{grid}، Q_{DG} و Q_{demand} نیز به ترتیب توان راکتیو ارائه شده توسط شبکه سراسری، توان راکتیو تولیدی توسط منابع تولید پراکنده و توان راکتیو مورد نیاز بار و همچنین P_{Loss} و Q_{Loss} به ترتیب تلفات توان اکتیو و راکتیو در سیستم می‌باشند. از دیگر محدودیت‌های در نظر گرفته برای تولیدات پراکنده نیز می‌توان گفت ضریب توان منابع تولید پراکنده از ضریب توان مجاز تعریف شده کمتر می‌باشد. اصولاً ضریب توان حداقلی برای کارکرد تولید پراکنده برابر با ۰/۷ در نظر گرفته می‌شود.

$$pf_{DGi}^{\min} \le pf_{DGi}(t) \qquad (۸)$$

۳- معرفی الگوریتم اصلاح شده جستجوی صاعقه

الگوریتم جستجوی صاعقه (LSA) یک الگوریتم بهینه‌سازی فراابتکاری می‌باشد که براساس پدیده طبیعی رعد و برق در سال ۲۰۱۵ ارائه شده است. این الگوریتم از مکانیسم انتشار فرمانده قدم در صاعقه استفاده می‌کند. رهبران مقدم که توسط پرتابه‌ها شکل یافته‌اند اندازه اولیه جمعیت را تعیین می‌کنند. در واقع پرتابه‌ها می‌باشند که راه‌حل‌های تصادفی جهت حل مسئله توسط الگوریتم LSA را پیشنهاد می‌دهند. یک پرتابه انرژی حرکتی خود را از طریق حرکت در جو به دلیل برخورد کششی با مولکول‌های موجود در هوا از دست می‌دهد. سرعت پرتابه (v_p) و انرژی جنبشی آن (E_p) بصورت ذیل نمایش داده می‌شود.

$$v_p = \left[1-(1/\sqrt{1-(v_0/c)^2} - sF_i/mc^2)^{-2}\right]^{-0.5} \qquad (۹)$$

$$E_p = \left(\left(1/\sqrt{1-(v_p/c)^2}\right)-1\right)mc^2 \qquad (۱۰)$$

در حالیکه v_0 سرعت اولیه پرتابه، s طول مسیر طی شده، F_i نرخ ثابت یونیزاسیون، m سرعت پرتابه و c سرعت نور است. سرعت و انرژی جنبشی، تابع موقعیت فرمانده قدم و جرم پرتابه می‌باشد. بنابراین زمانی که جرم کوچک باشد و یا مسافت طی شده طولانی باشد آنگاه پرتابه انرژی پتانسیل کمتری برای یونیزه شدن خواهد داشت. بخاطر تشکیل یک پرتابه که درحین گذار صاعقه در یک مسیر تصادفی خارج می‌شود، نوک فلش در همان مرحله اولیه شکل می‌گیرد. بنابراین، می‌توان آن را به صورت یک عدد تصادفی که از احتمال توزیع یکنواخت استاندارد بر روی فاصله‌ی فضایی راه‌حل استفاده می‌شود، مدل‌سازی کرد. تابع چگالی احتمال به صورت ذیل تعریف می‌شود.

$$f(x^T) = \begin{cases} 1/b-a & a \le x^T \le b \\ 0 & x^T < a \,||\, x^T > b \end{cases} \qquad (۱۱)$$

در رابطه (۱۱)، x^T یک عدد تصادفی است که انرژی اولیه‌ی فرمانده قدم را می‌سازد، a و b به ترتیب حد بالا و پایین فضای جواب را تشکیل می‌دهند. برای یک جمعیت شامل N فرمانده قدم (SL)، به N ذره‌ی تصادفی نیاز است. زمانی که N فرمانده قدم تکامل پیدا کردند، فرماندهان بایستی جایگاه خودشان را توسط یونیزه کردن سکشن‌ها در مجاورت رهبران نوک در گام بعدی تعویض نمایند. مکان پرتابه‌های فضایی در گام بعدی می‌تواند تقریباً به عنوان یک عدد تصادفی تولید شده از توزیع نمایی در نظر گرفته شود.

$$f(x^S) = \begin{cases} \frac{1}{\mu} e^{\frac{-x^S}{\mu}} & x^S \ge 0 \\ 0 & x^S < 0 \end{cases} \qquad (۱۲)$$

μ ضریب شکل‌گیری است که می‌تواند مکان پرتابه را کنترل نماید. مکان پرتابه فضایی می‌تواند توسط رابطه (۱۳) محاسبه شود.

$$P_{i_new}^S = P_i^S \pm ExpRand(\mu_i) \qquad (۱۳)$$

در رابطه فوق ExpRand یک عدد تصادفی نمایی است که اگر منفی باشد، آنگاه عدد تصادفی تولید شده می‌بایستی منفی شود. زیرا که رابطه (۱۳) فقط مقادیر مثبت می‌گیرد. اگر جواب خوبی در گام بعدی بدست آید، فرمانده قدم مربوطه به مکان جدید انتقال خواهد یافت و P_i^S به

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.1.2.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No.1 Spring 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

$P^{S}_{i_new}$ به‌روز رسانی خواهد شد. در غیر این صورت، مقادیر تا گام بعدی ثابت خواهند ماند. اگر $P^{S}_{i_new}$ امتداد یابد، امتداد یافته‌ترین رهبر پرتابه هدایت کننده خواهد شد. پرتابه‌های مربوط به فرمانده قدم که به نزدیک‌ترین مکان نزدیک به زمین راه یافته‌اند پتانسیل کافی جهت یونیزه نمودن سکشن‌های بزرگ در برابر نوک (لیدر تیپ) را نخواهند داشت. بنابراین پرتابه ممکن است به عنوان یک عدد تصادفی که از احتمال نرمال تابع چگالی توزیع که در معادله (۱۴) بیان شده است در نظر گرفته و مدل شود.

$$f(x^{L}) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(x^{L}-\mu)^{2}}{2\sigma^{2}}} \qquad (۱۴)$$

انحراف معیار برای پرتابه هدایت کننده به‌طور نمایی کاهش می‌یابد تا جایی‌که به زمین انتقال یابد. به عبارت دیگر بهترین راه‌حل را پیدا می‌کند. بنابر این مکان جدید به صورت رابطه زیر نمایش داده می‌شود:

$$P^{L}_{i_new} = P^{L}_{i} \pm NormRand(\mu_{L}, \sigma_{L}) \qquad (۱۵)$$

در رابطه (۱۵)، $NormRand$ یک عدد تصادفی است که توسط تابع چگالی احتمال نرمال ایجاد شده است. مکان جدید، انتشار فرمانده قدم را تضمین نمی‌کند مگر اینکه انرژی $P^{L}_{i_new}$ بیشتر از P^{L}_{i} شود تا راه‌حل مسئله گسترش پیدا کند. اگر $P^{L}_{i_new}$ یک راه‌حل خوب در مرحله بعدی فراهم کند، P^{L} به $P^{L}_{i_new}$ به‌روز رسانی می‌شود. برای بهبود عملکرد الگوریتم بایستی ضریب اضافه شده به مقدار قبلی در تکرارهای انتهایی کاهش پیدا کند تا دقت الگوریتم افزایش پیدا کند. بدین روی در این پایان‌نامه از ضریب تعدیل دینامیکی D استفاده شد که رابطه (۱۵) را به صورت رابطه (۱۶) تغییر داده است.

$$P^{L}_{i_new} = P^{L}_{i} \pm D \times NormRand(\mu_{L}, \sigma_{L}) \qquad (۱۶)$$

مقدار ضریب D به صورت رابطه (۱۷)، محاسبه می‌شود.

$$D = 1/Ite \qquad (۱۷)$$

که در رابطه فوق، Ite مقدار تکرار را نشان می‌دهد.

۴- نتایج شبیه سازی

در این بخش، نتایج بدست آمده از بهینه‌سازی‌ها آورده شده است. شبیه‌سازی‌ها در دو بخش برای دو فیدر مورد مطالعه و در قالب دو سناریو انجام شده است. در سناریوی اول تنها بازآرایی کلیدهای شبکه و در سناریو دوم، بازآرایی کلیدها در حضور منابع تولید پراکنده به صورت بهینه و همزمان با اهداف اشاره شده انجام پذیرفت. بهینه‌سازی‌ها توسط الگوریتم اصلاح شده جستجوی صاعقه (LSA) و الگوریتم ژنتیک (GA) انجام شده است تا بتوان عملکرد الگوریتم‌ها را با یکدیگر مقایسه کرد. پارامترهای دو الگوریتم در جدول (۱) آورده شده است و در ادامه به بررسی نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی‌ها پرداخته شده است.

جدول (۱): پارامترهای الگوریتم‌های ژنتیک و جستجوی صاعقه

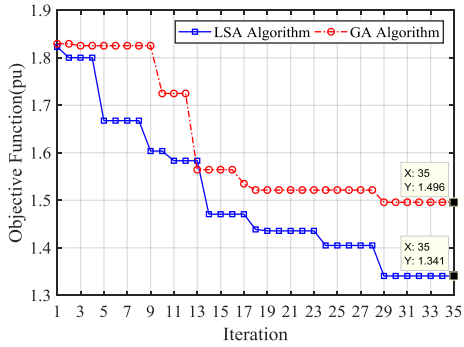
الگوریتم جستجوی صاعقه				
تعداد جمعیت	تکرارهای الگوریتم	توان *اولیه* (Pr)	نرخ تعدیل (μ)	نرخ جهش (P_m)
۱۰۰	۳۵	۲	۰/۹۵	۰/۱
الگوریتم ژنتیک				
تعداد جمعیت	تکرارهای الگوریتم	نرخ کراس‌اور (P_c)	نرخ جهش (P_m)	
۱۰۰	۳۵	۰/۲	۰/۸	

۴-۱- بخش اول (بهینه‌سازی در فیدر ۳۳ شین)

در این بخش، نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی‌ها بر روی سیستم استاندارد ۳۳ شین IEEE مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. در ادامه نتایج حاصله در قالب دو سناریو به صورت کامل و دقیق ارائه شده است.

۴-۱-۱- سناریو اول

در این سناریو، الگوریتم‌های بهینه‌سازی وضعیت باز یا بسته بودن کلیدها را به گونه‌ای تعیین می‌کنند که با حفظ ساختار شعاعی شبکه و عدم ایجاد جزیره، تلفات اهمی خطوط کاسته شود و پروفیل ولتاژ شبکه اصلاح شود. روند همگرایی الگوریتم‌های GA و LSA، در شکل (۷)، نشان داده شده است.



شکل (۷): همگرایی الگوریتم‌ها درصورت بازآرایی کلیدها در فیدر ۳۳شین

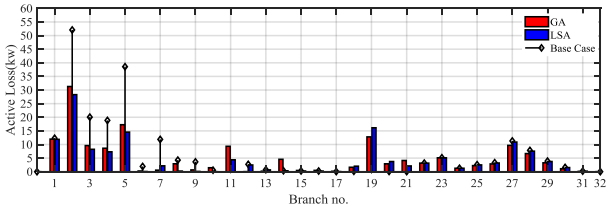
مقدار نهایی تابع هدف در صورت بکارگیری الگوریتم جستجوی صاعقه برابر با ۱/۳۴۱ پریونیت حاصل شده است. در صورتیکه مقدار نهایی الگوریتم ژنتیک، کمی بیشتر و برابر با ۱/۴۹۶ پریونیت محاسبه شده است. مقدار نهایی همگرایی الگوریتم LSA کمتر از الگوریتم GA بدست آمده است که نشان از برتری روش پیشنهادی LSA دارد. هر دو الگوریتم پس از ۲۹ تکرار به مقدار نهایی خود رسیده‌اند. در ادامه، مقادیر حاصله از بهینه‌سازی و وضعیت آرایش بهینه کلیدها در جدول (۲)، آورده شده است. پس از اصلاح ساختار شبکه توزیع مورد مطالعه توسط الگوریتم اصلاح شده جستجوی صاعقه، میزان تلفات اهمی خطوط با کاهش حدود ۳۱/۷٪ به مقدار ۱۴۴ کیلووات کاهش یافته است و مقدار تابع ولتاژ نیز برابر با ۱/۱۸ پریونیت بدست آمده است. کمترین دامنه ولتاژ فیدر در شین ۱۸ و برابر با ۰/۹۵ پریونیت تعیین شده است. در شرایط مشابه و در صورت تعیین آرایش بهینه کلیدها توسط الگوریتم بهینه‌سازی

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.1.2.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No.1 Spring 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

ژنتیک، مقدار تلفات اهمی سیستم با کاهشی ۲۵٪ برابر با ۱۵۷ کیلووات شده است. تابع ولتاژ نیز در این شرایط برابر با ۱/۳۴ پریونیت محاسبه شده است. در این شرایط، کمترین دامنه ولتاژ در شین ۱۸ و برابر با ۰/۹۳۵ پریونیت تعیین شده است. در شکل (۸)، مقادیر تلفات اهمی خطوط پیش و پس از بازآرایی کلیدها، به صورت نمودارهای میله‌ای به نمایش درآمده است.

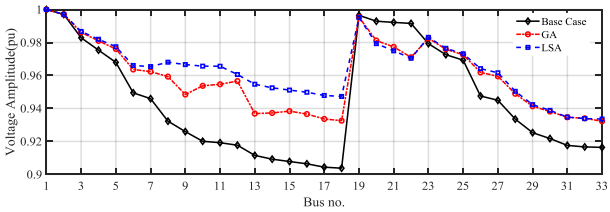
جدول (۲): نتایج بازآرایی بهینه کلیدها در سیستم ۳۳ شین IEEE

الگوریتم جستجوی صاعقه															
S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۰
الگوریتم ژنتیک															
S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۰



شکل (۸): تلفات اهمی خطوط پس از بازآرایی کلیدها در سیستم ۳۳ شین

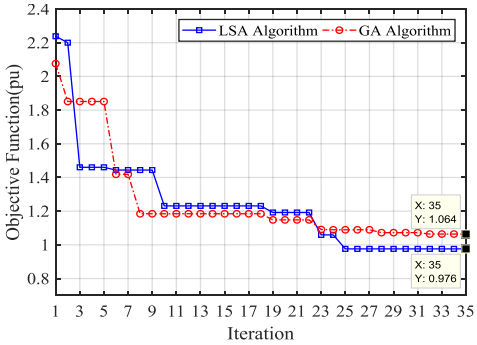
در شکل (۹)، دامنه ولتاژ شین‌ها نشان داده شده است. پس از بازآرایی کلیدها در شبکه مورد مطالعه، دامنه ولتاژ اکثر شین‌ها افزایش قابل ملاحظه‌ای یافته است و کمترین دامنه ولتاژ، بیش از ۲۵٪ بهبود یافته است. این نتایج نشان دهنده تاثیر مثبت، بازآرایی کلیدها بر بهبود پروفیل ولتاژ شین‌های شبکه می‌باشد.



شکل (۹): دامنه ولتاژ شین‌ها پس از بازآرایی کلیدها در سیستم ۳۳ شین

۴-۱-۲- سناریو دوم

بازآرایی کلیدها در شبکه توزیع در حضور منابع تولید پراکنده در فیدر مورد مطالعه با هدف کاهش تلفات اهمی خطوط و بهبود پروفیل ولتاژ شبکه، در سناریو دوم شبیه‌سازی‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است. پس از انجام بهینه‌سازی در این سناریو، روند همگرایی دو الگوریتم به صورت شکل (۱۰)، بدست آمده است. الگوریتم پیشنهادی جستجوی صاعقه پس از ۲۵ تکرار به مقدار نهایی ۰/۹۷۶ پریونیت همگرا شده است درحالیکه الگوریتم ژنتیک پس از ۲۸ تکرار به مقدار ۱/۰۶۴ پریونیت رسیده است. مقدار کمتر تابع هدف، پس از انجام بهینه‌سازی توسط الگوریتم LSA نسبت به الگوریتم GA، نشان از برتری الگوریتم پیشنهادی دارد.



شکل (۱۰): همگرایی الگوریتم‌های بهینه‌سازی در صورت بازآرایی کلیدها و نصب منابع تولید پراکنده در سیستم ۳۳ شین

در ادامه، نتایج بدست آمده از بهینه‌سازی توسط دو الگوریتم GA و LSA در جدول (۳) آورده شده است. در این جدول مکان و مقادیر بهینه منابع تولید پراکنده نصب شده در فیدر و وضعیت کلیدها در طول فیدر آورده شده است.

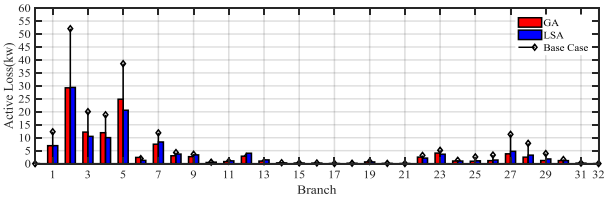
جدول (۳): نتایج بازآرایی بهینه کلیدها و منابع تولید پراکنده در فیدر ۳۳ شین

الگوریتم جستجوی صاعقه															
منبع ۱						منبع ۲					منبع ۳				
۳۲ (۹۶۰)						۱۴ (۷۴۰)					۲ (۹۶۰)				
S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
۰	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱
الگوریتم ژنتیک															
منبع ۱						منبع ۲					منبع ۳				
۳۰ (۹۲۰)						۱۲ (۷۶۰)					۳ (۶۵۰)				
S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱

در صورت انجام بهینه‌سازی توسط الگوریتم جستجوی صاعقه، شین‌های ۲، ۱۴ و ۳۲ برای نصب منابع تولید پراکنده با ظرفیت‌های ۹۶۰ کیلوولت‌آمپر، ۷۴۰ کیلوولت‌آمپر و ۹۶۰ کیلوولت‌آمپر انتخاب شده‌اند. در این صورت بایستی کلیدهای S1، S5، S7، S8 و S12 باز باشند و سایر کلیدهای موجود در شبکه در وضعیت بسته باشند تا علاوه بر کاهش تلفات اهمی فیدر مورد مطالعه، پروفیل ولتاژ شبکه نیز اصلاح شود. در این صورت پس از اصلاح آرایش کلیدها و نصب منابع تولید پراکنده در سیستم مورد مطالعه، تلفات به مقدار ۱۰۴ کیلووات خواهد رسید که نسبت به شرایط اولیه حدود ۵۰/۷٪ تلفات کاهش یافته است. تابع در نظر گرفته شده برای تعیین میزان انحراف ولتاژ شبکه نیز به مقدار ۰/۸۷ کاهش یافته است. پس از انجام بهینه‌سازی و تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده در سیستم و انتخاب آرایش کلیدها توسط الگوریتم ژنتیک، شین‌های ۳۰، ۱۲ و ۳ برای نصب منابع تولید پراکنده با ظرفیت‌های به ترتیب برابر با ۹۲۰ کیلوولت‌آمپر، ۷۶۰ کیلوولت‌آمپر و

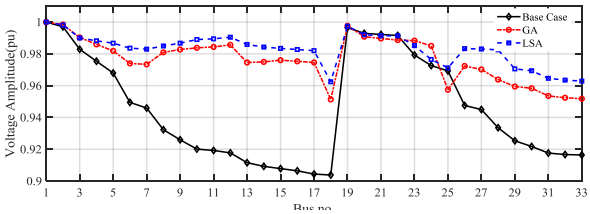
[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.1.2.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No.1 Spring 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

۶۵۰ کیلوولت‌آمپر انتخاب شده‌اند. در این صورت بایستی کلیدهای S1، S7، S9، S12 و S13 باز باشند و مابقی کلیدها بسته باقی بمانند. مجموع تلفات اهمی خطوط در فیدر پس از بازآرایی و نصب منابع تولید پراکنده با کاهشی حدود ۴۴٪ به ۱۱۸ کیلووات رسیده است و همچنین تابع انحراف ولتاژ نیز به مقدار ۰/۹۱ رسیده است که نسبت به حالت اولیه حدود ۴۹/۴٪ کاهش یافته است. در شکل (۱۱)، مقادیر تلفات اهمی خطوط به صورت جداگانه پس از انجام همزمان بازآرایی و نصب منابع تولید پراکنده توسط نمودارهای میله‌ای نشان داده شده است. تلفات تمامی خطوط به نسبت شرایط پایه و سناریو قبلی، کاهش قابل توجهی یافته است. در برخی از خطوط شبکه، تلفات اهمی خط به حدود ۶۰٪ مقدار اولیه رسیده است. از طرفی مقادیر تلفات اهمی در اکثر خطوط در صورت بهینه‌سازی توسط الگوریتم پیشنهادی جستجوی صاعقه، مقدار کمتری نسبت به الگوریتم ژنتیک دارد.



شکل (۱۰): تلفات اهمی خطوط پس از بازآرایی کلیدها و نصب تولیدات پراکنده در سیستم ۳۳ شین

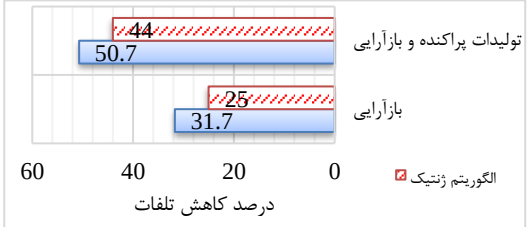
در ادامه در شکل (۱۱)، دامنه ولتاژ شین‌ها پس از نصب منابع تولید پراکنده و بازآرایی کلیدها نشان داده شده است.



شکل (۱۱): دامنه ولتاژ شین‌ها پس از بازآرایی کلیدها و نصب تولیدات پراکنده در سیستم ۳۳ شین

۴-۱-۳- تحلیل نتایج بخش اول

پس از انجام شبیه‌سازی‌ها، نتایج حاصله در این بخش مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته است. بدین منظور درصد کاهش تلفات در دو سناریو تعرف شده محاسبه شده است، که مقادیر آن در نمودار شکل (۱۲)، نشان داده شده است.



شکل (۱۲): درصد کاهش تلفات در بخش اول شبیه‌سازی

در صورت نصب منابع تولید پراکنده و بطور همزمان تغییر آرایش کلیدها در شبکه، و در صورت بهینه‌سازی توسط الگوریتم، ژنتیک حدود ۴۴٪ و در صورت بهینه‌سازی توسط الگوریتم پیشنهادی جستجوی صاعقه حدود ۵۰/۷٪ نسبت به شرایط پایه کاهش یافته است. مجموع تلفات اهمی سیستم پس از بازآرایی کلیدها توسط الگوریتم ژنتیک، حدود ۲۵٪ و در صورت بهینه‌سازی توسط الگوریتم پیشنهادی جستجوی صاعقه حدود ۳۱/۷٪ کاهش یافته است. در ادامه در نمودار شکل (۱۳)، درصد بهبود پروفیل ولتاژ به صورت نمودارهای میله‌ای به نمایش درآمده است.



شکل (۱۳): درصد اصلاح پروفیل ولتاژ شین‌ها در بخش اول شبیه‌سازی

پس از تجدید آرایش کلیدها در حضور منابع تولید پراکنده توسط الگوریتم ژنتیک و الگوریتم پیشنهادی جستجوی صاعقه، تابع پروفیل ولتاژ به ترتیب ۴۹/۴٪ و ۵۱/۶٪ بهبود یافته است. در حالیکه درصد اصلاح پروفیل ولتاژ پس از بازآرایی کلیدها در طول فیدر توسط الگوریتم ژنتیک و الگوریتم پیشنهادی جستجوی صاعقه به ترتیب برابر با ۲۵/۵٪ و ۳۴/۴٪ محاسبه شده است درصد اصلاح بیشتر، تاییدی بر داشتن پروفیل ولتاژ هموارتر می‌باشد.

۴-۲- بخش اول (بهینه‌سازی در سیستم ۹۴ گره‌ای)

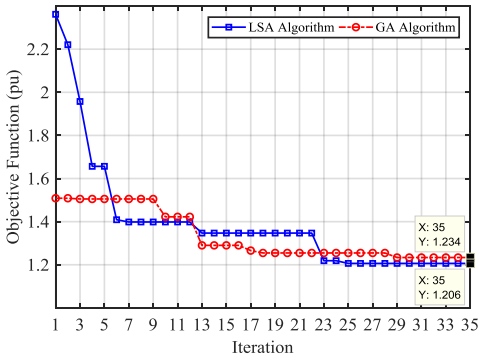
در بخش دوم، نتایج حاصله از شبیه‌سازی‌های انجام شده بر روی سیستم استاندارد ۹۴ گره‌ای IEEE مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. همانند بخش اول، از دو الگوریتم جستجوی صاعقه و ژنتیک برای انجام بهینه‌سازی در قالب دو سناریو استفاده شد که نتایج آن در ادامه شرح داده شده است.

۴-۲-۱- سناریو اول

بازآرایی شبکه ۹۴ گره‌ای با باز و بسته کردن بهینه کلیدهای مانور، توسط الگوریتم‌های بهینه‌سازی ژنتیک و جستجوی صاعقه در سناریو اول انجام شده است. روند همگرایی الگوریتم‌های بهینه‌سازی در این سناریو، در شکل (۱۶)، نشان داده شده است.

همچنین مقدار تابع هدف پس از بازآرایی بهینه کلیدها توسط الگوریتم‌های GA و LSA به ترتیب برابر با ۱/۲۳۴ پریونیت و ۱/۲۰۶ پریونیت حاصل شده است است. در ادامه، مقادیر بدست آمده از بهینه-سازی و وضعیت آرایش بهینه کلیدها در جدول (۴)، آورده شده است.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.1.2.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No.1 Spring 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

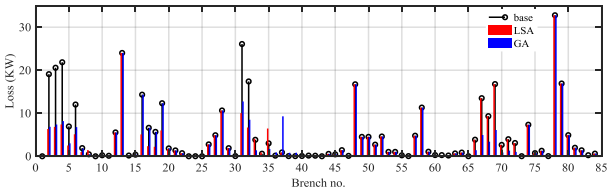


شکل (۱۶): همگرایی الگوریتم‌ها در صورت بازآرایی کلیدها سیستم ۹۴ گره‌ای

جدول (۴): کلیدهای باز در سیستم ۹۴ گره‌ای IEEE

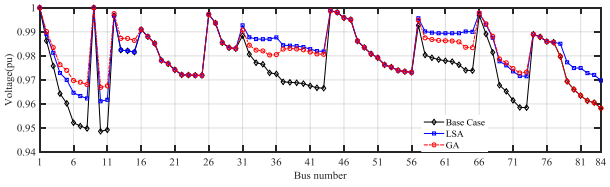
LSA	7	13	55	72	83	86	89	90	92	34	39	42	62
GA	55	86	7	13	72	89	90	82	92	93	34	40	62

پس از اصلاح ساختار شبکه توزیع مورد مطالعه توسط الگوریتم پیشنهادی جستجوی صاعقه، میزان تلفات اهمی خطوط با کاهش حدود ۳۱/۴٪ به مقدار ۳۶۵ کیلووات کاهش یافته است و مقدار تابع ولتاژ نیز برابر با ۱/۰۲ پریونیت بدست آمده است. در شرایط مشابه و در صورت تعیین آرایش بهینه کلیدها توسط الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک، مقدار تلفات اهمی سیستم با کاهشی ۲۹/۷٪ برابر با ۳۷۴ کیلووات شده است. تابع ولتاژ نیز در این شرایط برابر با ۱/۰۶ پریونیت محاسبه شده است. در شکل (۱۷)، مقدار تلفات اهمی خطوط پیش و پس از انجام بازآرایی بهینه کلیدها، به صورت نمودارهای میله‌ای نشان داده شده است.



شکل (۱۷): تلفات اهمی خطوط پس از بازآرایی کلیدها در سیستم ۹۴ گره‌ای

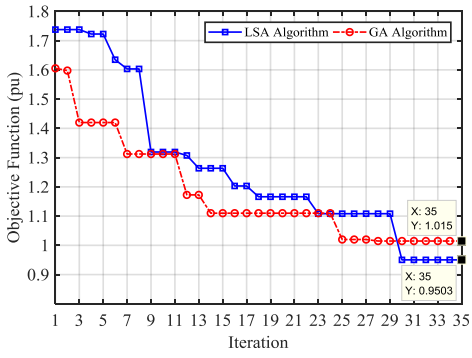
در شکل (۱۸)، دامنه ولتاژ شین‌ها نشان داده شده است. پس از بازآرایی کلیدها در شبکه مورد مطالعه، دامنه ولتاژ تمامی شین‌ها افزایش پیدا کرده است و کمترین دامنه ولتاژ، به بیش از ۰/۹۶ پریونیت افزایش یافته است. نتایج این بخش تأثیر مثبت بازآرایی بهینه کلیدها بر بهبود پروفیل ولتاژ سیستم ۹۴ گره‌ای IEEE را نشان می‌دهد.



شکل (۱۸): دامنه ولتاژ شین‌ها پس از بازآرایی کلیدها در سیستم ۹۴ گره‌ای

۴-۲-۲- سناریو دوم

در این سناریو، بازآرایی کلیدها در شبکه توزیع در حضور منابع تولید پراکنده در فیدر ۹۴ گره‌ای استاندارد IEEE با هدف کاهش تلفات اهمی خطوط و بهبود پروفیل ولتاژ شبکه، انجام شده است. پس از انجام بهینه-سازی توسط دو الگوریتم ژنتیک (GA) و جستجوی صاعقه (LSA)، روند همگرایی به صورت شکل (۱۹)، حاصل شد.



شکل (۱۹): همگرایی الگوریتم‌ها در صورت بازآرایی کلیدها و نصب منابع تولید پراکنده در سیستم ۹۴ گره‌ای IEEE

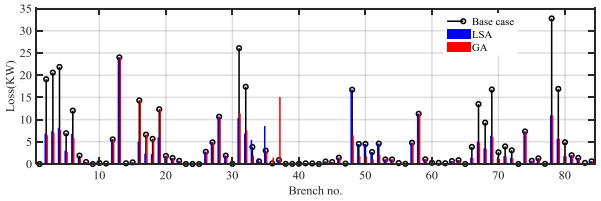
الگوریتم پیشنهادی جستجوی صاعقه پس از ۳۰ تکرار به مقدار ۰/۹۵۰۳ پریونیت و الگوریتم ژنتیک پس از ۲۵ تکرار به مقدار ۱/۰۱۵ پریونیت همگرا شدند. در ادامه، نتایج بدست آمده از بهینه‌سازی توسط دو الگوریتم GA و LSA در جدول (۸-۴) آورده شده است. در این جدول مکان و مقادیر بهینه منابع تولید پراکنده نصب شده در فیدر و وضعیت کلیدهای باز در طول فیدر آورده شده است.

جدول (۵): نتایج بازآرایی بهینه کلیدها و منابع تولید پراکنده در سیستم ۹۴ گره‌ای

LSA	منبع ۱				منبع ۲				منبع ۳					
	۱۸ (۹۶۰)				۷ (۴۶۰)				۴۶ (۶۴۰)					
	84	7	72	13	90	86	89	83	92	93	34	63	40	
GA	منبع ۱				منبع ۲				منبع ۳					
	۱۴ (۸۹۰)				۵۵ (۵۶۰)				۳۵ (۷۵۰)					
	84	7	86	88	89	83	29	90	92	34	40	42	61	

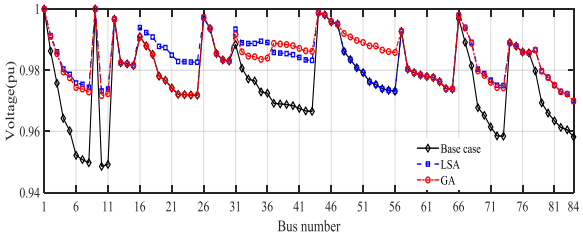
در صورت انجام بهینه‌سازی توسط الگوریتم جستجوی صاعقه، تلفات برابر با ۳۲۱ کیلووات خواهد شد که نسبت به شرایط اولیه حدود ۳۹/۶٪ تلفات کاهش خواهد یافت. مقدار تابع انحراف ولتاژ نیز به مقدار ۰/۶۸ پریونیت کاهش یافته است. پس از اجرای بهینه‌سازی توسط الگوریتم ژنتیک، مجموع تلفات اهمی خطوط با کاهشی حدود ۳۵/۷٪ به ۳۴۲ کیلووات رسیده است و همچنین تابع انحراف ولتاژ نیز به ۰/۷۳ پریونیت کاهش یافته است. در شکل (۲۰)، مقادیر تلفات اهمی خطوط پس از اجرای بازآرایی و نصب منابع تولید پراکنده توسط نمودارهای میله‌ای نشان داده شده است.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.1.2.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No.1 Spring 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]



شکل (۲۰): تلفات اهمی خطوط پس از بازآرایی کلیدها و نصب تولیدات پراکنده در شبکه ۹۴ گره‌ای

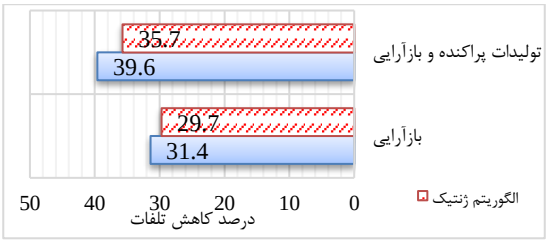
در ادامه در شکل (۲۱)، دامنه ولتاژ شین‌ها پس از نصب منابع تولید پراکنده و بازآرایی کلیدها نشان داده شده است.



شکل (۲۱): دامنه ولتاژ شین‌ها پس از بازآرایی کلیدها و نصب تولیدات پراکنده در شبکه ۹۴ گره‌ای

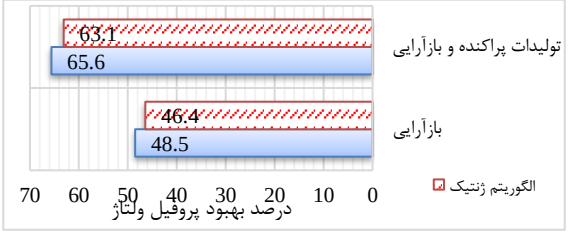
۴-۲-۳- تحلیل نتایج بخش دوم

پس از انجام بهینه‌سازی در سیستم قدرت ۹۴ گره‌ای IEEE توسط دو الگوریتم ژنتیک و جستجوی صاعقه و تعیین مکان و ظرفیت منابع تولیدات پراکنده و بازآرایی کلیدها، نتایج حاصله مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته است. بدین منظور درصد کاهش تلفات در این بخش محاسبه شده است، که مقادیر آن در نمودار شکل (۲۲)، نشان داده شده است.



شکل (۲۲): درصد کاهش تلفات در بخش دوم شبیه‌سازی

درصد کاهش تلفات در صورت بهینه‌سازی توسط الگوریتم پیشنهادی جستجوی صاعقه حدود ۳۹/۶٪ نسبت به شرایط پایه کاهش یافته است. در حالیکه با انجام بازآرایی بهینه کلیدها توسط الگوریتم پیشنهادی جستجوی صاعقه تلفات حدود ۳۱/۴٪ کاهش یافته است. در ادامه در شکل (۲۳)، درصد بهبود پروفیل ولتاژ به صورت نمودارهای میله‌ای نشان داده شده است.



نمودار ۴-۴: درصد اصلاح پروفیل ولتاژ شین‌ها در بخش دوم شبیه‌سازی

درصد اصلاح پروفیل ولتاژ پس از بازآرایی بهینه کلیدها در طول فیدر توسط الگوریتم ژنتیک و الگوریتم پیشنهادی جستجوی صاعقه به ترتیب برابر با ۴۶/۴٪ و ۴۸/۵٪ محاسبه شده است در حالیکه پس از نصب منابع تولید پراکنده با ظرفیت و مکان پیشنهاد شده توسط دو الگوریتم GA و LSA به ترتیب برابر با ۵۳/۵٪ و ۵۶/۶٪ تعیین شده است.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، بازآرایی شبکه در سیستم توزیع استاندارد ۳۳ شین و سیستم ۹۴ گره‌ای IEEE به همراه منابع تولید پراکنده توسط نسخه اصلاح شده الگوریتم جستجوی صاعقه با هدف کاهش تلفات و اصلاح پروفیل ولتاژ شبکه موضوع مطالعه قرار گرفت. همچنین از الگوریتم ژنتیک نیز برای مقایسه نتایج استفاده شده است. مطالعات در دو بخش برای دو سیستم و در دو سناریو انجام شده است. در سناریو اول شبیه-سازی‌ها، تنها بازآرایی کلیدهای شبکه و در سناریو دوم، بازآرایی کلیدها در حضور نصب منابع تولید پراکنده به صورت همزمان صورت پذیرفت. در سناریو اول از بخش اول شبیه‌سازی‌ها، از الگوریتم‌ها به منظور بازآرایی کلیدها استفاده شد. پس از انجام بهینه‌سازی توسط الگوریتم پیشنهادی جستجوی صاعقه و تعیین آرایش بهینه کلیدها، میزان تلفات اهمی خطوط حدود ۳۱/۷٪ کاهش یافته. در حالیکه پس از بازآرایی بهینه کلیدها توسط الگوریتم ژنتیک، مقدار تلفات ۲۵٪ کاهش یافته است. در سناریو دوم نیز، بازآرایی شبکه در حضور منابع تولید پراکنده در طول فیدر انجام شده است. در صورت بهینه‌سازی توسط الگوریتم ژنتیک، نسبت به شرایط اولیه حدود ۴۴٪ تلفات کاهش یافته است. در شرایط مشابه و پس از بهینه‌سازی توسط الگوریتم جستجوی صاعقه، مجموع تلفات اهمی خطوط حدود ۵۰/۷٪ و تابع ولتاژ حدود ۵۱/۶٪ کاهش یافت. این موضوع به معنای اصلاح پروفیل ولتاژ شبکه می‌باشد. در سناریو اول از بخش دوم شبیه‌سازی‌ها در فیدر ۹۴ گره‌ای IEEE، پس از انجام بهینه‌سازی توسط الگوریتم پیشنهادی LSA و تعیین آرایش بهینه کلیدها، میزان تلفات اهمی خطوط حدود ۳۱/۴٪ و تابع انحراف ولتاژ ۴۸/۵٪ کاهش یافته است. در حالیکه پس از بازآرایی بهینه کلیدها توسط الگوریتم ژنتیک، مقدار تلفات ۲۹/۷٪ کاهش یافته و تابع ولتاژ نیز در این شرایط حدود ۴۶/۴٪ نسبت به شرایط اولیه کاهش داشته است. در نهایت سناریو دوم، بازآرایی شبکه در حضور منابع تولید پراکنده در طول فیدر انجام شده است. در صورت بهینه‌سازی توسط الگوریتم ژنتیک، تلفات نسبت به شرایط اولیه حدود ۳۵/۷٪ و تابع انحراف ولتاژ نیز ۶۳/۱٪ کاهش یافته است. در شرایط مشابه و پس از بهینه‌سازی توسط الگوریتم پیشنهادی LSA، مجموع تلفات اهمی خطوط حدود ۳۹/۶٪ و تابع ولتاژ حدود ۶۵/۶٪ کاهش یافت.

مراجع

[1] S. Raj, B. Bhattacharyya, 2018, “Optimal placement of TCSC and SVC for reactive power planning using Whale

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.1.2.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No.1 Spring 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

optimization algorithm", Swarm and Evolutionary Computation, Vol. 40, pp. 131-143.

[2] A. Askarzadeh, 2016, "A novel metaheuristic method for solving constrained engineering optimization problems: Crow search algorithm", Computers and Structures, Vol. 169, pp. 1-12.

[3] S. Gupta, R.K. Tripathi, R.D. Shukla, 2010, "Voltage Stability Improvement in Power Systems using Facts Controllers: State-of-the-Art Review", proceeding on International Conference on Power, Control and Embedded Systems, Allahabad, India.

[4] G. Tembhurnikar, A. Chaudhari, N. Wani, A. Gajare, 2014, "A Review on Reactive Power Compensation Techniques using FACTS Devices", International Journal of Engineering and Management Research, Vol. 4, pp. 76-80.

[5] F.H. Gandoman, A. Ahmadi, A.M.; Sharaf, P. Siano, J. Pou, B. Hredzak, V.G. Agelidis, "Review of FACTS technologies and applications for power quality in smart grids with renewable energy systems, 2018, " Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 82, pp. 502-514.

[6] G. Arcia-Garibaldi, P. Cruz-Romero, A. Gómez-Expósito, 2018, "Future power transmission: Visions, technologies and challenges", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 94, pp. 285-301.

[7] R.K. Bindal, 2014, "A Review of Benefits of FACTS Devices in Power System", International Journal of Engineering and Advanced Technology, Vol. 3, pp. 104-108.

[8] R. Hemmati, R.A. Hooshmand, A. Khodabakhshian, 2013, "Comprehensive review of generation and transmission expansion planning", IET Generation, Transmission & Distribution, Vol. 7, pp. 955-964.

[9] T.S. Kishore, S.K. Singal, "Optimal economic planning of power transmission lines: A review, 2014, "Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 39, pp. 949-974.

[10] B. Singh, V. Mukherjee, P. Tiwari, 2015, "A survey on impact assessment of DG and FACTS controllers in power systems", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 42, pp. 846-882.

[11] A.R. Jordehi, 2015, "Particle swarm optimisation (PSO) for allocation of FACTS devices in electric transmission systems: A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 52, pp. 1260-1267.

[12] K. Ravi, M. Rajaram, 2013, "Optimal location of FACTS devices using Improved Particle Swarm Optimization", Electrical Power and Energy Systems, Vol. 49, pp. 333-338.

[13] B. Bhattacharyya, V.K. Gupta, 2014, "Fuzzy based evolutionary algorithm for reactive power optimization with FACTS devices", Electrical Power and Energy Systems, Vol. 61, pp. 39-47.

[14] M. Mohammadalizadeh-Shabestary, H. Hashemi-Dezaki, S. Mortazavian, H. Askarian-Abyaneh, 2015, "A general approach for optimal allocation of FACTS devices using equivalent impedance models of VSCs", International Transactions on Electrical Energy Systems, Vol. 25, pp. 1187-1203.

[15] B. Bhattacharyya, S. Kumar, 2015, "Reactive power planning with FACTS devices using gravitational search algorithm", Ain Shams Engineering Journal, Vol. 6, pp. 865-871.

[16] Bhattacharyya, V.K. Gupta, 2014, "Fuzzy Genetic Algorithm Approach for the Optimal Placement of Flexible AC Transmission Systems Devices in a Power System", Electric Power Components and Systems, Vol. 42, pp 779-787.

[17] B. Bhattacharyya, S. Kumar, 2016, "Loadability enhancement with FACTS devices using gravitational search algorithm", Electrical Power and Energy Systems, Vol. 78, pp. 470-479.

[18] B. Bhattacharyya, S. Raj, 2016, "Swarm intelligence based algorithms for reactive power planning with Flexible AC transmission system devices", Electrical Power and Energy Systems, Vol. 78, pp. 158-164.

[19] M. Packiasudha, S. Suja, J. Jerome, 2017, "A new Cumulative Gravitational Search algorithm for optimal placement of FACT device to minimize system loss in the deregulated electrical power environment", Electrical Power and Energy Systems, Vol. 84, pp. 34-46.

[20] N.A. Salim, N. Ismail, M.M. Othman, 2017, "Application of Evolutionary Programming for the Placement of TCSC and UPFC for Minimisation of Transmission Losses and Improvement of Voltage Profile", Pertanika Journal of Science and Technology, Vol. 25, pp. 231-238.

[21] K. Kavitha, R. Neela, 2017, "Optimal allocation of multi-type FACTS devices and its effect inenhancing system security using BBO, WIPSO & PSO", Journal of Electrical Systems and Information Technology, In Press, Corrected Proof.

[22] R. Mohammadi, M. Mahdavian, 2017, "Power Systems Optimal Placement And Sizing Of STATCOM in Multi-Objective Optimization Approach And Using NSGA-II Algorithm", International Journal of Computer Science and Network Security, Vol. 17, pp. 51-58.

[23] S.D. Nascimento, M.M. Gouvêa, "Voltage stability enhancement in power systems with automatic facts device allocation, 2017, " Energy Procedia, Vol. 107, pp. 60-67.

[24] X. Zhang, K. Tomsovic, A. Dimitrovski, 2018, "Optimal allocation of series FACTS devices in large-scale systems", IET Generation, Transmission & Distribution, Vol. 12, pp. 1889-1896.

[25] X. Zhang, D. Shi, Z. Wang, B. Zeng, X. Wang, K. Tomsovic, Y. Jin, 2018, "Optimal Allocation of Series FACTS Devices Under High Penetration of Wind Power Within a Market Environment", IEEE Transactions on Power Systems, In Press, Corrected Proof.

[26] R. Agrawal, S.K. Bharadwaj, D.P. Kothari, 2018, "Population based evolutionary optimization techniques for optimal allocation and sizing of Thyristor Controlled Series Capacitor", Journal of Electrical Systems and Information Technology, In Press, Corrected Proof.

[27] A.S. Adail, H.M. Hassan, M.K. Shaat, 2018, "Safety and reliability of the electrical system based on optimal FACTS allocation for a research reactor", Progress in Nuclear Energy, Vol. 104, pp. 143-149.

[28] Pal, B.B.; Biswas, P.; Mukhopadhyay, A.; 2013, "GA Based FGP Approach for Optimal Reactive Power Dispatch", Procedia Technology, Vol. 10, pp. 464-473.

[29] Christie, R.; 1993, "University of Washington power systems test case archive," [Online]. Available: http://labs.ece.uw.edu/pstca/

[30] Zimmerman, R.D.; Murillo-Sánchez, C.E.; Thomas, R.J.; 2011, "MATPOWER: Steady-State Operations, Planning and Analysis Tools for Power Systems Research and Education," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 26, pp. 12-19, [Online]. Available: http://www.pserc.cornell.edu/matpower/

[31] Anand, R.; Balaji, V.; 2015, "Power Flow Analysis of Simulink IEEE 57 Bus Test System Model using PSAT", Indian Journal of Science and Technology, Vol. 8, pp. 1-9.

از حمایت علمی ومالی دانشگاه آزاد اسلامی دزفول در تدوین این مقاله خصوصاً اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر حسن براتی و جناب آقای دکتر افشین لشکرآرا کمال سپاسگزاری را دارم.

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

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.1.2.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No.1 Spring 2021

رزومه



محسن پورصابری در دزفول متولد شده است. تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق شبکه‌های انتقال و توزیع در دانشگاه جامع علمی‌کاربردی (۱۳۸۶) و مقطع کارشناسی ارشد برق- قدرت را در دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول (۱۳۹۹) گذرانده است. زمینه‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان تعمیرات ترانسفورماتورها و کلیدهای قدرت و توزیع می‌باشد.



حسن براتی تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق-قدرت از دانشگاه صنعتی اصفهان (۱۳۷۱)، کارشناسی ارشد مهندسی برق-قدرت از دانشگاه تبریز (۱۳۷۵) و دکتری مهندسی برق قدرت از دانشگاه علوم و تحقیقات تهران (۱۳۸۶) سپری کرده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه ادوات FACTS، کیفیت توان، بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت است و در حال حاضر دانشیار گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول می‌باشد.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.1.2.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No.1 Spring 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

Optimal reconfiguration of radial distribution system with the aim of reducing losses and improving voltage profiles using the improved lightning search algorithm

Mohsen Poursaberi[1,3], Hassan Barati[2*]

1- MSc student, Department of Electrical Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran, m.poursaberi@yahoo.com
2- Associated Professor- Department of Electrical Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran**,** Barati216@gmail.com
3- Transformer Project Manager of Khuzestan Power Transmission Maintenance Company (TANANIR), Ahvaz, Iran

Abstract: In this paper, a modified version of the lightning search algorithm is proposed in order to find the optimal reconfiguration of the switches and locate and determine the optimal capacity of distributed generation sources in the distribution feeder. The main optimization goals are to reduce ohmic losses and voltage deviations in the standard 33-bus and 94-node IEEE feeders. The simulation results show that the effect of the presence of distributed generation sources in reducing ohmic losses and modifying the voltage profile when the network reconfigurations is done correctly. Also, by comparing the results of optimization by lightning search algorithm and genetic algorithm, we can realize the efficiency and accuracy of the proposed algorithm. The use of distributed generation sources in the distribution feeder has reduced losses by about 40% and modified the voltage profile by 66%, while network reconfiguration in the absence of distributed generation sources can reduce losses by 31% and voltage deviation by 48%.

Keywords: Distribution System, Reconfiguration, Distributed Generation, Lightning Search Algorithm

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

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.1.2.7]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No.1 Spring 2021