

Optimal Switch Placement in Real Distribution Network considering Cut-out Fuses, the Importance of Feeders and Ring Points in the Presence of Distributed Generation using Improved Bee Algorithm (Case Study: Mazandaran Distribution Network)

Hossein Gholizade Narm¹, Yaser Damchi², Mohammad-Zaher Ghorbani Jouybari³

¹ Associate professor, Faculty of Electrical Engineering and Robotics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

² Assistant professor, Faculty of Electrical Engineering and Robotic, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

³ Ph.D. Student, Electrical Engineering and Robotics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Abstract:

In this paper, the modified bee optimization algorithm is proposed to appropriate switches placement regarding distributed generation to maximize the feeders' reliability of a typical distribution network in Mazandaran. In this regard, actual network information including number of consumers, average consumption, feeders failures, feeders access time, repair time, etc. are used to determine network reliability indices. The optimal location of switches is determined by different scenarios due to the presence of distributed generation and the importance of feeders in the studied network. Moreover, the effect of cut-out fuses and ring points on feeders is considered in determining the appropriate switches placement, which is usually not considered in the reliability analysis of the distribution network and switches placement. Different indices are considered to determine the importance of feeders and a questionnaire has been prepared to utilize the personnel experiences of the distribution company to weigh these indices. Comparing and analyzing the results shows the ability of the proposed method in determining the appropriate switches locations in a real network.

Keywords: Switch Placement, Reliability, Optimization, Bee Algorithm, Distribution Network.

جایابی مکان بهینه کلیدها در یک شبکه توزیع واقعی با در نظر گرفتن کلیدهای کات اوت تیغه‌ای، نقاط رینگ و اهمیت فیدرها در حضور تولید پراکنده با استفاده از الگوریتم زنبورعسل بهبودیافته: مطالعه موردی روی شبکه توزیع مازندران

حسین قلی‌زاده نرم^۱، یاسر دامچی^۲، محمدظاهر قربانی جویباری^۳

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی برق و رباتیک - دانشگاه صنعتی شاهرود - شاهرود - ایران

gholizade@shahroodut.ac.ir

۲- استادیار، دانشکده مهندسی برق و رباتیک - دانشگاه صنعتی شاهرود - شاهرود - ایران

damchi@shahroodut.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری برق کنترل، دانشکده مهندسی برق و رباتیک - دانشگاه صنعتی شاهرود - شاهرود - ایران

mohamad.ghorbani.j@shahroodut.ac.ir

چکیده: در این مقاله با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی زنبورعسل بهبودیافته، جایابی مناسب کلیدها برای بهینه‌سازی قابلیت اطمینان فیدرهای شبکه توزیع نمونه در استان مازندران با در نظر گرفتن تولید پراکنده پیشنهاد می‌شود. در این راستا، اطلاعات واقعی شبکه شامل تعداد مصرف‌کننده‌ها، مقدار متوسط مصرف، خرابی فیدرها، مدت دسترسی به فیدرها، زمان تعمیر و ... برای تعیین شاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه استفاده می‌شوند. مکان بهینه کلیدها، با توجه به سناریوهای مختلف ناشی از حضور تولید پراکنده و اهمیت فیدرها، در شبکه مطالعه شده تعیین می‌شود. همچنین، تأثیر کلیدهای کات اوت تیغه‌ای و نقاط رینگ موجود در فیدرها در تعیین مکان مناسب کلیدها لحاظ شده است که معمولاً در تحلیل‌های قابلیت اطمینان شبکه توزیع و جایابی کلیدها در نظر گرفته نمی‌شود. برای تعیین اهمیت فیدرها، شاخص‌های مختلفی لحاظ شده و به منظور وزن‌دهی به این شاخص‌ها، پرسشنامه‌ای تهیه شده است تا از تجارب پرسنل شرکت توزیع استفاده شود. مقایسه و تحلیل نتایج به دست آمده، نشان‌دهنده توانایی روش پیشنهادی در تعیین مکان مناسب کلیدها در یک شبکه واقعی است.

واژه‌های کلیدی: جایابی کلید، قابلیت اطمینان، بهینه‌سازی، الگوریتم زنبورعسل، شبکه توزیع

۱- مقدمه

فیدر، برق فیدر را قطع می‌کند. بنابراین، کل فیدر و پست‌های توزیعی که با این فیدر تغذیه می‌شوند، در خاموشی به سر خواهند برد؛ از این رو لازم است مکان خطا، پیدا و سکسیونرهای مناسب قطع شود، عملیات مانور صورت گیرد، بار فیدر تغذیه شود و تنها ناحیه آسیب‌دیده (و قسمت‌هایی از فیدر که امکان انجام مانور برای تغذیه آنها وجود ندارد) تا رفع عیب، بی‌برق بماند. با این توصیف، واضح است تلاش تمامی شرکت‌های توزیع به کاهش زمان مکان‌یابی خطا و حوزه خاموشی معطوف باشد؛ چون سود بیشتری را به دنبال دارد. برای

در صورت بروز خطا در بخشی از شبکه توزیع، لازم است مراحل طی شود تا شبکه به حالت عادی خود بازگردد؛ زیرا با بروز خطا، کلید قدرت موجود در ابتدای

^۱ تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۰۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۱۷

نام نویسنده مسئول: حسین قلی‌زاده نرم

نشانی نویسنده مسئول: ایران - شاهرود - دانشگاه صنعتی شاهرود

- دانشکده مهندسی برق و رباتیک

بر اساس یک مدل برنامه‌ریزی محدب عدد صحیح ترکیبی پیشنهاد شده است. در مرجع [۱۶]، جایابی کلیدهای کنترل از راه دور، با در نظر گرفتن ریسک اقتصادی ناشی از نبود اطمینان در دستاوردهای حاصل از استقرار این تجهیزات انجام شده است. در مرجع [۱۷]، جایابی ادوات حفاظتی مانند فیوز و ریکلوزر، با در نظر گرفتن عدم قطعیت در میزان خرابی موقتی و دائم، میزان تعمیر و بار انجام شده و از روش‌های برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح ترکیبی برای حل مسئله جایابی استفاده شده است. در مرجع [۱۸]، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح ترکیبی برای جایابی کلیدهای جداکننده با در نظر گرفتن احتمال عملکرد اشتباه، برای این تجهیزات ارائه شده است. در مرجع [۱۹]، جایابی کلیدهای کنترل از راه دور در حضور تولید پراکنده انجام شده است. در مرجع [۲۰]، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح ترکیبی برای جایابی هم‌زمان نشانگر خطا و کلیدهای جداکننده در شبکه‌های توزیع ارائه شده است. در مرجع [۲۱]، تعداد و مکان کلیدهای کنترل از راه دور، با هدف حداکثر کردن سود مورد انتظار و حداقل کردن ریسک تعیین شده است.

در همه این پژوهش‌های انجام‌شده، فرض بر اتوماتیک‌بودن سکسیونرها بوده است و درباره شبکه‌ها با سکسیونرهای دستی بحث نشده است. در این مقاله، مکان بهینه نصب سکسیونرها و ریکلوزرها با هدف بهبود قابلیت اطمینان شبکه توزیع و با در نظر گرفتن تأثیر تولید پراکنده، نقاط رینگ، کلیدهای کات اوت تیغه‌ای و همچنین، اولویت فیدرها نسبت به یکدیگر تعیین می‌شود. منظور از نقاط رینگ در شبکه، نقاطی است که در صورت قطع تغذیه فیدر از مسیر اصلی بتوان شبکه را از محل این نقاط با مسیرهای دیگر تغذیه کرد تا مقدار خاموشی را کاهش داد. برای تفکیک کلیدهای اتوماتیک از کات اوت‌ها و سکسیونرهای دستی، کلیدها به دو صورت سریع و کند در نظر گرفته می‌شوند. جدا کردن بخش آسیب‌دیده از بخش سالم شبکه توسط کلیدهای اتوماتیک، آنی فرض شده است؛ اما برای کلیدهای کند، زمان دسترسی به کلید لحاظ می‌شود. گفتنی است در این پژوهش، کلیدهای اتوماتیک به صورت کلید تند - کند در نظر گرفته شده‌اند. منظور از عملکرد تند، قطع سریع کلید بعد از وقوع خطا است؛ درحالی که خطای پشت

ارزیابی قابلیت اطمینان در شبکه، شاخص‌های مختلفی وجود دارد؛ از جمله شاخص متوسط زمان قطعی سیستم (SAIDI)^۱، متوسط فرکانس قطعی سیستم (SAIFI)^۲، شاخص کل انرژی تأمین‌نشده (ENS)^۳، شاخص متوسط دسترسی به انرژی (ASAI)^۴ و

سکسیونرها نقش مهمی را در بهبود قابلیت اطمینان سیستم دارند؛ از این رو، تعداد و مکان آنها باید به‌طور هوشمندانه و مناسب تعیین شود. الگوریتم‌ها و روش‌های متعددی برای تعیین تعداد و مکان بهینه سکسیونرها در شبکه توزیع هوایی مطرح و ارائه شده است؛ برای مثال، در مرجع [۱]، روش آب‌کاری فولاد برای تعیین مکان سکسیونرها استفاده شده است. در مرجع [۲]، یک روش ابتکاری برای تعیین تعداد و مکان سکسیونرها ارائه شده که در آن، فقط به نوع کلیدهای اتوماتیک توجه شده است. در مراجع [۳] و [۴]، با جستجوی مستقیم و یکایک شماری، تعداد و مکان سکسیونرهای شبکه توزیع مشخص شده است. در مرجع [۵]، روشی مبتنی بر جابه‌جایی سکسیونرهای موجود در شبکه به منظور دستیابی به قابلیت اطمینان بهتر ارائه شده است. در مرجع [۶]، روشی مبتنی بر تعویض شاخه برای مکان‌یابی سکسیونرها و نقاط مانور مطرح شده است که در آن، با حذف و اضافه کردن شاخه‌ها در فیدرهای فشار متوسط، ساختار بهینه جستجو می‌شود. از روش‌ها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی گوناگونی، مانند اصل بهینه‌سازی بلمن^۵ [۲]، الگوریتم ژنتیک^۶ [۷]، آب‌کاری فولاد^۷ [۸]، برنامه‌ریزی دودویی^۸ [۹]، الگوریتم مورچگان^۹ [۱۰]، الگوریتم ایمنی^{۱۱} [۱۱]، الگوریتم PSO^{۱۲} [۱۲]، برای حل مسئله مکان‌یابی کلیدها در شبکه‌های توزیع و بهبود قابلیت اطمینان استفاده شده است. در مرجع [۱۳]، مسئله جایابی کلیدهای جداکننده با قابلیت کنترل از راه دور و اتومات به صورت برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی مدل شده است. مرجع [۱۴] یک الگوریتم PSO چند هدفه باینری برای جایابی ادوات حفاظتی، مانند فیوز و ریکلوزر در سیستم توزیع، با در نظر گرفتن تولید پراکنده پیشنهاد داده است. در مرجع [۱۵]، جایابی کلیدهای کنترل از راه دور به منظور بهبود کارایی بازیابی شبکه توزیع و بهینه‌کردن مزایای قابلیت اطمینان، با در نظر گرفتن هزینه این کلیدها

$$SAIFI_i = \frac{\sum_{j=1}^n \lambda_{ij} N_{ij}}{\sum_{j=1}^n N_{ij}} \quad (2)$$

$$SAIDI_i = \frac{\sum_{j=1}^n U_{ij} N_{ij}}{\sum_{j=1}^n N_{ij}} \quad (3)$$

$$ENS_i = \sum_{j=1}^n L_{ij}(a) U_{ij} \quad (4)$$

$$L_{ij}(a) = L_{ij}(p) f$$

در روابط بالا، N_{ij} تعداد مشترکین نقطه ژام در فیدر i ام، λ_{ij} نرخ خرابی نقطه بار ژام در فیدر i ام و U_{ij} نیز زمان خروج سالانه نقطه بار ژام در فیدر i ام است. همچنین، $L_{ij}(a)$ و $L_{ij}(p)$ به ترتیب بیان کننده مقدار متوسط بار پست توزیع و مقدار پیک بار در نقطه بار ژام در فیدر i ام و f مقدار ضریب بار پست در دوره زمانی مطالعه شده هستند. گفتنی است تعداد کلیدهای موجود برای نصب، به عنوان محدودیت در مسئله جایابی کلیدها در نظر گرفته شده است.

۳- الگوریتم بهینه سازی زنبورعسل بهبود یافته

در این مقاله برای جایابی مکان بهینه کلیدها از الگوریتم بهینه سازی زنبورعسل بهبود یافته استفاده شده است. الگوریتم زنبورعسل شامل گروهی مبتنی بر الگوریتم جستجو است که نخستین بار در سال ۲۰۰۵ توسعه یافت [۲۲]. این الگوریتم شبیه سازی رفتار جستجوی غذای گروه های زنبورعسل است. در نسخه ابتدایی، این الگوریتم نوعی از جستجوی محلی را انجام می دهد که با جستجوی تصادفی ترکیب شده است و می تواند برای بهینه سازی ترکیبی، بهینه سازی هم زمان چند متغیر یا بهینه سازی تابعی به کار رود.

مراحل الگوریتم به شرح زیرند [۲۲]:

- ابتدا راه حل های ممکن (زنبورها) به صورت تصادفی انتخاب می شوند (k تعداد زنبورهای اولیه).

آن می تواند کند قطع شود. در نظر گرفتن این ویژگی در صورت نبودن رینگ تأثیری ندارد؛ اما در حضور رینگ، مدت زمان بی برقی از مدت زمان دسترسی و تعمیر به مدت زمان دسترسی کاهش می یابد. این موضوع درباره کات اوت ها و سکسیونرهای دستی نیز صدق می کند. برای تعیین مکان بهینه کلیدها از الگوریتم بهینه سازی زنبورعسل بهبود یافته استفاده می شود. روش پیشنهادی برای جایابی بهینه محل نصب سکسیونرها و ریکلوزرها روی چهار فیدر یک شبکه توزیع نمونه در استان مازندران پیاده سازی شده است. همچنین، در این مقاله برای محاسبه شاخص های قابلیت اطمینان شبکه، از گزارشات آماری سالانه واقعی استفاده شده است. برای اولویت بندی فیدرها نیز پرسشنامه ای تهیه شده است تا نظرات کارشناسان خبره نیز در جایابی کلیدها لحاظ شود.

۲- فرمول بندی مسئله

تاکنون توابع مختلفی برای جایابی بهینه کلیدها ارائه شده است. در این مقاله، تابع هدف (OF) زیر به منظور جایابی بهینه کلیدها برای افزایش قابلیت اطمینان شبکه در نظر گرفته شده است.

$$OF = \min \sum_{i=1}^m W_i \left(\frac{SAIDI_i}{SAIDI_b} + \frac{SAIFI_i}{SAIFI_b} + \frac{ENS_i}{ENS_b} \right) \quad (1)$$

در رابطه بالا، i شماره فیدر، m تعداد فیدرهای مدنظر برای جایابی سکسیونرها و ریکلوزرها روی آنها و W_i بیان کننده اهمیت فیدرها است. همچنین، عبارات $SAIFI_b$ ، $SAIDI_b$ ، ENS_b به ترتیب بیان کننده مقدار میانگین شاخص متوسط زمان قطعی در m فیدر، میانگین شاخص فرکانس قطعی فیدر در m فیدر، میانگین شاخص کل انرژی تأمین نشده در m فیدر، در شرایط موجودند. منظور از شرایط موجود، محاسبه شاخص ها بدون در نظر گرفتن هیچ گونه کلید اتوماتیک در شبکه است. شاخص های $SAIFI_i$ ، $SAIDI_i$ و ENS_i به صورت زیر تعریف می شوند:

جایابی مکان بهینه کلیدها در یک شبکه توزیع واقعی با در نظر گرفتن کلیدهای کات اوت تیغه‌ای، ...

نحوه کاهش همسایگی در الگوریتم زنبورعسل به صورت زیر است [۲۳]:

$$ngh(t+1) = \frac{ngh(t)}{t} \quad (5)$$

ngh بیان‌کننده همسایگی زنبورهای نخبه و برای تمام زنبورهای نخبه یکسان است و t شماره تکرار الگوریتم است. در مدل پیشنهادی از فرمول زیر برای تعریف همسایگی استفاده شده است [۲۳]:

$$Patch\ size_i^t = \frac{1}{t} \times \frac{ngh}{(1 + \exp(-F(\text{elite}_i^t)))^2} \quad (6)$$

در این مدل، هر زنبور نخبه، i همسایگی مربوط به خود را دارد. در تکرارهای اولیه، همسایگی هر دو الگوریتم تقریباً یکسان است؛ اما هنگامی که میزان شایستگی یک زنبور نخبه خوب شد، همسایگی مدل پیشنهادی کوچک‌تر می‌شود و در نتیجه، جستجوی دقیق‌تری صورت خواهد گرفت. در این پژوهش، شرط همگرایی، تغییر نکردن تابع هدف در ۳۰ تکرار یا حداکثر ۵۰ تکرار است.

۴- شبکه واقعی مطالعه شده

روش پیشنهادی در جایابی مکان بهینه کلیدها روی یک شبکه توزیع نمونه در استان مازندران ارزیابی می‌شود. این شبکه، سه پست فوق توزیع (۶۳ کیلوولت) دارد که بیست و یک فیدر فشار متوسط (۲۰ کیلوولت) از آن انشعاب گرفته شده‌اند. گفتنی است فیدرهای A، B، C و D به‌عنوان فیدرهای پایلوت برای مطالعه در نظر گرفته شده‌اند. نمودار تک‌خطی فیدرهای مذکور در شکل‌های (۱) تا (۴) ارائه شده‌اند. شایان ذکر است برای تهیه نمودارهای تک‌خطی، بارهای موجود در انشعابات فرعی در محل فیدر اصلی جمع شده‌اند.

همان‌طور که در رابطه (۱) بیان شد، در این مقاله تأثیر اهمیت فیدر در جایابی مکان نصب سکسیونرها و سکشنالایزرها لحاظ شده است. برای اولویت‌بندی فیدرها، ویژگی‌های مختلفی (اشاره شده در جدول ۱) مانند امنیتی بودن فیدرها، حیاتی بودن فیدرها، طول فیدرها، میزان صنعتی و تجاری بودن فیدرها و تعداد مشترکین لحاظ شده

• میزان شایستگی راه‌حل‌های اولیه تعیین می‌شود.

• در صورت محقق‌نشدن شرط توقف به مرحله بعدی می‌رود.

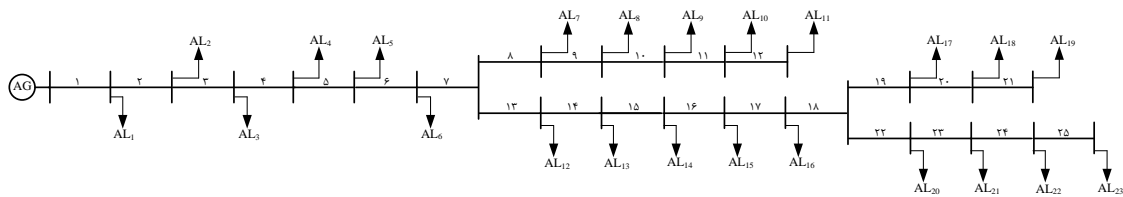
• براساس میزان شایستگی هر زنبور به تعداد Z بهترین زنبور از k زنبور انتخاب می‌شوند. این Z زنبور برای جستجوی محلی به دو دسته زنبور نخبه گروه یک^۱ و زنبور نخبه گروه دو^۲ تقسیم می‌شوند. با توجه به اینکه احتمال بهترین راه‌حل (زنبور) در اطراف راه‌حل‌های نخبه وجود دارد، زنبورهای بیشتری (زنبورهای سرباز^۳) به سمت این زنبورها ارسال می‌شوند. پس از جستجوی محلی، بهترین زنبور جایگزین زنبوری می‌شود که جستجو در پیرامون آن انجام شده است.

• در این مرحله، جستجوی سراسری انجام می‌شود و به تعداد k-Z زنبور به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند و برای تکرار تا رسیدن به جواب، الگوریتم از مرحله دو دوباره تکرار می‌شود.

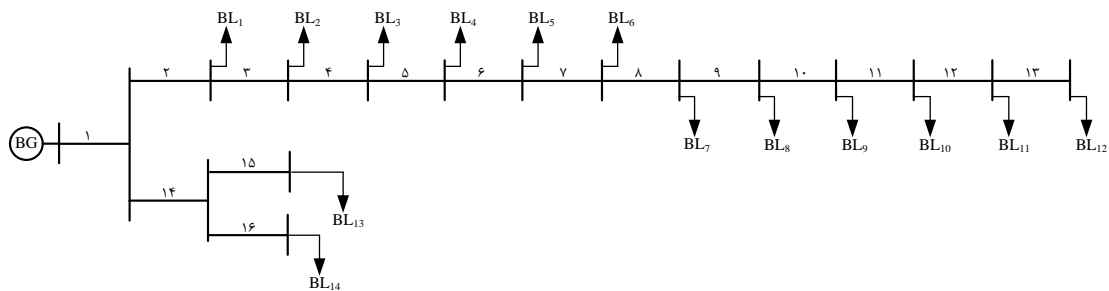
در مدل اصلی الگوریتم زنبورعسل، همسایگی زنبورهای نخبه در هر تکرار به صورت خطی کاهش می‌یابد تا جستجو در مراحل پایانی، دقیق‌تر صورت گیرد. در این فرایند، برای کاهش حوزه همسایگی، از مقدار تابع شایستگی هیچ فیدبکی گرفته نمی‌شود. در بعضی موارد ممکن است الگوریتم حتی در تکرارهای بالا نیز نتواند همسایگی نقطه بهینه سراسری را پیدا کند. به همین علت بهتر است این همسایگی مقدار بزرگ‌تری داشته باشد. در حالت عکس آن، اگر الگوریتم بتواند همسایگی نقطه بهینه سراسری را پیدا کند، لازم است همسایگی تعریف شده برای زنبورهای نخبه، مقدار کوچکی داشته باشد تا جستجو دقیق‌تر صورت گیرد.

به این منظور در مدل پیشنهادی، از تابع شایستگی زنبورهای نخبه برای تعریف همسایگی آنها استفاده شده است. در این مدل اگر میزان شایستگی زنبور نخبه خوب باشد، همسایگی تعریف شده برای آن کوچک خواهد بود و اگر رضایت‌بخش نباشد، همسایگی تعریف شده برای آن بزرگ خواهد بود. از مزایای این تغییر، به غیر نکردن در حداقل‌های محلی و جستجوی گسترده‌تر در تکرارهای اولیه و جستجوی دقیق در تکرارهای بالا می‌توان اشاره کرد.

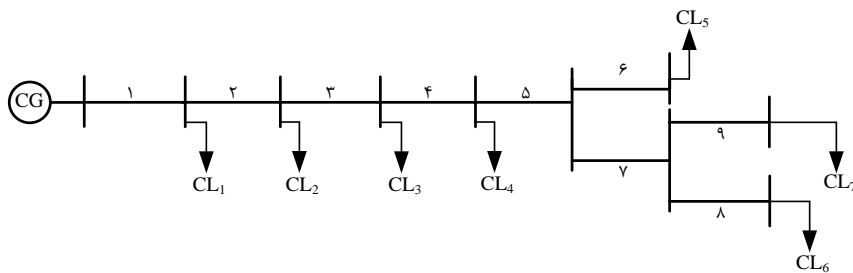
- است. وزن هریک از این ویژگی‌ها به صورت زیر محاسبه می‌شود:
- وزن هر فیدر، با توجه به ویژگی بار مصرفی، برابر با نسبت بار مصرفی هر فیدر به مجموع بار مصرفی فیدرها است.
 - وزن هر فیدر، با توجه به ویژگی طول فیدرها است. نسبت طول هر فیدر به مجموع طول فیدرها است.
 - وزن هر فیدر، با توجه به ویژگی مصرف خانگی، برابر با نسبت مصرف خانگی هر فیدر به مجموع مصارف خانگی فیدرها است.
 - وزن هر فیدر، با توجه به ویژگی مصرف تجاری، برابر با نسبت مصرف تجاری هر فیدر به مجموع مصارف تجاری فیدرها است.
 - وزن هر فیدر، با توجه به ویژگی مصرف صنعتی، برابر با نسبت مصرف صنعتی هر فیدر به مجموع مصارف صنعتی فیدرها است.
- وزن هر فیدر، با توجه به ویژگی تعداد مشترکین، برابر با نسبت تعداد مشترکین هر فیدر به تعداد مشترکین فیدرها است.
- میزان درصد وزنی فیدرها، با توجه به هریک از ویژگی‌ها، در جدول (۱) محاسبه شده و رتبه‌بندی فیدرهای مطالعه‌شده در جدول (۲) آمده است. گفتنی است برای تعیین اهمیت هریک از ویژگی‌ها نسبت به یکدیگر، پرسشنامه‌ای طراحی شده و در اختیار کارشناسان خبره قرار گرفته است. تعداد ۲۷ پرسشنامه جمع‌آوری شده است. نتیجه رتبه‌بندی فیدرهای مطالعه‌شده در جدول (۲) آمده است.



شکل (۱): نمودار تک‌خطی فیدر A

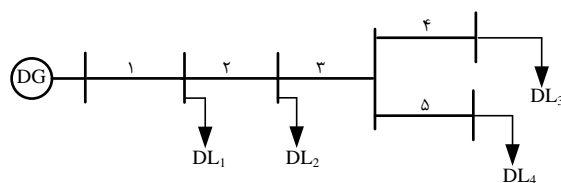


شکل (۲): نمودار تک‌خطی فیدر B



شکل (۳): نمودار تک‌خطی فیدر C

جایابی مکان بهینه کلیدها در یک شبکه توزیع واقعی با در نظر گرفتن کلیدهای کاتاوت تیغه‌ای، ...



شکل (۴): نمودار تک خطی فیدر D

جدول (۱): درصد وزن فیدرها با توجه به هریک از ویژگی‌ها

ویژگی	A	B	C	D
امنیتی	۰/۷۵	۱/۵	۴/۵	۲/۲۵
حیاتی	۰/۷۵	۱/۵	۴/۵	۲/۲۵
طول فیدر	۸	۳/۷۹	۰/۴۴	۰/۴۵
فاصله	۸	۸	۸	۸
بار مصرفی	۱/۵۳	۳/۶۶	۱/۸۱	۰/۹۸
صنعتی	۰/۶۴	۱/۶	۱/۲۸	۴/۴۸
تعداد مشترکین	۱/۸۱	۲/۸۶	۱/۴۷	۰/۸۴
صعب‌العبور	۷	-	-	-
باد	۷	۳/۵	۳/۵	۳/۵
گرما	۲/۵	۵	۵	۵
سرما	۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵
خانگی	۱/۶۱	۲/۱	۰/۸۵	۰/۳۶
توریستی	۵	۵	-	-
تجاری	۰/۱۳	۰/۴۹	۲/۱۸	۱/۱۸
آلودگی	۰/۸۵	۱/۱۴	۰/۲۸	۱/۷۱
جمع کل	۴۶/۸۸	۴۲/۵۵	۳۶/۳۱	۳۳/۵

جدول (۲): رتبه‌بندی فیدرهای مطالعه شده

نام فیدر	A	B	C	D
مقادیر نرمالیزه شده (%)	۲۹/۴۴	۲۶/۶۹	۲۲/۸	۲۱/۰۷

۵- نتایج شبیه‌سازی

• سناریو چهار: جایابی کلیدها با در نظر گرفتن اهمیت

فیدرها و باوجود تولید پراکنده.

• سناریو پنج: جایابی بهینه دو کلید در فیدرهای A و

B با قید هم‌مسیربودن کلیدها.

گفتنی است نتایج شبیه‌سازی‌ها در تمامی سناریوهای

بالا با محدودیت امکان نصب یک تا شش کلید در چهار

فیدر مدنظر به دست آمده‌اند. محدودیت تعداد کلیدها با

توجه به نظر کارشناسان محترم شرکت توزیع نیروی برق

مازندران تعیین شده است. همچنین، در همه سناریوهای

بالا، تأثیر کلیدهای کاتاوت تیغه‌ای لحاظ شده است که

برای تعیین محل مناسب کلیدها، به‌منظور بهبود قابلیت اطمینان به کمک الگوریتم زنبورعسل بهبودیافته، سناریوهای زیر در نظر گرفته شده‌اند:

• سناریو یک: جایابی کلیدها با در نظر گرفتن اهمیت یکسان برای فیدرها و بدون تولید پراکنده.

• سناریو دو: جایابی کلیدها با در نظر گرفتن اهمیت فیدرها و بدون تولید پراکنده.

• سناریو سه: جایابی کلیدها با در نظر گرفتن اهمیت یکسان برای فیدرها و باوجود تولید پراکنده.

گرفته شده برای تعداد کلیدها، در جدول (۳) نشان داده شده‌اند. همچنین برای نمونه، همگرایی الگوریتم بهینه‌سازی برای جایابی سه کلید در شکل (۵) نشان داده شده است. با توجه به شکل، الگوریتم در تکرار بیست و نهم همگرا شده است. با توجه به اطلاعات جدول (۳)، مکان مناسب نصب کلیدها در فیدرها به شرح زیرند:

معمولاً در تحلیل‌های قابلیت اطمینان شبکه توزیع و جایابی کلیدها در نظر گرفته نمی‌شوند.

۱-۵- جایابی کلیدها با در نظر گرفتن اهمیت یکسان برای فیدرها و بدون تولید پراکنده

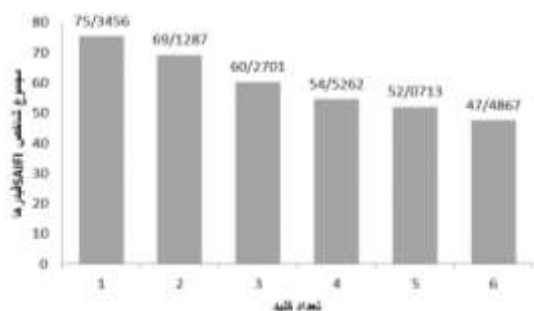
در این بخش برای جایابی بهینه کلیدها، فرض می‌شود فیدرها اهمیت یکسان دارند و تولید پراکنده‌ای در سیستم وجود ندارد. نتایج شبیه‌سازی، با توجه به محدودیت در نظر

جدول (۳): مکان کلیدها با در نظر گرفتن اهمیت یکسان برای فیدرها و بدون تولید پراکنده

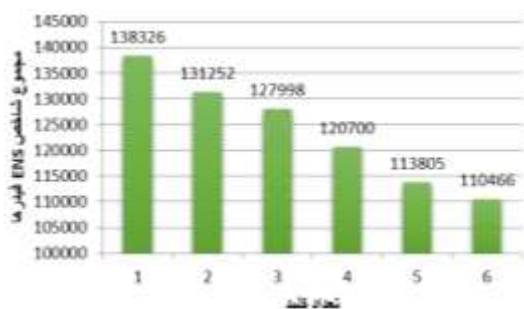
تعداد کلید	نام فیدر	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI	ENS	AENS	خط محل نصب	تابع هدف
۱	A	۲۹/۲۷۹۳	۴۹/۷۸۶۴	۱/۷۰۰۴	۰/۹۹۴۳	۰/۰۰۵۷	۶۱۲۲۵/۱۶۹۳	۲۶/۵۵۰۴	۱۶	
	B	۲۸/۴۱۵۶	۲۰/۵۱۱۶	۰/۷۲۱۸	۰/۹۹۷۷	۰/۰۰۲۳	۳۱۶۹۹/۸۲۸۷	۶/۷۸۸۰	-	
	C	۳/۳۵۷۵	۱/۵۹۸۷	۰/۴۷۶۲	۰/۹۹۹۸	۰/۰۰۰۲	۱۰۶۰/۱۶۵۴	۰/۴۷۹۷	-	۲/۴۱۸۸
	D	۱۴/۲۹۳۲	۱۳/۴۲۴۶	۰/۹۳۹۲	۰/۹۹۸۵	۰/۰۰۱۵	۴۴۳۴۱/۰۸۳۵	۳۳/۱۶۴۶	-	
	جمع	۷۵/۳۴۵۶	۸۵/۳۲۱۴	۳/۸۳۷۶	۳/۹۹۰۳	۰/۰۰۹۷	۱۳۸۳۲۶/۲۴۶۹	۶۶/۹۸۲۷		
۲	A	۲۳/۰۶۲۵	۳۷/۴۹۲۷	۱/۶۲۵۷	۰/۹۹۵۷	۰/۰۰۴۳	۵۴۱۵۰/۹۳۹۹	۲۳/۴۸۲۶	۱۶ و ۸	
	B	۲۸/۴۱۵۶	۲۰/۵۱۱۶	۰/۷۲۱۸	۰/۹۹۷۷	۰/۰۰۲۳	۳۱۶۹۹/۸۲۸۷	۶/۷۸۸۰	-	
	C	۳/۳۵۷۵	۱/۵۹۸۷	۰/۴۷۶۲	۰/۹۹۹۸	۰/۰۰۰۲	۱۰۶۰/۱۶۵۴	۰/۴۷۹۷	-	۲/۱۹۲۷
	D	۱۴/۲۹۳۲	۱۳/۴۲۴۶	۰/۹۳۹۲	۰/۹۹۸۵	۰/۰۰۱۵	۴۴۳۴۱/۰۸۳۵	۳۳/۱۶۴۶	-	
	جمع	۶۹/۱۲۸۷	۷۳/۰۲۷۶	۳/۷۶۲۹	۳/۹۹۱۷	۰/۰۰۸۳	۱۳۱۲۵۲/۰۱۷۵	۶۳/۹۱۴۹		
۳	A	۲۳/۰۶۲۵	۳۷/۴۹۲۷	۱/۶۲۵۷	۰/۹۹۵۷	۰/۰۰۴۳	۵۴۱۵۰/۹۳۹۹	۲۳/۴۸۲۶	۱۶ و ۸	
	B	۲۸/۴۱۵۶	۲۰/۵۱۱۶	۰/۷۲۱۸	۰/۹۹۷۷	۰/۰۰۲۳	۳۱۶۹۹/۸۲۸۷	۶/۷۸۸۰	-	
	C	۳/۳۵۷۵	۱/۵۹۸۷	۰/۴۷۶۲	۰/۹۹۹۸	۰/۰۰۰۲	۱۰۶۰/۱۶۵۴	۰/۴۷۹۷	-	۱/۹۹۵
	D	۵/۴۳۴۶	۵/۰۳۸۴	۰/۹۲۷۱	۰/۹۹۹۴	۰/۰۰۰۶	۴۱۰۸۶/۶۱۳۹	۳۰/۷۳۰۵	۳	
	جمع	۶۰/۲۷۰۱	۶۴/۶۴۱۴	۳/۷۵۰۸	۳/۹۹۲۶	۰/۰۰۷۴	۱۲۷۹۹۷/۵۴۷۹	۶۱/۴۸۰۸		
۴	A	۲۳/۰۶۲۵	۳۷/۴۹۲۷	۱/۶۲۵۷	۰/۹۹۵۷	۰/۰۰۴۳	۵۴۱۵۰/۹۳۹۹	۲۳/۴۸۲۶	۱۶ و ۸	
	B	۲۲/۶۷۱۷	۱۵/۷۸۳۶	۰/۶۹۶۲	۰/۹۹۸۲	۰/۰۰۱۸	۲۴۴۰۲/۵۸۴۷	۵/۲۲۵۴	۷	
	C	۳/۳۵۷۵	۱/۵۹۸۷	۰/۴۷۶۲	۰/۹۹۹۸	۰/۰۰۰۲	۱۰۶۰/۱۶۵۴	۰/۴۷۹۷	-	۱/۸۴۵۳
	D	۵/۴۳۴۶	۵/۰۳۸۴	۰/۹۲۷۱	۰/۹۹۹۴	۰/۰۰۰۶	۴۱۰۸۶/۶۱۳۹	۳۰/۷۳۰۵	۳	
	جمع	۵۴/۵۲۶۲	۵۹/۹۱۳۴	۳/۷۲۵۲	۳/۹۹۳۲	۰/۰۰۶۸	۱۲۰۷۰۰/۳۰۳۹	۵۹/۹۱۸۲		
۵	A	۲۰/۶۰۷۶	۳۳/۰۴۲۲	۱/۶۰۳۴	۰/۹۹۶۲	۰/۰۰۳۸	۴۷۲۵۵/۹۷۱۱	۲۰/۴۹۲۶	۲۲ و ۱۳ و ۸	
	B	۲۲/۶۷۱۷	۱۵/۷۸۳۶	۰/۶۹۶۲	۰/۹۹۸۲	۰/۰۰۱۸	۲۴۴۰۲/۵۸۴۷	۵/۲۲۵۴	۷	
	C	۳/۳۵۷۵	۱/۵۹۸۷	۰/۴۷۶۲	۰/۹۹۹۸	۰/۰۰۰۲	۱۰۶۰/۱۶۵۴	۰/۴۷۹۷	-	۱/۷۳۷۵
	D	۵/۴۳۴۶	۵/۰۳۸۴	۰/۹۲۷۱	۰/۹۹۹۴	۰/۰۰۰۶	۴۱۰۸۶/۶۱۳۹	۳۰/۷۳۰۵	۳	
	جمع	۵۲/۰۷۱۳	۵۵/۴۶۳۰	۳/۷۰۲۹	۳/۹۹۳۷	۰/۰۰۶۳	۱۱۳۸۰۵/۳۳۵۱	۵۶/۹۲۸۲		
۶	A	۲۰/۶۰۷۶	۳۳/۰۴۲۲	۱/۶۰۳۴	۰/۹۹۶۲	۰/۰۰۳۸	۴۷۲۵۵/۹۷۱۱	۲۰/۴۹۲۶	۲۲ و ۱۳ و ۸	
	B	۱۸/۰۸۷۲	۱۳/۶۳۸۰	۰/۷۵۴۰	۰/۹۹۸۴	۰/۰۰۱۶	۲۱۰۶۳/۶۱۵۳	۴/۵۱۰۴	۱۴ و ۷	
	C	۳/۳۵۷۵	۱/۵۹۸۷	۰/۴۷۶۲	۰/۹۹۹۸	۰/۰۰۰۲	۱۰۶۰/۱۶۵۴	۰/۴۷۹۷	-	۱/۶۴۷۲
	D	۵/۴۳۴۶	۵/۰۳۸۴	۰/۹۲۷۱	۰/۹۹۹۴	۰/۰۰۰۶	۴۱۰۸۶/۶۱۳۹	۳۰/۷۳۰۵	۳	
	جمع	۴۷/۴۸۶۷	۵۳/۳۱۷۴	۳/۷۶۰۷	۳/۹۹۳۹	۰/۰۰۶۱	۱۱۰۴۶۶/۳۶۵۷	۵۶/۲۱۳۲		

جایابی مکان بهینه کلیدها در یک شبکه توزیع واقعی با در نظر گرفتن کلیدهای کات اوت تیغه‌ای، ...

رتبه فیدرها تغییری نمی‌کند. به دلیل اینکه وضعیت نامطلوب شاخص‌های قابلیت اطمینان فیدرها بر اختلاف جزئی رتبه‌بندی آنها غلبه دارد؛ اما در حالت کلی، با در نظر گرفتن تعداد زیاد فیدر و اختلاف چشمگیر بین رتبه آنها، نقش رتبه پررنگ بوده است و در تعیین محل نصب کلید تأثیرگذار خواهد بود.



شکل (۶): مجموع شاخص SAIFI فیدرها برحسب تعداد کلیدها با در نظر گرفتن اهمیت یکسان برای فیدرها و بدون تولید پراکنده

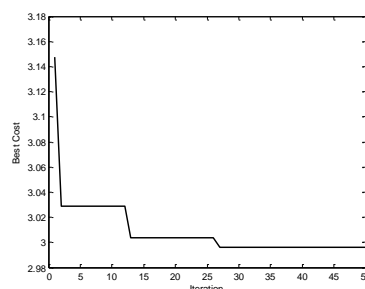


شکل (۷): مجموع شاخص ENS فیدرها برحسب تعداد کلیدها با در نظر گرفتن اهمیت یکسان برای فیدرها و بدون تولید پراکنده

۳-۵- جایابی کلیدها با در نظر گرفتن اهمیت یکسان برای فیدرها و وجود تولید پراکنده در فیدر متصل به بار AL_{23}

در این بخش برای جایابی بهینه کلیدها، فرض می‌شود فیدرها اهمیت یکسان دارند و یک منبع تولید پراکنده در فیدر متصل به بار AL_{23} وجود دارد. جدول (۴)، نتایج شبیه‌سازی را با توجه به محدودیت در نظر گرفته شده برای تعداد کلیدها نشان می‌دهد.

با مقایسه نتایج جدول‌های (۳) و (۴)، مشاهده می‌شود با حضور تولید پراکنده، محل نصب کلیدها در فیدر A برای



شکل (۵): همگرایی الگوریتم بهینه‌سازی برای جایابی سه کلید با در نظر گرفتن اهمیت یکسان برای فیدرها و بدون تولید پراکنده

- تک کلید: خط ۱۶ فیدر A.
- دو کلید: خطوط ۸ و ۱۶ فیدر A.
- سه کلید: خطوط ۸ و ۱۶ فیدر A و خط ۳ فیدر D.
- چهار کلید: خطوط ۸ و ۱۶ فیدر A، خط ۳ فیدر D و خط ۷ فیدر B.
- پنج کلید: خطوط ۸، ۱۳ و ۲۲ فیدر A، خط ۳ فیدر D و خط ۷ فیدر B.
- شش کلید: خطوط ۸، ۱۳ و ۲۲ فیدر A، خط ۳ فیدر D و خطوط ۷ و ۱۴ فیدر B.

با توجه به نتایج جدول (۳)، مشاهده می‌شود با افزایش تعداد کلیدها، شاخص‌های قابلیت اطمینان بهبود می‌یابند؛ برای نمونه، شکل‌های (۶) و (۷) به ترتیب تغییرات شاخص‌های SAIFI و ENS را نشان می‌دهند. شکل (۶)، بهبود ۳۶/۹۷٪ شاخص SAIFI و شکل (۷) بهبود ۲۰/۱۴٪ شاخص ENS را با افزایش تعداد کلید از یک به شش نشان می‌دهد.

جدول (۳) نشان می‌دهد با اضافه شدن هر کلید به فیدر، شاخص‌های آن فیدر بهبود می‌یابند. نکته مهم این است که با وجود محدودیت در کلیدها، هیچ کلیدی به فیدر C اختصاص نمی‌یابد. به این دلیل که فیدر C، شاخص قابل اطمینان بسیار خوبی دارد و نیاز چندانی به کلید ندارد.

۲-۵- جایابی کلیدها با در نظر گرفتن اهمیت فیدرها و بدون تولید پراکنده

در این بخش، جایابی بهینه کلیدها، با توجه به رتبه به‌دست‌آمده برای فیدرها، در جدول (۲) و با فرض نبود تولید پراکنده‌ای در سیستم انجام می‌شود. نتایج شبیه‌سازی با توجه به محدودیت در نظر گرفته شده برای تعداد کلیدها نشان می‌دهد مکان مناسب برای نصب کلیدها در فیدرها با تغییر

از ۴۷۲۵۵/۹۷۱۱ به ۴۶۳۱۸/۱۶۶۹ کمتر بوده است؛ بنابراین، تابع هدف کاهش می‌یابد.

شکل‌های (۸) و (۹) به ترتیب تغییرات شاخص‌های SAIFI و ENS را با در نظر گرفتن اهمیت یکسان برای فیدرها و با وجود تولید پراکنده در فیدر متصل به بار AL23 نشان می‌دهند. شکل (۸)، بهبود ۳۶/۱۱٪ شاخص SAIFI و شکل (۹)، بهبود ۲۰/۸۲٪ شاخص ENS را با افزایش تعداد کلید از یک به شش نشان می‌دهد.

حالت‌های پنج و شش کلیدی تغییر می‌کند. اگر کلید در محل قبلی (خط ۲۲) نصب شود، تابع هدف به مقدار ۱/۶۴۳۶ افزایش می‌یابد که بیشتر از ۱/۶۴۱۹ است. همچنین، با توجه به جدول (۴)، قابلیت اطمینان سیستم برای حالت‌های پنج و شش کلیدی با حضور تولید پراکنده، افزایش و مقدار تابع هدف کاهش می‌یابد. شایان ذکر است شاخص SAIFI فیدر A از ۲۰/۶۰۷۶ به ۲۱/۲۵۹۸ برای حالت‌های پنج و شش کلیدی افزایش می‌یابد؛ اما این افزایش در برابر کاهش ENS

جدول (۴): مکان کلیدها با در نظر گرفتن اهمیت یکسان برای فیدرها و وجود تولید پراکنده در فیدر متصل به بار AL23

تابع هدف	خط محل نصب	AENS	ENS	ASUI	ASAI	CAIDI	SAIDI	SAIFI	نام فیدر	تعداد کلید
	۱۶	۲۶/۵۵۰۴	۶۱۲۲۵/۱۶۹۳	۰/۰۰۵۷	۰/۹۹۴۳	۱/۷۰۰۴	۴۹/۷۸۶۴	۲۹/۲۷۹۳	A	
	-	۶/۷۸۸۰	۳۱۶۹۹/۸۲۸۷	۰/۰۰۲۳	۰/۹۹۷۷	۰/۷۲۱۸	۲۰/۵۱۱۶	۲۸/۴۱۵۶	B	
۲/۴۱۸۸	-	۰/۴۷۹۷	۱۰۶۰/۱۶۵۴	۰/۰۰۰۲	۰/۹۹۹۸	۰/۴۷۶۲	۱/۵۹۸۷	۳/۳۵۷۵	C	۱
	-	۳۳/۱۶۴۶	۴۴۳۴۱/۰۸۳۵	۰/۰۰۱۵	۰/۹۹۸۵	۰/۹۳۹۲	۱۳/۴۲۴۶	۱۴/۲۹۳۲	D	
		۶۶/۹۸۲۷	۱۳۸۳۲۶/۲۴۶۹	۰/۰۰۹۷	۳/۹۹۰۳	۳/۸۳۷۶	۸۵/۳۲۱۴	۷۵/۳۴۵۶	جمع	
	۱۶ و ۸	۲۳/۴۸۲۶	۵۴۱۵۰/۹۳۹۹	۰/۰۰۴۳	۰/۹۹۵۷	۱/۶۲۵۷	۳۷/۴۹۲۷	۲۳/۰۶۲۵	A	
	-	۶/۷۸۸۰	۳۱۶۹۹/۸۲۸۷	۰/۰۰۲۳	۰/۹۹۷۷	۰/۷۲۱۸	۲۰/۵۱۱۶	۲۸/۴۱۵۶	B	
۲/۱۹۲۷	-	۰/۴۷۹۷	۱۰۶۰/۱۶۵۴	۰/۰۰۰۲	۰/۹۹۹۸	۰/۴۷۶۲	۱/۵۹۸۷	۳/۳۵۷۵	C	۲
	-	۳۳/۱۶۴۶	۴۴۳۴۱/۰۸۳۵	۰/۰۰۱۵	۰/۹۹۸۵	۰/۹۳۹۲	۱۳/۴۲۴۶	۱۴/۲۹۳۲	D	
		۶۳/۹۱۴۹	۱۳۱۲۵۲/۰۱۷۵	۰/۰۰۸۳	۳/۹۹۱۷	۳/۷۶۲۹	۷۳/۰۲۷۶	۶۹/۱۲۸۷	جمع	
	۱۶ و ۸	۲۳/۴۸۲۶	۵۴۱۵۰/۹۳۹۹	۰/۰۰۴۳	۰/۹۹۵۷	۱/۶۲۵۷	۳۷/۴۹۲۷	۲۳/۰۶۲۵	A	
	-	۶/۷۸۸۰	۳۱۶۹۹/۸۲۸۷	۰/۰۰۲۳	۰/۹۹۷۷	۰/۷۲۱۸	۲۰/۵۱۱۶	۲۸/۴۱۵۶	B	
۱/۹۹۵	-	۰/۴۷۹۷	۱۰۶۰/۱۶۵۴	۰/۰۰۰۲	۰/۹۹۹۸	۰/۴۷۶۲	۱/۵۹۸۷	۳/۳۵۷۵	C	۳
	۳	۳۰/۷۳۰۵	۴۱۰۸۶/۶۱۳۹	۰/۰۰۰۶	۰/۹۹۹۴	۰/۹۲۷۱	۵/۰۳۸۴	۵/۴۳۴۶	D	
		۶۱/۴۸۰۸	۱۲۷۹۹۷/۵۴۷۹	۰/۰۰۷۴	۳/۹۹۲۶	۳/۷۵۰۸	۶۴/۶۴۱۴	۶۰/۲۷۰۱	جمع	
	۱۶ و ۸	۲۳/۴۸۲۶	۵۴۱۵۰/۹۳۹۹	۰/۰۰۴۳	۰/۹۹۵۷	۱/۶۲۵۷	۳۷/۴۹۲۷	۲۳/۰۶۲۵	A	
	۷	۵/۲۲۵۴	۲۴۴۰۲/۵۸۴۷	۰/۰۰۱۸	۰/۹۹۸۲	۰/۶۹۶۲	۱۵/۷۸۳۶	۲۲/۶۷۱۷	B	
۱/۸۴۵۳	-	۰/۴۷۹۷	۱۰۶۰/۱۶۵۴	۰/۰۰۰۲	۰/۹۹۹۸	۰/۴۷۶۲	۱/۵۹۸۷	۳/۳۵۷۵	C	۴
	۳	۳۰/۷۳۰۵	۴۱۰۸۶/۶۱۳۹	۰/۰۰۰۶	۰/۹۹۹۴	۰/۹۲۷۱	۵/۰۳۸۴	۵/۴۳۴۶	D	
		۵۹/۹۱۸۲	۱۲۰۷۰۰/۳۰۳۹	۰/۰۰۶۸	۳/۹۹۳۲	۳/۷۲۵۲	۵۹/۹۱۳۴	۵۴/۵۲۶۲	جمع	
	۲۳ و ۱۳ و ۸	۲۰/۰۸۵۹	۴۶۳۱۸/۱۶۶۹	۰/۰۰۳۷	۰/۹۹۶۳	۱/۵۱۷۵	۳۲/۲۶۱۸	۲۱/۲۵۹۸	A	
	۷	۵/۲۲۵۴	۲۴۴۰۲/۵۸۴۷	۰/۰۰۱۸	۰/۹۹۸۲	۰/۶۹۶۲	۱۵/۷۸۳۶	۲۲/۶۷۱۷	B	
۱/۷۳۲۳	-	۰/۴۷۹۷	۱۰۶۰/۱۶۵۴	۰/۰۰۰۲	۰/۹۹۹۸	۰/۴۷۶۲	۱/۵۹۸۷	۳/۳۵۷۵	C	۵
	۳	۳۰/۷۳۰۵	۴۱۰۸۶/۶۱۳۹	۰/۰۰۰۶	۰/۹۹۹۴	۰/۹۲۷۱	۵/۰۳۸۴	۵/۴۳۴۶	D	
		۵۶/۵۲۱۵	۱۱۲۸۶۷/۵۳۰۹	۰/۰۰۶۲	۳/۹۹۳۸	۳/۶۱۷۰	۵۴/۶۸۳۶	۵۲/۷۲۳۵	جمع	
	۲۳ و ۱۳ و ۸	۲۰/۰۸۵۹	۴۶۳۱۸/۱۶۶۹	۰/۰۰۳۷	۰/۹۹۶۳	۱/۵۱۷۵	۳۲/۲۶۱۸	۲۱/۲۵۹۸	A	
	۱۴ و ۷	۴/۵۱۰۴	۲۱۰۶۳/۶۱۵۳	۰/۰۰۱۶	۰/۹۹۸۴	۰/۷۵۴۰	۱۳/۶۳۸۰	۱۸/۰۸۷۲	B	
۱/۶۴۱۹	-	۰/۴۷۹۷	۱۰۶۰/۱۶۵۴	۰/۰۰۰۲	۰/۹۹۹۸	۰/۴۷۶۲	۱/۵۹۸۷	۳/۳۵۷۵	C	۶
	۳	۳۰/۷۳۰۵	۴۱۰۸۶/۶۱۳۹	۰/۰۰۰۶	۰/۹۹۹۴	۰/۹۲۷۱	۵/۰۳۸۴	۵/۴۳۴۶	D	
		۵۵/۸۰۶۵	۱۰۹۵۲۸/۵۶۱۵	۰/۰۰۶۰	۳/۹۹۴۰	۳/۶۷۴۸	۵۲/۵۳۷۰	۴۸/۱۳۸۹	جمع	

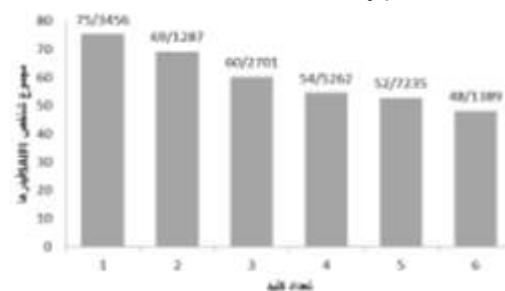
۴-۵- جایابی کلیدها با در نظر گرفتن اهمیت

فیدرها و وجود تولید پراکنده در فیدر متصل به بار

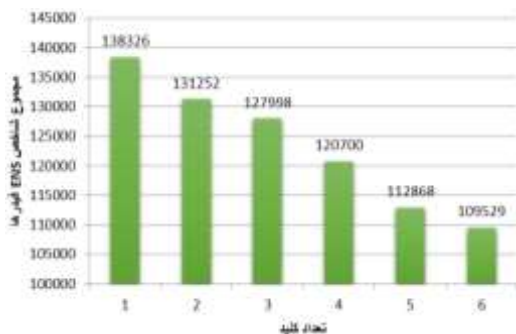
AL₂₃

در این بخش، جایابی بهینه کلیدها، با توجه به رتبه فیدرها و در نظر گرفتن تولید پراکنده در فیدر متصل به بار انجام می‌شود. نتایج شبیه‌سازی‌ها، با توجه به محدودیت در نظر گرفته شده برای تعداد کلیدها، میزان بهبود شاخص‌های SAIFI و ENS را به ترتیب برابر ۳۶/۱۱٪ و ۲۰/۸۲٪ با افزایش تعداد کلید از یک به شش نشان می‌دهند که معادل سناریوی قبل است. دلیل این تشابه آن است که مکان نصب کلیدها با در نظر گرفتن درجه اهمیت فیدرها تغییری نمی‌کند.

برای نشان دادن اهمیت جایگاه تولید پراکنده از دیدگاه قابلیت اطمینان سیستم، تولید پراکنده به جای نصب در فیدر متصل به بار AL₂₃، در فیدر متصل به بار AL₇ در نظر گرفته می‌شود که مدنظر برخی کارشناسان محترم شرکت توزیع نیروی برق است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهند وجود تولید پراکنده در فیدر متصل به بار AL₇، با توجه به محل نصب بهینه کلیدها، تأثیری بر قابلیت اطمینان شبکه ندارد؛ اما وجود تولید پراکنده در AL₂₃ بر بهبود قابلیت اطمینان شبکه مؤثر است.



شکل (۸): مجموع شاخص SAIFI فیدرها برحسب تعداد کلیدها با در نظر گرفتن اهمیت یکسان برای فیدرها و باوجود تولید پراکنده در فیدر متصل به بار AL₂₃



شکل (۹): مجموع شاخص ENS فیدرها برحسب تعداد کلیدها با در نظر گرفتن اهمیت یکسان برای فیدرها و باوجود تولید پراکنده در فیدر متصل به بار AL₂₃

۵-۵- جایابی بهینه دو کلید در فیدرهای A و B

با قید هم‌مسیر بودن کلیدها

اگر دو کلید مدنظر، به‌صورت زوج ریکلوزر و سکشنالایزر باشند، باید در یک مسیر قرار گیرند؛ یعنی خطایی که سکشنالایزر حس می‌کند را ریکلوزر نیز باید ببیند؛ بنابراین، دو کلید نمی‌توانند در دو انشعاب جداگانه قرار گیرند. برای این منظور، مکان‌یابی بهینه با این قید برای فیدرهای A و B اجرا شد که نتایج در جدول‌های (۵) و (۶) آمده‌اند.

نتایج جدول‌های (۵) و (۶) نشان می‌دهند با اعمال قید هم‌مسیر بودن کلیدها، مکان نصب فیدرها تغییر می‌کند؛ برای نمونه، مکان نصب کلید از خطوط ۸ و ۱۶، به خطوط ۷ و ۱۶ برای فیدر A و مکان نصب کلید از خطوط ۷ و ۱۴ به خطوط ۵ و ۱۰ برای فیدر B تغییر کرده است.

جدول (۵): مکان بهینه نصب دو کلید در فیدر A با و بدون قید هم‌مسیر بودن کلیدها

تعداد کلید	قید مسیر	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI	ENS	AENS	خط محل نصب
۲	با قید	۲۶/۵۴۷۳	۴۴/۷۹۹۲	۱/۶۸۷۵	۰/۹۹۴۹	۰/۰۰۵۱	۵۷۰۱۸/۸۹۶۳	۲۴/۷۲۶۳	۱۶ و ۷
۲	بدون قید	۲۳/۰۶۲۵	۳۷/۴۹۲۷	۱/۶۲۵۷	۰/۹۹۵۷	۰/۰۰۴۳	۵۴۱۵۰/۹۳۹۹	۲۳/۴۸۲۶	۱۶ و ۸

جدول (۶): مکان بهینه نصب دو کلید فیدر B با و بدون قید هم‌مسیربودن کلیدها

خط محل نصب	AENS	ENS	ASUI	ASAI	CAIDI	SAIDI	SAIFI	قید مسیر	تعداد کلید
۱۰ و ۵	۴/۸۲۱۱	۲۲۵۱۴/۷۳۹۱	۰/۰۰۱۷	۰/۹۹۸۳	۰/۷۰۰۰	۱۴/۵۵۰۷	۲۰/۷۸۸۲	باقید	۲
۱۴ و ۷	۴/۵۱۰۴	۲۱۰۶۳/۶۱۵۳	۰/۰۰۱۶	۰/۹۹۸۴	۰/۷۵۴۰	۱۳/۶۳۸۰	۱۸/۰۸۷۲	بدون قید	۲

۶- نتیجه گیری

در این مقاله، دیدگاهی برای جابجایی مکان بهینه سکسوینها و سکشنلایزرها در یک شبکه توزیع واقعی با در نظر گرفتن تأثیر تولید پراکنده، نقاط رینگ و اهمیت فیدرها پیشنهاد شده است. همچنین، در جابجایی مناسب کلیدها، تأثیر کلیدهای کات‌اوت تیغه‌ای لحاظ شده است که معمولاً در تحلیل‌های قابلیت اطمینان شبکه توزیع و جابجایی کلیدها در نظر گرفته نمی‌شوند. اهمیت فیدرها در تعیین مکان مناسب کلیدها نقش به‌سزایی دارد؛ اما در این مطالعه، با توجه به نامناسب‌تر بودن وضعیت شاخص‌های قابلیت اطمینان فیدر A نسبت به سایر فیدرها، بدون توجه به اهمیت بالای آن در مقایسه با فیدرهای دیگر، بیشترین کلید را به خود تخصیص می‌دهد. نصب تولید پراکنده، با توجه به محل نصب آن، در تعیین محل مناسب کلیدها و بر شاخص‌های قابلیت اطمینان تأثیرگذار است؛ برای مثال، با نصب منبع تولید پراکنده در فیدر متصل به بار AL_{23} ، مکان مناسب کلیدها در این فیدر تغییر می‌کند و مقدار تابع هدف را کاهش می‌دهد؛ درحالی‌که نصب تولید پراکنده در فیدر متصل به بار AL_7 ، بر تعیین محل نصب بهینه کلیدها تأثیری ندارد و شاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه را تغییر نمی‌دهد. در نظر گرفتن محدودیت امکان نصب کلید روی یک مسیر فیدر، جابجایی مکان مناسب نصب کلیدها را سبب می‌شود؛ برای نمونه، با توجه به قید مذکور، مکان نصب کلید از خطوط ۸ و ۱۶ به خطوط ۷ و ۱۶ برای فیدر A تغییر کرده است.

مراجع

- IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 14, No. 3, pp. 1116-1172, July 1999.
- [3] Y. He, G. Andersson, and R. N. Allan, "Determining Optimum Location and Number of Automatic Switching Devices in Distribution Systems", IEEE Power Conference, Budapest, Hungary, 29 August -2 September 1999.
- [4] P. Wang, and R. Billinton, "Demand-Side Optimal Selection of Switching Devices in Radial Distribution System Planning", Generation, Transmission and Distribution, Vol. 145, No. 4, pp. 409-414, July 1998.
- [5] J. H. Teng, and C. N. Lu, "Feeder-Switch Relocation for Customer Interruption Cost Minimization", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 17, No. 1, pp. 254-259, January 2002.
- [6] S. K. Gaswami, "Distribution System Planning Using Branch Exchange Technique", IEEE Transaction on Power System, Vol. 12, No. 2, pp. 718-723, May 1997.
- [7] G. Levitin, M. Tov, and D. Elmakis, "Optimal Sectionalizer Allocation in Electric Distribution Systems by Genetic Algorithm", Electric Power System Research, Vol. 31, pp. 97-102, November 1994.
- [8] R. Billinton, and S. Jonnavithula, "Optimal Switching Device Placement in Radial Distribution System", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, No. 3, pp. 1646-1651, July 1996.
- [9] F. Soudi, and K. Tomsovic, "Optimized Distribution Protection Using Binary Programming", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 13, No. 1, pp. 218-224, January 1998.
- [10] J. H. Teng, "A Novel ACS-Based Optimum Switch Relocation Method", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 18, No. 1, pp. 113-120, February 2003.
- [11] C. S. Chen, C. H. Lin, H. J. Chuang, C. S. Li, M. Y. Huang, and C. W. Huang, "Optimal Placement of Line Switches for Distribution Automation Systems Using Immune Algorithm", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 21, No. 3, pp. 1209-1217, August 2006.
- [12] A. Moradi, and M. Fotuhi-Firuzabad, "Optimal Switch Placement in distribution Systems Using Trinary Particle Swarm Optimization Algorithm", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 23, No. 1, pp. 271-279, January 2008.
- [13] A. A. Jahromi, M. F. Firuzabad, M. Parvania, and M. Mosleh, "Optimized Sectionalizing Switch Placement Strategy in Distribution Systems", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 27, No. 1, pp. 362 - 370, January 2012.
- [1] R. Billinton, and S. Jonnavithula, "Optimal Switching Device Placement in Radial Distribution System", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 11, No. 3, pp. 1646-1651, July 1996.
- [2] G. Celli, and F. Pilo, "Optimal Sectionalizing Switches Allocation in Distribution Networks",

- Probability", IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 10, No. 1, pp. 2278 - 2287, January 2019.
- [19] M. I. Chehardeh, and C. J. Hatziaodniu, "Optimal Placement of Remote-Controlled Switches in Distribution Networks in the Presence of Distributed Generators", Energies, Vol. 12, No. 6, pp. 2 - 17, March 2019.
- [20] M. Farajollahi, M. F. Firuzabad, and A. Safdarian, "Simultaneous Placement of Fault Indicator and Sectionalizing Switch in Distribution Networks", IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 10, No. 2, pp. 2278 - 2287, March 2019.
- [21] M. Izadi and A. Safdarian, "A MIP Model for Risk Constrained Switch Placement in Distribution Networks", IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 10, No. 4, pp. 4543- 4553, July 2019.
- [22] D. T. Pham, A. Ghanbarzadeh, E. Koc, S. Otri, S. Rahim, and M. Zaidi, "The Bees Algorithm—A Novel Tool for Complex Optimisation Problems", Intelligent Production Machines and Systems, pp. 454–459, 3-14 July 2006.
- [23] A. Ebrahimzadeh, J. Addeh, and V. Ranaee, "Recognition of Control Chart Patterns Using an Intelligent Technique", Applied Soft Computing, Vol. 13, No. 5, pp. 2970-2980, May 2011.
- [14] W. Prommee, and W. Ongsakul, "Multi-objective Optimal Placement of Protective Devices on Microgrid Using Improved Binary Multi-Objective PSO", International Transactions on Electrical Energy Systems, Vol. 25, No. 11, pp. 2621-2638, November 2015.
- [15] S. Lei, J. Wang, and Y. Hou, "Remote-Controlled Switch Allocation Enabling Prompt Restoration of Distribution Systems", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 33, No. 3, pp. 3129 - 3142, May 2018.
- [16] M. Izadi and A. Safdarian, "Financial Risk Constrained Remote Controlled Switch Deployment in Distribution Networks", IET Generation, Transmission & Distribution, Vol. 12, No. 7, pp. 1547 - 1553, April 2018.
- [17] A. Alam, M. N. Alam, V. Pant, B. Das, "Placement of protective devices in Distribution System Considering Uncertainties in Loads, Temporary and Permanent Failure Rates and Repair Rates", IET Generation, Transmission & Distribution, Vol. 12, No. 7, pp. 3129 - 3142, April 2018.
- [18] M. Farajollahi, M. F. Firuzabad, and A. Safdarian, "Optimal Placement of Sectionalizing Switch Considering Switch Malfunction

-
- ¹ System Average Interruption Duration Index
² System Average Interruption Frequency Index
³ Energy Not Supplied
⁴ Average Service Availability Index
⁵ Bellman's Principle of Optimality
⁶ Genetic Algorithm
⁷ Simulated Annealing
⁸ Binary Programming
⁹ Ant Colony Optimization Algorithms
¹⁰ Immune Algorithm
¹¹ Particle Swarm Optimization Algorithm
¹² Number of elit 1 Bees
¹³ Number of elit 2 Bees
¹⁴ Onlooker Bees