23rd Electrical Power Distribution Conference
Tehran - Iran May 2018
بیست و سومین کنفرانس ملی شبکه‌های توزیع نیروی برق
اردیبهشت ۱۳۹۷ - تهران

جایابی بهینه همزمان ریکلوزر، سکشنلایزر و نشانه‌گر خطا در شبکه توزیع با استفاده از الگوریتم NSGAII

فرشته برجی، مریم علیدوستی، امین مرادخانی
گروه برق قدرت، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

محمد جواد کمری
شرکت توزیع نیروی برق استان ایلام

چکیده
خطاهای شبکه فشار متوسط توزیع بیشترین تأثیر را بر قابلیت اطمینان مصرف‌کنندگان انتهایی دارد. از این رو شرکت‌های توزیع به دنبال افزایش قابلیت اطمینان شبکه فشار متوسط هستند. یکی از راهکارهای افزایش قابلیت اطمینان بکارگیری تجهیزات حفاظتی و کلیدزنی در شبکه است. در این مقاله روشی برای جایابی همزمان ریکلوزر، نشانه‌گر خطا و سکشنلایزر با استفاده از بهینه‌سازی چندهدفه NSGAII به منظور حداقل سازی هزینه کلی و بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان ارائه شده است. چهار شاخص قابلیت اطمینان SAIFI، SAIDI، MAIFI و ENS در تابع هدف پیشنهادی در نظر گرفته شده‌اند. روش ارائه شده بر روی فیدر ۸۲ باس شهرک صنعتی مهران اجرا شده و نتایج آن ارائه شده است.

واژگان کلیدی: ریکلوزر، سکشنلایزر، نشانه گر خطا، الگوریتم NSGAII

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر شرکت‌های توزیع علاقه بیشتری به بهبود وضعیت قابلیت اطمینان و کیفیت برق تحویلی به دلیل تجدید ساختار نشان می‌دهند و همه‌ی شرکت‌ها برای رقابت با یکدیگر به دنبال جلب رضایت بیشتر مشتری‌های خود هستند و مسئله قطع برق مصرف‌کنندگان مختلف و هزینه آن‌ها اهمیت خاصی یافته است. باید توجه شود که سیستم توزیع نقش مهمی در ارتباط بین سیستم انتقال و مصرف‌کنندگان دارد و معمولاً در حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد مشکلات قابلیت اطمینان از این قسمت نشئت می‌گیرد [۱].

در سیستم‌های فشار متوسط می‌توان با نصب و جایابی مناسب کلیدها در شبکه توزیع به قابلیت اطمینان موردنظر رسید. با توجه به اینکه حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد خطاها در خطوط توزیع بصورت گذرا بوده و بطور خودکار رفع می‌گردند معمولاً در این نوع سیستم‌ها برای رفع خطاهای گذرا، کلید تغذیه‌کننده خط را یک بار و بعضی مواقع دو بار باز و بسته می‌نمایند تا از رفع خطای واقع‌شده اطمینان حاصل شود. این عمل توسط ریکلوزر به منظور حذف خطاهای گذرا، ایزوله کردن خطاها، مدیریت ساختار شبکه و در نتیجه افزایش قابلیت اطمینان سیستم انجام می‌شود و چون هزینه هر دستگاه ریکلوزر در مجموع هزینه‌های احداث شبکه قابل توجیه است، لذا استفاده از آن‌ها باید دارای توجیه اقتصادی باشد؛ بنابراین لازم است که تعداد و مکان نصب ریکلوزرها با توجه به اهداف اقتصادی در کنار هدف ارتقاء عملکرد شبکه بصورت بهینه تعیین شود [۲]. البته مشکل ریکلوزر در این است که اگر خطای دائمی ظاهر شود، ریکلوزر بعد از چند بار قطع و وصل در نهایت دستور کلی برای قطع مدار را صادر می‌کند که وقتی ریکلوزر به طور دائمی بی‌برق شود همه‌ی انشعابات توزیع قطع می‌شد در حالی که ممکن است فقط یک قسمت جزئی اتصالی کرده باشد. برای رفع این عیب سکشنلایزر به عنوان مکمل ریکلوزر استفاده می‌شود. سکشنلایزر در قسمت‌های مختلف بعد از ریکلوزر قرار می‌گیرد و بعد از رخ داد اتصالی، محدوده را تشخیص می‌دهد و فقط همان قسمت را قطع می‌کند.

از طرفی مکان‌یابی محدوده‌ی خطا یکی از اصلی‌ترین دغدغه‌های شرکت‌های توزیع است. به همین دلیل از روش‌های ارزان و هوشمند دیگر مانند نصب نشانه گرهای خطا استفاده می‌شود. نشانه‌گرهای خطا سیگنال جریان اتصال کوتاه و یا جریان هجومی خطی را که بر روی آن قرار دارند فوری شناسایی می‌کنند و گروه تعمیر را به محل منطقه‌ی معیوب در شبکه راهنمایی می‌کنند. این کار جدا کردن مدار آسیب‌دیده و بازیابی منبع تغذیه‌ی نرمال را سرعت می‌بخشد. به طور کلی نشانه‌گر خطا می‌تواند هزینه‌های عملیاتی و وقفه در خدمات را با شناسایی سکشن حاوی خطا کاهش دهد [۳].

مقالات زیر تعدادی از روش‌های جایابی جداگانه‌ی نشانه-گرهای خطا، ریکلوزر و سکشنلایزر را بیان می‌کند.

در مرجع [۴] تأثیر کلیدهای ریکلوزر و سکشنلایزر بر بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان بصورت کمی موردمطالعه قرار داده است. مرجع [۵] روش پیشنهادی تعیین محل خطا را به روش توپولوژیکی سیستم‌های توزیع و وضعیت نشانه‌گرهای خطا نشان می‌دهد. مرجع [۶] جایابی نشانه‌گر خطا در سیستم توزیع الگوریتم ازدحام ذرات بهبودیافته موردمطالعه قرار داده است. مرجع [۷] جایابی نشانه‌گر خطا در سیستم‌های توزیع با در نظر گرفتن دستگاه‌های کنترلی و حفاظتی با استفاده از یک رویکرد چندهدفه بیان می‌کند. مرجع [۸] جایابی بهینه ریکلوزر و DG با هدف قابلیت اطمینان با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان بیان می‌کند. مرجع [۹] و [۱۰] به ترتیب جایابی کلید و فیوز همراه با ریکلوزر در سیستم توزیع بیان می‌کنند. همچنین مرجع [۱۱] به بیان تنظیم پارامتر بهینه سیستم‌های توزیع قدرت با عدم قطعیت بار و جایابی همزمان ریکلوزر ها با استفاده از الگوریتم NSGAII می‌پردازد. فرآیند بهینه‌سازی با در نظر گرفتن

کاهش تلفات همراه با شاخص قابلیت اطمینان به عنوان تابع هدف انجام می‌شود؛ و در مرجع [۱۲] توزیع هوشمند و بهینه‌سازی تعدادی از ریکلوزر ها برای به حداقل رساندن خسارات تجهیزات انجام می‌شود؛ که در آن اثرات تغییر تابع هدف را برای ترکیب دو عامل یکی کاهش آسیب تجهیزات و دیگری خطر قطعی با توجه به بارگذاری‌های سنگین و چگونگی موقعیت ریکلوزر را نشان می‌دهد. مرجع [۱۳] به قرار دادن کارآمد شاخص‌های نشانه‌گر خطا در یک سیستم توزیع واقعی با استفاده از محاسبات تکاملی با هدف بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان با الگوریتم ژنتیک می‌پردازد. همچنین مرجع [۱۴] یک استراتژی سریع و کارآمد برای تعیین تعداد و مکان نشانه‌گرهای خطا در شبکه توزیع ولتاژ متوسط ارائه می‌دهد؛ که تابع هدف به ویژگی‌هایی از قبیل توپولوژی، نرخ گذرای خرابی خطوط و نیز تقاضای قدرت و تعداد مصرف‌کنندگان می‌پردازد. بعلاوه اینکه مرجع [۱۵] روشی سریع و خودکار برای تعیین محل سکشن حاوی خطا در سیستم‌های توزیع مبتنی بر نشانه‌گر خطا بیان می‌کند؛ که به بررسی سکشن های مجاور FI ها به عنوان محل خطای احتمالی (PFL) می‌پردازد و جریان خطای تشخیص داده شده می‌تواند به عنوان جریان خط (LC) بین PFL های مجاور در نظر گرفته شود؛ اما حضور ریکلوزر و سکشنلایزر و نشانه‌گر خطا به عنوان تجهیزات حفاظتی می‌توانند تحت تأثیر هم قرار گیرند و هیچ کدام از پژوهش‌های پیشین این اثرات را در نظر نگرفته است. از همین رو در این مقاله روشی برای جایابی بهینه توأمان ریکلوزر، سکشنلایزر و نشانه‌گر خطا با توجه به اثرگذاری در شاخص‌های قابلیت اطمینان و هزینه با استفاده از الگوریتم چندهدفه NSGAII ارائه شده است.

۲. روش پیشنهادی

۲-۱ تابع هدف

در این روش تابع هدف انتخابی بر اساس معیارهای قابلیت اطمینان و هزینه (هزینه نصب، نگهداری و تعمیرات) تعریف می‌شود که بصورت زیر است:

$$F = w_1 COST + w_2(SAIFI) + w_3(SAIDI) + w_4(MAIFI)$$

در اینجا COST– تابع هزینه که فرمول آن به شرح زیر است:

$$COST = \sum_{t=1}^{T}(N_r CC_r + N_{FID} CC_{FID})\left[\frac{i(1+i)^m}{(1+i)^m - 1}\right] + \sum_{t=1}^{T}(N_r MC_r + N_{FID} MC_{FID} + CENS)(1+i)^{-t}$$

در اینجا T– دوره‌ی سرمایه‌گذاری

N_r– تعداد ریکلوزر ها

C_r– هزینه نصب ریکلوزر

N_{FID}– تعداد نشانه‌گر خطا

C_{FID}–هزینه نصب نشانه‌گر خطا

i–نرخ بهره

C_R–هزینه تعمیرات و نگهداری سالانه هر ریکلوزر و سکشنلایزر

C_{FID}–هزینه تعمیرات و نگهداری سالانه‌ی FID

$CENS$- هزینه انرژی توزیع نشده

در فرمول تابع هدف SAIFI متوسط دفعات خاموشی سیستم است که بیانگر این است هر یک از مشترکین شبکه چند بار بطور متوسط در طول دوره‌ی مورد بررسی ممکن است قطع شوند که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$SAIFI = \frac{1}{NC_T}\sum_{s=1}^{S}\left\{\lambda_s \sum_{k=1}^{K}[I_{s,k} \times NC_k]\right\}$$

که در آن

λ_s : نرخ خرابی سکشن s

NC_k : تعداد مشترکین بار k

NC_T : تعداد کل مشترکین

K : تعداد کل نقاط بار

S: تعداد کل سکشن ها

$I_{s,k}$: متغیر باینری نشان‌دهنده ایجاد وقفه در تغذیه بار k ام درصورت رخداد خطا در سکشن k است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$I_{s,k}=\begin{cases}1 & \text{اگر خطای سشکن s باعث وقفه در تغذیه بار k ام شود}\\ 0 & \text{در غیر اینصورت}\end{cases}$$

SAIDI متوسط زمان قطعی هر مشترک در دوره است که این بیانگر میانگین مدت زمانی است که هر مصرف‌کننده در طول دوره‌ی مورد بررسی با قطعی روبه‌رو می‌شود که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$SAIDI=\frac{1}{NC_T}\sum_{s=1}^{S}\left\{\lambda_s\sum_{k=1}^{K}[D_{s,k}\times NC_k]\right\}$$

که در این رابطه:

$D_{s,k}$: زمان خاموشی مشترکین باس k ام ناشی از خطا در سکشن s

MAIFI شاخصی است که متوسط دفعات خاموشی گذرا هر مشترک را بیان می‌کند که بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$MAIFI=\frac{1}{NC_T}\sum_{s=1}^{S}\left\{\lambda_{ms}\sum_{k=1}^{K}[I_{s,k}\times NC_k]\right\}$$

که در آن λ_{ms} نرخ خرابی گذاری سکشن s را نشان می‌دهد.

هزینه انرژی توزیع نشده به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$CENS=\sum_{s=1}^{S}\left\{\lambda_s\sum_{k=1}^{K}P_{NS,s,k}\times\sum_{l=1}^{4}\left[\alpha_{l,s}\times D_{s,k}\times\mathbb{C}_{KWh_l}\right]\right\}$$

که در اینجا:

$P_{NS,s,k}$: توان بار قطع‌شده در سکشن k ناشی از خطای سکشن s

$\alpha_{l,s}$: درصد تعرفه بار نوع l در سکشن s

$\mathbb{C}_{KWh_l}$: قیمت هر کیلووات ساعت انرژی از تعرفه نوع l

اثر حضور FI بر زمان مکان‌یابی خطا با استفاده از تابع هدف زیر بررسی می‌شود که بصورت زیر است:

$$T_1=\frac{R_1}{\sum_{i=1}^{n}R_i}*T_0$$

در اینجا T_0- متوسط زمان خطایابی کل فیدر بدون وجود نشانه‌گر خطا

R_i: مجموع طول ناحیه iام به وجود آمده بین نشانه‌گرها و ادوات حفاظتی دیگر که فرمول آن بصورت زیر است:

$$R_i=\sum_j Z_{ij}$$

که در آن:

Z_{ij} - طول خطوط موجود در ناحیه R_i

۲-۲ محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان

برای محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان با فرض خطا در تک‌تک سکشن ها، عملیات بازیابی بار انجام‌شده و زمان خاموشی هر نقطه بار محاسبه می‌شود. با وجود ریکلوزر و سکشنلایزر، وضعیت نقاط بار فیدر با توجه به محل خطا از لحاظ تجربه خاموشی به صورت زیر خواهد بود:

۱- اگر محل خطا بالادست ریکلوزر قرار گیرد، تمام نقاط بار خاموشی را تجربه خواهند کرد.

۲- اگر محل خطا بین مکان ریکلوزر و سکشنلایزر اتفاق بیفتد، بارهای بالادست ریکلوزر بدون وقفه خواهند بود و بارهای پایین‌دست ریکلوزر خاموشی را تجربه خواهند کرد.

۳- اگر مکان خطا در پایین‌دست سکشنلایزر باشد. تنها بارهای پایین‌دست سکشنلایزر خاموشی رو تجربه کرده و بارهای بالادست سکشنلایزر بدون وقفه خواهند بود.

بعد از تعیین وضعیت خاموشی نقاط بار، ابتدا با باز کردن نزدیک‌ترین کلیدهای جداکننده بالادست و پایین‌دست محل خطا، منطقه خطا ایزوله می‌شود و عملیات بازیابی برای بارهای دچار وقفه آغاز می‌شود و زمان خاموشی برای بارهای مذکور به صورت زیر محاسبه می‌شود:

۱- بارهای بالادست منطقه خطا با عملیات کلیدزنی دوباره توسط منبع اصلی برق‌دار می‌شوند. زمان وقفه برای این بارها به اندازه زمان لازم برای کلیدزنی است.

۲- بارهای پایین‌دست منطقه خطا به دو دسته تقسیم می‌شوند. یک دسته که با عملیات مانور می‌شوند و زمان خاموشی آن‌ها به اندازه زمان مورد نیاز برای انجام مانور است و دسته دیگر بارهایی است که از طریق مانور برق‌دار نمی‌شوند

و زمان خاموشی آن‌ها به اندازه زمان تعمیر خطا خواهد بود.

۳- بارهای واقع در منطقه خطا نیز بایستی تا زمان تعمیر خطا وقفه را تحمل کنند.

۲-۳ روش حل مسئله با الگوریتم NSGAII

مسائل بهینه‌سازی از نظر تعداد توابع هدف و معیارهای بهینه‌سازی به دو دسته تقسیم مسائل بهینه‌سازی تک هدفه و چندهدفه تقسیم می‌شوند.

الگوریتم NSGAII جزو روش‌های مستقیم حل مسائل مکان‌یابی چندهدفه می‌باشد. با توجه به سرعت و دقت بیشتر نسبت به سایر روش‌ها و همچنین ارائه یک سیستم پشتیبان تصمیم، به عنوان رهیافتی تازه در مسائل مکان‌یابی چندهدفه جانشین مناسبی برای روش‌های سنتی خواهد بود.

روش کار این الگوریتم به شرح زیر است:

۱- ایجاد جمعیت اولیه

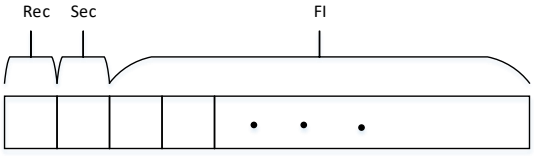
۲- محاسبه معیارهای برازندگی

۳- مرتب کردن جمعیت بر اساس شرطهای غلبه کردن

۴- محاسبه فاصله ازدحامی

۵- انتخاب

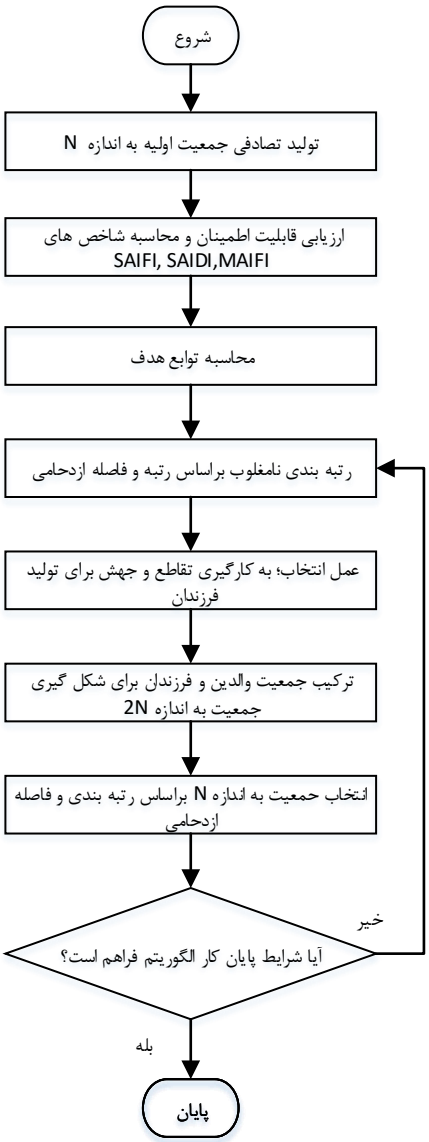
ساختار یک کروموزوم در این مسئله به صورت شکل ۱ می‌باشد. ژن اول کروموزوم مربوط به محل ریکلوزر و ژن دوم مربوط به محل سکشنلایزر است. ژن‌های بعد محل FIها را نشان می‌دهد که به تعداد سکشن های شبکه است و به صورت باینری تعریف شده اند. قرارگیری یک و صفر به معنی وجود و عدم وجود FI در سکشن مورد نظر است.



شکل ۱ ساختار یک کرموزوم پیشنهادی

که ژن اول مربوط به ریکلوزر، ژن دوم مربوط به سکشنلایزر و ژن‌های آخر مربوط به نشانه‌گر خطا می‌باشند.

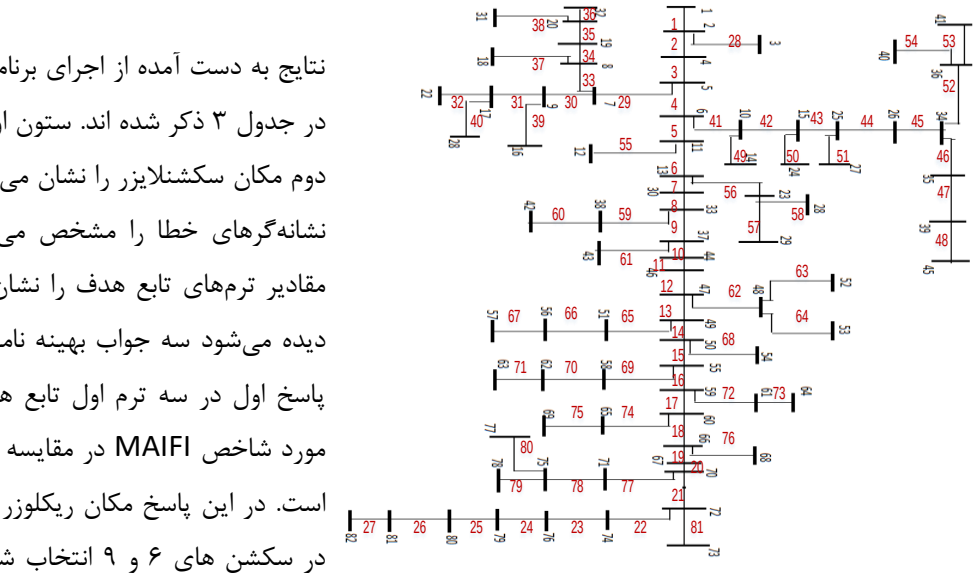
فلوچارت این الگوریتم در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲ فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

۳. شبیه‌سازی و نتایج

مطالعات بر روی دیاگرام تک‌خطی فیدر ۸۲ شینه شهرک صنعتی مهران انجام شده که در شکل ۳ آمده است:



4

شکل ۳ دیاگرام شبکه تست پیشنهادی

اطلاعات اولیه مورد استفاده در برنامه شامل هزینه‌ی هر وسیله حفاظتی مورد استفاده و هزینه تعمیرات و نگهداری سالانه در جدول ۱ آمده است. پارامترهای الگوریتم NSGAII در جدول ۲ ذکر شده اند.

جدول۱ هزینه‌های تجهیزات و تعمیرات و نگهداری

موارد	هزینه میلیون تومان
ریکلوزر	۲۰
نشانه‌گر خطا	۴
سکشنلایزر	۵
هزینه تعمیرات و نگهداری	۲ درصد هزینه سرمایه‌گذاری

جدول۲ پارامترهای الگوریتم پیشنهادی

پارامترهای الگوریتم پیشنهادی	مقادیر
تعداد جمعیت اولیه	۵۰
احتمال جهش	۰,۹
احتمال تقاطع	۰,۱
تعداد ژن‌های یک کروموزوم	۱۵
تعداد تکرارها	۵۰۰
زمان تعمیر	۹۷ دقیقه
زمان کلیدزنی	۳۳ دقیقه
زمان مانور	۴۵ دقیقه

نتایج به دست آمده از اجرای برنامه‌ی الگوریتم پیشنهادی در جدول ۳ ذکر شده اند. ستون اول مکان ریکلوزر، ستون دوم مکان سکشنلایزر را نشان می‌دهد و ستون سوم مکان نشانه‌گرهای خطا را مشخص می‌کنند. ستون‌های بعدی مقادیر ترم‌های تابع هدف را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود سه جواب بهینه نامغلوب حاصل شده است. پاسخ اول در سه ترم اول تابع هدف غالب است ولی در مورد شاخص MAIFI در مقایسه با دو پاسخ دیگر مغلوب است. در این پاسخ مکان ریکلوزر و سکشنلایزر به ترتیب در سکشن های ۶ و ۹ انتخاب شده و مکان نشانه‌گرهای خطا در ۵، ۷، ۱۶، ۲۱، ۵۲ قرار داده شده است. در این حالت شاخص‌های SAIFI، SAIDI و MAIFI به ترتیب دارای مقادیر ۱۵.۳۰، ۴۱.۷۵ و ۰.۴۱ هستند و مجموع هزینه‌ها ۱۸۵ میلیون تومان بدست آمده است. می‌توان گفت که اگر کاهش شاخص‌های دائم قابلیت اطمینان مورد نظر باشد، پاسخ اول به عنوان پاسخ بهینه انتخاب خواهد شد. در غیر اینصورت اگر کاهش MAIFI اهمیت بیشتری از دید طراحان داشته باشد آنگاه یکی از پاسخ‌های دوم و یا سوم بایستی انتخاب شود. بدیهی است هر چه به دنبال کاهش شاخص MAIFI باشیم مکان ریکلوزر به ابتدای فیدر نزدیک‌تر خواهد شد.

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در مقاله حاضر مسئله جایابی کلیدهای ریکلوزر، سکشنلایزر، نشانه‌گر خطا بر روی فیدر ۸۲ باسه شهرک صنعتی مهران مورد مطالعه قرار گرفته است که این کار با هدف به تعادل رساندن هزینه‌ها و ۴ شاخص قابلیت اطمینان SAIFI، SAIDI، MAIFI و ENS صورت گرفته است. مدل پیشنهادی با الگوریتم NSGAII شبیه‌سازی شده است که نتایج به دست آمده در جدول ۳ ذکر شده اند. طبق جدول ۳ سه جواب بهینه نامغلوب به دست می‌آید که پاسخ اول با توجه به شاخص‌های مورد

جدول ۳ نتایج الگوریتم NSGA II

جواب	ریکلوزر	سکشنلایز	نشانهگرخطا	SAIFI	SAIDI	COST	MAIFI
۱	۶	۱۹	۵،۷،۱۶،۲۱،۵۲	۱۵.۳۰	۴۱.۷۵	۱۸۵	۰.۴۱
۲	۲	۱۱	۵،۷،۱۶،۲۱،۵۲	۱۶.۸۵	۴۲.۶۶	۲۱۰	۰.۰۰
۳	۲	۱۴	۵،۷،۱۶،۲۱،۵۲	۱۷.۰۷	۴۲.۷۴	۲۰۸	۰.۰۰

نظر بر دو پاسخ دیگر غالب است اما باید توجه داشت که اگر شاخص MAIFI مورد نظر باشد دو پاسخ دیگر اهمیت بیشتری پیدا میکنند. همانطور که پیداست اگر هدف کاهش MAIFI باشد مکان ریکلوزر به سمت ابتدای فیدر انتخاب میشود و در صورتیکه سایر شاخص مورد نظر باشد، مکان ریکلوزر و سکشنلایزر از ابتدای فیدر بیشتر فاصله میگیرند.

۵. مراجع

[1] کاظم پورچورسی، محسن و رضا دشتی، ۱۳۹۴، جایابی نشانگر خطا در سیستم توزیع با الگوریتم ازدحام ذرات بهبودیافته، *کنفرانس ملی فن آوری، انرژی و داده با رویکرد مهندسی برق و کامپیوتر*، کرمانشاه، انجمن مهندسین برق و الکترونیک - شاخه غرب،

[2] Dehghani, N., & Dashti, R. (2011). Optimization of recloser placement to improve reliability by genetic algorithm. *Energy and Power Engineering*, *3*(04), 508.

[3] Teng, J. H., Huang, W. H., & Luan, S. W. (2014). Automatic and fast faulted line-section location method for distribution systems based on fault indicators. *IEEE Transactions on Power systems*, *29*(4), 1653-1662.

[4] Chen, R. L., Allen, K., & Billinton, R. (1995). Value-based distribution reliability assessment and planning. *IEEE Transactions on Power delivery*, *10*(1), 421-429.

[5] Dzafic, I., Mohapatra, P., & Neisius, H. T. (2010, October). Composite fault location for distribution management systems. In *IPEC, 2010 Conference Proceedings* (pp. 795-800). IEEE.

[7] Shahsavari, A., Mazhari, S. M., Fereidunian, A., & Lesani, H. (2014). Fault indicator deployment in distribution systems considering available control and protection devices: a multi-objective formulation approach. *IEEE Transactions on Power Systems*, *29*(5), 2359-2369.

[8] Wang, L., & Singh, C. (2008). Reliability-constrained optimum placement of reclosers and distributed generators in distribution networks using an ant colony system algorithm. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, *38*(6), 757-764.

[9] Alam, A., Pant, V., & Das, B. (2016). Switch and recloser placement in distribution system considering uncertainties in loads, failure rates and repair rates. *Electric Power Systems Research*, *140*, 619-630.

[10] Hajinia, M., Mahaei, S. M., & Jafarzadeh, J. (2015, April). Simultaneous placement of recloser and fuse based on society development algorithm. In *Electrical Power Distribution Networks Conference (EPDC), 2015 20th Conference on* (pp. 48-52). IEEE.

[11] Attari, S. K. A., Shakarami, M. R., & Pour, E. S. (2016, April). Pareto optimal reconfiguration of power distribution systems with load uncertainty and recloser placement simultaneously using a genetic algorithm based on NSGA-II. In *Electrical Power Distribution Networks Conference (EPDC), 2016 21st Conference on* (pp. 46-53). IEEE.

[12] Erasmus, Ewald & Naidoo, Raj. (2017). Smart distribution and optimisation of the number and position of reclosers to minimise equipment damage. 1-6. 10.1109/ISGTEurope.2017.8260133.

[13] Usida, W. F., Coury, D. V., Flauzino, R. A., & da Silva, I. N. (2012). Efficient placement of fault indicators in an actual distribution system using evolutionary computing. *IEEE Transactions on Power Systems*, *27*(4), 1841-1849.

[14] Zeljkovic, Cedomir & Mršić, Predrag. (2017). Fast and Efficient Placement of Fault Indicators Based on the Pattern Search Algorithm. . 10.1109/PEE.2017.8171695.

[15] Teng, J. H., Huang, W. H., & Luan, S. W. (2014). Automatic and fast faulted line-section location method for distribution systems based on fault indicators. *IEEE Transactions on Power systems*, *29*(4), 1653-1662.