تأثیر مکان‌یابی ادوات حفاظتی و کلید زنی بر شاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه توزیع

نویسندگان: سید مسعود علیزاده معصومیان - alizadeh@eghbal.ac.ir

آرام قادری - Amde2002@gmail.com

چکیده: در این مقاله به بررسی مکان‌یابی بهینه تجهیزات حفاظتی و کلید زنی به‌طور همزمان بر شاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه توزیع به کمک الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک پرداخته‌شده است. با توجه به وجود خطاهای گذرا در شبکه توزیع، هرکدام از ادوات کلید زنی و حفاظتی تأثیر متفاوتی بر روی شاخص‌های قابلیت اطمینان خواهند داشت. نصب تجهیزات حفاظتی و کلید زنی در شبکه توزیع ازیک‌طرف باعث کاهش مدت‌زمان خاموشی و بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه گردیده و از طرف دیگر برخی از این تجهیزات هزینه بسیار بالایی دارند. لذا در این مقاله تابع هدفی متشکل از هزینه نصب تجهیزات کلید زنی و حفاظتی و هزینه انرژی فروخته نشده سالیانه در نظر گرفته‌شده و قیودی جهت رسیدن به حداقل شاخص‌های قابلیت اطمینان به مسئله اضافه گردیده است. درنهایت کار آیی الگوریتم پیشنهادی از طریق اعمال آن روی شبکه نمونه 15 شینه واقعی در محیط نرم‌افزار متلب نشان داده‌شده است.

کلیدواژه: مکان‌یابی بهینه، تجهیزات حفاظتی و کلید زنی، الگوریتم ژنتیک.

1- مقدمه

با توجه به افزایش اهمیت انرژی الکتریکی و رشد درخواست آن، ضرورت قابلیت اطمینان مناسب و حفاظت کارآمد سیستم‌های الکتریکی بیش‌ازپیش موردتوجه قرارگرفته است که نقش مهم در این میان را، شبکه توزیع بر عهده دارد. حال این موضوع باعث شده است که این بخش از سیستم قدرت، سهم قابل‌توجهی از خطاها و رخدادهای سیستم را به خود اختصاص دهد. ازاین‌رو بخش اعظم عدم اعتماد مشترکین و خاموشی‌ها به این قسمت از شبکه برق‌رسانی مربوط می‌شود. بهبود قابلیت اطمینان می‌تواند جلب رضایت مشترکین، کاهش هزینه‌های ناشی از خاموشی‌ها و درنتیجه افزایش کارایی اقتصادی شرکت‌های توزیع را توأماً به همراه داشته باشد. یکی از راهکارهای ارتقاء قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع، نصب سکسیونرها، کات اوت فیوزها و ریکلوزرها یا به معنای دیگر ادوات کلید زنی و حفاظتی است. میزان موفقیت حاصل از انجام عملیات بازیابی بار در شبکه‌های توزیع به تعداد و مکان این تجهیزات وابسته است لذا با تعیین وضعیت قرارگیری این تجهیزات در شبکه می‌توان ضمن بهبود کارایی عملیات بازیابی بار، سطح قابلیت اطمینان شبکه توزیع را نیز ارتقاء داد[1و2].

تاکنون تحقیقات محدودی در زمینه چگونگی تعیین مکان ادوات حفاظتی و کلید زنی در شبکه‌های توزیع ارائه‌شده است. مرجع[3]. تعیین بهینه تعداد، نوع و محل تجهیزات حفاظتی و کلید زنی شبکه توزیع را بر اساس شاخص انرژی توزیع نشده انجام داده که تابع هدف آن متشکل از هزینه‌های ثابت و متغیر است که توسط الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی شده است. مرجع [4] اهمیت جایابی بهینه ریکلوزر در شبکه‌های توزیع را نشان می‌دهد. در این مرجع از الگوریتم مورچگان برای بهینه‌سازی تابع هدف استفاده‌شده است. مرجع[5] روشی را برای جایابی سکسیونرها در شبکه توزیع در حضور واحدهای تولید پراکنده پیشنهاد می‌دهد. تابع چندهدفه به‌صورت بهبود قابلیت و کمینه‌سازی هزینه سکسیونرها که هرکدام به‌صورت یک تابع عضویت فازی تعریف‌شده است، با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان بهینه‌سازی می‌شود. مرجع[6] روش بهینه‌سازی چندهدفه را برای تعیین نوع و مکان بهینه کلیدها و تجهیزات حفاظتی در شبکه‌های توزیع ارائه می‌دهد. الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان به‌صورت چندهدفه به‌منظور کمینه‌سازی هزینه کل به همراه کمینه‌سازی دو شاخص قابلیت اطمینان SAIFI و SAIDI روی این مسئله پیاده‌سازی شده است. مرجع[7] جایابی بهینه ریکلوزرها و واحدهای تولید پراکنده را برای بهبود امنیت (پروفیل ولتاژ و توان تلفاتی) و قابلیت اطمینان شبکه موردبررسی قرار می‌دهد. تعیین مکان بهینه DG ها با استفاده از آنالیز حساسیت معادلات پخش بار صورت گرفته است. پس از تعیین

مکان و ظرفیت واحدهای تولید پراکنده، مکان‌یابی بهینه ریکلوزرها با استفاده از الگوریتم ژنتیک صورت پذیرفته است. مرجع[8] تأثیر تجهیزات حفاظتی را در تسهیل بازیابی توان در هنگام وقوع قطعی‌ها در شبکه نشان داده و برای جایابی تجهیزات حفاظتی و کنترلی در فیدرهای توزیع شعاعی از الگوریتم جستجوی تابو استفاده می‌نماید. در مرجع[9] مهندسین شرکت ABB به بررسی اثرات افزودن ریکلوزرها و سکشنلایزرها در شبکه توزیع شعاعی پرداخته‌اند و به نتایج قابل‌توجهی در خصوص محل نصب ریکلوزر با توجه به محل وقوع خطا و یا با توجه به بارهای حساس دست‌یافته‌اند.

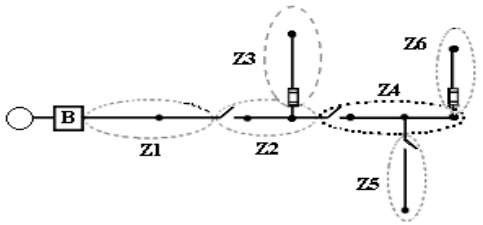
در این مقاله به‌منظور تعیین تعداد و مکان بهینه ادوات کلید زنی و حفاظتی از الگوریتم ژنتیک به‌عنوان ابزار بهینه‌سازی استفاده‌شده است. تابع هدف در این مسئله شامل هزینه تجهیزات حفاظتی و سود ناشی از کاهش انرژی تأمین نشده در شبکه توزیع می‌باشد. همچنین قید حداقل تعداد خاموشی گذرا به این مسئله اضافه گردیده است.

2- تاثیر ادوات کلیدزنی و حفاظتی بر شاخص‌های قابلیت اطمینان

راهکارها و تجهیزات مختلفی برای ارتقاء قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع مورداستفاده قرار می‌گیرد که در تمامی آن‌ها به‌نوعی هدف کاهش تعداد و یا مدت‌زمان تداوم خاموشی‌ها در فیدرهای توزیع دنبال می‌شود.

هنگام وقوع خطا در یک فیدر لازم است مراحلی طی شود تا شبکه به حالت عادی خود بازگردد چراکه با بروز خطا کلید قدرت ابتدای فیدر عمل کرده و بنابراین تمامی فیدر بی‌برق می‌شود و پست‌های توزیعی که از طریق این فیدر تغذیه می‌شوند در خاموشی به سر ببرند، ازاین‌رو لازم است مکان خطا پیداشده، ادوات کلید زنی مناسب قطع، پس از شناسایی و تعیین محل خطا، با استفاده از این ادوات قسمت آسیب‌دیده از دیگر بخش‌های سالم فیدر ایزوله می‌شود، سپس سعی می‌گردد تا با استفاده از حداکثر ظرفیت منابع پشتیبان و نیز پست فوق توزیع تغذیه‌کننده فیدر، بخش‌های سالم فیدر تا پایان انجام تعمیرات برق‌دار گردد و تنها ناحیهٔ آسیب‌دیده (و قسمت‌هایی از فیدر که امکان انجام مانور برای تغذیه آن‌ها وجود ندارد) تا رفع عیب بی برق بماند. به مجموعه این مراحل، عملیات مانور گفته می‌شود.

پرواضح است که کارایی عملیات مانور در شبکه‌های توزیع شدیداً به تعداد و مکان ادوات کلید زنی و حفاظتی وابسته است ازاین‌رو با جایابی مناسب ادوات کلید زنی و حفاظتی در شبکه می توان ضمن ارتقاء کارایی عملیات بازیابی بار، سطح قابلیت اطمینان شبکه توزیع را نیز بهبود بخشید. جداسازی صحیح بخش معیوب و انجام مانورهای لازم بر روی شبکه بعد از وقوع خطا به‌نحوی‌که فیدرهایی که در اثر جداسازی محل عیب بی‌برق شده‌اند، از قسمت‌های دیگر شبکه تغذیه شوند، انتخاب محل مناسب و تعداد بهینه این ادوات در سطح شبکه توزیع را می‌طلبد. یکی از مفاهیم مهمی که در بحث جداسازی ناحیه خطادار با استفاده از ادوات کلید زنی و بازیابی توان به نقاط سالم که در خاموشی به سر می‌برند باید مدنظر قرار گیرد، «زون بندی شبکه» می‌باشد. یک زون به مجموعه‌ای از شین‌ها و خطوط اطلاق می‌شود که در صورت وقوع خطا دریکی از اعضای این مجموعه بقیه اعضاء نیز به‌ناچار تا انتهای زمان تعمیر بخش خطادار در خاموشی به سر ببرند. در شکل (1) این مفهوم نشان داده‌شده است[8].



شکل 1: زون بندی شبکه به‌صورت نمونه

ریکلوزرها یکی از ادوات مزبور هستند که روی خطوط هوایی نصب می‌شوند و با توجه به ماهیت حفاظتی‌شان، می‌توانند موجب کاهش تعداد یا مدت تداوم خاموشی‌ها در شبکه توزیع گردند. خطاهایی که در شبکه‌های توزیع روی می‌دهد دارای دو ماهیت گذرا و ماندگار هستند. بررسی آمار خاموشی‌ها در شبکه‌های توزیع نشان می‌دهد که بیش از 70 درصد رخدادهای موجود در شبکه‌های هوائی گذرا هستند. چنانچه خطای گذرایی روی یکی از شاخه‌های اصلی یا فرعی قسمت پایین‌دست ریکلوزر رخ دهد، عملکرد ریکلوزر باعث می‌گردد تا فقط مشترکین روی همان قسمت از فیدر خاموشی ناشی از این خطا را تجربه کنند و دیگر مشترکین فیدر که در قسمت بالادست ریکلوزر قرار دارند هیچ وقفه‌ای را متوجه نشوند. ضمن اینکه مکانیسم قطع و وصل ریکلوزر باعث می‌شود که فیدر به‌سرعت به وضعیت نرمال بازگردد چراکه همان‌گونه که عنوان شد خطای رخداده گذراست.

www.kahrobaonline.ir

ذکر این نکته ضروری است که وجود ریکلوزر علاوه بر خطاهای گذرا، روی تأثیرپذیری مشترکین از خطاهای ماندگار نیز اثر می گذارد. برای توضیح بیشتر، اگر خطای رخداده در پایین‌دست ریکلوزر دارای ماهیتی ماندگار باشد، پس از چند بار باز و بسته شدن، ریکلوزر در وضعیت باز باقی خواهد ماند. این در حالی است که سرویس مشترکین روی قسمت بالادست ریکلوزر هیچ تأثیری از وقوع این خطا نخواهند دید. بنابراین ملاحظه می‌گردد که قابلیت اطمینان این گروه از مشترکین ازنظر تعداد و مدت تداوم خاموشی ناشی از خطاهای ماندگار در قسمت پایین‌دست ریکلوزر بهبود پیداکرده است[6 و 8].

نحوه مدل‌سازی کات اوت فیوزها در ارزیابی شاخص‌های قابلیت اطمینان همانند عملکرد ریکلوزرها در هنگام وقوع خطای ماندگار می‌باشد با این تفاوت که در صورت وقوع خطای ماندگار، ریکلوزر پس از چند بار باز و بسته شدن (سریع) مدار را باز می کند درحالی‌که کات اوت فیوز درصورتی‌که درست و طبق منحنی جریان- زمان عمل کند بلافاصله بعد از وقوع خطا مدار را بازخواهد کرد. سکسیونرها قابلیت قطع زیر جریان خطا را ندارند و پس از بی‌برق شدن شبکه متعاقب عملکرد یکی از تجهیزات نظیر، کلید قدرت سرخط، ریکلوزر، کات اوت فیوز برای جداسازی منطقه خطادار و سالم مورداستفاده قرار می‌گیرد.

3- فرمول‌بندی مسئله

به‌منظور بهینه‌سازی تعداد و مکان ادوات کلید زنی و حفاظتی در شبکه توزیع نیاز به تعریف تابع هدفی مناسب می‌باشد. برای این منظور از تابع هدفی متشکل از هزینه خرید و نصب این ادوات و هزینه انرژی توزیع نشده استفاده‌شده است. در تابع هدف برای داشتن دیدگاهی واقعی‌تر از مسئله، هزینه‌های جاری (نظیر انرژی توزیع نشده سالیانه) در طول دوره مطالعه با استفاده از ضریب ارزش کنونی به سال اول ارجاع داده‌شده است.

3-1- شاخص‌های قابلیت اطمینان

با توجه به اینکه ادواتی نظیر سکسیونر، کات اوت فیوز و ریکلوزرها در این مقاله موردبررسی قرار می‌گیرند، به همین منظور در این بخش شاخص‌هایی نظیر شاخص متوسط تعداد خاموشی‌های گذرا در سیستم(MAIFI)، شاخص متوسط تعداد خاموشی‌های ماندگار در سیستم(SAIFI)، شاخص متوسط زمان خاموشی سیستم(SAIDI) و شاخص متوسط انرژی توزیع نشده در سیستم(ENS) ارائه می‌گردند [9،8،6و10].

$$MAIFI = \frac{\sum_{i=1}^{n} \gamma_i N_i}{\sum_{i=1}^{n} N_i} \quad [\text{mom. inter./cust/yr}] \qquad (1)$$

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i N_i}{\sum_{i=1}^{n} N_i} \quad [\text{per. inter./cust/yr}] \qquad (2)$$

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^{n} U_i N_i}{\sum_{i=1}^{n} N_i} \quad [\text{hour/cust/yr}] \qquad (3)$$

در روابط فوق n تعداد نقاط بار، γi متوسط نرخ وقوع خاموشی های گذرا در نقطه‌ی بار i، λi نرخ سالیانه وقوع خطا به ازای هر کیلومتر در شاخه i ام فیدر، Ui متوسط زمان خاموشی سالیانه سکشن i ام برحسب ساعت بر سال و Ni تعداد مشترکین متصل به نقطه بار i می‌باشد. متوسط انرژی توزیع نشده (ENS) برحسب کیلووات ساعت در سال به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد [3]:

$$ENS = \sum_{i=1}^{Nb} \lambda i \,.\, Li \,.\, (\sum_{j \in Si} Pj \,.\, TSi + \sum_{j \in Ri} Pj \,.\, TRi) \qquad (4)$$

که در آن Nb تعداد شاخه‌های فیدر، Li طول شاخه i ام، Si مجموعه نقاط باری که پس از وقوع خطا در شاخه i ام از طریق کلید زنی و مانور تغذیه می‌شوند، Pj متوسط بار نقطه j ام (KW)، Ri مجموعه نقاط باری که در هنگام وقوع خطا در شاخه i ام پس از تعمیر بخش آسیب‌دیده تغذیه می‌شوند، TSi مدت‌زمان لازم جهت عملیات مانور و کلید زنی هنگام وقوع خطا در شاخه i ام (ساعت) و TRi مدت‌زمان لازم جهت تعمیر بخش آسیب‌دیده فیدر هنگام وقوع خطا در شاخه i ام (ساعت) است. با تغییر وضعیت و تعداد ریکلوزرها، مجموعه‌های Si و Ri در رابطه (4) تغییر خواهند کرد و به دنبال آن میزان انرژی توزیع نشده متفاوت خواهد بود.

3-2- تابع هدف

در این مسئله می‌بایست تعداد و مکان ریکلوزرها به نحوی تعیین گردد که هزینه‌های نصب و احداث این تجهیزات و هزینه انرژی

www.kahrobaonline.ir

توزیع نشده با برآورده سازی حداقل شاخص متوسط تعداد خاموشی‌های گذرا در سیستم کمینه گردد. با این توضیح مدل ریاضی تابع هدف و قید مربوطه را می‌توان به‌صورت زیر نشان داد[1]:

$$\text{Min } F = \sum_{t=1}^{ny} PW^t \cdot CENS + \sum_{i=1}^{NS} S_i \cdot CS_i \qquad (5)$$

$$PW = \frac{1+InfR}{1+IntR}$$

$$\textbf{MAIFI} \leq \textbf{0.5} \text{ mom.inter./cust/year}$$

که در آن F مقدار کل تابع هدف، CENS هزینه انرژی توزیع نشده (از حاصل‌ضرب انرژی توزیع نشده در مبلغ انرژی توزیع نشده به دست می‌آید)، PW ضریب اقتصادی جهت تبدیل هزینه‌های جاری به ارزش کنونی،IntR نرخ بهره، InfR نرخ تورم، ny دوره مطالعه برحسب سال، Si متغیر تصمیم مربوط به نصب یا عدم نصب تجهیز i (یک: تجهیز نصب‌شده، صفر: تجهیز نصب نشده است)، CSi هزینه خرید و نصب هرکدام از ادوات و Ns کل تعداد ادوات کلید زنی و حفاظتی تعیین‌شده جهت احداث می باشد. بیشترین مقدار شاخص MAIFI می‌تواند 0.5 باشد. در مدل ارائه‌شده، ارزیابی اقتصادی مبتنی بر روش مقایسه ارزش کنونی طرح‌ها انجام می‌شود؛ بنابراین مقادیر هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه مثل هزینه خرید تجهیزات بدون تغییر در تابع هدف وارد می‌شوند، اما هزینه‌های جاری سالیانه مانند هزینه انرژی توزیع نشده با استفاده از ضریب تبدیل هزینه‌های جاری به ارزش کنونی در تابع هدف واردشده است.

4- الگوریتم حل مسئله

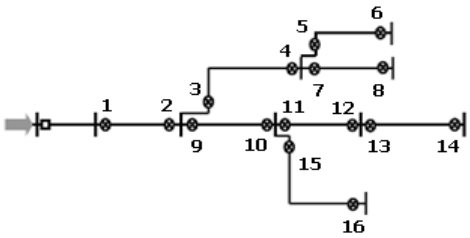
الگوریتم‌های ریاضی (تحلیلی) معمولاً در حل مسائل بهینه‌سازی غیرخطی به دلیل اینکه در هر زمان تنها از یک مسیر به سمت نقطه بهینه مطلق حرکت می‌کنند، در نقاط بهینه محلی به دام می‌افتند. ولی برخلاف روش‌های تحلیلی، الگوریتم‌های بهینه‌سازی هوشمند از چند مسیر به سمت بهینه مطلق حرکت می‌کنند و با احتمال بیشتری به بهینه مطلق همگرا می‌شوند. در این مقاله از الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله بهینه‌سازی استفاده‌شده است.

4-1- تعارف اولیه

در الگوریتم‌های ژنتیکی، یک نقطه در فضای جستجو کروموزوم یا رشته ژنتیک نامیده می‌شود. خود کروموزوم‌ها از تعداد ثابتی ژن (متغیر مسئله) تشکیل می‌شود. مجموعه‌ای از کروموزوم‌ها یک جمعیت را تشکیل می‌دهند.

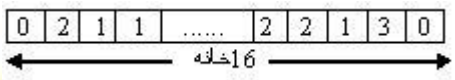
4-2- کدبندی متغیرهای مسئله

هر کروموزوم در الگوریتم ژنتیک یک پاسخ مسئله می‌باشد. کروموزوم‌ها به‌صورت رشته‌های باینری یا حقیقی کدگذاری می گردد. به‌عنوان نمونه در شکل (2) مکان‌های کاندید (قابل) نصب تجهیزات کلید زنی آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می گردد دو طرف هر یک از سکشن ها می‌تواند (اگر محدودیت خاصی ازنظر موقعیت جغرافیایی یا ملاحظات عملی وجود نداشته باشد) به‌عنوان مکان کاندید برای نصب این ادوات مطرح گردد.



شکل 2: مکان‌های کاندید برای نصب ریکلوزر در شبکه نمونه

در شکل (2) همان‌طور که مشاهده می‌شود 16 مکان کاندید برای نصب این تجهیز در نظر گرفته‌شده است به‌عبارت‌دیگر تمامی مکان‌های ممکن در شبکه به‌عنوان کاندید معرفی‌شده‌اند. لذا کروموزوم برای این شبکه به‌صورت یک‌رشته به طول 16 خانه به‌صورت شکل (3) تعریف می‌گردد. در هریک از این خانه‌ها اعداد صفر تا سه قرار می‌گیرد. عدد صفر نشان‌دهنده عدم احداث هیچ‌کدام از ادوات، عدد یک نشان‌دهنده نصب سکسیونر، عدد دو نشان‌دهنده نصب کات اوت فیوز و عدد سه نشان‌دهنده نصب ریکلوزر می‌باشد.



شکل 3: نمونه از کدبندی کروموزوم برای شبکه شکل (2)

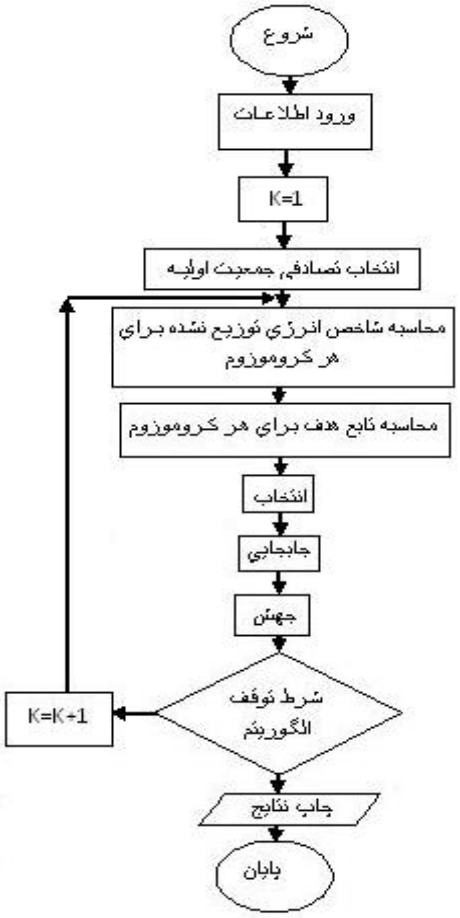
دیکد کردن اطلاعات کروموزوم‌ها، مکان و نوع تجهیزات حفاظتی را مشخص می‌کند. به‌عنوان نمونه دیکد کردن اطلاعات کروموزوم نمونه شکل (3) نشان می‌دهد در مکان‌های کاندید اول و

www.kahrobaonline.ir

شانزدهم هیچ‌کدام از ادوات کلید زنی و حفاظتی نصب نگـردد، در مکان دوم، دوازدهم و شانزدهم کـات اوت فیـوز، در مکـان سـوم، چهارم و چهاردهم سکسیونر و در مکـان پـانزدهم ریکلـوزر نصـب گردیده و به همین ترتیب خانه‌های دیگر نیز دیکد می‌گردد.

4-3- روند اجرایی الگوریتم ژنتیک

در الگوریتم‌های ژنتیکی، یک نقطه در فضای جستجو کروموزوم یا رشته ژنتیک نامیده می‌شود. خود کروموزوم‌ها از تعداد ثابتی رونـد اجرایی الگوریتم ژنتیک در شکل (4) آورده شده است:



شکل 4: فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

در الگوریتم فوق ابتدا اطلاعات ورودی شامل نرخ وقوع خطا و مدت‌زمان خطا، هزینه خرید و نصب ادوات حفاظتی و کلید زنی وارد می‌گردد و سپـس رونـد تکـرار الگـوریتم ژنتیـک شـروع می گردد. جمعیت اولیه که شامل ترکیبات مختلفی از تجهیزات حفاظتی در شبکه می‌باشد در ابتدای الگوریتم به‌صورت تصادفی تعیین می‌شود. در ادامه برای هر کروموزوم که یک ترکیب از تجهیزات حفاظتی است، انرژی توزیع نشده محاسبه‌شده و در ادامه تابع هدف و میزان برازندگی آن کروموزوم محاسبه می‌شود. سپس عملگرهای ژنتیک شامل انتخاب، جابجایی و جهش به این کروموزوم‌ها اعمال‌شده تا جمعیت بعدی تعیین شود. این فرآیند تا برقراری شرط توقف الگوریتم تکرار می‌گردد. شرط توقف الگوریتم در این مسئله تعداد تکرار در نظر گرفته‌شده است. درنهایت نتایج شامل تعداد ادوات حفاظتی وکلیدزنی، مکان آن‌ها، نوع ادوات و مقدار تابع هدف چاپ خواهد گردید.

5- نتایج عددی

شکل (5) در بخش پیوست شبکه نمونه 15 شینه موردمطالعه را نشان می‌دهد. در این شبکه نمونه متوسط نرخ خرابی ماندگار و گذرا به ترتیب 0.2 و 3 بار در سال به ازای هر کیلومتر و متوسط زمان موردنیاز جهت تعمیر خطوط در صورت وقوع خطای ماندگار 5 ساعت در نظر گرفته‌شده است. برای بررسی اثرات ادوات کلید زنی روی شاخص‌های قابلیت اطمینان مطالعات عددی در قالب دو سناریوی زیر انجام‌گرفته است.

5-1 سناریوی 1: بررسی تأثیر ادوات کلید زنی و حفاظتی

این سناریو برای بررسی میزان اثرگذاری هرکدام از ادوات کلید زنی و حفاظتی روی خط 6-8 (سکشن شماره S7 شکل (5)) بر شاخص‌های قابلیت اطمینان در بخش‌های زیر طرح‌ریزی‌شده است:

5-1-1- بدون وجود هیچ‌کدام از ادوات (وضعیت اولیه)

5-1-2- فقط سکسیونر

5-1-3- فقط کات اوت فیوز

5-1-4- فقط ریکلوزر

نتایج حاصل از اجرای سناریوی یک در جدول (1) در بخش پیوست ارائه‌شده است. بررسی نتایج مربوط به حالت‌های 2 تا 4 مطابق جدول (1) نشان می‌دهد که حضور هرکدام از تجهیزات کلید زنی و حفاظتی باعث بهبود شاخص‌های حالت ماندگار (ENS، SAIFI و SAIDI) نسبت به حالت اولیه شبکه شده است که نصب سکسیونر در شبکه روی مقدار شاخص SAIFI هیچ تأثیری ندارد. همچنین نتایج حاصل برای شاخص‌های ENS، SAIFI و SAIDI نشان می‌دهد نصب کات اوت فیوز و ریکلوزر تأثیر یکسان دارد که این امر نشان از تأثیرگذاری یکسان

www.kahrobaonline.ir

کات اوت فیوز و ریکلوزر روی خطاهای حالت ماندگار دارد (به شرطی که کات اوت فیوز به‌موقع عمل کند). طبق جدول (2) شاخص MAIFI تنها در حالتی که ریکلوزر در شبکه نصب شود بهبودیافته است.

جدول 1- نتایج حاصل از اجرای سناریوی یک

سناریوی یک	ENS (Kwh/yr)	SAIFI (inter./cust/yr)	SAIDI (hour/cust/yr)	MAIFI (m.int/cust/yr)
1-1-5	117.590	8.18	40.9	1.227
2-1-5	94.940	8.18	33.24	1.227
3-1-5	89.278	6.26	31.32	1.227
4-1-5	89.278	6.26	31.32	0.94

2-5 سناریوی 2: جایابی ادوات کلید زنی و حفاظتی

در این سناریو جایابی بهینه سکسیونر، کات اوت فیوز و ریکلوزر با استفاده از الگوریتم ژنتیک در زیر بخش‌های زیر بررسی خواهد شد که ابتدا و انتهای هر شین، مکان‌های کاندید قرارگیری تجهیزات می‌تواند انتخاب گردد:

5-2- 1- بدون وجود هیچ‌کدام از ادوات (وضعیت اولیه)

5-2-2- جایابی فقط سکسیونر

5-2-3- جایابی فقط کات اوت فیوز

5-2-4- جایابی فقط ریکلوزر

5-2-5- جایابی هر سه تجهیز به‌صورت هم‌زمان

در این مسئله، هزینه خرید و نصب ریکلوزر 25 میلیون ریال، هزینه خرید و نصب سکسیونر 15 میلیون ریال، هزینه خرید و نصب کات اوت فیوز 0.5 میلیون ریال، هزینه انرژی توزیع نشده 700 ریال، نرخ بهره 17٪، نرخ تورم 15٪ و دوره مطالعه 5 سال در نظر گرفته‌شده است.

نتایج حاصل از اجرای سناریوی دو در جدول (2) و در بخش پیوست ارائه‌شده است. مطابق اطلاعات ارائه‌شده در جدول مذکور، مقایسه نتایج حالت 2 و 3 نشان می‌دهد که هزینه پایین کات اوت فیوزها نسبت به سکسیونرها منجر به نصب تعداد بیشتری از این تجهیز شده و کاهش بیشتری در شاخص‌های قابلیت اطمینان ایجاد گردیده است. البته در نصب کات اوت فیوزها باید مسئله هماهنگی حفاظتی نیز لحاظ گردد که این امر باعث محدود شدن امکان استفاده از این تجهیزات در شبکه می‌شود. در این مقاله مسئله هماهنگی حفاظتی در نظر گرفته نشده است. شاخص MAIFI نیز تنها در حالتی که ریکلوزر در شبکه نصب شود بهبودیافته است. در حالت 5 که جایابی هم‌زمان هر سه تجهیز انجام می‌شود به دلیل هزینه پایین خرید کات اوت فیوز نسبت به سکسیونر و مزیت نسبی کات فیوز و ریکلوزرها نسبت به سکسیونرها (نشان داده‌شده در جدول (1))، الگوریتم ژنتیک هیچ سکسیونری را پیشنهاد نداده است. نتایج حالت 5 کمترین مقدار شاخص‌های قابلیت اطمینان را نسبت به حالت‌های دیگر داشته و تابع هدف در این حالت کمترین مقدار را دارد. شاخص SAIFI در حالت 5 کمینه‌ترین مقدار است. علت این است که شاخص SAIFI به خاطر انتخاب کات اوت فیوز و ریکلوزهای بیشتر، به این اندازه تغییریافته است. شاخص SAIDI نیز بهترین مقدار را دارد. علت مکان‌یابی بهینه ریکلوزر و کات اوت فیوز است که این شاخص را بهبود بخشیده‌اند. جالب‌ترین نکته این است که مقدار شاخص MAIFI برابر 0.485 گردیده است که از مقدار هدف ($MAIFI \leq 0.5$) کمتر است.

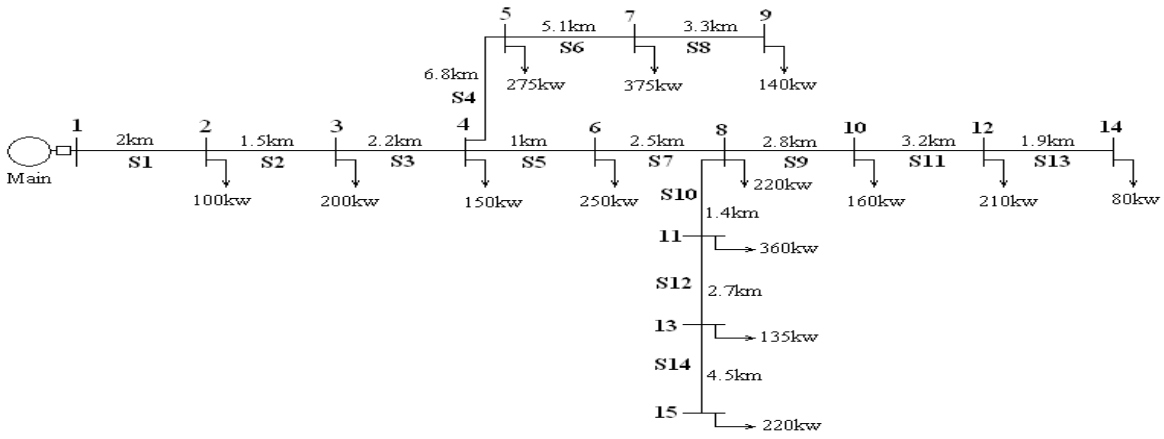
6- نتیجه‌گیری

وجود تجهیزاتی نظیر سکسیونر، کات اوت فیوز و ریکلوزرها در شبکه توزیع، قابلیت اطمینان سیستم را شدیداً تحت تأثیر قرار می‌دهد به‌طوری‌که با تغییر تعداد و مکان ادوات کلید زنی و حفاظتی، سطح قابلیت اطمینان فیدر به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای تغییر می‌کند. در این مقاله بررسی تأثیرات ادوات کلید زنی و حفاظتی روی خاموشی‌ها ناشی از انواع خطاهای گذرا و ماندگار انجام شد و بهینه‌سازی تعداد و مکان این تجهیزات به‌صورت تک‌تک و هم‌زمان با استفاده از الگوریتم ژنتیک پیاده‌سازی گردید و کار آیی روش پیشنهادی با اجرای سناریوهای مختلف روی شبکه نمونه 15 شینه بررسی شد.

جدول 2- نتایج حاصل از اجرای سناریوی دو

www.kahrobaonline.ir

سناریو	سکسیونر (شماره سکشن)	کات اوت فیوز (شماره سکشن)	ریکلوزر (شماره سکشن)	ENS (MWh/yr)	SAIFI (inter./cust/yr)	SAIDI (hour/cust/yr)	MAIFI (mom. inter./cust/yr)	تابع هدف (میلیون ریال)
5-2-1	-	-	-	117.590	8.18	40.9	1.227	390.93
5-2-2	4، 5، 9، 12	-	-	57.532	8.18	19.99	1.227	251.27
5-2-3	-	4، 5، 6، 9 و 12	-	40.208	2.77	13.87	1.227	158.67
5-2-4	-	-	4، 9 و 10	48.162	3.24	16.18	0.485	235.12
5-2-5	-	**5، 8، 14**	**4، 9 و 10**	**39.450**	**2.72**	**13.61**	**0.485**	**221.15**



شکل 5- شبکه نمونه 15 شینه واقعی

www.kahrobaonline.ir

مراجع

[1]حمید فلقی، مریم رمضانی، محمودرضا حقی‌فام، «جایگذاری سکسیونرها در شبکه های توزیع فشار متوسط با محدودیت منابع مالی»، بیست و سومین کنفرانس بین اللملی برق (-98-F-PDS 0449)

[2]حمید فلقی، مریم رمضانی، محمودرضا حقی‌فام و محمدرضا اصولی، «جایابی همزمان سکسیونرها و نقاط مانور در شبکه های توزیع انرژی الکتریکی» نوزدهمین کنفرانس بین المللی برق (98-F-PDS-285)

[3] حامدهاشمی دزکی، حسین عسکریان ابیانه، سیدحسین حسینیان و کاظم مظلومی، «تعیین بهینه تعداد، نوع و محل تجهیزات حفاظتی و کلیدزنی شبکه های توزیع براساس شاخص انرژی توزیع نشده» بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق (09-F-CAP-0133)

[4] علی مهربخش، ام لیلا بیگدلی، «جایابی بهینه ریکلوزرها در شبکه های توزیع جهت کاهش انرژی توزیع نشده با استفاده از روش الگوریتم مورچگان» چهاردهمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق

[5] Hamid Falaghi, Mahmood-Reza Haghifam, and Chanan Singh, “Ant Colony Optimization-Based Method for Placement of Sectionalizing Switches in Distribution Networks Using a Fuzzy Multi-objective Approach,” IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 24, No. 1, Jan 2009

[6]Wiwat Tippachon, Dulpichet Rerk preedapong “Multi-objective optimal placement of switches and protective devices in electric power distribution systems using ant colony optimization,” Electric Power Systems Research 79 (2009) 1171–1178

[7] D. H. Popovic, J. A. Greatbanks, M. Begovic, A. Pregelj “Placement of distributed generators and reclosers for distribution Electrical Power and Energy Systems 27 (2005) 398–408

[8] Luis G. Wesz da Silva, Rodrigo A. Fernandes Pereira, Juan Rivier Abbad, Jose R. Sanches Mantovani “Optimised placement of control and protective devices in electric distribution systems through reactive Tabu search algorithm,” Electric Power Systems Research 78 (2008) 372–381

[9] Robert E. Goodin, Lake Mary, Timothy S. Fahey,Andrew Hanson, "Distribution Reliability using Reclosers and Sectionalizers" ABB paper, January, 1999

[10] Aleksandar Pregelj, Miroslav Begovic, and Ajeet Rohatgi, “Recloser Allocation for Improved Reliability of DG-Enhanced Distribution Networks,” IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 21, No. 3, Aug 2006