

۰۱۱۵۵ تعیین بهینه سطح مقطع هادی‌ها در شبکه‌های توزیع با در

نظر گرفتن قابلیت اطمینان

جواد کافی کندری

شرکت توزیع نیروی برق استان خراسان رضوی

Kafi.javad@gmail.com

اسماعیل محبوبی مقدم

گروه مهندسی برق - قدرت

دانشگاه صنعتی قوچان

mahboubi@qiet.ac.ir

حمید فلقی

گروه مهندسی برق - قدرت

دانشگاه بیرجند

falaghi@birjand.ac.ir

۱. مقدمه

سیستم‌های توزیع یکی از بخش‌های مهم شبکه‌های قدرت را تشکیل می‌دهند. از آنجا که سطح ولتاژ در شبکه‌های توزیع پایین می‌باشد، این بخش سهم عمده‌ای از کل تلفات سیستم قدرت را به خود اختصاص می‌دهد. بنابراین در دهه‌های اخیر مطالعات فراوانی جهت طراحی بهینه سیستم‌های توزیع انجام شده است [۱]. انتخاب هادی مناسب یکی از مسائل مهم در طراحی شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی است و بهینه‌سازی آن تأثیر قابل توجهی بر کاهش تلفات و صرفه جویی‌های اقتصادی شرکت‌های توزیع دارد. در طراحی شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی است و بهینه‌سازی آن تأثیر قابل توجهی بر کاهش تلفات و صرفه جویی‌های اقتصادی شرکت‌های توزیع دارد. مطالعاتی از قبیل [۲-۵] به بررسی انتخاب هادی‌ها در شبکه‌های توزیع پرداخته شده است. در [۶] با در نظر گرفتن شاخص رشد بار به انتخاب اقتصادی هادی‌ها پرداخته شده است. برای انتخاب بهینه هادی‌ها در نظر گرفتن فاکتورهایی از قبیل قیمت تلفات توان و انرژی ضروری به نظر می‌رسد. در [۳، ۶، ۷] تنها قیمت تلفات انرژی مورد مطالعه قرار گرفته شده و از تلفات توان صرف نظر شده است. در [۸] سطح مقطع بهینه هادی‌ها با در نظر گرفتن هزینه هادی‌ها و هزینه تلفات، با در نظر گرفتن قیود افت ولتاژ و ماکزیمم جریان خطوط تعیین گردیده است. در این مطالعه تنوع در پیک بارها در فیدر و افزایش بار در نظر گرفته شده است. برای حل این مسئله نیز از روش‌های گوناگونی استفاده شده است. در [۹] و [۱۰] به ترتیب از الگوریتم

چکیده — انتخاب هادی‌ها یکی از گام‌های مهم در طراحی شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی است و بهینه‌سازی آن تأثیر قابل توجهی بر کاهش تلفات و صرفه جویی‌های اقتصادی شرکت‌های توزیع دارد. در طراحی شبکه‌های توزیع عمدتاً جریان مجاز، جریان اتصال کوتاه هادی‌ها و همچنین شاخص افت ولتاژ مجاز در شبکه مورد توجه قرار می‌گیرد. اخیراً تأثیر انتخاب هادی‌ها بر تلفات توان و انرژی نیز در نظر گرفته شده است اما بحث قابلیت اطمینان در انتخاب سطح مقطع هادی‌ها تاکنون مطرح نشده است. در این مقاله روشی به منظور انتخاب هادی مناسب برای سکن‌های مختلف فیدرهای شعاعی شبکه توزیع با در نظر گرفتن معیار قابلیت اطمینان ارائه شده است. در روش پیشنهادی خسارت‌های خاموشی مشترکین، کمینه می‌گردد. این مشترکین در حقیقت بارهایی هستند که به دلیل عدم رعایت حدود بارگذاری یا افت ولتاژ خطوط در طی عملیات بازیابی سرویس نواحی خاموش، امکان تأمین بار آنان وجود نداشته است. ارزش قابلیت اطمینان که ناشی از کاهش خاموشی مشترکین است و همچنین هزینه هادی‌های مورد استفاده و تلفات انرژی از جمله اجزاء تابع هدف پیشنهادی در این روش می‌باشند. جهت بهینه‌سازی تابع هدف پیشنهادی از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است.

واژه‌های کلیدی — شبکه توزیع؛ قابلیت اطمینان؛ سطح مقطع؛ فیدر

مناطق نخواهد بود. وقوع این قبیل خاموش‌ها باعث کاهش قابلیت اطمینان سیستم توزیع و افزایش زیان‌های مرتبط با آن از قبیل خسارت وارده به مشترکین می‌گردد.

در این مقاله روشی به منظور انتخاب هادی مناسب برای سکشن‌های مختلف فیدرهای شعاعی شبکه توزیع با در نظر گرفتن معیار قابلیت اطمینان ارائه شده است. به دلیل گستردگی فضای جستجو جهت یافتن پاسخ بهینه از الگوریتم ژنتیک استفاده گردیده است.

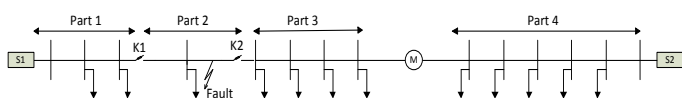
۲. مدل سازی قابلیت اطمینان در انتخاب هادی‌ها

قابلیت اطمینان شبکه های توزیع انرژی الکتریکی که گسترده‌ترین بخش سیستم قدرت به شمار می‌رود، توجه بسیاری از کارشناسان صنعت برق را به خود جلب کرده است. آمار و گزارش‌ها نشان می‌دهد که دلیل عمده ی قطع برق مشترکین، بروز خطا در شبکه‌ی توزیع است [۱۲]. بنابراین بهبود سطح قابلیت اطمینان این شبکه‌ها را می‌توان از جمله مواردی برشمرد که رضایت مشترکین و کاهش هزینه های ناشی از خاموشی‌ها و در نتیجه افزایش کارایی اقتصادی شرکت‌های توزیع را توأما به همراه دارد.

یکی از شاخص‌های موثر در قابلیت اطمینان شبکه های توزیع، میزان موفقیت حاصل از انجام عملیات بازیابی بار می‌باشد.

هنگام وقوع خطا در یک فیدر، پس از مکان یابی خطا، با استفاده از سکسیونرها، قسمت آسیب دیده از دیگر بخش‌های سالم فیدر ایزوله می‌شود، سپس سعی می‌گردد تا با استفاده‌ی حداکثر از ظرفیت نقاط مانور و نیز پست فوق توزیع تغذیه کننده ی فیدر، بخش‌های سالم فیدر تا پایان انجام تعمیرات برق دار گردد [۱۲]. شکل (۱) یک فیدر نمونه را نشان می‌دهد. M نقطه مانور شبکه است که در حالت نرمال بهره برداری باز است و این شبکه از دو سوی پست‌های S1 و S2 به صورت شعاعی تغذیه می‌شود.

در یک طرح اقتصادی جهت انتخاب هادی‌ها در چنین فیدری، از آنجا که با حرکت از سوی پست‌های تغذیه به سمت انتهای فیدر، میزان بارگذاری سکشن‌ها کاهش می‌یابد، بنابراین باید سطح مقطع هادی‌های سکشن‌های انتهایی کمتر از هادی‌های ابتدای فیدر باشند.



شکل ۱: یک فیدر نمونه به همراه نقطه مانور

تکاملی تفاضلی و الگوریتم ازدحام ذرات برای بهینه سازی سطح مقطع هادی استفاده شده است. همچنین در [۱۱] از روش برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای انتخاب سطح مقطع مناسب هادی‌ها استفاده شده است.

در شبکه‌های شعاعی بخش‌هایی از فیدر که نزدیک‌تر به ترانسفورماتورهای تغذیه کننده فیدر می‌باشند، بار بیشتری را تحمل می‌نمایند. این بار گذاری به تدریج با پیشروی به سمت انتهای فیدر و نزدیک شدن به محل مصرف کنندگان کاهش می‌یابد. هر چه سطح مقطع هادی انتخاب شده بیشتر باشد، میزان جریان مجاز عبوری از آن افزایش یافته و افت ولتاژ در آن هادی کاهش می‌یابد، اما قیمت تمام شده هادی‌ها افزایش خواهد یافت. این افزایش قیمت می‌تواند طی یک دوره بازگشت سرمایه با کاهش میزان تلفات توان و انرژی جبران شود.

در طراحی شبکه های توزیع عمدتاً جریان مجاز، جریان اتصال کوتاه هادی‌ها و همچنین شاخص افت ولتاژ مجاز در شبکه مورد توجه قرار می‌گیرند. تأثیر انتخاب هادی‌ها بر تلفات توان و انرژی نیز از دیگر معیارهایی است که در نظر گرفته شده است، اما بحث قابلیت اطمینان در انتخاب سطح مقطع هادی‌ها تاکنون مطرح نشده است. بررسی‌های آماری نشان می‌دهد که بیشترین خاموشی‌های مشترکین انرژی الکتریکی ناشی از بروز خطا در شبکه های توزیع است [۱۲]. محل قرارگیری تجهیزات حفاظتی و کلید زنی، نرخ وقوع خطا، ساختار شبکه و ... از عوامل موثر در قابلیت اطمینان می‌باشند. تاکنون مطالعات زیادی در زمینه ارزیابی و بهبود قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع صورت گرفته است [۱۳-۱۶]. بخش عمده‌ی آن‌ها به بررسی محل بهینه‌ی تجهیزات حفاظتی یا مکان‌یابی بهینه تجهیزات کلید زنی و خازن‌ها پرداخته‌اند [۱۷-۱۹]. حضور و مکان‌یابی منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع و عواملی از قبیل نرخ وقوع خطا و مکان یابی بخش‌های بحرانی در شبکه جهت کاهش نرخ وقوع خطا در قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع موثر می‌باشند [۲۰].

پس از وقوع خطا در یک شبکه توزیع شعاعی، می‌توان توسط عملیات بازیابی سرویس نواحی خاموش، بخشی از بارها را تأمین نمود. بدین منظور ابتدا باید قسمت‌های خطا دیده از فیدر را با کلید زنی مناسب جدا نمود. سپس مشترکین بی برق شده در قسمت‌های انتهای فیدر را با بستن نقاط مانور توسط سایر فیدرها تغذیه نمود. حتی در صورت مکان‌یابی بهینه تمامی تجهیزات در شبکه توزیع، اگر سایر تجهیزات سیستم از قبیل ترانس‌ها و هادی‌ها ظرفیت لازم برای تأمین بار افزوده شده به آنان در طی عملیات بازیابی سرویس نواحی خاموش را نداشته باشد، همچنان امکان تأمین بار این

| | |
|---------------|---|
| Li : | بر حسب کیلومتر i ام طول سکشن |
| $C(Con_i)$: | هزینه یک کیلومتر هادی مورد استفاده در سکشن i ام |
| N : | عمر مفید فیدر بر حسب سال |
| $Ploss$: | تلفات فیدر بر حسب کیلووات |
| A_w : | فاکتور بازیافت سرمایه |
| C_E : | قیمت یک کیلو وات ساعت انرژی |
| LSF : | ضریب تلفات |
| PL_j : | بار قطع شده در اثر وقوع خطا در سکشن j ام بر حسب کیلووات |
| IT : | زمان هر قطعی بر حسب ساعت |
| AIC : | ارزش هر کیلووات بار قطع شده |
| $Intr$: | نرخ بهره |
| λ_j : | نرخ وقوع خطا در سکشن j ام بر حسب تعداد خرابی در سال برای طول یک کیلومتر |

رابطه (۱) تنها قیمت هادی‌های انتخاب شده به همراه هزینه تلفات توان را مدل سازی می‌نماید. در این رابطه قیمت هادی‌ها از نوع سرمایه گذاری اولیه است که باید توسط فاکتور بازیافت سرمایه، با هزینه جاری تلفات توان به یک جنس تبدیل گردند. در رابطه (۳) که تابع هدف پیشنهادی این مقاله است، هزینه‌ی قابلیت اطمینان که در حقیقت خسارت ناشی از خاموشی مشترکین می‌باشد نیز به این دو هزینه افزوده شده است.

۳.۲. قیود مسئله

جهت تعیین سطح مقطع هادی‌ها باید تابع هدف پیشنهادی با رعایت قیود زیر کمینه گردد :

الف- قید ولتاژ : در حالت عملکرد سیستم در شرایط نرمال افت ولتاژ در تمامی گره های فیدر باید کمتر از مقدار بیشینه مجاز باشد. این قید همچنین باید زمانی که در طی عملیات بازیابی بار نواحی خاموش بخشی از بار سایر فیدرها بر روی فیدر مورد نظر قرار می‌گیرد رعایت شود.

$$|\Delta V(i)| \leq \Delta V_{max} \quad (4)$$

که در آن i شماره‌ی سکشن و ΔV_{max} حداکثر مقدار مجاز افت ولتاژ می باشد.

چنانچه همان‌گونه که در شکل (۱) نشان داده شده است خطایی در بخشی از این فیدرها رخ دهد، با باز شدن دو کلید $K1$ و $K2$ بخش خطا دیده جهت انجام تعمیرات از شبکه جدا می‌شود و با بسته شدن کلید مانور M بارهای ناحیه ۳ به انتهای فیدر ۲ اضافه می‌شوند. چنانچه در این شرایط تجهیزات و هادی‌های بخش ۴ ظرفیت کافی جهت تأمین این بار مازاد را نداشته باشند، بهره بردار ناگزیر باید بخشی از این بار را قطع نماید. در چنین شرایطی خسارت خاموشی این مشترکین باید توسط نهاد تأمین کننده بار پرداخت شود.

در مدل پیشنهادی در این مقاله با در نظر گرفتن شرایط رخ داد خطا و امکان اضافه شدن بخشی از بارهای فیدرهای خطا دیده به سایر فیدرها، سطح مقطع بهینه هادی‌ها در سکشن‌های مختلف به گونه‌ای تعیین گردیده است که قیمت تمام شده هادی‌ها و تلفات در شبکه با احتساب خسارت ناشی از عدم تأمین بخشی از بارها در شبکه کمینه گردد.

۳. فرمول بندی ریاضی مسئله

۳.۱. تابع هدف پیشنهادی

تابع هدف پیشنهادی جهت انتخاب مناسب‌ترین سطح مقطع برای هادی‌ها با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان در شبکه شامل موارد زیر است :

- قیمت نهایی هادی‌های انتخاب شده
- تلفات اهمی در فیدرها
- خسارت ناشی از خاموشی بارهای تأمین نشده

بدیهی است که بهترین انتخاب در شرایطی حاصل می‌گردد که مجموع هزینه های ناشی از قیمت هادی‌ها و تلفات در فیدرها، به همراه خسارت ناشی از خاموشی مشترکین کمینه گردد. تابع هدف پیشنهادی مطابق روابط (۱) تا (۳) در زیر بیان شده است:

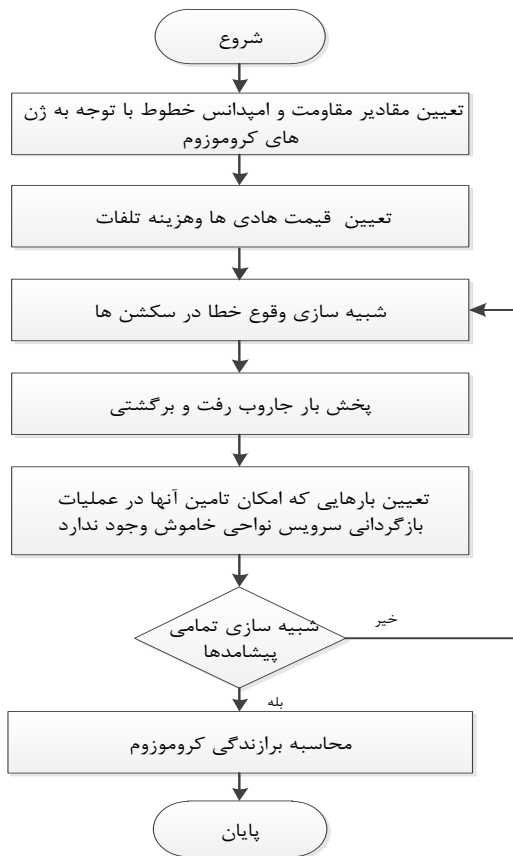
$$OF1 = \sum_{i=1}^{ns} (L_i \times C(Con_i)) \times A_w + P_{loss} \times C_E \times LSF \times 8760 \quad (1)$$

$$A_w = \left[\frac{(Intr) \times (1 + Intr)^N}{(1 + Intr)^N - 1} \right] \quad (2)$$

$$OF2 = OF1 + \sum_{j=1}^{ns} (\lambda_j \times L_j \times PL_j \times AIC \times IT \times LF) \quad (3)$$

تعریف متغیرهای بکار رفته در این رابطه ها در ادامه آورده شده است:

ns : تعداد فیدرهای سکشن

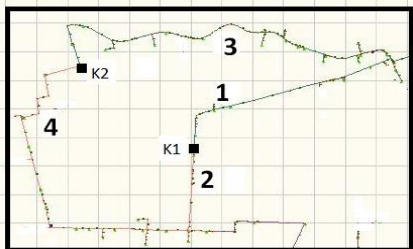


شکل (۳): روند کلی حل مسئله بهینه سازی

۵. مطالعات عددی

۵.۱. فیدر توزیع انتخابی

برای بررسی روش پیشنهادی در تعیین سطح مقطع هادی‌ها برنامه‌ای در محیط نرم افزار MATLAB نوشته شده است. شکل (۴) فیدر توزیع انتخابی که بخشی از شبکه توزیع در ایران است را نشان می‌دهد. ناحیه‌ی مشخص شده در شکل شامل چهار فیدر با دو نقطه مانور K1 و K2 است. در عملکرد نرمال هر دو کلید باز می‌باشند و در شرایط وقوع خطا امکان انتخاب مانور و کلید زنی مناسب وجود دارد.



شکل (۴): نمای فیدرهای توزیع انتخابی

ب- قید جریان: جریان عبوری از هر سکشن چه در حالت عملکرد عادی شبکه و چه در شرایط افزایش بار ناشی از بازیابی سرویس نواحی خاموش، باید از حد مجاز جریان هادی انتخاب شده برای آن سکشن کمتر باشد.

$$|I(j)| \leq I_{max}(Con_j) \quad (5)$$

در این رابطه j شماره‌ی سکشن، Con_j هادی مورد استفاده در سکشن j ام و I_{max} حد ماکزیمم جریان عبوری از هادی است که با توجه به شرایط بهره برداری برای فیدرها تعیین می‌شود.

۴. کاربرد الگوریتم ژنتیک در مسئله بهینه سازی

یکی از روش‌های مرسوم بهینه سازی برای حل معادلات غیر خطی استفاده از الگوریتم ژنتیک است. در روش الگوریتم ژنتیک حل مسئله از مجموعه‌ای پاسخ ممکن برای تابع هدف مورد نظر شروع می‌شود و پس از آن توسط عملگرهای تقاطع، جهش و انتخاب، مجموعه‌ی پاسخ‌های اولیه به سمت مناسب‌ترین پاسخ‌ها پیش می‌روند و در نهایت پاسخ مناسب برای مسئله مورد نظر تعیین می‌گردد [۲۱].

در این مقاله جهت انتخاب بهینه سطح مقطع هادی‌ها از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. شکل (۲) ساختار کروموزوم‌ها در این الگوریتم را نشان می‌دهد.

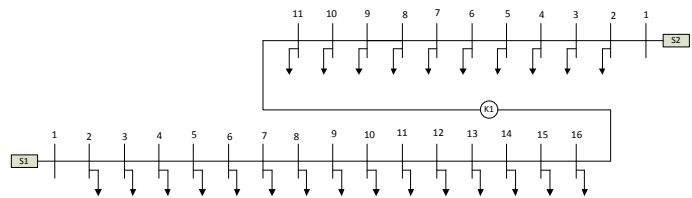
در شکل (۲)، n تعداد ژن‌ها در هر کروموزوم می‌باشد. تعداد ژن‌های هر کروموزوم برابر تعداد سکشن‌های هر فیدر در شرایط نرمال بعلاوه‌ی تعداد سکشن‌هایی است که ممکن است در شرایط وقوع خطا در سایر فیدرها و در طی عملیات بازیابی سرویس بارهای خاموش به فیدر مورد نظر افزوده می‌شود. مقدار هر ژن با توجه به انواع هادی‌ها و سطح مقطع‌های گوناگون، عددی گسسته متناسب با کد اختصاص داده شده به هادی آن سکشن می‌باشد. جهت محاسبه برازندگی مربوط به هر کروموزوم، ابتدا باید با فرض قرارگیری هادی‌های انتخابی در آن کروموزوم، در فیدر، پیشامد وقوع خطا در تمامی سکشن‌ها شبیه سازی گردد. سپس با انجام پخش بار جاروب رفت و برگشتی میزان بارگذاری سکشن‌ها، افت ولتاژ در گره‌ها و بارهایی که امکان تأمین آن‌ها وجود ندارد، تعیین می‌شود. شکل (۳) روند کلی محاسبه برازندگی کروموزوم‌ها را نشان می‌دهد.

| | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|
| G_1 | G_2 | G_3 | | G_{n-1} | G_n |
|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|

شکل (۲): ساختار کروموزوم‌های الگوریتم ژنتیک

جدول ۱: انتخاب هادی‌ها برای فیدر مورد آزمایش

| فیدر شماره ۱ | | | فیدر شماره ۲ | | |
|--------------|---|---|--------------|---|---|
| شماره سکشن | نوع هادی انتخابی بدون در نظر گرفتن قابلیت اطمینان | نوع هادی انتخابی با احتساب قابلیت اطمینان | شماره سکشن | نوع هادی انتخابی بدون در نظر گرفتن قابلیت اطمینان | نوع هادی انتخابی با احتساب قابلیت اطمینان |
| ۱ | ۲ | ۵ | ۱ | ۲ | ۲ |
| ۲ | ۲ | ۵ | ۲ | ۲ | ۲ |
| ۳ | ۲ | ۲ | ۳ | ۲ | ۲ |
| ۴ | ۲ | ۲ | ۴ | ۲ | ۲ |
| ۵ | ۲ | ۲ | ۵ | ۲ | ۲ |
| ۶ | ۲ | ۲ | ۶ | ۲ | ۲ |
| ۷ | ۲ | ۲ | ۷ | ۱ | ۲ |
| ۸ | ۲ | ۲ | ۸ | ۱ | ۲ |
| ۹ | ۲ | ۲ | ۹ | ۱ | ۲ |
| ۱۰ | ۲ | ۲ | ۱۰ | ۱ | ۱ |
| ۱۱ | ۲ | ۲ | | | |
| ۱۲ | ۱ | ۲ | | | |
| ۱۳ | ۱ | ۲ | | | |
| ۱۴ | ۱ | ۱ | | | |
| ۱۵ | ۱ | ۱ | | | |



شکل (۵): دیاگرام تک خطی فیدرهای شماره ۱ و ۲

شکل (۵) دیاگرام ساده شده فیدرهای ۱ و ۲ را نشان می‌دهد. فیدر شماره ۱ که از سمت پست S1 تغذیه می‌شود دارای ۱۱ گره و ۱۰ سکشن می‌باشد. فیدر شماره ۲ نیز که به پست S2 متصل است دارای ۱۶ گره و ۱۵ سکشن می‌باشد. داده‌های مربوط به مشخصات فیدرها و بارها و همچنین داده‌های اقتصادی و تکنیکی هادی‌ها در ضمیمه آورده شده است. داده‌های دیگر مورد استفاده جهت تعیین سطح مقطع هادی‌ها در این دو فیدر در ادامه آمده است:

$Iter : 10\%$

$N : 10$

$\Delta V_{max} = 0.05 pu$

$LF = 0.6$

$\lambda = 0.1 Failure / Year$

$AIC = 0.78 \$ / KW$

$IT = 3 Hour / Failure$

$Power factor : 0.85 for all loads$

$Cost of energy : 0.05 \$ / kWh$

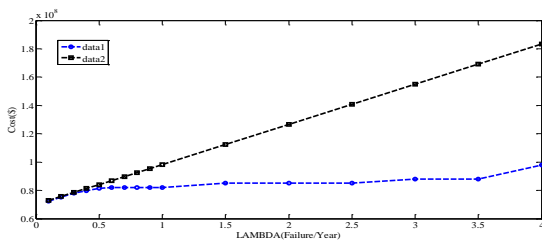
در شرایط نرمال هر فیدر به تنهایی بار خود را تغذیه می‌نماید و نقطه مانور K1 باز است. اگر خطایی در سیستم رخ دهد کلید K1 بسته خواهد شد و در طی عملیات بازیابی سرویس نواحی خاموش بسته به مکان وقوع خطا ممکن است مقداری از بار هر یک از فیدرها به دیگری منتقل شود.

مطابق آنچه در رابطه (۱) آورده شد، بدون در نظر گرفتن هزینه خسارت خاموشی مشترکین تابع هدف تنها شامل هزینه‌های هادی‌ها و تلفات انرژی است، که توسط الگوریتم ژنتیک بهینه شده است. هادی‌های انتخابی با این تابع هدف اگرچه به دلیل سطح مقطع کوچک‌تر، قیمت کمتری را دارند، اما ممکن است در شرایط وقوع خطا و با انجام عملیات مانور به دلیل رسیدن به حداکثر حدود بارگذاری و یا افت ولتاژ خارج از محدوده مجاز در گره‌ها، قادر به تأمین تمام یا بخشی از این بار اضافه شده نباشند. بنابراین می‌توان با انتخاب سطح مقطع بزرگ‌تر مطابق با تابع هدف بیان شده در رابطه (۳) و با توجه به دوره بازگشت سرمایه، تا آنجا که مصالحه‌ای بین اهداف اقتصادی برقرار گردد، به جبران خسارات ناشی از خاموشی مشترکین پرداخت. نتایج برای انتخاب هادی‌های فیدرهای ۱ و ۲ در جدول (۱) آورده شده است.

همان‌طور که از مقایسه نتایج جدول (۱) مشاهده می‌شود، با در نظر گرفتن هزینه‌های قابلیت اطمینان در انتخاب سطح مقطع هادی‌ها، عمدتاً سایندهای انتخابی افزایش می‌یابند. این افزایش سایز برای هادی‌های سکشن‌های مختلف متناسب با طول آن سکشن، محل قرارگیری سکشن در فیدر و همچنین نحوه توزیع بارها در فیدرها می‌باشد.

۵.۲. آنالیز حساسیت برای تغییر در نرخ وقوع خطا

آنالیز حساسیت در مقایسه هر طرح توجیه‌پذیری اقتصادی از مهمترین معیارهای سنجش به شمار می‌آید. در انتخاب بهینه‌های هادی‌ها با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان، احتساب معیار قابلیت اطمینان از یک سو باعث افزایش هزینه‌های هادی‌ها و از سوی دیگر باعث کاهش هزینه‌های خاموشی مشترکین می‌گردد. برای انجام آنالیز حساسیت نسبت به تغییر در نرخ وقوع خطا در سکشن‌ها، تحلیل‌ها برای دو حالت مختلف انجام شده‌اند.



شکل (۷) : هزینه کل در تابع هدف برای فیدرهای ۳ و ۴

(داده های ۱ و ۲، به ترتیب با و بدون در نظر گرفتن هزینه قابلیت اطمینان)

همان‌گونه که در شکل‌های (۵) و (۶) مشاهده می‌شود با افزایش نرخ متوسط تعداد خاموشی در سال، خسارات ناشی از خاموشی مشترکین در فیدرها افزایش می‌یابد. اگر در تابع هدف انتخاب بهینه سطح مقطع هادی‌ها، تنها قیمت هادی‌ها و هزینه تلفات در نظر گرفته شود این افزایش سیر سعودی یکنواختی خواهد داشت. چنانچه هزینه قابلیت اطمینان نیز در نظر گرفته شود، با افزایش نرخ متوسط تعداد خاموشی، منحنی هزینه کل با تغییرات غیر یکنواخت که ناشی از انتخاب هادی‌هایی با سطح مقطع بالاتر می‌باشد، رشد می‌نماید. در این شرایط هزینه نهایی انتخاب هادی‌ها با در نظر گرفتن شاخص قابلیت اطمینان همواره کمتر از هزینه انتخاب هادی بدون احتساب آن است. این بهبود هزینه به خصوص با افزایش نرخ متوسط تعداد خاموشی‌ها در سال بیشتر حاصل می‌شود. در فیدرهای ۳ و ۴ که طولانی‌تر هستند این بهبود در هزینه کل بیشتر خود را نشان می‌دهد. شکل (۷) منحنی تغییرات هزینه کل در تابع هدف را برای این فیدرها نشان می‌دهد.

۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله روشی نوین جهت انتخاب سطح مقطع هادی‌ها در فیدرهای شعاعی شبکه توزیع ارائه گردید. تعیین بهینه سطح مقطع هادی‌ها می‌تواند به عنوان راهکاری جهت بهبود قابلیت اطمینان شبکه های توزیع مورد استفاده قرار گیرد. تابع هدف ارائه شده علاوه بر قیمت هادی‌ها و هزینه تلفات در فیدر، هزینه قابلیت اطمینان که در حقیقت ناشی از خسارت مشترکین است را نیز در بر می‌گیرد و مسئله با در نظر گرفتن قیود افت ولتاژ و جریان هادی‌ها توسط الگوریتم ژنتیک بهینه سازی می‌شود.

به منظور نشان دادن کاربرد عملی روش پیشنهادی، مطالعات عددی بر روی یک شبکه‌ی توزیع فشار متوسط واقعی انجام شد. مدل پیشنهادی می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد در انتخاب اقتصادی هادی‌ها با هدف بهبود قابلیت اطمینان سیستم در شبکه های توزیع مورد استفاده قرار گیرد.

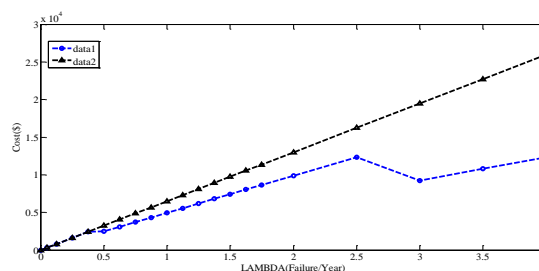
الف- آنالیز حساسیت در حالت اول

در این حالت هادی‌هایی را که مطابق تابع هدف رابطه (۱) بدون در نظر گرفتن قابلیت اطمینان برای سگشن‌ها انتخاب نموده‌ایم، در سگشن‌ها در جایگذاری می‌نماییم. در این حالت هزینه خسارت خاموشی مشترکین و هزینه کل تابع هدف‌ها را با فرض تغییر در نرخ وقوع خطا محاسبه می‌نماییم.

ب- آنالیز حساسیت در حالت دوم

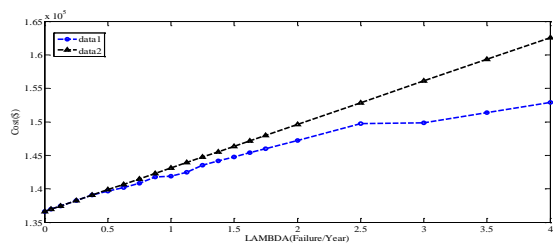
در این حالت هادی‌هایی را که مطابق تابع هدف رابطه (۳) با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان برای سگشن‌ها محاسبه نمودیم را در سگشن‌ها قرار می‌دهیم. در این نیز حالت هزینه‌ها را با فرض تغییر در نرخ وقوع خطا محاسبه می‌نماییم.

نمودارهای شکل (۵) و (۶) به ترتیب خسارت خاموشی مشترکین و مقدار هزینه‌ی کل را در تابع هدف در حالات وقوع خطا با نرخ‌های متفاوت، در این دو حالت نشان می‌دهند.



شکل (۵) : هزینه خاموشی مشترکین در تابع هدف برای فیدرهای ۱ و ۲

(داده های ۱ و ۲، به ترتیب با و بدون در نظر گرفتن هزینه قابلیت اطمینان)



شکل (۶) : هزینه کل در تابع هدف برای فیدرهای ۱ و ۲

(داده های ۱ و ۲، به ترتیب با و بدون در نظر گرفتن هزینه قابلیت اطمینان)

and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), vol. 38, pp. 757-764, 2008.

- [19] I. G. Sardou, et al., "Modified shuffled frog leaping algorithm for optimal switch placement in distribution automation system using a multi-objective fuzzy approach," *IET generation, transmission & distribution*, vol. 6, pp. 493-502, 2012.
- [20] S. Conti, et al., "Generalized systematic approach to assess distribution system reliability with renewable distributed generators and microgrids," *IEEE Transactions on Power delivery*, vol. 27, pp. 261-270, 2012.
- [21] R. L. Haupt and S. E. Haupt, *Practical genetic algorithms*: John Wiley & Sons, 2004.

ضمایم

جدول (۲): داده‌های مربوط به بار و ساختار فیدر ۱

| Segment | Sending Node | Receiving Node | Length [Km] | Load of Receiving Node [KVA] |
|---------|--------------|----------------|-------------|------------------------------|
| 1 | 1 | 2 | 2.55 | 190 |
| 2 | 2 | 3 | 2.2 | 113 |
| 3 | 3 | 4 | 1.85 | 175 |
| 4 | 4 | 5 | 1.6 | 112 |
| 5 | 5 | 6 | 2.23 | 100 |
| 6 | 6 | 7 | 2.5 | 93 |
| 7 | 7 | 8 | 1.9 | 105 |
| 8 | 8 | 9 | 1.75 | 110 |
| 9 | 9 | 10 | 2.1 | 109 |
| 10 | 10 | 11 | 1.65 | 130 |
| 11 | 11 | 12 | 1.93 | 125 |
| 12 | 12 | 13 | 2.4 | 145 |
| 13 | 13 | 14 | 1.9 | 95 |
| 14 | 14 | 15 | 2.6 | 162 |
| 15 | 15 | 16 | 2.3 | 160 |

جدول (۳): داده‌های مربوط به بار و ساختار فیدر ۲

| Segment | Sending Node | Receiving Node | Length [Km] | Load of Receiving Node [KVA] |
|---------|--------------|----------------|-------------|------------------------------|
| 1 | 1 | 2 | 1.75 | 185 |
| 2 | 2 | 3 | 2.12 | 155 |
| 3 | 3 | 4 | 1.53 | 142 |
| 4 | 4 | 5 | 1 | 120 |
| 5 | 5 | 6 | 2.3 | 138 |
| 6 | 6 | 7 | 1.11 | 140 |
| 7 | 7 | 8 | 2.36 | 160 |
| 8 | 8 | 9 | 1.73 | 115 |
| 9 | 9 | 10 | 1.8 | 125 |
| 10 | 10 | 11 | 2.85 | 155 |

جدول (۴): داده‌های فنی اقتصادی

| Conductor Table | R[Ω] | X[Ω] | Price [\$/km] | Max Current[A] |
|-----------------|--------|--------|---------------|----------------|
| 1 | 0.7822 | 0.2835 | 578 | 150 |
| 2 | 0.4545 | 0.2664 | 908 | 212 |
| 3 | 0.2733 | 0.2506 | 1330 | 288 |
| 4 | 0.2712 | 0.2464 | 1531 | 308 |
| 5 | 0.1576 | 0.2277 | 2866 | 400 |

قدردانی

نویسندگان بر خود فرض می‌دانند از مدیریت محترم عامل شرکت توزیع نیروی برق استان خراسان رضوی جناب آقای مهندس مزینی به پاس حمایتشان در به ثمر رسیدن این پژوهش کمال سپاسگزاری را بنمایند.

منابع

- [1] Z. Wang, et al., "A practical approach to the conductor size selection in planning radial distribution systems," *IEEE Transactions on Power delivery*, vol. 15, pp. 350-354, 2000.
- [2] W. Kirm and R. Adler, "A distribution-system-cost model and its application to optimal conductor sizing," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, pp. 271-275, 1982.
- [3] H. Tram and D. Wall, "Optimal conductor selection in planning radial distribution systems," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 3, pp. 200-206, 1988.
- [4] G. Salis and A. Safigianni, "Optimum long-term planning of a radial primary distribution network: Part I: Data description and first proposed network form," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 20, pp. 35-41, 1998.
- [5] G. Salis and A. Safigianni, "Optimum long-term planning of a radial primary distribution network: Part II: Development of the optimum long-term planning method," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 20, pp. 43-51, 1998.
- [6] A. Funkhouser and R. Huber, "A method for determining economical ACSR conductor sizes for distribution systems," *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers. Part III: Power Apparatus and Systems*, vol. 74, pp. 479-484, 1955.
- [7] P. N. Rao, "An extremely simple method of determining optimal conductor sections for radial distribution feeders," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, pp. 1439-1442, 1985.
- [8] D. Kaur and J. Sharma, "Optimal conductor sizing in radial distribution systems planning," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 30, pp. 261-271, 2008.
- [9] P. Samal, et al., "Simultaneous capacitor allocation and conductor sizing in unbalanced radial distribution systems using differential evolution algorithm," in *Power Systems Conference (NPSC), 2016 National*, 2016, pp. 1-6.
- [10] S. Manikandan, et al., "Analysis of optimal conductor selection for radial distribution systems using DPSSO," in *Electrical Energy Systems (ICEES), 2016 3rd International Conference on*, 2016, pp. 96-101.
- [11] J. F. Franco, et al., "Optimal conductor size selection and reconducting in radial distribution systems using a mixed-integer LP approach," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, pp. 10-20, 2013.
- [12] R. N. Allan, *Reliability evaluation of power systems*: Springer Science & Business Media, 2013.
- [13] R. C. Lotero and J. Contreras, "Distribution system planning with reliability," *IEEE Transactions on Power delivery*, vol. 26, pp. 2552-2562, 2011.
- [14] S. Kazemi, et al., "Reliability assessment of an automated distribution system," *IET generation, transmission & distribution*, vol. 1, pp. 223-233, 2007.
- [15] I. Ziari, et al., "Integrated distribution systems planning to improve reliability under load growth," *IEEE Transactions on Power delivery*, vol. 27, pp. 757-765, 2012.
- [16] G. T. Heydt and T. J. Graf, "Distribution system reliability evaluation using enhanced samples in a Monte Carlo approach," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 25, pp. 2006-2008, 2010.
- [17] A. Etemadi and M. Fotuhi-Firuzabad, "Distribution system reliability enhancement using optimal capacitor placement," *IET generation, transmission & distribution*, vol. 2, pp. 621-631, 2008.
- [18] L. Wang and C. Singh, "Reliability-constrained optimum placement of reclosers and distributed generators in distribution networks using an ant colony system algorithm," *IEEE Transactions on Systems, Man,*