

جایابی بهینه تجهیزات مانوری در فیدرهای توزیع ۲۰ کیلوولت شهرستان کبودر آهنگ

علی احسان اشرفی، مجتبی کرمی، علی اصغر قدیمی، محمدرضا میوه، محمد سلطانی، سعید باقری

دفتر تحقیقات، معاونت مهندسی و تحقیقات، شرکت توزیع برق استان همدان، r.d@edch.ir

کارشناس GIS، مدیریت توزیع برق کبودرآهنگ، شرکت توزیع برق استان همدان، Mjt.karami@gmail.com

دانشیار گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، a-ghadimi@araku.ac.ir

استادیار دانشکده مهندسی برق، دانشگاه نقرش، miveh@tafreshu.ac.ir

دفتر GIS، معاونت مهندسی و تحقیقات، شرکت توزیع برق استان همدان، r.d@edch.ir

معاونت برنامه ریزی، شرکت توزیع برق استان مرکزی، Saeedbagheri۷۵@gmail.com

چکیده

یکی از مهم‌ترین مسائل در سیستم‌های توزیع برق، تعیین مکان بهینه نصب انواع کلید مانند ریکلوزر، سکسیونر و... است. بدین ترتیب که کلیدهای نصب شده، مدت زمان بازیابی سیستم بعد از وقوع خطا را کاهش داده، باعث کاهش تعداد قطعی‌ها و کوچک شدن محدوده قطعی‌ها شده و سبب بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه می‌شوند. از این رو، پیدا کردن مکان بهینه نصب کلیدها و تعداد بهینه آن‌ها با در نظر گرفتن شاخص‌های فنی و اقتصادی شامل هزینه سرمایه‌گذاری و هزینه‌های ناشی از خاموشی از مباحثی است که نیازمند صرف هزینه و توجه است. در این مقاله که از نتایج خروجی یک پروژه تحقیقاتی در شرکت توزیع نیروی برق استان همدان استخراج شده است، هدف ارائه الگوریتم مناسبی جهت جایابی بهینه نقاط مانور شبکه شهرستان کبودر آهنگ به منظور ارتقاء شاخص‌های قابلیت اطمینان آن می‌باشد. اطلاعات مکانی و توصیفی تجهیزات در سامانه GIS موجود بوده و با به کارگیری آنها و توسعه برنامه‌های کامپیوتری، نقاط مانور بهینه در شبکه شهرستان کبودر آهنگ تعیین شده است. بدین منظور، ابتدا شبکه توزیع شهرستان کبودر آهنگ در نرم افزار GIS مورد ارزیابی قرار گرفته است. سپس اطلاعات مورد نیاز با استفاده از زبان برنامه نویسی پایتون استخراج شده است. در پایان جایابی بهینه نقاط مانور در شبکه کبودر آهنگ به کمک شاخص انرژی توزیع نشده انجام شده است. نتایج حاصل از جایابی بهینه نشان دهنده بهبود قابلیت اطمینان شبکه می‌باشد.

واژگان کلیدی: حفاظت شبکه های توزیع، نقاط مانور بهینه، ریکلوزر، قابلیت اطمینان

۱. مقدمه

برنامه‌ریزی توسعه شبکه‌های توزیع و همچنین جایگذاری مناسب کلیدها در شبکه توزیع یکی از مهم‌ترین اقداماتی است که در شرکت‌های توزیع جهت تأمین رشد بار و افزایش قابلیت اطمینان شبکه صورت می‌پذیرد. مهمترین مسئله برنامه‌ریزی در توسعه شبکه و فیدرها تأمین برق و سرویس‌دهی مطمئن به مشترکین می‌باشد به نحوی که ولتاژ و شاخص‌های کیفیت توان در محدوده استاندارد قرار گیرد. با گسترش تقاضا و پیچیدگی شبکه‌های توزیع اهمیت برنامه‌ریزی توسعه شبکه بیش از پیش نمود پیدا می‌کند، چرا که پیچیدگی شبکه به معنای اهمیت بیشتر مصرف‌کنندگان، افزایش اهمیت پارامترهای اقتصادی در طراحی‌ها و افزایش پیچیدگی در چگونگی گسترش شبکه‌ها و تجهیزات و اجزای آن همچون منابع تولید پراکنده می‌باشد.

کلیدها از مهمترین اجزای شبکه توزیع در هنگام بازیابی بار در شرایط اضطراری هستند. با افزایش اهمیت مسئله تاب‌آوری در شبکه‌های توزیع و اهمیت تأمین برق مطمئن متقاضیان و همچنین قیمت بالای کلیدها در شبکه توزیع، جایگذاری و یافتن بهترین مکان برای آن‌ها در شبکه بیش از پیش اهمیت یافته است. امروزه شرکت‌های توزیع به دنبال یافتن راهکار و فرایندهایی هستند که با کمترین هزینه، بهترین نتیجه را در جهت بازیابی بار و اقدامات مانوری در شبکه اجرا نمایند.

در شبکه‌های توزیع امروزی انواع مختلفی از کلیدها مانند بریکر، ریکلوزر، سکشنالایزر، سکسیونرها و کات‌اوت‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. نوع این کلیدها با توجه به کاربرد آن در موقعیت مورد استفاده تعیین می‌گردد. جایابی این کلیدها در شبکه‌های قدرت دارای اهداف فنی و اقتصادی است. به طور کلی اهداف فنی که باید در جایابی کلیدها مدنظر قرار بگیرد شامل بازیابی بار و بهبود قابلیت اطمینان شبکه، متعادل سازی بار و بهبود پروفیل ولتاژ می‌باشند. همچنین شاخص‌های زیادی شامل بودجه، وضعیت جاری شبکه، بستر اتوماسیون، رشد بار و غیره در انجام مطالعات جایابی کلید نقش دارند.

جایابی و تعیین نقطه بهینه نصب کلیدهای قدرت در شبکه همواره از موضوعات مورد علاقه پژوهشگران و صنعت‌گران بوده و در این راستا مطالعات گسترده‌ای چه

در داخل و چه در خارج از کشور توسط محققین صورت پذیرفته است. خروجی برخی از این مطالعات به صورت مقالاتی در مجلات معتبر بین‌المللی منتشر شده است که در ادامه به برخی از این پژوهش‌ها اشاره می‌شود.

در مرجع [۱]، مسأله جایابی بهینه کلیدهای اتوماتیک با هدف کمینه سازی مجموع هزینه‌های خاموشی مشترک و نصب و نگهداری کلیدها، حل شده است. قیود مسأله شامل حدود مجاز ولتاژ شین‌ها و حدود مجاز توان عبوری از خطوط می‌باشند. این مقاله روش‌های گوناگونی را به منظور دستیابی به هزینه‌های قطع برق معرفی نموده که از جمله آن می‌توان به روش‌های تحلیلی، مطالعه موردی و پایش مشترک اشاره نمود. پایش مشترک تأثیر بسیاری از عوامل از جمله زمان خطا، مدت و تعداد قطعی را شامل می‌شود. مسأله بهینه سازی با استفاده از الگوریتم شبیه-سازی سرد شدن تدریجی فلزات ذوب شده حل شده است. در مرجع [۲]، جایابی برای کلیدهای دستی و اتوماتیک در یک شبکه توزیع انجام شده است. تابع هدف این پژوهش کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های سرمایه‌گذاری کلیدها و هزینه خاموشی مشترک است. از الگوریتم ایمی در حل مسأله جایابی کلیدها استفاده شده و کارایی این الگوریتم در قیاس با الگوریتم ژنتیک ارزیابی شده است.

مرجع [۳] به جایابی بهینه کلیدهای اتوماتیک و کنترل از راه دور پرداخته است. هدف پیدا کردن تعداد و مکان کلیدهای جداکننده به منظور کمینه کردن مجموع هزینه‌های قطع مشترک، هزینه‌های سرمایه‌گذاری، هزینه‌های نصب و بهره‌برداری مربوط به کلیدهای جداکننده است. شاخص‌های قابلیت اطمینان به منظور ارزیابی عملکرد سیستم استفاده شده است. هزینه خروج بر اساس نرخ میانگین خرابی، میانگین بار از دست رفته به دلیل خطا و تابع زیان مشترک سنجش می‌شود. تابع زیان مشترک بستگی به نوع آن و مدت زمان لازم برای بازیابی سرویس دارد. در فرمول هزینه خروج، تمامی پارامترها برای یک سیستم توزیع خاص مشخص و ثابت‌اند به جز تابع زیان مشترک که به درجه اتوماسیون سیستم توزیع بستگی دارد.

مرجع [۴] مسأله تعیین تعداد و مکان بهینه کلیدهای جداکننده در یک شبکه توزیع در حضور یک منبع تجدید پذیر انرژی (توربین بادی) را با هدف کمینه کردن هزینه

کلید رادر مسئله جایابی کلید، ادغام می‌کند. باید یک معادله بین هزینه قطعی و هزینه تجهیزات (کلیدها) در نظر گرفته شود تا استراتژی تخصیص بهینه پیدا شود. در حال حاضر تجهیزات مانوری کمی در شبکه توزیع وجود دارد و در صورت ایجاد خطا در فیدرهای این شبکه، خاموشی‌های گسترده‌ای ایجاد خواهد شد. از طرفی در محدوده شرکت توزیع نیروی برق استان همدان در زمینه احداث پست و یا خرید تجهیزات محدودیت‌هایی وجود دارد؛ همچنین مسئله دیگری که همواره شبکه‌های توزیع را به چالش می‌کشد توسعه شهرها و پایین بودن شاخص‌های قابلیت اطمینان است. از اساسی‌ترین مشکلات به وجود آمده می‌توان به کاهش انرژی توزیع نشده و افزایش نارضایتی‌های عمومی از قطعی برق اشاره کرد. درج تجهیزات مانوری (نظیر سکسیونرها، ریکلوزرها و ...) راهکاری قابل توجه جهت بهبود بهره‌برداری از شبکه است. در این راستا جابه‌جایی نقاط مانور شبکه و بازآرایی شبکه با امکانات موجود می‌تواند راهکار مناسبی جهت بهبود شرایط باشد. چرا که بسیاری از تجهیزات مانوری از سال‌های قبل در شبکه نصب شده و ممکن است با توجه به توسعه ساختار شبکه و رشد بارها در حال حاضر در مکان مناسبی قرار نداشته باشند.

با توجه به چالش‌ها و محدودیت‌های بیان شده ارائه الگوریتم مکانیابی بهینه جهت درج تجهیزات مانوری (نظیر سکسیونرها، ریکلوزرها و ...) در فیدرهای توزیع ۲۰ کیلوولت شهرستان کبودر آهنگ ضروری است. از این رو، این مقاله که خروجی نتایج عملی یک پروژه تحقیقاتی در شرکت توزیع نیروی برق استان همدان می‌باشد، هدف ارائه الگوریتمی مناسب جهت جایابی نقاط مانور شبکه شهرستان کبودر آهنگ به منظور ارتقاء شاخص‌های قابلیت اطمینان آن می‌باشد. با توجه به وجود اطلاعات مکانی و توصیفی تجهیزات در سامانه GIS و با توسعه برنامه‌های کامپیوتری، بازآرایی شبکه و تعیین نقاط مانور بهینه در شبکه شهرستان کبودر آهنگ انجام شده است.

۲. تابع هدف و الگوریتم پیشنهادی

مسئله مورد بحث در این مقاله، یک مسئله بهینه‌سازی می‌باشد که متغیرهای تصمیم‌گیری مکان بهینه کلیدهای مانوری در فیدرهای مختلف می‌باشد. تابع هدف مورد

کلیدهای جداکننده و بیشینه کردن قابلیت اطمینان حل می‌کند. با در نظر گرفتن ماهیت متغیر منابع تجدیدپذیر انرژی و نیز تغییرات بار، تاثیر مکان کلیدهای جداکننده بر فرایند بازیابی بیش از پیش آشکار می‌گردد. در این مرجع برای ارزیابی قابلیت اطمینان از شاخص انرژی تامین نشده مورد انتظار (EENS) استفاده شده و الگوریتم ازدحام ذرات برای تعیین مکان بهینه کلیدها به کار رفته است و همچنین محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان با روش آماری مونت کارلو صورت گرفته است.

مرجع [۵] روشی را برای تعیین ترکیب و مکان بهینه کلیدهای اتوماتیک ارائه می‌دهد. منظور از ترکیب این است که چه تعدادی از کلیدهای اتوماتیک از نوع کلید جداکننده و چه تعدادی از نوع کلید ارتباطی باشند. کلید جداکننده به منظور تقسیم بارها در یک فیدر توزیع برق و نیز ایزوله کردن بخش تحت خطا تعبیه شده‌است. کلید ارتباطی عموماً به منظور اتصال فیدرهای مختلف به یکدیگر استفاده می‌شود. از این الگوریتم نیز می‌توان برای طراحی یک سیستم توزیع خودکار در یک ناحیه جدید و نیز به منظور بهینه کردن ترکیب و مکان کلیدهای اتوماتیک در شبکه‌ی توزیع اتوماسیون موجود استفاده کرد.

مرجع [۶] مدلی را برای ادغام احتمال سوء عملکرد سکشنالایزر در مسئله جایابی سکشنالایزرها ارائه می‌دهد. این مدل با هدف به حداقل رساندن کل هزینه‌های سکشنالایزر و همچنین هزینه‌های خاموشی مشترکین انجام می‌شود. مدل پیشنهادی به صورت عدد صحیح مختلط (MIP) فرموله شده است. یک روش معمول مدیریت خطا شامل سه اقدام عمده است - یعنی تعیین عیب، جداسازی منطقه خراب و بازیابی خدمات به مشتریان آسیب دیده - سکشنالایزرها می‌توانند مناطق سالم را از قسمت خراب جدا کنند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که استقرار سکشنالایزر در سیستم‌های توزیع ممکن است تأثیرات قابل توجهی در بازیابی سرویس داشته باشد.

پژوهش ارائه شده در [۷] اهمیت تاثیر خرابی کلید در مسئله جایابی و تخصیص کلید در یک شبکه را نشان می‌دهد. برای این کار یک مدل جدید مبتنی بر مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط (MIP) تأثیرات خرابی

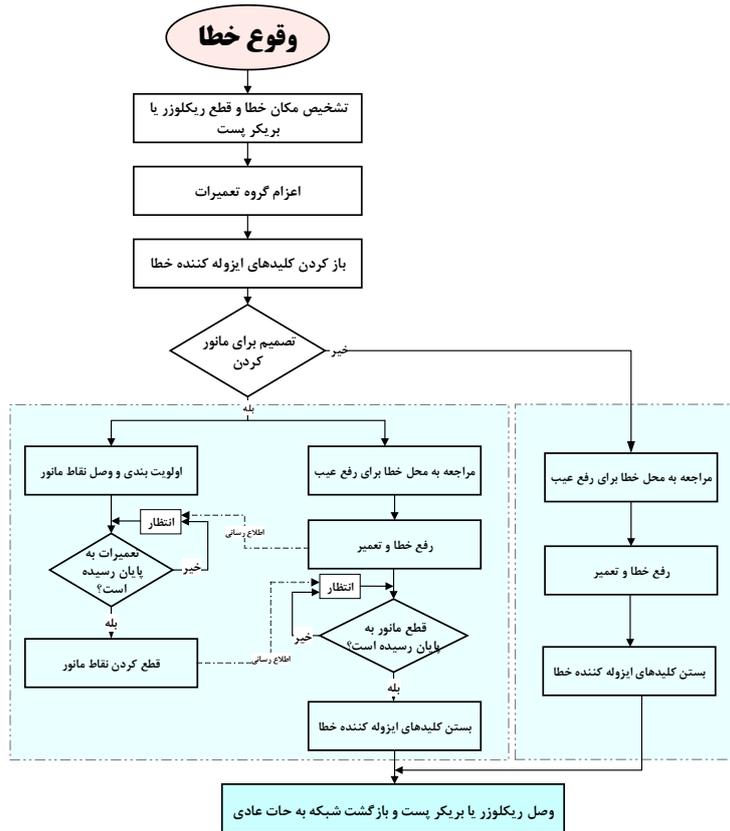
۳. پیاده سازی مسئله

منظور پیاده سازی هدف مورد نظر، ابتدا اطلاعات مورد نیاز از شبکه فشار متوسط موجود در نرم افزار GIS توسط زبان برنامه نویسی پایتون استخراج شده و به منظور استفاده از این اطلاعات در نرم افزار پردازش‌هایی روی آنها صورت گرفته است. لازم به ذکر است که به طور معمول در نرم افزار GIS مختصات المان‌ها در جدول‌های مشخصات توصیفی ذخیره نمی‌شود، لذا در این مرحله به صورت اتوماتیک و توسط برنامه نوشته شده مختصات‌ها برای همه لایه‌های مورد نیاز محاسبه شده و در برنامه مورد استفاده قرار خواهد گرفت. همچنین قبل از استخراج اطلاعات توسط برنامه وجود و فعال بودن لایه‌های مورد نیاز به منظور انجام محاسبات جایابی تجهیزات مانوری چک می‌شود. در صورت عدم وجود هر یک از لایه‌های مورد نیاز این مورد به کاربر گزارش داده می‌شود و اجرای برنامه نیز متوقف می‌شود.

جهت جایابی نقطه بهینه نصب انواع کلید، نیاز به محاسبه انرژی توزیع نشده در شبکه می‌باشد. انجام محاسبه انرژی توزیع نشده نیازمند اطلاعات مقدار و محل بارها، اطلاعات ساختار شبکه، اطلاعات نرخ خرابی و تعمیر تجهیزات مختلف شبکه، اطلاعات نوع و مکان نصب انواع کلید می‌باشد. سپس با توجه به روند تشخیص، تعمیر و مانور شبکه و مدت زمان این روند و میزان توان از دست رفته انرژی توزیع نشده محاسبه خواهد شد. در ادامه، نحوه استخراج اطلاعات لازم و الگوریتم‌های استفاده شده جهت جایابی بهینه نقاط مانور تشریح و براساس آن برنامه‌های کامپیوتری لازم در محیط پایتون توسعه داده شده است.

استفاده در این پروژه حداقل سازی انرژی توزیع نشده در کل شبکه مورد مطالعه به ازای رخداد خطا در همه شاخه های شبکه و با در نظر گرفتن ترتیب مناسب عملکرد کلیدهای حفاظتی، ایزولاسیون خطا توسط کلیدهای موجود، برقرار کردن بخش های بی برق توسط نقاط مانور تا زمان انجام تعمیرات و سرانجام بازگشت شبکه به شرایط عادی بر اساس الگوریتم ارائه شده در شکل ۱ می باشد. تمامی مراحل جایابی با نوشتن برنامه کامپیوتری در محیط Python و Matlab انجام شده است. مراحل انجام جایابی به شرح زیر می‌باشد:

- استخراج اطلاعات تجهیزات مختلف شبکه از سامانه GIS
- استخراج اطلاعات بارها، قابلیت اطمینان، حساسیت بارها از فایل‌های Excel
- فراخوانی الگوریتم شناسایی گراف شبکه و شماره بندی باسها و شاخه ها
- مدلسازی بار و تخصیص بار هر یک از باسها
- شناسایی کلیدهای موجود و نوع آنها و محل نصب آنها و تخصیص شماره شاخه محل اتصال
- شناسایی نقاط مانور و فیدرهای مورد مانور آنها
- محاسبه شاخصهای نرخ قطعی و مدت زمان تعمیر هر یک از شاخه ها با توجه به اطلاعات فیدرها
- بررسی شبکه اولیه به منظور عدم وجود نقاط جزیره ای و اشکالات شبکه و اصلاح آنها
- محاسبه ENS شبکه در حالت پایه
- انجام جایابی بهینه نقاط مانور
- استخراج نتایج و میزان بهبود حاصله



شکل ۱. روندنمای رفع خطا و تعمیر شبکه در شبکه توزیع

۱.۳ مدلسازی بار

مدلسازی بار یکی از ضروری ترین مباحث برای تحلیل قابلیت اطمینان سیستم قدرت می باشد. برآورد دقیق میزان بار هر یک از مصرف کننده ها به منظور محاسبه مقدار انرژی توزیع نشده در اثر اتفاقات مختلف مورد استفاده قرار می گیرد. از آنجایی که هدف این مقاله جایابی کلیدها به منظور حداقل سازی انرژی از دست رفته می باشد نیاز به اطلاعات تا حد امکان دقیق از بار شبکه داریم. شبکه مورد مطالعه در این مقاله شبکه فشار متوسط شهرستان کبودرآهنگ می باشد. بار مد نظر در محاسبات قابلیت اطمینان این شبکه میزان توان مصرفی هر یک از ترانس های توزیع می باشد. در این شبکه ترانس های توزیع در سرتاسر شبکه قرار گرفته و مصرف کننده های مختلف را تغذیه می نمایند. هر ترانس در سیستم GIS دارای اطلاعاتی نظیر طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و کدشناسایی محل نصب می باشد که با استفاده از آن ها موقعیت مکانی ترانس قابل شناسایی می باشد. بر روی هر ترانس ممکن است چندین بار مختلف متصل شده باشد که در سیستم GIS با استفاده از کد شناسایی محل نصب

می توان ترانس محل اتصال بار را تشخیص داد. بارها به دو دسته بندی کلی بارهای دیماندی و بارهای غیر دیماندی (عمومی) تقسیم می شوند. بارهای دیماندی دارای کنتور فهاام بوده و اطلاعات انرژی مصرفی بار در بازه های زمانی مشخص را ثبت نموده و قابل دسترسی می باشد. اما بارهای عمومی فاقد اندازه گیری هوشمند هستند. اطلاعات به منظور محاسبات بار شامل موارد زیر است:

- اطلاعات محل نصب مشترکین در سیستم GIS شامل رمز رایانه و کد شناسایی محل نصب مشترک که با استفاده از آن می توان ترانس تغذیه کننده آن ها را تشخیص داد.

- مشخصات فنی ترانسفورماتورهای توزیع شامل ظرفیت نامی و کد شناسایی محل نصب.

- میزان مصرف انرژی ماهانه مشترکین دیماندی که اطلاعات آن از سامانه مشترکین قابل دسترسی است.

- میزان جریان عبوری از ابتدای فیدرهای توزیع در این مقاله مدل سازی بار با استفاده از ترکیب اطلاعات جریان فیدر و مشترکین صورت گرفته است. در این روش در ابتدا اطلاعات مشترکین دیماندی استخراج می شود و

باس‌های همسایه نیز در مراحل بعدی در نظر گرفته خواهند شد. همچنین، رؤس شروع با فرض شروع از feederها همواره به عنوان باس در نظر گرفته خواهند شد. در طی اجرای الگوریتم مطرح شده روی شبکه ورودی، با فرض شروع از نقاط feederها برای اجرای الگوریتم DFS، همواره به نقاطی خواهیم رسید که به نوعی به نقاط feederهای شبکه متصل هستند. در این حالت، الگوریتم در پایان کار لیست باس‌ها و شاخه‌های دیده نشده در روند کار را بررسی کرده، و آن را در قالب لیست زیر شبکه‌های جزیره‌ای گزارش می‌دهد. همینطور، روند مشابهی برای پیدا کردن سویچ‌های جزیره شده انجام شده و لیست این موارد نیز در خروجی ارائه می‌گردد.

در شکل ۲ جزئیات روند کار الگوریتم ارائه شده است. برای تعیین bus و branchها، طبق فلوچارت در هر مرحله در صورتی که parent bus ای داشتیم و به point جدید رسیدیم، این point در صورت داشتن ۲ عدد اتصال، skip شده، و در غیر این صورت به عنوان bus جدیدی در نظر گرفته خواهد شد. همچنین، در این حالت branch بین راس موجود و parent bus تعیین شده به عنوان یک branch جدید از شبکه در نظر گرفته خواهد شد.

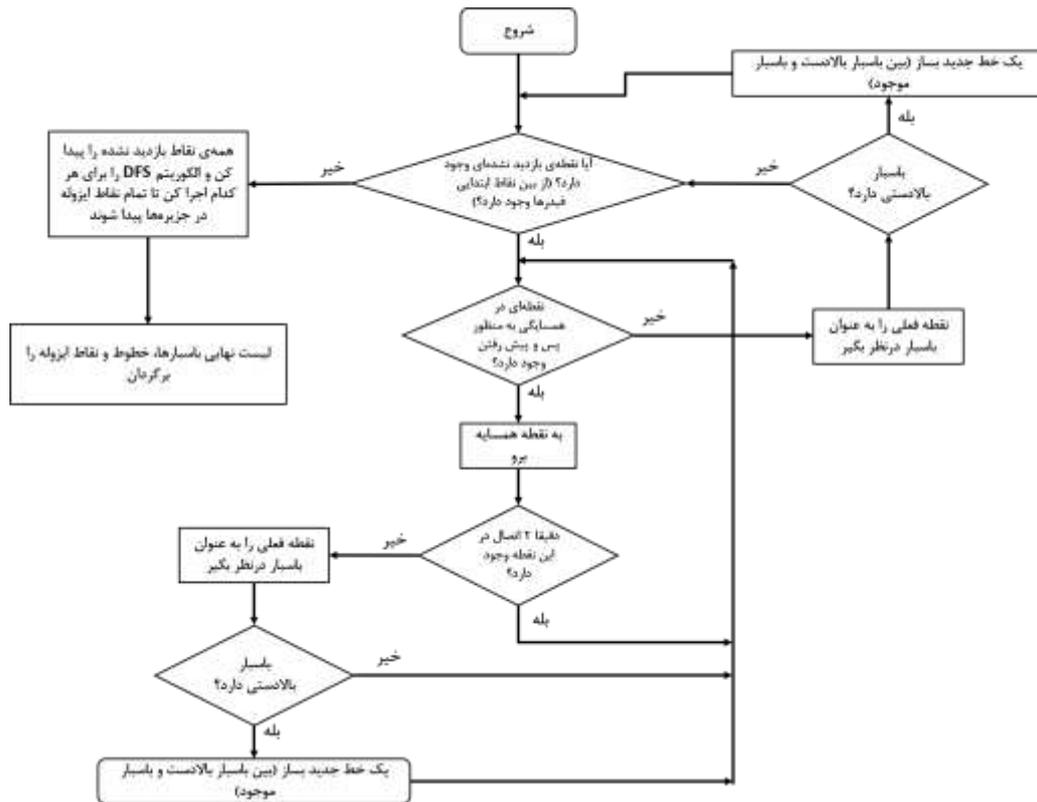
در صورتی که در مرحله‌ای parent bus ای وجود نداشت، از بین feederهای بازدید نشده یک مبدأ جدید برای اجرای DFS انتخاب می‌کنیم. در اینجا، اگر مبدأ جدیدی از بین نقاط feeder که بازدید نشده باشد پیدا نشود، به سراغ نقاط random دیگر برای ادامه اجرای الگوریتم DFS می‌رویم، با این تفاوت که در این حالت نقاط پیدا شده را به عنوان نقاط isolated در نظر می‌گیریم.

توان ترانس‌هایی که فقط شامل این مشترکین دیماندی باشند، تعیین می‌شود. سپس مجموع توان مصرفی بارهای دیماندی از توان ابتدای فیدر کم شده و این توان به نسبت ظرفیت نامی ترانس‌های شامل بارهای عمومی تقسیم شده و به توان آن‌ها اضافه می‌شود. در این روش، تا حد امکان بر اساس اطلاعات موجود خطای محاسبات بار کاهش پیدا می‌کند و می‌توان اطمینان پیدا کرد که به هر ترانس به میزان بار آن توان اختصاص داده شده است. همچنین، در این مقاله، برای بارهای مختلف چهار سطح اهمیت شامل عادی، مهم، خیلی مهم و بحرانی برای بار در نظر گرفته شده است.

۲.۳. استخراج اطلاعات از GIS

در این بخش، با استفاده از الگوریتمی که طراحی و پیاده سازی گردیده است، شبکه داده شده آنالیز شده، باس و شاخه‌ها تشخیص داده شده و در نهایت اشکالات شبکه از نظر داشتن باس‌ها، شاخه‌ها و کلیدهای جزیره‌ای گزارش داده می‌شود. برای ساخت گراف شبکه، الگوریتم ارائه شده گراف شبکه داده شده را با استفاده از ورودی line های گرفته شده از ArcMap می‌سازد. روند این عملیات به این شکل است که با شروع راس‌هایی غیر متصل در شبکه و پیشروی روی شبکه با مبدا این رؤس، تمامی busها و branchهای شبکه دیده شده، و به لیست نهایی ارائه شده اضافه می‌شوند.

برای ایجاد و گزارش لیست bus و branchها، الگوریتم مورد استفاده با رسیدن به هر باس و شاخه، آن را به لیست نهایی متناظر اضافه می‌کند. نحوه انجام این کار به این شکل است که در صورت رسیدن به یک point در نقشه ArcMap داده شده که به دقیقاً ۲ عدد line متصل است، رأسی در گراف برای این point اضافه نکرده، و این نقطه را در ادامه branch قبلی فرض می‌کند. در غیر این صورت، راس (باس) جدیدی متناظر با این point در گراف اضافه شده، و branchهای متناظر بین این باس و



شکل ۲. فلوجارت مراحل تشخیص توپولوژی شبکه

۴. نتایج

در این بخش نتایج اجرای برنامه کامپیوتری نوشته شده جهت جایابی نقاط مانور شبکه تشریح خواهد شد. در شبکه موجود شهرستان کبودرآهنگ تعداد ۲۵ نقطه مانور مطابق شکل ۳ موجود می باشد. پس از رفع مشکلات مختلف شبکه، برنامه نوشته شده اجرا شده و نتایج استخراج گردیده است. لازم به ذکر است که با توجه به بزرگی ابعاد شبکه و تعداد زیاد باسبارها، شاخه ها، کلیدها و ... محاسبات حتی با به کارگیری کامپیوترهای پرسرعت موجود بسیار زمان بر بود. در زمان بسیار طولانی انجام شده و مقدار شاخص انرژی توزیع نشده سالانه به مقدار ۴۴۲۸۸ مگاوات ساعت محاسبه شد.



شکل ۳. موقعیت نقاط مانور اولیه در شبکه

با جایابی نمودن تمامی ۲۵ کلید مانوری موجود در شبکه سعی در یافتن بهترین مکان برای نقاط مانور با هدف دستیابی به کمترین انرژی توزیع نشده با رعایت قیود فنی شبکه گردید. همانگونه که اشاره شد جهت دستیابی به بهترین نتیجه تمامی حالت های ممکن اتصال نقاط مانور بین دو فیدر مورد محاسبه و مقایسه قرار گرفته و بهترین مکان معرفی گردیده است. با توجه به تعداد زیاد حالت های ممکن و ابعاد بزرگ شبکه محاسبات بسیار

۶. منابع

- [۱] R. Billinton and S. Jonnavithula, "Optimal switching device placement in radial distribution systems," *IEEE transactions on power delivery*, vol. ۱۱, no. ۳, pp. ۱۶۴۶-۱۶۵۱, ۱۹۹۶.
- [۲] 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. ۲۱, no. ۳, pp. ۱۲۰۹-۱۲۱۷, ۲۰۰۶.
- [۳] A. Abiri-Jahromi, M. Fotuhi-Firuzabad, M. Parvania, and M. Mosleh, "Optimized sectionalizing switch placement strategy in distribution systems," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. ۲۷, no. ۱, pp. ۳۶۲-۳۷۰, ۲۰۱۱.
- [۴] E. Jalilzadeh, S. M. Miri-Larimi, and M.-R. Haghifam, "Optimal placement of sectionalizing switches in distribution network with presence of renewable energy resources," in *CIREC ۲۰۱۲ Workshop: Integration of Renewables into the Distribution Grid*, ۲۰۱۲, pp. ۱-۴: IET.
- [۵] I.-h. Lim, T. Sidhu, M. Choi, S. Lee, and B. Ha, "An optimal composition and placement of automatic switches in DAS," *IEEE transactions on power delivery*, vol. ۲۸, no. ۳, pp. ۱۴۷۴-۱۴۸۲, ۲۰۱۳.
- [۶] M. Farajollahi, M. Fotuhi-Firuzabad, and A. Safdarian, "Optimal placement of sectionalizing switch considering switch malfunction probability," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. ۱۰, no. ۱, pp. ۴۰۳-۴۱۳, ۲۰۱۷.
- [۷] M. Farajollahi, M. Fotuhi-Firuzabad, and A. Safdarian, "Sectionalizing switch placement in distribution networks considering switch failure," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. ۱۰, no. ۱, pp. ۱۰۸۰-۱۰۸۲, ۲۰۱۸.

زمانبری توسط کامپیوترهای پر سرعت انجام گردید و پس از یافتن نقاط بهینه به منظور جابه‌جایی نقاط مانور، مقدار شاخص انرژی توزیع نشده به عدد ۳۹۱۸۰ مگاوات ساعت کاهش یافت که نشان دهنده ۱۱/۵۳ درصد بهبود است. بعد از انجام محاسبات و دستیابی به میزان انرژی توزیع نشده بهینه، مکان‌های نصب نقاط بهینه مانور از برنامه استخراج گردیده است. با مقایسه نقاط بهینه با نقاط اولیه مانور، ملاحظه می‌گردد که هفت نقطه مانور با شماره‌های ۷، ۹، ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۲۰ و ۲۴ نیازی به جابجایی نداشته و در نقطه مناسبی قرار دارند. ولی سایر ۱۸ نقطه مانور در صورت مهیا بودن شرایط اجرایی، بهتر است جابجا شوند. شکل ۴ پراکندگی این نقاط بهینه جدید در سطح شبکه را نشان می‌دهد.



شکل ۴. پراکندگی نقاط مانور بهینه در شبکه

۵. نتیجه گیری

هدف این مقاله تعیین نقاط بهینه مانور شبکه توزیع فشار متوسط شهرستان کبودر آهنگ می باشد. پس از جمع آوری داده‌های لازم از بخش‌های مختلف، مطالعه منابع علمی موجود، توسعه برنامه‌های کامپیوتری و انجام شبیه‌سازی بر روی شبکه نتایج حاصل شده در این مقاله به شرح زیر می‌باشد.

- تعداد ۲۵ نقطه مانور بین فیدرهای فشار متوسط شهرستان کبودر آهنگ وجود دارد.
- طبق خروجی برنامه از این تعداد ۷ نقطه مانور در جای مناسبی قرار گرفته‌اند.
- جابجایی و تغییر مکان ۱۸ نقطه مانوری باعث بهبود ۱۱ درصدی شاخص ENS می‌گردد.