Journal of Modeling in Engineering 23 (2025) 175-188

Semnan University

Journal of Modeling in Engineering

Journal homepage: https://modelling.semnan.ac.ir/

ISSN: 2783-2538

Research Article

Identifying the Basic Challenges in Determining the Optimal Tie Points of Real Distribution Networks and Providing a Solution

Hamed Shadfar [a], Asghar Akbari Foroud [b,*]

[a] *Semnan Province Electric Power Distribution Company, Semnan, Iran*
[b] *Electrical and Computer Engineering Faculty, Semnan University, Semnan, Iran*

PAPER INFO

Paper history:

Received: 2024-06-06
Revised: 2024-10-21
Accepted: 2024-11-04

Keywords:

Network reconfiguration;
Distributed generation;
Losses;
Medium voltage distribution network;
Tie points.

ABSTRACT

One of the factors of high losses in the distribution network is its radial utilization. Therefore, reducing losses in distribution networks is one of the goals of operators. For this purpose, various measures have been thought out, among which, network reconfiguration is the most economical and fastest possible method. This process can reduce losses in the distribution network by adjusting the load of medium voltage distribution feeders. In addition, the increasing penetration of distributed generation (DG) can play a significant role. Finding suitable tie points in real distribution networks is difficult due to the large search space in which the number of impossible answers is much higher than the possible answers. This article aims to provide a method to find the optimal tie points among the existing tie points in the real medium voltage distribution in the presence/absence of DGs to reduce network losses. For this purpose, first, the basic challenges to solve this problem are identified and then an effective strategy is used based on the innovative dynamic switching set heuristic algorithm (DSSHA) considering the network constraints as a solution to the problem. Using this algorithm will limit the search space, reduce the volume of calculations and save time. This algorithm is written as a module with Python programming language, which can be implemented on any distribution network.

DOI: https://doi.org/10.22075/jme.2024.34362.2680

© 2025 Published by Semnan University Press.
This is an open-access article under the CC-BY 4.0 license.(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

*** Corresponding author.**
E-mail address: aakbari@semnan.ac.ir

How to cite this article:
Shadfar, H. and Akbari Foroud, A. (2025). Identifying the Basic Challenges in Determining the Optimal Tie Points of Real Distribution Networks and Providing a Solution. Journal of Modeling in Engineering, 23(Special Issue 81), 175-188. doi: 10.22075/jme.2024.34362.2680

مقاله پژوهشی

شناسایی چالش‌های اساسی در تعیین نقاط بهینه مانوری شبکه‌های توزیع واقعی و ارائه راهکار

حامد شادفر[۱]، اصغر اکبری فرود[۲،*]

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۱۷
بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۳۰
پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۸/۱۴

واژگان کلیدی:
تجدید آرایش شبکه،
تولید پراکنده،
تلفات،
شبکه توزیع فشار متوسط،
نقاط مانور.

چکیده

یکی از عوامل تلفات بالا در شبکه توزیع، بهره‌برداری شعاعی از آن است. از این رو مساله کاهش تلفات در شبکه‌های توزیع یکی از اهداف بهره‌برداران است. برای این منظور، تدابیر مختلفی اندیشیده شده است، که از آن بین، تجدید آرایش شبکه، اقتصادی‌ترین و سریع‌ترین روش ممکن است. این فرایند می‌تواند با تعدیل بار فیدرهای توزیع فشار متوسط، باعث کاهش تلفات در شبکه توزیع گردد. علاوه بر این، نفوذ هر چه بیش‌تر تولیدات پراکنده می‌تواند در این راستا نقش بسزایی داشته باشد. یافتن نقاط مانوری مناسب در شبکه‌های توزیع واقعی، به دلیل فضای جستجوی بسیار بزرگ که تعداد پاسخ‌های ناممکن آن بسیار بیشتر از پاسخ‌های ممکن است، کاری دشوار است. هدف این مقاله، ارائه روشی برای پیدا کردن نقاط بهینه مانوری از بین نقاط مانوری موجود در شبکه فشار متوسط واقعی در حضور/ عدم حضور تولیدات پراکنده به منظور کاهش تلفات شبکه است. بدین منظور، ابتدا چالش‌های اساسی برای حل این مساله شناسایی می‌شود و سپس از یک راهبرد موثر بر پایه الگوریتم ابتکاری مجموعه کلیدزنی دینامیکی[۲](DSSHA) با در نظر گرفتن قیود شبکه به عنوان راهکار حل مساله استفاده می‌شود. استفاده از این الگوریتم منجر به محدودکردن فضای جستجو، کاهش حجم محاسبات و صرفه‌جویی در زمان خواهد شد. این الگوریتم به صورت یک ماژول با زبان برنامه‌نویسی پایتون نوشته شده است که بر روی هر شبکه توزیع قابل اجراست.

DOI: https://doi.org/10.22075/jme.2024.34362.2680

© 2025 Published by Semnan University Press.
This is an open-access article under the CC-BY 4.0 license.(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

۱- مقدمه

شبکه توزیع انرژی الکتریکی گسترده‌ترین بخش سیستم قدرت به شمار می‌رود. این شبکه واسط بین مصرف‌کننده و سیستم انتقال و تولید می‌باشند و به سبب نزدیکی به مصرف‌کننده از حساسیت خاصی برخوردار است. لذا درنظر گرفتن ملاحظات مرتبط با قابلیت اطمینان، پایداری، کیفیت توان، تلفات و غیره در آن از اهمیت فراوانی برخوردار است[۱-۲].

پیشرفت‌های اخیر در حوزه تکنولوژی منابع تجدیدپذیر به همراه افزایش تقاضا و نیاز به انرژی پاک و ارزان باعث گرایش روزافزون به تولید پراکنده شده است و به عنوان یکی از محورهای توسعه شبکه های قدرت به شمار می‌رود. بنابراین با توجه به روند رو به رشد استفاده از منابع تولید پراکنده در کشورهای مختلف دنیا و از جمله ایران و تأثیر این منابع در بهره‌برداری، حفاظت و کنترل سیستم‌های توزیع، بررسی تأثیرات بالقوهٔ استفاده از این منابع یکی از

* پست الکترونیک نویسنده مسئول:aakbari@semnan.ac.ir
۱. کارشناس عملیات مانور و دیسپاچینگ، شرکت توزیع نیروی برق استان سمنان، سمنان، ایران
۲. دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

[2] Dynamic switching set heuristic algorithm

شادفر, حامد و اکبری فرود, اصغر . (۱۴۰۴). شناسایی چالش‌های اساسی در تعیین نقاط بهینه مانوری شبکه‌های توزیع واقعی و ارائه راهکار. مدل سازی در مهندسی, ۲۳(شماره ویژه ۸۱), ۱۷۵-۱۸۸. doi: 10.22075/jme.2024.34362.2680

ضروریات اساسی اتصال و یکپارچگی این منابع با شبکه های توزیع است[۳-۴].

مساله کاهش تلفات انرژی الکتریکی به دلایل زیادی همچون افزایش درآمد شرکت‌های توزیع، افزایش بهره‌وری انرژی، به تعویق انداختن روند پیری تجهیزات شبکه، کاهش روند گرم‌شدن زمین و غیره مورد توجه بسیاری از محققین صنعت برق قرار گرفته است. برای کاهش تلفات در سیستم توزیع تدابیر مختلفی اندیشیده شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به مواردی از جمله خازن‌گذاری در شبکه، بالا بردن سطح ولتاژ، مدیریت بار ترانسفورماتورهای توزیع، اصلاح و نوسازی در شبکه، تجدید آرایش شبکه و غیره اشاره کرد.

از آن‌جایی که تمامی راهکارهای بیان شده مستلزم صرف وقت و هزینه است، لذا اقتصادی‌ترین و سریع‌ترین راه‌حلی که امکان برطرف‌کردن مشکلات مطرح شده را در اکثر موارد فراهم می‌آورد و نیز باعث استفاده حداکثر و بهینه از امکانات موجود می‌گردد، در صورت امکان، تجدید آرایش شبکه‌های توزیع است. تجدید آرایش شبکه توزیع به منظور کم کردن تلفات عبارت است از تغییر ساختار شبکه به گونه‌ای که اولا قیود و محدودیت‌های شبکه حفظ شود و ثانیا تلفات توان در شبکه حداقل گردد.

تلفات در شبکه توزیع به دلیل بهره‌برداری شعاعی، زیاد است و نامتوازن بودن بار فیدرها در ساعات مختلف نیز باعث افزایش بیشتر تلفات می‌گردد. بازآرایی شبکه از طریق فرآیند مانور می‌تواند به متوازن سازی بار فیدرهای فشارمتوسط کمک کند و این خود می‌تواند باعث کاهش تلفات گردد. تاکنون مطالعات زیادی بر روی بازآرایی شبکه توزیع انجام شده است. [۵]، به بازآرایی شبکه با استفاده از فرآیند مانور با استفاده از الگوریتم ژنتیک با هدف کاهش تلفات توان اکتیو می‌پردازد علاوه بر این به منظور کاهش بیش‌تر تلفات، تولیدات پراکنده به شبکه اضافه شده است. [۶] از الگوریتم مسیریاب[۳] (PFA) برای پیکربندی مجدد شبکه در حضور تولیدات پراکنده برای کاهش تلفات انرژی پیشنهاد می‌کند. روش پیشنهادی از بار متوسط و توان متوسط تولیدات پراکنده به جای منحنی‌های بار و تولید آن‌ها استفاده می‌کند.[۷] روشی جدیدی مبتنی بر فازی برای بهبود تلفات توان در سیستم‌های توزیع با ترکیب بار و عدم قطعیت‌های تولیدات تجدیدپذیر پیشنهاد می‌کند. علاوه بر این، از یک الگوریتم ژنتیک اصلاح شده به منظور حفظ ساختار شعاعی شبکه و کاهش زمان محاسبه تکنیک پیشنهادی استفاده می‌شود. [۸] الگوریتمی جهت پیکربندی مجدد شبکه توزیع برق با هدف کاهش تلفات با حفظ پروفیل ولتاژ و میزان بارگزاری خطوط و پست ارائه شده است. الگوریتم پیشنهادی نیاز به عملیات ماتریسی را کاملاً از بین می‌برد و تمام عملیات را مستقیماً بر روی گراف سیستم توزیع اجرا می‌کند. در [۹] همانند [۸]، ابتدا همه کلیدها باز می‌شوند. سپس، در هر مرحله، کلیدی که کم‌ترین افزایش در تابع هدف ایجاد کند، بسته می‌شود. تابع هدف به صورت نسبت افزایش تلفات به بار اضافه‌شده به سیستم تعریف شده است. در [۱۰] تلفات اهمی براساس بخش‌های اکتیو و راکتیو جریان به دو بخش اکتیو و راکتیو تقسیم شده است و در ابتدا تلفات بخش اکتیو از طریق بازآرایی شبکه کمینه شده، سپس در شبکه منتجه، از عملیات بازآرایی با استفاده از جایگذاری خازن به کمینه‌کردن تلفات راکتیو پرداخته می‌شود. [۱۱] علاوه بر تجدید آرایش شبکه قادر به بازیابی شبکه نیز بوده و در حالت بازیابی نیز آرایش با کم‌ترین تلفات را پیدا می‌کند. ابتدا همه کلیدهای حالت معمولی باز، بسته می‌شوند و یک شبکه غربالی ایجاد می‌شود. سپس با استفاده از داده‌های پخش‌بار در شبکه حاصل،کلید مناسب در هر حلقه جهت باز کردن تعیین شده و با انجام این کار برای تمام حلقه‌ها، شبکه مجدداً به صورت شعاعی باز می‌گردد. [۱۲] یک الگوریتم مبتنی بر استدلال فازی اکتشافی برای پیکربندی مجدد شبکه، با اهداف کاهش تلفات، متعادل‌سازی بار، بهبود پروفیل ولتاژ، کم‌ترین وقفه در سرویس و حداقل اقدامات سوئیچینگ بر روی برخی از شبکه‌های آزمایشی و بخشی از شبکه فشار متوسط اصفهان استفاده شده است. در [۱۳] با استفاده از الگوریتم ژنتیک تخصصی چو بیزلی[۴] (SGACB) برای حل مساله تجدید آرایش شبکه با هدف کاهش تلفات توان و درنظرگرفتن قیودی از جمله حفظ آرایش شعاعی شبکه، ایزوله نشدن بار، ولتاژ و جریان پیشنهاد شده است. [۱۴] یک روش مبتنی بر شبکه عصبی اصلاح‌شده را برای مساله پیکربندی مجدد با استفاده از داده‌های محاسبات پخش‌بار شبیه‌سازی آفلاین، بهترین گزینه کلیدزنی در شرایط بارگزاری‌شده با هدف کاهش تلفات فیدر سیستم توزیع پیشنهاد می‌کند. [۱۵] روشی بر پایه تئوری گراف و جبر خطی جهت تجزیه شبکه با هدف

[3] Path finder algorithm (PFA)

[4] Specialized genetic algorithm of Chu-Beasley

کاهش تلفات توان و درنظرگرفتن قیودی چون ولتاژ گره‌ها و جریان خطوط ارائه می‌کند. در این روش، فیدرهایی که باید به عنوان نقاط مانور انتخاب شوند به کمک قوانین تجزیه گراف تعیین می‌شوند و درنهایت آرایش بهینه تعیین می‌گردد. [۱۶] یک الگوریتم جدید برای حل مشکل پیکربندی مجدد شبکه‌های توزیع با استفاده از بهینه‌سازی ازدحام ذرات باینری انتخابی بهبود یافته[5] (IS-BPSO) با هدف کاهش تلفات توان ارائه می‌کند. روش پیشنهادی تابع سیگموئید[6] جدیدی را ارائه می‌کند که قادر به ارتقاء کنترل در نرخ تغییر ذرات و بهبود همگرایی نتایج است. الگوریتم پیشنهادی در دو سیستم تست توزیع انرژی دارای ۳۳ شینه و ۹۴ گره استفاده شده است. [۱۷] یک روش پیکربندی مجدد بر اساس الگوریتم جستجوی فاخته[7] (CSA) برای به حداقل رساندن تلفات توان اکتیو و به حداکثر رساندن مقدار ولتاژ پیشنهاد می‌کند. روش پیشنهادی بر روی سه سیستم شبکه توزیع نمونه مورد قبول بوده است. [۱۸] یک الگوریتم جستجوی هارمونی متااکتشافی(HSA) برای پیکربندی مجدد و شناسایی مکان‌های بهینه برای نصب واحدهای تولید پراکنده در یک شبکه توزیع با هدف کمینه کردن تلفات توان اکتیو و بهبود مشخصات ولتاژ در سیستم توزیع ارائه می‌کند. این روش بر روی سیستم‌های توزیع شعاعی ۳۳ شینه و ۶۹ شینه در سه سطح بار مختلف آزمایش شده است و عملکرد قابل قبول و اثربخشی روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. [۱۹] از الگوریتم ژنتیک اصلاح‌شده برای پیکربندی مجدد شبکه توزیع به منظور کاهش تلفات توان و بهبود قابلیت اطمینان استفاده می‌کند. اثربخشی روش پیشنهادی بر روی سیستم های توزیع شعاعی ۳۳ شینه، ۶۹ شینه و ۱۳۶ شینه نشان داده شده است. پیکربندی مجدد سیستم توزیع با هدف کاهش تلفات با استفاده از الگوریتم سیستم کلونی مورچه‌ها استفاده می‌شود در این الگوریتم محدودیت های جریان، انحراف ولتاژ و توان انتقال یافته از طریق خط باید برآورده شوند. یک شبکه توزیع متشکل از ۱۴ شین با سه فیدر، ۱۹ شاخه و ۱۱ بار به عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شده است. نتایج به طور مثبت با تشکیل یک شبکه بهینه برجسته می‌شوند[۲۰]. در اغلب مطالعات تجدید آرایش شبکه، به منظور ساده‌سازی مساله و کوچک‌کردن فضای جستجو شبکه موردمطالعه یا یک شبکه غیر واقعی و کوچک بوده یا بخش کوچکی از یک شبکه واقعی در نظر گرفته شده است. شبکه‌های غیرواقعی که معمولا شبکه‌های نمونه IEEE درنظر گرفته می‌شوند، علاوه بر محدودبودن فضای جستجو، بر پایه تئوری گراف و جبرخطی استوار بوده که از حیث بررسی قیود شبکه با مشکل بزرگی مواجه نخواهیم بود. در این مقاله به بررسی مساله تجدید آرایش یک شبکه واقعی با هدف کاهش تلفات پرداخته می‌شود. همان‌طور که می‌دانیم در یک شبکه واقعی ساختار و ساختار شبکه، تجربی است و این موضوع، بررسی قیود و محدودیت‌های شبکه را با مشکل مواجه می‌کند. همچنین به خاطر وسعت بالای شبکه، تعداد نقاط مانور بسیار زیاد خواهد شد و این مساله منجر به بزرگ‌شدن فضای جستجو، افزایش حجم محاسبات و صرف زمان زیاد برای پیداکردن آرایش‌های قابل‌قبول خواهد شد. برای حل این مسائل، از یک راهبرد موثر بر پایه الگوریتم ابتکاری مجموعه کلیدزنی دینامیکی[8](DSSHA) با در نظر گرفتن قیود شبکه استفاده می‌شود. استفاده از این الگوریتم منجر به محدودکردن فضای جستجو، کاهش حجم محاسبات و صرفه‌جویی در زمان خواهد شد.

ادامه این مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است: بخش دوم به بیان مساله، تشریح خلاء تحقیقاتی و نوآوری‌های روش پیشنهادی می‌پردازد. در بخش سوم نحوه بررسی قیود و محدودیت‌ها ارائه می‌شود. در بخش چهارم روند اجرای برنامه بیان شده است. در بخش پنجم به بررسی نتایج الگوریتم موردنظر پرداخته می‌شود و نهایتا در بخش ششم نتیجه‌گیری ارائه می‌شود.

۲- بیان مساله، خلاء تحقیقاتی و نوآوری‌های روش پیشنهادی

تجدید پیکربندی شبکه توزیع به منظور کم‌کردن تلفات با تغییر مناسب وضعیت کلیدهای سیستم میسر می‌شود. هدف، تعیین وضعیت کلیدها به گونه‌ای که کم‌ترین تلفات را در هر فیدر داشته باشیم. به دلیل باینری بودن وضعیت هر کلید و رابطه تابع هدف، با یک مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی پیچیده روبه‌رو هستیم.

انجام بازآرایی در یک شبکه توزیع فشار متوسط واقعی، مثلا در سطح یک شهرستان، دارای ویژگی‌ها و چالش‌هایی به

[5] Improved Selective Binary Particle Swarm Optimization (IS-BPSO)
[6] Sigmoid function
[7] Cuckoo search algorithm (CSA)
[8] Dynamic switching set heuristic algorithm

شرح زیر است:

۱. با توجه به ماهیت تغییر بار در شبکه، تعداد دفعات بازآرایی می‌تواند مثلا به ۲۴ مورد در شبانه روز هم برسد. به عبارت دیگر، هر ساعت یک بار. لذا زمان لازم برای اتخاذ تصمیم در مورد وضعیت کلیدها می‌تواند به یک ساعت تقلیل یابد. این بدین معنی است که الگوریتم انجام این فرایند باید نسبتا سریع باشد. البته لازم به ذکر است که انجام تعداد بیشتر دفعات بازآرایی در شبانه روز، علاوه بر دراختیار داشتن یک الگوریتم تصمیم گیری نسبتا سریع، به امکانات فنی مناسب در سطح شبکه نیز نیاز دارد.

۲. تعداد فیدرهای فشار متوسط در سطح منطقه مورد مطالعه (مثلا یک شهرستان) نسبتا زیاد است. مثلا در یک شهرستان متوسط می‌تواند ۴ پست فوق توزیع وجود داشته باشد که حدود ۵۰ فیدر فشار متوسط را تغذیه کنند و هر فیدر می‌تواند با ۳ تا ۴ فیدر دیگر نقاط مانوری داشته باشد. همچنین نقاط مانوری دو فیدر مجاور می‌تواند بیشتر از یک نقطه باشد. لذا، نمی‌توان یک دسته کوچک از فیدرها (مثلا سه فیدر) را از مجموعه کل فیدرها (مثلا ۵۰ فیدر) بصورت مجزا در نظر گرفت و برای آنها بازآرایی را مطالعه کرد؛ چرا که هر کدام از فیدرهای این دسته کوچک با فیدرهای دیگری که در این دسته قرار ندارند نقاط مانوری دارند و عملا مطالعه بازآرایی برای یک دسته کوچک، نتیجه قابل اجرا و مناسبی به دست نخواهد داد.

۳. با توجه به نکته مطرح شده در بند ۲، تعداد سناریوها بسیار زیاد و به عبارت دیگر، فضای جستجو بسیار بزرگ است و از سوی دیگر، به دلیل قید حفظ ساختار شعاعی شبکه در هر سناریو ممکن از بازآرایی، تعداد پاسخ‌های ممکن در برابر تعداد کل پاسخ‌ها ناچیز است و بدین ترتیب الگوریتم های جستجو، کار بسیار دشوار و زمانبری را در یافتن یک پاسخ مناسب (زیر بهینه) پیش‌رو دارند.

در این مقاله، با توجه بر این که مطالعه روی شبکه توزیع واقعی صورت می‌گیرد، یکی از چالش‌های اساسی که با آن رو به رو هستیم، وسعت بالای شبکه و بالطبع تعداد زیاد فیدرها و کلیدهای مانور موجود روی آن‌ها است که این موضوع نسبت به کارهای انجام‌شده در گذشته، مشکل را مضاعف می‌کند. برای حل این مشکل از یک راهبرد موثر بر DSSHA با در نظر گرفتن قیود مساله استفاده می‌شود. الگوریتم DSSHA، فرآیند تجدید آرایش را از یک ساختار شعاعی شبکه آغاز کرده و به قصد یافتن یک آرایش دیگر با تلفات کم‌تر، ادامه می‌دهد. به عبارت دیگر، در این روش آرایش شعاعی موجود شبکه به عنوان یک ساختار مرجع در نظر گرفته می‌شود که در آن وضعیت کلیدهای مانور روی هر فیدر با مجموعه‌ای از صفر و یک‌ها نشان داده شده است. در ادامه، با تغییر این صفر و یک‌ها و بروزرسانی آن‌ها (آرایش جدید) ایجاد شده و نهایتا آرایش بهینه با حداقل تلفات انتخاب می‌گردد. در این الگوریتم، تغییر وضعیت کلیدها بر مبنای شناسایی کلیدهای مانوری روی هر فیدر و ارتباط آن فیدر با سایر فیدرها صورت می‌گیرد. با این کار فضای جست‌وجو برای یافتن آرایش‌های قابل‌قبول بسیار کوچک‌تر شده و این امر منجر به کاهش حجم محاسبات و زمان برنامه خواهد شد. شرط توقف الگوریتم این است که اگر پس از بررسی ۱۰۰ آرایش قابل قبول، تلفات محاسبه شده اختلاف زیادی نداشته باشد، ۱۰ آرایش بهینه انتخاب شده و الگوریتم متوقف می‌شود.

تابع هدف مساله را می‌توان به شکل زیر بیان کرد:

$$F = minP_{loss} = \sum_{i=1}^{b} R_i I_i^2 \qquad (۱)$$

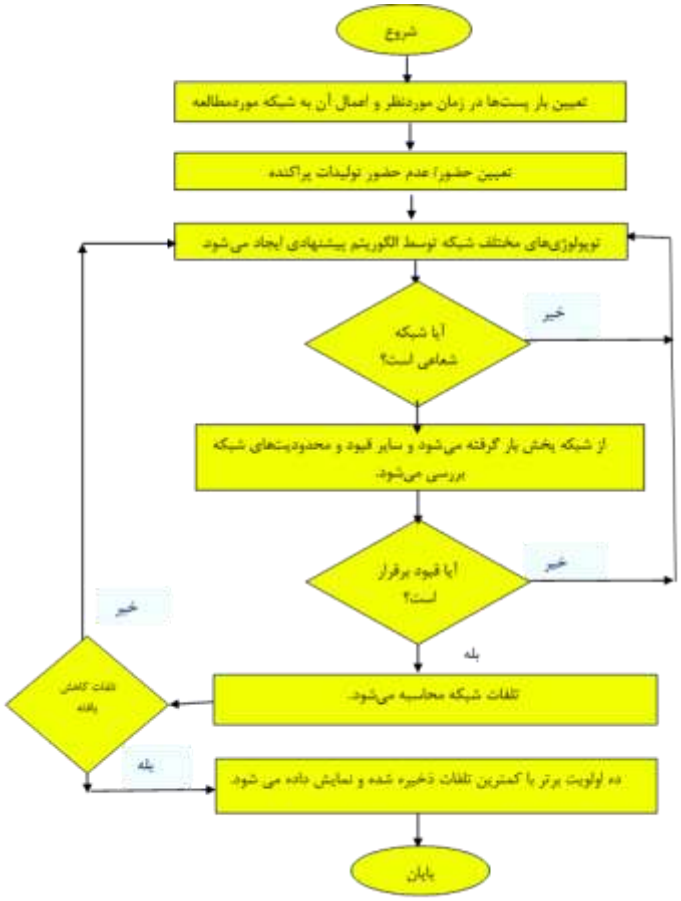
رابطه (۱) بیان‌گر کمینه‌کردن تلفات توان اکتیو است، در این رابطه، P_{loss} تابع تلفات شبکه، R_i مقاومت هر شاخه، I_i جریان هر شاخه است. همان‌طور که بیان شد، در مساله تجدید آرایش شبکه یکسری قیود باید برقرار باشند و درصورت عدم برقراری هر یک از آن‌ها، ساختار پیشنهادی قابل قبول نخواهد بود.

۳- فرآیند اجرای برنامه

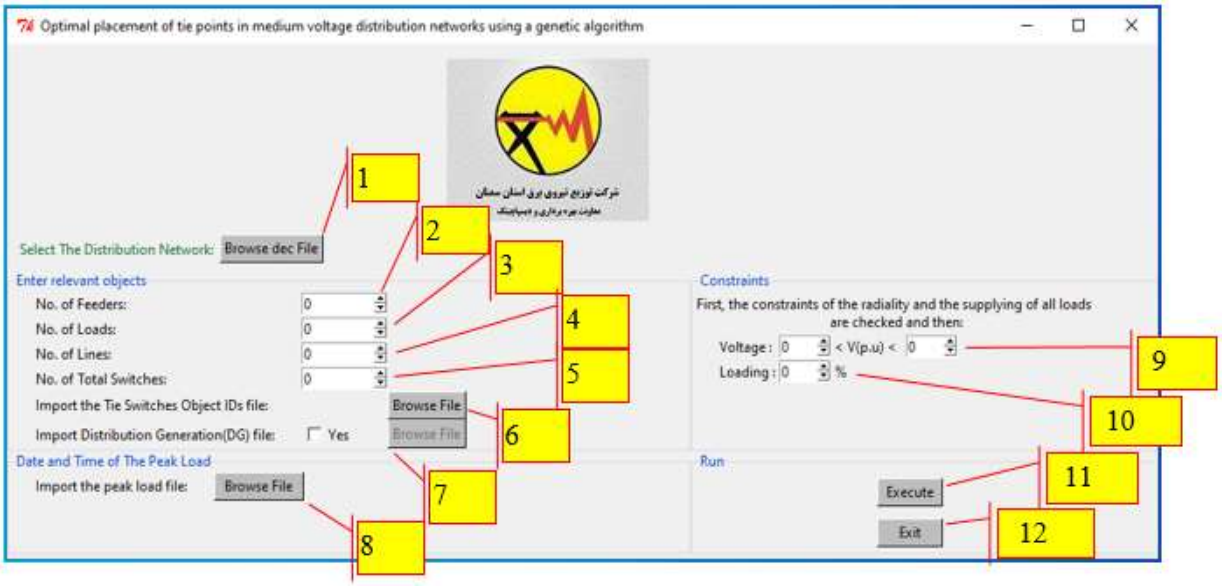
روندنمای الگوریتم پیشنهادی در شکل (۱) نشان داده شده است. با توجه به امکان ارتباط مفسر پایتون با نرم‌افزار دیگسایلنت، این الگوریتم در قالب یک ماژول با زبان برنامه‌نویسی پایتون نوشته شده است. در شکل (۲) تصویری از رابط کاربری این ماژول نشان داده شده است و بخش‌های مختلف در قسمت راهنمای کاربری توضیح داده شده است. در گام اول به منظور بررسی تعیین ساختار بهینه، نیازمند داشتن مقدار بار (توان اکتیو و راکتیو) بیشینه پست‌ها در زمان موردنظر می‌باشیم تا بتوان شرایط دقیق‌تری از شبکه را مدل کرد. این موضوع یکی دیگر از چالش‌های اساسی در حل این مساله است. با توجه به تغییر الگوی مصرف در زمان‌های مختلف (فصل‌های مختلف، روزهای تعطیل، طول شبانه روز)، لازم است بار پست‌ها را به صورت ساعت به ساعت در طول سال داشته باشیم. یا توجه به این که در

شبکه‌های توزیع ایران، اغلب پست‌های توزیع فاقد تجهیزات اندازه‌گیری هستند و تنها پست‌های اختصاصی دارای کنتور هوشمند هستند و تعداد محدودی از پست‌های عمومی مجهز به دیتالاگر بوده، اطلاعات کاملی از بار تمام پست‌ها در دسترس نیست. برای حل این مشکل، کلیه پست‌ها به دو دسته اختصاصی و عمومی تقسیم می‌شوند. تمام پست‌های اختصاصی به کنتور هوشمند مجهز بوده و اطلاعات آن‌ها در هر ساعت در دسترس است. همان‌طور که بیان شد از بین پست‌های عمومی، تعداد محدودی از آن‌ها مجهز به دیتالاگر بوده که می‌توان داده‌های آن‌ها را به صورت ساعتی ضبط کرد. برای تعیین بار پست‌های عمومی می‌توان از داده‌های دیتالاگرهای موجود جهت تعیین الگوی بار برای پست‌های عمومی مختلف (مسکونی، تجاری، روستایی و غیره) استفاده نمود. برای این منظور ابتدا کلیه پست‌های عمومی به انواع مختلف (مسکونی، تجاری، روستایی و غیره) دسته‌بندی می‌شوند و سپس میزان بار مصرفی آن‌ها در هر ساعت بر مقیاس گزارش بارگیری که صورت دوره‌ای انجام می‌گیرد، محاسبه می‌گردد. برای این منظور، ماژولی دیگر با زبان برنامه‌نویسی پایتون نوشته شده است که در شکل (۳) نشان داده شده است. در این رابط کاربری، از کاربر تاریخ و ساعت موردنظر را دریافت می‌شود و برنامه موردنظر از جست‌و جو در دیتابیس گردآوری شده، مقادیر توان اکتیو و راکتیو پست‌ها را استخراج کرده و و در قالب فایل اکسل ذخیره‌سازی می‌کند.

در گام دوم، با توجه به این که در الگوریتم پیشنهادی امکان بررسی تاثیر حضور یا عدم حضور تولیدات پراکنده بر میزان تلفات شبکه وجود دارد، لازم است وضعیت حضور/ عدم حضور تولیدات پراکنده مشخص گردد. بدین منظور، بهره‌بردار لیستی از نام تولیدات پراکنده موجود در شبکه، Object ID سوییچ‌های ورودی آن‌ها و همچنین وضعیت در مدار بودن/ نبودن هر یک از آن‌ها را در قالب یک فایل اکسل به عنوان ورودی در اختیار برنامه قرار می‌دهد. برنامه موردنظر براساس نظر بهره‌بردار، وضعیت در مدار بودن/ نبودن هر یک از تولیدات پراکنده را در شبکه نمونه اعمال می‌کند.



شکل۱- روند اجرای برنامه



شکل۲- رابط کاربری برنامه موردنظر

در گام سوم، الگوریتم پیشنهادی جهت بررسی آرایش‌های مختلف شبکه با هدف کاهش تلفات و حل این مساله بهینه‌سازی، آرایش‌های مختلف را ایجاد نی‌کند و سپس قید شعاعی بودن شبکه را بررسی کرده و در صورت برقراری این قید، از شبکه موردنظر پخش بار می‌گیرد.

در گام چهارم، با اجرای پخش بار و محاسبه مقادیر ولتاژ و جریان بارها و میزان بارگذاری خطوط، محدودیت‌های تغذیه تمام بارها، قید ولتاژ و بارگذاری خطوط به ترتیب مورد بررسی قرار می‌گیرد. اگر قیود مساله در آرایش موردنظر برقرار باشد، آن پیکربندی پذیرفته شده و پس از محاسبه میزان برازندگی (تابع هدف)، مرحله بعدی الگوریتم آغاز می‌شود. در غیر این‌صورت، آرایش موردنظر از مجموعه راه‌حل‌های ممکن حذف می‌شود و به مرحله بعدی الگوریتم راه پیدا نمی‌کند.

گام پنجم، مرحله انتخاب است، یعنی تعدادی (مثلا ۱۰ مورد) از بهینه‌ترین آرایش‌های شبکه که قیود را برآورده ساخته‌اند، انتخاب می‌شوند.

راهنمای شکل (۲) به شرح زیر است:

۱. فایل دیگسایلنت شبکه موردنظر از این قسمت انتخاب و بارگذاری می‌شود.

۲. تعداد فیدرهای شبکه در این قسمت وارد شود.

۳. تعداد بارهای شبکه در این قسمت وارد شود.

۴. تعداد خطوط شبکه در این قسمت وارد شود.

۵. تعداد کل کلیدهای موجود شبکه در این قسمت وارد شود.

۶. لیست OBJECT ID کلیدهای مانور موردنظر بهره‌بردار در قالب فایل اکسل از این قسمت انتخاب و بارگذاری می‌شود.

۷. در این قسمت اگر کاربر تمایلی به تعیین وضعیت حضور/ عدم حضور تولیدات پراکنده داشته باشد، بایستی گزینه Yes را تیک زده و سپس فایل اکسل مربوط به وضعیت حضور/ عدم حضور تولیدات پراکنده را انتخاب و بارگذاری کند. در غیر این صورت اگر شبکه موردنظر اصلا تولید پراکنده نداشته باشد و یا این که وضعیت حضور/ عدم حضور تولیدات پراکنده مهم نباشد، نیازی به انتخاب گزینه Yes و بارگذاری فایلی در این رابطه نیست.

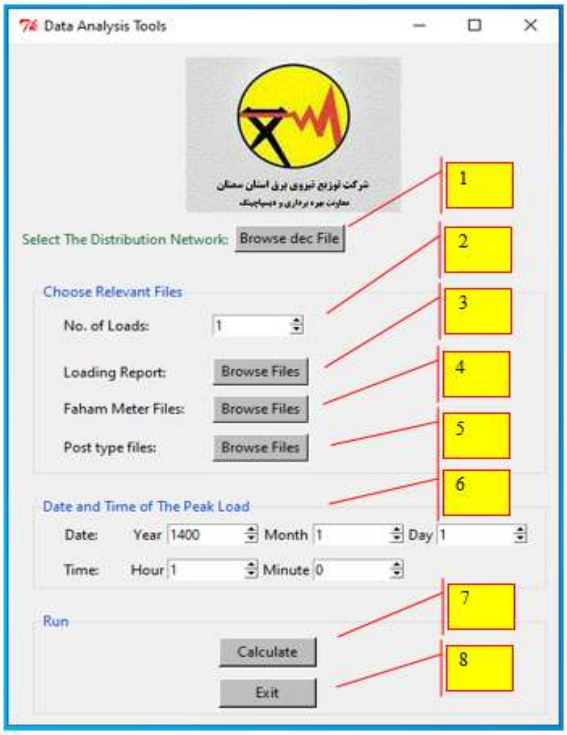
۸. در این قسمت فایل مربوط به مقادیر توان‌های اکتیو و راکتیو بارهای شبکه (پست‌ها) در قالب فایل اکسل انتخاب و بارگذاری شود.

۹. در این قسمت بایستی محدوده پروفیل ولتاژ به پریونت وارد شود.

۱۰. در این قسمت مقدار مجاز بارگذاری خطوط به درصد باید وارد شود.

۱۱. با انتخاب این گزینه، اجرای برنامه آغاز می‌شود.

۱۲. با انتخاب این گزینه، می‌توان اجرای برنامه را متوقف کرد و پنجره رابط کاربری را بست.



شکل۳- رابط کاربری محاسبه بار پست‌های توزیع

راهنمای شکل (۳) به شرح زیر است:

۱. فایل دیگسایلنت شبکه موردنظر از این قسمت انتخاب و بارگذاری می‌شود.

۲. تعداد بارهای شبکه در این قسمت وارد شود.

۳. فایل گزارش بارگیری از این قسمت انتخاب و بارگذاری می‌شود.

۴. فایل گزارش کنتورهای هوشمند پست‌های اختصاصی در زمان موردنظر از این قسمت انتخاب و بارگذاری می‌شود.

۵. فایل‌های الگوهای بار پست‌های عمومی را از این قسمت انتخاب و بارگذاری می‌شود.

۶. زمان موردنظر برای محاسبه بار پست‌ها در این قسمت وارد می‌شود.

۷. با انتخاب این گزینه، اجرای برنامه آغاز می‌شود.

۸. با انتخاب این گزینه، می‌توان اجرای برنامه را متوقف کرد و پنجره رابط کاربری را بست.

۴- نحوه بررسی قیود و محدودیت‌های مساله

نحوه و ترتیب بررسی قیود مساله به شرح زیر است:

۴-۱- قید شعاعی بودن شبکه

یکی از مهم‌ترین قسمت‌های برنامه، زیر برنامه‌ای است که بررسی و تشخیص شعاعی‌بودن شبکه زا انجام می‌دهد. به طوری‌که در اجرای برنامه، اگر ساختار ارائه شده از لحاظ شرط شعاعی‌بودن شبکه تایید نگردد، از چرخه الگوریتم خارج می‌شود. برای بررسی این قید کافی است به ازای هر ساختار پیشنهادی، در نرم‌افزار دیگسایلنت در قسمت Edit Relevant Objects for Calculation>Feeder>Radial ، مقدار Radial در هر فیدر برابر با یک باشد. در غیر اینصورت ساختار پیشنهادی قابل قبول نمی‌باشد.

۴-۲- تغذیه تمام بارها

پس از برقراری قیود فوق، از شبکه پخش بار گرفته می‌شود تا به ازای ساختار پیشنهادی، مقادیر ولتاژ گره‌ها و جریان شاخه‌ها و سایر پارامترهای الکتریکی شبکه محاسبه شود. شرط تغذیه تمام بارهای شبکه این است که ولتاژ و جریان در تمام باس‌ها باید مخالف صفر باشد.

۴-۳- قید ولتاژ

بدین منظور باید شرط زیر برقرار باشد.

$$V_i^{min} \leq V_i \leq V_i^{max} \qquad (۲)$$

در رابطه (۲)، V_i^{min} و V_i^{max} به ترتیب ماکزیمم و مینیمم دامنه ولتاژ در هر باس است. طبق دستورالعمل، در شبکه توزیع فشار متوسط این محدوده ولتاژ ± 5 است. ولی در رابط کاربری پیش‌بینی شده، این مقادیر به عنوان ورودی از کاربر دریافت می‌شود تا در صورت لزوم بتوان ساختار شبکه را به ازای مقادیر خارج از این محدوده هم بررسی نمود.

۴-۴- قید جریان

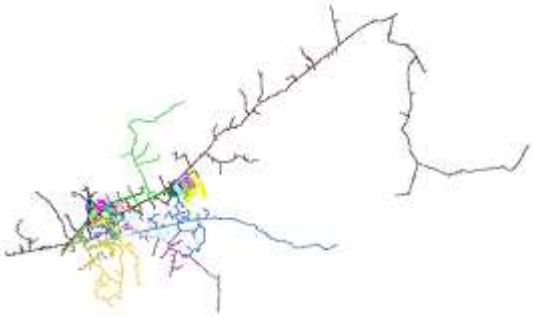
با توجه به این که به ازای ساختار پیشنهادی ممکن است، فیدرهای با طول متفاوت داشته باشیم و این که هر فیدر از خطوطی با طول و سطح مقطع متفاوت ایجاد شده است، با محدودیت در بارگذاری خطوط مواجه خواهیم بود. بدین منظور بایستی میزان Loading خطوط شبکه بررسی شود. در نرم‌افزار دیگسایلنت این مقدار به درصد محاسبه می‌شود و این مقدار نباید از حد تعیین شده تجاوز کند. این مقدار نیز در رابط کاربری به عنوان ورودی از کاربر دریافت می‌شود و کاربر می‌تواند درصد بارگذاری خطوط را با نظر شخصی خود تعیین کند.

۵- نتایج برنامه

همان‌طور که بیان شد، در این مقاله هدف تعیین نقاط بهینه مانوری از بین نقاط مانوری موجود در شبکه فشار متوسط واقعی در حضور/ عدم حضور تولید پراکنده به منظور کاهش تلفات است. بدین منظور با توجه به امکان ارتباط نرم‌افزار دیگسایلنت با زبان برنامه‌نویسی پایتون و همچنین

غنی‌بودن این زبان نسبت به DPL، از این زبان برنامه‌نویسی برای ایجاد ماژول موردنظر بهره گرفته شد. از ویژگی‌های بارز این ماژول این است که می‌توان از آن برای بهینه‌سازی ساختار هر شبکه توزیع فشار متوسط استفاده کرد و همچنین با بهره‌گیری از engine mode جهت ارتباط نرم‌افزار دیگسایلنت و مفسر پایتون، بدون بازکردن محیط گرافیکی نرم‌افزار دیگسایلنت، کلیه پردازش‌های لازم روی شبکه تا رسیدن به جواب نهایی را انجام داد. شبکه نمونه مورد مطالعه، شبکه توزیع فشار متوسط شهرستان سمنان است که نمایی از آن در شکل (۴) نشان داده شده است. در جدول۱ مشخصات این شبکه ارائه شده است.

همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، برای تعیین آرایش بهینه در گام اول نیازمند تعیین بار پست‌ها هستیم. برای این منظور با استفاده از رابط کاربری یادشده در شکل (۳)، بار پست‌های عمومی و اختصاصی به ترتیبی که گفته شد، استخراج می‌شود و در قالب فایل اکسل به عنوان ورودی رابط کاربری تعیین آرایش بهینه قرار می‌گیرد. تلفات شبکه در شرایط اولیه برابر با ۲/۳۹ مگاوات است. پس از اجرای رابط کاربری تعیین آرایش بهینه، نتایج حاصل از ۱۰ آرایش بهینه در جدول ۲ نشان داده شده است.



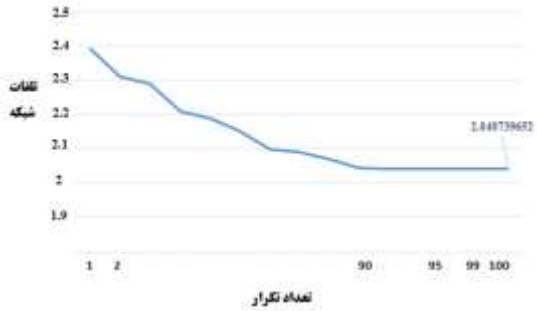
شکل۴- نمایی از شبکه توزیع شهرستان سمنان

جدول۱- مشخصات شبکه مورد مطالعه

تجهیز	تعداد
پست فوق توزیع	۵
فیدر	۵۶
خطوط(سکشن)	۲۱۷۰۸
بار (پست)	۲۲۳۸
کل کلیدها	۲۶۳۹
کلیدهای مانور	۵۸۳

جدول۲- تلفات در ۱۰ آرایش بهینه

اولویت	تلفات شبکه (مگاوات)
۱	۲/۰۴۰۷۳۹۶۵۲۳
۲	۲/۰۴۰۷۳۹۶۵۲۴
۳	۲/۰۴۰۷۴
۴	۲/۰۴۰۷۶۴۲
۵	۲/۰۴۰۷۶۴۹
۶	۲/۰۴۰۷۷۱۲۷۴
۷	۲/۰۴۰۷۷۱۲۷۵
۸	۲/۰۴۱۲۲۰۷۸۱
۹	۲/۰۴۱۲۲۰۷۸۲
۱۰	۲/۰۴۴



شکل۵- روند همگرایی الگوریتم پیشنهادی

در شکل (۵) چگونگی همگرایی الگوریتم پیشنهادی به جواب بهینه نشان داده شده است. طبق این شکل تلفات اولیه شبکه برابر با ۲/۳۹ مگاوات بوده و پس از گذشت ۱۰۰ تکرار (شرط توقف برنامه) مقدار تلفات بهینه برابر ۲/۰۴ مگاوات شده است. می‌توان گفت که زمان لازم برای رسیدن به جواب بهینه تابعی از گستردگی شبکه مورد مطالعه و سخت‌افزاری است که برای اجرای این برنامه مورد استفاده قرار می‌گیرد. طبیعتا هر چه شبکه مورد مطالعه گسترده‌تر باشد، تعداد کلیدهای مانوری بیش‌تر خواهد بود و بالطبع تعداد جایگشت‌های ممکن بیش‌تر می‌شود و این موضوع باعث افزایش حجم محاسبات و صرف زمان بیش‌تر خواهد شد. علاوه بر این، سخت‌افزاری که برای اجرای برنامه استفاده می‌شود می‌تواند تا حد زیادی در زمان رسیدن به جواب بهینه نقش داشته باشد. هرچه از سیستم پردازش قوی‌تر استفاده گردد این زمان کوتاه‌تر خواهد شد.

میزان تلفات در بهینه‌ترین آرایش پیشنهاد شده برابر با ۲/۰۴۰۷۳۹۶۵۲۳ مگاوات است. بنابراین، تلفات شبکه با استفاده از روش پیشنهادی ۱۷/۱۵ درصد کاهش یافته است. کلیدهای مانوری که برای رسیدن به آرایش بهینه تغییر وضعیت داده‌اند در جدول ۳ نشان داده شده است. در جدول ۴ مقادیر توان اکتیو و طول فیدرها در آرایش‌های موجود و پیشنهادی مورد مقایسه قرار گرفته است.

جدول۳- کلیدهای مانور تغییر وضعیت یافته

ردیف	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
Object ID	۲۲۰۷	۱۲۷۳۹	۳۸۸۷	۳۸۷۱۱	۴۱۹۲۰	۲۰۳۳۳۳	۲۰۳۲۴	۶۹۱۱۹۵
وضعیت اولیه	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰
وضعیت نهایی	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۱
۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
۵۱۰۷	۵۱۰۸	۲۰۹۲۶	۲۰۹۲۷	۲۵۴۰۵	۲۵۴۲۶	۵۱۳۳	۵۱۳۴	۱۸۹۶۴۶
۱	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۱
۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰
۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶
۲۱۰۹۷۹	۱۷۶۲۲	۲۲۹۷۵	۵۴۹۹	۵۵۰۸	۱۷۶۲۶	۱۸۴۸۷	۱۸۴۹۱	۲۰۵۰۱
۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۰
۱	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱
۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵
۲۲۵۷۰	۷۴۲۳۱	۲۰۵۴۱	۲۰۵۴۴	۴۶۹۲	۴۶۹۴	۲۶۶۱۴	۲۷۰۲۸	۱۸۰۸۵
۰	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰
۱	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱
۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴
۷۴۲۳۹	۱۷۲۰۹	۱۷۲۱۰	۱۹۷۱۰	۱۲۲۲۲۵	۲۷۰۳۷	۲۷۸۲۵	۳۴۴۲۰	۷۹۵۵۴۰
۱	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱
۰	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰
۴۵	۴۶	۴۷	۴۸	۴۹	۵۰	۵۱	۵۲	۵۳
۵۱۲۹	۵۱۳۰	۱۰۷۱۹	۱۰۷۲۰	۱۶۰۳۲۲	۷۱۷۶۸۵	۲۰۵۱۹	۲۳۳۷۶	۲۴۱۸۴
۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱
۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰
۵۴								
۴۳۱۳۶								
۰								
۱								

جدول۴- مقایسه توان اکتیو و طول فیدر

نام فیدر	آرایش فعلی		آرایش پیشنهادی	
	ماکزیمم طول (کیلومتر)	توان اکتیو (مگاوات)	ماکزیمم طول (کیلومتر)	توان اکتیو (مگاوات)
۱۷شهریور	۳/۱۳	۱/۲۷	۳/۵۴	۱/۹۶
۴۰۲ هکتاری	۱/۶۷	۰/۱۵	۱/۶۷	۰/۱۵
۵۰ هکتاری	۳/۹۱	۱/۲۹	۳/۹۱	۱/۲۹
۷ تیر	۳/۸۱	۲/۴۷	۴/۵۳	۳/۷۳
اعلا	۲۲/۲۴	۲/۰۵	۱۳/۶۷	۱/۲۳
امیر	۰/۰۷	۰/۵۱	۰/۰۷	۰/۵۱
اندیشه	۲/۷۳	۳/۱۴	۵/۴۸	۵/۱۶
آرمان جام	۵/۸۳	۰/۰۶	۵/۸۳	۰/۰۶
آذر فولاد	۰/۰۰۲	۱/۴۳	۰/۰۰۲	۱/۴۳
بافندگی	۲/۴۵	۲/۰۷	۴/۴۵	۴/۸۲
بهارستان	۸/۷۴	۲/۲۴	۸/۵۶	۳/۳۸
بسیج	۷/۲۹	۱/۹۸	۷/۲۹	۱/۹۸
بازار	۵/۳۹	۲/۰۶	۴/۳۸	۱/۶۰
کلران	۰/۰۰۴	۱/۶۱	۰/۰۰۴	۱/۶۱
دانشگاه	۸/۰۵	۰/۴۸	۷/۵۶	۰/۳
درمان	۸/۵۱	۱/۷۸	۸/۵۱	۱/۷۸
دهخدا	۴/۳۹	۰/۷۰	۴/۳۹	۰/۷۰
درین ریس	۰/۰۰۵	۲/۵۸	۰/۰۰۵	۲/۵۸
ابتکار	۶/۶۶	۴/۸۵	۴/۲۳	۳/۹۴
فضیلت	۳/۳۹	۲/۲۰	۳/۳۹	۲/۲۰
قومس	۶/۷۷	۲/۹۹	۶/۷۷	۲/۹۹
هوا فضا	۰/۰۰۲	۰/۴۱	۰/۰۰۲	۰/۴۱
جهادیه	۵/۶۰	۳/۵۱	۵/۶۰	۳/۵۱
کاشی روناس	۰/۵۳	۱/۲۲	۰/۵۳	۱/۲۲
کاوه	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۰۰۰۰۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۰۰۰۰۶
خیرآباد	۱۴/۰۱	۱/۴۵	۱۴/۰۱	۱/۴۵
کندر	۲/۴۲	۲/۷۸	۴/۰۹	۴/۵۴
محلات	۶/۱۷	۲/۹۹	۶/۱۷	۲/۹۹
ماهان	۰/۰۰۲	۰/۹۳	۰/۰۰۲	۰/۹۳
ماندگار	۵/۵۲	۳/۰۵	۵/۵۲	۳/۰۵
مس‌کاران	۳/۳۴	۳/۵۸	۳/۳۴	۳/۵۸
میان‌دره	۳۲/۵۴	۲/۵۹	۳۲/۳۴	۲/۵۹
محمدآباد	۶/۹۲	۰/۱۷	۶/۹۲	۰/۱۷
مصلی	۲۵/۰۲	۰/۵۱	۲۵/۰۲	۰/۵۱
نابدانه	۳/۴۱	۲/۸۳	۳/۴۱	۲/۸۳
نساجی کویر	۰/۷۴	۶/۴۸	۰/۷۴	۶/۴۸
ادامه جدول ۴				
نیروگاه	۵/۴۷	۴/۵۱	۴/۵۴	۳/۳۸
نوروزی	۲/۲۴	۲/۰۴	۳/۴۰	۴/۸۴
عقاب	۲/۴۵	۰/۸۲	۲/۴۵	۰/۸۲
امید	۵/۱۶	۴/۴۱	۵/۱۶	۴/۴۱
پورمند	۰/۰۰۵	۴/۸۰	۰/۰۰۵	۴/۸۰

رسالت	۴/۲۸	۲/۰۵	۴/۷۱	۲/۶۲
ریسمانریسی	۴/۵۱	۴/۴۱	۴/۰۲	۲/۳۳
ریوان‌کوه	۸۴/۲۲	۱/۴۸	۸۴/۲۲	۱/۴۸
رویال	۸/۶۵	۱/۳۷	۸/۶۵	۱/۳۷
سعدی	۲/۵۹	۱/۳۶	۲/۸۴	۱/۴۸
سمند	۶/۱۴	۲/۵۷	۱/۰۳	۰/۶۸
صدا و سیما	۲/۵۸	۱/۲۷	۲/۵۸	۱/۲۷
شریف واقفی	۳/۷۶	۳/۶۹	۴/۶۶	۳/۷۵
شمشاد	۴/۲۹	۳/۵۶	۴/۱۷	۳/۰۷
سیلو	۱۰/۹۴	۱/۷۴	۱۰/۹۴	۱/۷۴
سیمن کار	۱۷/۳۵	۱/۲۴	۱۷/۳۵	۱/۲۴
سینا	۵/۰۲	۳/۸۴	۱/۴۸	۰/۶۹
سوکان	۹/۰۸	۱/۹۳	۹/۰۸	۱/۹۳
استاندارد	۱۷/۳۳	۱/۰۸	۲۲/۵۶	۱/۳۲
تعاون	۲/۶۴	۰/۴۰	۲/۶۴	۰/۴۰

لازم به ذکر است که میزان تلفات کاهش یافته به ازای تغییر وضعیت کلیدهای مانور پیشنهادی توسط بهره‌بردار از بین نقاط مانوری موجود شبکه بوده است و هیچ نقطه مانوری جدیدی توسط الگوریتم پیشنهاد نشده است و تنها عملیات مانور بر روی نقاط مانوری موجود شبکه و پیشنهادی بهره‌بردار صورت گرفته است. بنابراین، واضح است که خود این موضوع یک محدودیت در تعیین ساختار بهینه محسوب می‌شود. ولی با این وجود، الگوریتم پیشنهادی توانسته است میزان تلفات شبکه را تا حد قابل قبولی کاهش دهد.

اگر شبکه مورد نظر بستر هوشمندسازی داشته باشد و بتواند وضعیت کلیدهای مانوری را از طریق کنترل از راه دور و سریع تغییر دهد، این برنامه قابلیت استفاده حتی به صورت روزانه را دارد. بنابراین، محدودیتی از این نظر برای اجرای برنامه وجود ندارد. اما وقتی شبکه زیرساخت مناسبی برای انجام مانور به صورت هوشمند و اتوماسیونی نداشته باشد طبیعتا این موضوع به بازه‌های زمانی طولانی‌تر مثلا هفتگی، ماهانه و فصلی محدود خواهد شد. بنابراین، اگر از لحاظ فنی محدودیتی برای انجام عملیات مانور وجود نداشته باشد، محدودیتی برای اجرای برنامه نخواهیم داشت.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، از الگوریتم ابتکاری DSSHA جهت حل مساله تجدید آرایش شبکه با هدف کاهش تلفات استفاده شده است. در این الگوریتم با درنظرگرفتن ساختار اولیه شبکه به عنوان ساختار مبنا و تغییر وضعیت کلیدهای مانور بر روی فیدرهای مشترک، آرایش بهینه شبکه با حفظ قیودی چون شعاعی بودن شبکه، تغذیه تمام بارها، پروفیل ولتاژ و بارگزاری خطوط شناسایی می‌شود. محدودکردن فضای جستجو، سرعت بالا و کاهش حجم محاسبات در تعیین آرایش‌های قابل‌قبول از مزایای الگوریتم پیشنهادی است. این الگوریتم بر روی یک شبکه توزیع واقعی(شهرستان سمنان) اعمال شده و آرایش بهینه با تغییر وضعیت ۵۴ کلید از بین ۵۸۳ کلید مانور تعیین شده است. نتایج نشان می‌دهد که تلفات شبکه با حفظ محدودیت‌های شبکه، ۱۷/۱۵ درصد نسبت به ساختار اولیه کاهش یافته است. بنابراین می‌توان با استفاده از این روش تلفات شبکه را تا حد قابل‌قبولی کاهش داده و از منافع بلندمدت آن در بهره‌برداری از سیستم بهرمند شد.

تقدیر و تشکر

بدینوسیله از شرکت توزیع نیروی برق استان سمنان بویژه معاونت بهره‌برداری و دیسپاچینگ که ما را در انجام این مقاله یاری کردند، صمیمانه تشکر می‌کنیم.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که در مورد انتشار این مقاله تعارض منافع وجود ندارد.

تاییدیه اخلاقی

نویسندگان متعهد می‌شوند که مطالب این مقاله را در هیچ مجله دیگری به چاپ نرسانده اند.

مشارکت های نویسندگان

حامد شادفر: مفهوم و طراحی مطالعه، تجزیه و تحلیل و تفسیر داده ها، تهیه پیش نویس نسخه اولیه، تجزیه و تحلیل آماری و نتیجه گیری

اصغر اکبری فرود: مفهوم و طراحی مطالعه، تجزیه و تحلیل و تفسیر داده ها، بازبینی انتقادی نسخه اولیه، تجزیه و تحلیل آماری و نتیجه گیری

منابع مالی

در انجام این پژوهش هیچ منابع مالی مورد استفاده قرار نگرفته است.

مراجع

[1] A.S. Reddy, M.D. Reddy, and Y.K. Reddy. "Feeder reconfiguration of distribution systems for loss reduction and emissions reduction using MVO algorithm." *Majlesi Journal of Electrical Engineering* 12, no. 2 (2018): 1-8.

[2] S.H. Mirhoseini, S.M. Hosseini, M. Ghanbari, and M. Ahmadi. "A new improved adaptive imperialist competitive algorithm to solve the reconfiguration problem of distribution systems for loss reduction and voltage profile improvement." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 55 (2014): 128-143.

[3] A. Zidan, and E.F. El-Saadany. "Distribution system reconfiguration for energy loss reduction considering the variability of load and local renewable generation." *Energy* 59 (2013): 698-707.

[4] R.E. Brown, and L.A. Freeman. "Analyzing the reliability impact of distributed generation." *In 2001 Power Engineering Society Summer Meeting. Conference Proceedings (Cat. No. 01CH37262)*, vol. 2, pp. 1013-1018. IEEE, 2001.

[5] A.G. Patel, and C. Patel. "Distribution network reconfiguration for loss reduction." *In 2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)*, pp. 3937-3941. IEEE, 2016.

[6] T.T. Nguyen, T.T. Nguyen, L.T. Duong, and V.A. Truong. "An effective method to solve the problem of electric distribution network reconfiguration considering distributed generations for energy loss reduction." *Neural Computing and Applications* 33 (2021): 1625-1641.

[7] A. Abbaskhani-Davanloo, M. Amini, M. Sadegh Modarresi, and F. Jafarishiadeh. "Distribution system reconfiguration for loss reduction incorporating load and renewable generation uncertainties." *In 2019 IEEE Texas Power and Energy Conference (TPEC)*, pp. 1-6. IEEE, 2019.

[8] V. Glamocanin. "Optimal loss reduction of distributed networks." *IEEE Transactions on Power Systems* 5, no. 3 (1990): 774-782.

[9] T.E. McDermott, I. Drezga, and R.P. Broadwater. "A heuristic nonlinear constructive method for distribution system reconfiguration." *IEEE Transactions on Power Systems* 14, no. 2 (1999): 478-483.

[10] M.H. Haque. "Improvement of power delivery efficiency of distribution systems through loss reduction." In *2000 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings (Cat. No. 00CH37077)*, vol. 4, pp. 2739-2744. IEEE, 2000.

[11] H.C. Chin, and K.Y. Huang. "A simple distribution reconfiguration algorithm for loss minimization." In *PowerCon 2000. 2000 International Conference on Power System Technology. Proceedings (Cat. No. 00EX409)*, vol. 2, pp. 607-611. IEEE, 2000.

[12] A. Ebrahimi, and S. Mohseni. "Multipurpose reconfiguration of distribution systems using fuzzy reasoning approach." In *16th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, 2001. Part 1: Contributions. CIRED.(IEE Conf. Publ No. 482)*, vol. 4, pp. 5-pp. IET, 2001.

[13] S.S. Souza, R. Romero, J. Pereira, and J. Tomé Saraiva. "Specialized genetic algorithm of Chu-Beasley applied to the Distribution System Reconfiguration problem considering several demand scenarios." *In 2015 IEEE Eindhoven PowerTech*, pp. 1-5. Ieee, 2015.

[14] R. Rajaram, K. Sathish Kumar, S. Prabhakar Karthikeyan, and J. Edward Belwin. "Distribution System Reconfiguration for Loss Minimization Using Modified Artificial Neural Network Approach of 16 Bus and 33 Bus Standard Test Systems with a Compensator." *Applied Mechanics and Materials* 573 (2014): 767-776.

[15] A. Shang, and S. Yan. "Power System Reconfiguration Using Graph Trace Analysis and Multi-agent System." In *International Conference on Logistics Engineering, Management and Computer Science (LEMCS 2015)*, pp. 501-505. Atlantis Press, 2015.

[16] R. Pegado, Z. Ñaupari, Y. Molina, and C. Castillo. "Radial distribution network reconfiguration for power losses reduction based on improved selective BPSO." *Electric Power Systems Research* 169 (2019): 206-213.

[17] T.T. Nguyen, and A.V. Truong. "Distribution network reconfiguration for power loss minimization and voltage profile improvement using cuckoo search algorithm." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 68 (2015): 233-242.

[18] R.S. Rao, K. Ravindra, K. Satish, and S.V.L. Narasimham. "Power loss minimization in distribution system using network reconfiguration in the presence of distributed generation." *IEEE Transactions on Power Systems* 28, no. 1 (2012): 317-325.

[19] D.L. Duan, X.D. Ling, X.Y. Wu, and B. Zhong. "Reconfiguration of distribution network for loss reduction and reliability improvement based on an enhanced genetic algorithm." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 64 (2015): 88-95.

[20] L.C. Daniel, I. Hafeezulah Khan, and S. Ravichandran. "Distribution network reconfiguration for loss reduction using ant colony system algorithm." *In 2005 Annual IEEE India Conference-Indicon*, pp. 619-622. IEEE, 2005.