

Design and development of a software module for optimal reconfiguration of distribution network in the context of GIS and DIgSILENT software using Python programming language

Saleh saeedi¹, Ali Asghar Ghadimi^{2*}, Mohammad Reza Miveh³

¹Department of Electrical Engineering, Ar.C., Islamic Azad University, Arak, Iran

²Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Arak University, Arak 38156-8-8349, Iran

³Department of Electrical Engineering, Tafresh University, Tafresh 39518-79611, Iran

Abstract:

The configuration of distribution networks is done by changing the structure of distribution networks through opening and closing switches and connecting maneuver points in order to improve the indicators of distribution network such as reducing losses, voltage balance, and increasing penetration of distributed generation sources. With the increasing presence of distributed generation sources in distribution networks, issues such as urban development, adding point loads, creating critical conditions in distribution network, periodic repairs of network and construction of new substation in distribution network, the structure of distribution networks need more flexibility to be able to respond to these changes. In some situations, continuous changes of load and output of distributed generation sources cause the network parameters to go out of their standard range, therefore, there is a need for optimal reconfiguration of network with great importance. Dynamic reconfiguration of network is the change of structural topology of distribution network by distribution operator with changing the status of switches automatically or manually. Therefore, the aim of this paper is to design a practical software module in GIS platform to determine the optimal configuration of network at desired times of operators for improving losses. To achieve this goal, the information available in GIS is extracted by a new toolbox. Then, with the help of designing a new module, the extracted information is converted and imported to DIgSILENT software. In the next step, with the help of the new designed module, the optimal configuration of network is done. Finally, the switches determined for reconfiguration are visible by another module in GIS.

Keywords: Optimal reconfiguration, distribution network, loss reduction, critical conditions, practical module.

Date of sending: 2024/02/15

Acceptance date: 2024/10/06

Corresponding author's name: Ali Asghar Ghadimi

Corresponding author's address: Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Arak University, Iran

طراحی و توسعه ماژول نرم افزاری پیکربندی بهینه شبکه توزیع در بستر سامانه اطلاعات جغرافیایی و نرم افزار دیگسایلنت به کمک زبان برنامه نویسی پایتون

نوع مطالعه: پژوهشی

صالح سعیدی^۱، علی اصغر قدیمی^۲، محمدرضا میوه^۳

^۱ گروه مهندسی برق، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

saleh_s86@yahoo.com

^۲ گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران

a-ghadimi@araku.ac.ir

^۳ دانشکده مهندسی برق، دانشگاه تفرش، تفرش، ایران

miveh@tafreshu.ac.ir

چکیده: پیکربندی شبکه‌های توزیع با تغییر ساختار شبکه‌های توزیع از طریق بازپست کلیدها و اتصال نقاط مانور به منظور بهبود شاخص‌های شبکه توزیع مانند کاهش تلفات، تعادل ولتاژ و افزایش نفوذ منابع تولید پراکنده انجام میشود. با افزایش حضور منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع، مسائل توسعه شهری، اضافه شدن بارهای نقطه ای، ایجاد شرایط بحرانی در شبکه توزیع، تعمیرات دوره ای شبکه و احداث پست جدید در شبکه توزیع ساختار شبکه‌های توزیع نیازمند انعطاف پذیری بیشتری می‌باشند تا بتوانند به این تغییرات پاسخ بدهند. در برخی از شرایط، تغییرات پیوسته بار و خروجی منابع تولید پراکنده سبب خارج شدن پارامترهای شبکه از محدوده استاندارد خود می‌شوند، از این رو نیاز به پیکربندی بهینه شبکه از اهمیت بسیاری برخوردار می‌باشد. پیکربندی دینامیکی شبکه تغییرات ساختار توپولوژیکی شبکه توزیع توسط بهره بردار توزیع با تغییرات وضعیت کلیدها به طور اتوماتیک یا دستی می‌باشد. از این رو هدف این مقاله طراحی یک ماژول نرم افزاری کاربردی در بستر GIS جهت تعیین پیکربندی بهینه شبکه در زمان‌های دلخواه بهره برداران به منظور بهبود تلفات می‌باشد. به منظور رسیدن به هدف ذکر شده در ابتدا اطلاعات موجود در سامانه توسط یک جعبه ابزار جدید استخراج شده است. سپس به کمک طراحی یک ماژول جدید، اطلاعات استخراج شده به نرم افزار DIgSILENT معرفی شده است. در گام بعدی، به کمک ماژول طراحی شده جدید، پیکربندی بهینه شبکه انجام شده است. در نهایت، کلیدهای تعیین شده جهت انجام بازاریابی توسط یک ماژول دیگر در GIS قابل مشاهده می‌باشد.

واژه های کلیدی: پیکربندی بهینه، شبکه توزیع، کاهش تلفات، شرایط بحرانی، ماژول کاربردی.

تاریخ ارسال مقاله : ۱۴۰۲/۱۱/۲۶

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۴۰۳/۰۷/۱۵

نام نویسنده‌ی مسئول : علی اصغر قدیمی

نشانی نویسنده‌ی مسئول : گروه مهندسی برق - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه اراک - اراک - ایران.

۱- مقدمه

اساسی ترین وظیفه شرکت های توزیع علاوه بر تأمین به موقع برق متقاضیان، تداوم برق با کیفیت مناسب، برای مشترکین است. برای این منظور باید قابلیت اطمینان شبکه و همچنین قابلیت مانور شبکه را افزایش و زمان انجام مانور را کاهش داد که این امر با اجرای اتوماسیون در شبکه توزیع برق تحقق خواهد یافت. GIS به عنوان راه حل اجتناب ناپذیر جهت ذخیره، سازماندهی و تحلیل داده های مربوط به شبکه شناخته شده و در بسیاری از کشورها برای مدیریت شبکه های برق بکار گرفته می شود. این ابزار بطور کلی بعنوان سیستمی کارآمد جهت ذخیره و سازماندهی داده های حجیم گرافیکی (نقشه ها) و توصیفی شبکه، و بطور ویژه بعنوان سیستمی با ابزار نیرومند جهت افزایش کارایی شبکه، رفع تنگناها و نقایص شبکه، اداره امور مشترکین، یافتن راه حل های بهینه جهت گسترش شبکه، برخورد با مشکلات مقطعی و پیش بینی نشده شبکه و بسیاری موارد دیگر بکار می آید.

همانطور که اشاره شد، یکی از مسائل مهمی که در شبکه های توزیع مطرح است بهره برداری بهینه از شبکه می باشد. برای دستیابی به این هدف، اکثر شرکت های توزیع برق به پیاده سازی و نصب سیستم های اتوماسیون توزیع تمایل پیدا کرده اند تا از این طریق بتوانند به بهره برداری بهینه و با قابلیت اطمینان بالا از شبکه توزیع، دست یابند. یکی از اولین قابلیت هایی که سیستم اتوماسیون توزیع در اختیار بهره بردار سیستم توزیع قرار می دهد بازآرایی سریع و کم هزینه شبکه است. بازآرایی شبکه به منظورهای مختلف ممکن است انجام گیرد [۱]. مهمترین اهداف بازآرایی، کاهش تلفات و افزایش قابلیت اطمینان شبکه می باشند [۲]. تجدید آرایش باید به گونه ای باشد که ساختار شعاعی شبکه توزیع حفظ گردد. با افزایش حضور منابع تولید پراکنده در شبکه های توزیع، تولید متغیر منابع تولید تجدید پذیر، مسائل توسعه شهری، اضافه شدن بارهای نقطه ای، ایجاد شرایط بحرانی در شبکه توزیع، تعویض بخشی از تجهیزات مانند سیم ها، تعمیرات دوره ای شبکه و احداث پست جدید در شبکه توزیع ساختار شبکه های توزیع نیازمند انعطاف پذیری بیشتری می باشند تا بتوانند به این تغییرات پاسخ بدهند. نحوه پخش توان در سیستم توزیع بصورت لحظه ای متغیر می باشد، نمی توان انتظار داشت که یک ساختار ثابت در تمامی زمان ها بهترین عملکرد را ارائه دهد. در نتیجه تجدید آرایش دینامیکی شبکه با نصب کلیدهای قابل کنترل از راه دور ارزش بیشتری می یابد این امر مستلزم پیش بینی مسائل مختلف آن از جمله مدلسازی بار، ارائه الگوریتم مناسب بازآرایی بهینه می باشد. در شبکه های توزیع واقعی به دلیل تعداد زیاد تجهیزات زیاد و وسیع بودن شبکه این کار مستلزم ارائه روشهای مبتنی بر سیستمهای نرم افزاری پر قدرت و عملی می باشد.

تاکنون، روش های متعددی برای بهبود کارایی شبکه توزیع ایجاد شده است [۳]. یکی از اساسی ترین و رایج ترین روش ها برای افزایش ظرفیت عملکرد شبکه توزیع، مساله بازآرایی شبکه توزیع می باشد. در فیدرهای توزیع، دو نوع کلید وجود دارد که یکی در شرایط کار عادی بسته و دیگری در شرایط کار عادی باز می باشند. وضعیت باز یا بسته بودن این کلیدها به وسیله بازآرایی شبکه توزیع، جهت دستیابی به یک آرایش بهینه جدید به منظور برآورده شدن هدف های مورد نظر از قبیل کاهش تلفات توان، تعادل بار، بهبود پروفیل ولتاژ، کیفیت توان و غیره مشخص می شود [۴]. مساله بازآرایی به عنوان یک مساله بهینه سازی غیرخطی با قیود چندگانه شناخته می شود [۵]. برخی از آراشات به سبب تخطی از قیودی از قبیل شعاعی بودن شبکه، برقرار بودن همه شین ها و تخطی از قیود بهره برداری مانند محدوده مجاز ولتاژ و جریان، مجاز به انتخاب نمی باشند. در ادامه به روش های بازآرایی ارائه شده در مقالات پرداخته می شود.

در مقاله [۶] هدف انجام جایابی بهینه منابع تولید پراکنده و بازآرایی به منظور کاهش تلفات می باشد. قیود مسئله محدودیتهای ولتاژ، حفظ حالت شعاعی شبکه، رعایت حد مجاز جریان خطوط و تأمین بار همه مصرف کنندگان بوده است. روش حل مسئله استفاده از الگوریتم ژنتیک. در حل این مسئله مدل بار نامتعادل و در سه حالت توان ثابت، جریان ثابت و امیدانس ثابت انجام در نظر گرفته شده است و تحت سناریوهای مختلف شامل فقط انجام بازآرایی، فقط جایابی بهینه منابع تولید پراکنده و سرانجام اول بازآرایی و سپس جایابی بهینه منابع تولید پراکنده مسئله مورد حل قرار گرفته است. شبکه مورد مطالعه، شبکه ۲۵ باس بار استاندارد IEEE می باشد. که در هر حالت تلفات محاسبه و در مورد آنها بحث شده است.

در مقاله [۷] هدف انجام جایابی بهینه منابع تولید پراکنده و بازآرایی دینامیکی به منظور کاهش انرژی و بهبود نامتعادلی ولتاژ می باشد. قیود مسئله حدود ولتاژ، حفظ حالت شعاعی شبکه خود محدودیت نامتعادلی ولتاژ و محدودیت تعداد سوئیچ زنی برای تغییر آرایش شبکه می باشند. در حل این مسئله مدل بار را به صورت دینامیکی در نظر گرفته و برای هر ساعت از روز یک مقدار خاص برای بار در نظر گرفته شده و بار نامتعادل می باشد.

مقاله [۸] با هدف انجام جایابی بهینه منابع تولید پراکنده و خازن و بازآرایی به منظور کاهش تلفات و بهبود ضریب توان شبکه با قیود ولتاژ، شعاعی بودن شبکه و رعایت حداکثر توان تولیدی منابع تولید پراکنده با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات انجام شده است. در حل این مسئله مدل بار به صورت دینامیکی در نظر گرفته شده و همچنین مدل توان خروجی برای سلول خورشیدی و نیروگاه بادی در نظر گرفته شده است.

در مقاله [۹] جایابی بهینه منابع تولید پراکنده و بازآرایی به منظور کاهش انرژی تلفاتی سالیانه با قیود محدودیت ولتاژ، حفظ حالت

شعاعی شبکه و غیره با استفاده از الگوریتم فازی (fuzzy C-mean) انجام شده است. در حل این مسئله مدل بار را به صورت سالانه و دینامیکی در نظر گرفته و برای هر چند هزار ساعت از روز یک مقدار خاص برای بار در نظر گرفته شده و بار نامتعادل می باشد. مقاله [۱۰] بازآرایی را به منظور کاهش تلفات انجام داده است. این هدف طوری پیاده شده تا ولتاژ از حد مشخصی بیشتر یا کمتر نشود، شبکه حالت شعاعی خود را حفظ کند، پایداری ولتاژ حفظ شود و تعداد باز و بست سوئیچ ها به حداقل خود برسد. تقریب A KnEA-PE برای حل مسئله پخش بار و استفاده از الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی استفاده شده است. در حل این مسئله منابع تولید پراکنده در چند باس خاص قرار گرفته اند و مدل بار را به صورت استاتیکی در نظر گرفته و بحث احتمال و عدم قطعیت هم برای بار و هم برای منابع تولید پراکنده در نظر گرفته شده است.

در [۱۱] بازآرایی به منظور کاهش تلفات با استفاده از مدل عدد صحیح مختلط خطی پیاده شده است. در حل این مسئله مدل بار را ثابت و متعادل در نظر گرفته و برای خطوط و باس بارها شاخص های قابلیت اطمینان تعریف شده است. تعیین ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده و بازآرایی به منظور کاهش تلفات اهداف اصلی در مرجع [۱۲] می باشند. الگوریتم فرا ابتکاری فاخته به منظور حل این مسئله استفاده شده است.

در مقالات [۱۳]، [۱۴]، [۱۵] و [۱۶] نیز بازآرایی به منظور کاهش تلفات با قیود حفظ محدوده ولتاژ و حفظ ساختار شعاعی شبکه انجام شده است. مرجع [۸] مدل بار را به صورت ثابت فرض شده و در الگوریتم موجود تغییراتی حاصل شده که باعث بهبود یافتن الگوریتم در حل مسئله شده و با چند مقاله دیگر نتایج به دست آمده مقایسه شده که نتایج حاصله باعث بهبود تلفات نسبت های مقالات قبلی بوده است.

با بررسی مقالات بالا می توان نتیجه گرفت که به صورت تئوری ایده های متفاوتی جهت حل مسئله بازآرایی شبکه های توزیع پیشنهاد شده است. با این وجود، در حال حاضر انجام بازآرایی در شرکت های توزیع برق با روشهای تجربی و با در نظر گرفتن مدل بار استاتیک انجام میشود. این روشها بهینه نبوده و مدت زمان محاسبه حل برخی مسائل (نظیر رفع افت ولتاژ باسهای مدنظر) به صورت موقت و ایجاد برخی چالشهای جدید (نظیر کاهش قابلیت اطمینان یا افزایش تلفات کلی شبکه) میشود. استفاده از امکانات سیستم GIS و محاسبات دقیق با نرم افزارهای مطالعات سیستم میتواند راهگشای بازآرایی با در نظر گرفتن همه مسائل بصورت همزمان باشد. از این رو، هدف اصلی این مقاله طراحی و توسعه ماژول نرم افزاری در بستر GIS با قابلیت تعیین پیکربندی بهینه شبکه در زمان های دلخواه بهره برداران (پس از تغییرات در شبکه، حوادث، فصلی، ساعتی...) به منظور اهدافی نظیر بهبود تلفات، بهبود ولتاژ و قابلیت اطمینان است. ایجاد چنین نرم افزاری با قابلیت انتقال شبکه از GIS به DigSILENT و ارائه چنین

ابزار منحصر به فرد و در دسترس بودن این ابزار برای بهره برداران برای پاسخ به تغییرات دینامیکی بار، مسائل توسعه شهری، اضافه شدن بارهای نقطه ای، اضافه شدن منابع تولید پراکنده، شرایط بحرانی در شبکه توزیع، تعویض سیم ها، تعمیرات دوره ای شبکه و احداث پست جدید در شبکه توزیع در سطح شرکت های برق نتایج مهمی چون کاهش تلفات، کاهش زمان خاموشی و به تبع آن رضایت مندی هر چه بیشتر مشترکین، کاهش انرژی توزیع نشده و نرخ خاموشی مشترکین، ایجاد زیر ساختی برای اتوماسیون شبکه توزیع، انتخاب نقطه بهینه برای شروع عملیات مانور و ... به دنبال دارد. ادامه مقاله به صورت زیر دسته بندی شده است. در بخش دوم فرمول بندی مسئله بازآرایی بیان شده است. در بخش سوم روش پیشنهادی بازآرایی برای شبکه های توزیع واقعی ارائه شده است. در بخش چهارم شبیه سازی ها و نتایج نشان داده شده است. در پایان نتیجه گیری ارائه شده است.

۲- فرمول بندی مسئله بازآرایی

در این مقاله تابع هدف اصلی، تلفات توان در شبکه توزیع می باشد که با استفاده از متغیرهای تصمیم می توان مقدار بهینه آن را به دست آورد. متغیرهای تصمیم باز یا بسته بودن کلیدهای شبکه برق می باشند که به صورت صفر و یک نشان داده می شوند و باید بهینه ترین حالت از باز و بست کلیدها را به دست آورد به طوری که هم تلفات توان در شبکه کاهش یابد و هم قیودی که در شبکه توزیع وجود دارد از حد خود خارج نشوند. در ادامه فرمول بندی تابع هدف، متغیرهای تصمیم و قیود مسئله آورده شده و در مورد آنها توضیحاتی ارائه می شود.

۲-۱- تابع هدف

در این مقاله هدف اصلی کاهش تلفات سیستم می باشد که می توان آن را به صورت زیر بیان نمود:

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^N R_i * |I_i|^2 \quad (1)$$

که در آن R_i و $|I_i|^2$ به ترتیب مقاومت شاخه i-ام و جریان شاخه i-ام می باشد.

۲-۲- متغیر تصمیم

متغیرهای تصمیم مسئله باز و بسته بودن کلیدهای شبکه هستند که به صورت ۰ و ۱ می باشند.

$$X_{SW} = [X_{SW1}, X_{SW2}, \dots, X_{SWN}] \quad (2)$$

که در آن X_{SW} حالات باز یا بسته بودن کلیدهای شبکه را نشان می دهد. صفر نشان دهنده باز بودن کلید و یک نشان دهنده بسته بودن آن می باشد.

۳-۲- قیود مسئله

قیود موجود در این مسئله به صورت زیر تعریف می‌شوند:

توان ظاهری انتقالی از خطوط نباید از حد مجاز خط مورد نظر بیشتر شود.

$$|S_{ij}| \leq S_{ij}^{MAX} \quad (3)$$

ولتاژ باس بارهای شبکه بین حد مجاز بین ۰.۹۵ و ۱.۰۵ پریونیت باید قرار بگیرد:

$$V_{min} \leq V_i \leq V_{max} \quad (4)$$

همچنین این شبکه باید حالت شعاعی بودن خود را حفظ کند [۱۳]:

$$\sum_{i,j}^N X_{SWi,j} = 2(N_l - 1) \quad (5)$$

که در آن $X_{SWi,j}$ وضعیت باز و بسته بودن کلید و N_l تعداد کل شاخه‌های شبکه برق می‌باشد.

۳-۴- روش بهینه سازی مسئله

بهینه سازی به معنای یافتن بهترین راه حل برای یک مسئله با توجه به محدودیتها و نیازهای موجود است. روشهای مختلفی برای بهینه سازی وجود دارد که هر کدام مزایا و معایب خاص خود را دارند. بهینه سازی تحلیلی با دقت بالا و تضمین جواب بهینه در مسائل ساده، اما با پیچیدگی بالا در مسائل بزرگ همراه است. الگوریتمهای تکاملی مانند الگوریتمهای ژنتیک و مورچگان و... قابلیت حل مسائل پیچیده را دارند اما نیاز به تنظیم پارامترهای متعدد دارند و زمان و پردازش زیادی برای حل نیاز دارند. در مسئله مورد بحث این مقاله با توجه به ابعاد بسیار بزرگ شبکه های توزیع و تعداد زیاد متغیرهای تصمیم و قیود مختلف نیاز به استفاده از راه حل های دارای سرعت بالا میباشد که بتواند با حداقل زمان و پردازش با کامپیوترهای معمولی (که در صنعت مورد استفاده است) جواب مناسب و بهینه را ارائه دهد. در ادامه در بخش بعدی چگونگی انجام این کار با استفاده از ابزارهای موجود در نرم افزار صنعتی DigSILENT تشریح خواهد شد.

۳- روش پیشنهادی بازآرایی برای شبکه های

توزیع واقعی

هدف این مقاله پیکربندی بهینه دینامیکی یک شبکه بزرگ واقعی در بستر GIS و DigSILENT می‌باشد. این کار با بکارگیری زبان برنامه نویسی پایتون انجام شده است. نرم افزار DigSILENT یکی از بهترین و دقیق ترین نرم افزارها در زمینه تحلیل سیستم های قدرت می باشد و ایجاد سیستم قدرت و وارد کردن و ویرایش اطلاعات عناصر سیستم قدرت به شیوه ای آسان و مناسب در آن امکان پذیر می باشد با بکار گیری زبان برنامه نویسی نرم افزار DigSILENT، (DPL) یا

پایتون میتوان به عنوان وسیله ای جهت اتوماسیون و انجام مکانیزه کارها در نرم افزار DigSILENT عمل نمود.

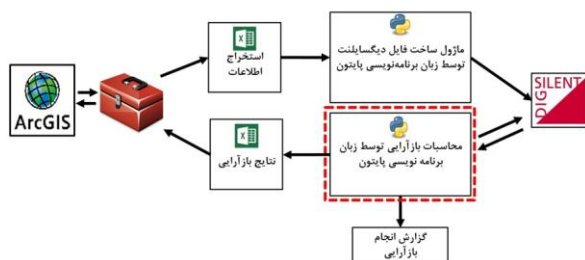
نرم افزار ArcGIS نوعی سیستم اطلاعاتی جغرافیایی (Geographic Information System) است که برای بررسی و تهیه اطلاعات و نقشه های جغرافیایی به کار می رود. ابزارهای این پلتفرم امکان تهیه نقشه، اکتشاف و به اشتراک گذاری اطلاعات همراه با مکان دقیق آنها را فراهم می کند.

پایتون یک زبان برنامه نویسی همه منظوره، سطح بالا، شیء گرا، اسکریپتی و متن باز است که فلسفه ای ایجاد آن تأکید بر دو هدف اصلی خوانایی بالای برنامه های نوشته شده و کوتاهی و بازدهی نسبی بالای آن است. کلمات کلیدی و اصلی این زبان به صورت حداقلی تهیه شده اند و در مقابل کتابخانه هایی که در اختیار کاربر است بسیار وسیع هستند.

در نرم افزار DigSILENT از ورژن ۱۵.۱ به بعد امکان برنامه نویسی با زبان پایتون فراهم شده است. برخلاف زبان برنامه نویسی DPL که فقط قابلیت اجرا شدن از درون DigSILENT را داشت، با زبان پایتون می توان از بیرون از محیط DigSILENT و در حالت Engine، برنامه را فراخوانی کرده و محاسبات مدنظر را اجرا کرد. در جدول (۱) قابلیت های نرم افزار پایتون و زبان برنامه نویسی دیگسایلنت با یکدیگر مقایسه شده اند. مطابق جدول زیر می توان دریافت که زبان برنامه نویسی پایتون قابلیت ها و انعطاف پذیری بیشتری نسبت به زبان برنامه نویسی DPL دارد. روش انجام کار از دریافت اطلاعات تا انجام مطالعات بازآرایی و تهیه گزارشات لازم توسط نرم افزارهای فوق الذکر در شکل ۱ آمده و در ادامه تشریح شده است.

جدول (۱): مقایسه زبان برنامه نویسی Python و DPL

Python	DPL	قابلیت
بله	خیر	قابلیت کار با اعداد مختلط
بله	خیر	قابلیت تعریف متغیرهای برداری و ماتریسی و کار روی آن ها
بله	خیر	قابلیت ارتباط با دنیای بیرون از نرم افزار
بله	خیر	امکان اشکال یابی خط به خط و مشاهده متغیرها در حین اجرای برنامه
بله	خیر	کتابخانه های تخصصی و سهولت نوشتن برنامه های بهینه سازی و هوش مصنوعی
بله	خیر	امکان تبدیل کدها به برنامه مستقل



شکل ۱: شمای کلی سیستم پیاده سازی شده

طراحی و توسعه ماژول نرم افزاری پیکربندی بهینه شبکه توزیع در بستر سامانه اطلاعات جغرافیایی و نرم افزار دیگسایلنت به کمک زبان برنامه نویسی پایتون

شکل (۲): اطلاعات استخراج شده از اکسل

در مرحله بعد اطلاعات استخراج شده در قالب اکسل به فرمت یک فایل قابل خوانش توسط نرم افزار DigSILENT تبدیل می شود. بررسی انواع مختلف فایل قابل خوانش توسط نرم افزار DigSILENT نشان می دهد که فرمت فایل DGS ساده ترین حالت بوده و مورد انتخاب قرار گرفت. در این مرحله با نوشتن ماژول نرم افزاری با پایتون اطلاعات استخراجی به این فرمت فایل تبدیل و ذخیره می شود. فایل DGS ایجاد شده بر اساس اطلاعات اکسل قبلی در شکل ۳ نشان داده شده است.

```
File Edit Format View Help
-----
+ This is a dgs file, output of a software
+ name of the software is DigSILENT from arak university.
+ date: 2020-06-18 09:25:41
+ =====
+ $Header: ID(a:40); loc_name(a:40); fold_id(a:40)
+
+ General information
+ $D: unique identifier for dgs file
+ $D: getting
+ $V: value
+ $I: version: 5.0
+
+ =====
+ $Element: ID(a:40); loc_name(a:40); fold_id(a:40); from(r)
+
+ Graph
+ $D: unique identifier for dgs file
+ $D: getting
+ $V: value
+ $I: version: 5.0
+
+ =====
+ $Header: ID(a:40); loc_name(a:40); postarolder(p); fold_id(p); grid_id(p); ortho_id(p); kashabch(C); thzoon(f(C))
+
+ Graph
+ $D: unique identifier for dgs file
+ $D: getting
+ $V: value
+ $I: version: 5.0
+
+ =====
+ $Header: ID(a:40); loc_name(a:40); postarolder(p); fold_id(p); grid_id(p); ortho_id(p); kashabch(C); thzoon(f(C))
+
+ Graph
+ $D: unique identifier for dgs file
+ $D: getting
+ $V: value
+ $I: version: 5.0
+
+ =====
```

شکل (۳): نمونه ای از فایل DGS

وقتی اطلاعات موجود در فایل GIS به فرمت DGS تبدیل شود، نرم افزار DigSILENT قابلیت تبدیل فایل DGS به دیتابیس شبکه را دارا می باشد. لذا در این مرحله شبکه داخل نرم افزار DigSILENT ترسیم شده و آماده انجام هر گونه مطالعات موجود در نرم افزار می باشد.

۳-۳- مطالعات بازآرایی در نرم افزار DigSILENT

در نرم افزار DigSILENT مطالعات بازآرایی با اهداف متفاوتی می تواند انجام شود:

- با هدف کاهش تلفات توان
- با هدف بهبود قابلیت اطمینان
- با هدف بهبود تلفات توان و بهبود قابلیت اطمینان به صورت همزمان

در شکل ۴ نمونه ای مربوط به انجام مطالعات بازآرایی نشان داده شده است.

همانگونه که در شکل ملاحظه می شود ابتدا اطلاعات لازم جهت مطالعات بازآرایی شبکه از میان اطلاعات بهشمار موجود در سامانه اطلاعات جغرافیایی استخراج شده و صحت سنجی می شود و در صورتیکه کمبود یا مشکلی در اطلاعات باشد کاربر مطلع شده و اصلاح خواهد نمود. سپس با استفاده از این اطلاعات شبکه توزیع در نرم افزار مطالعات سیستم قدرت DigSilent بازسازی شده و آماده جهت هر گونه مطالعاتی خواهد شد. در مرحله بعد با استفاده از امکانات موجود در نرم افزار عملیات بازآرایی انجام می شود و در مرحله نهایی نتایج مجدداً در سامانه GIS نمایش داده می شود. در ادامه به تفصیل هر یک از مراحل تشریح خواهند شد:

۳-۱- دریافت اطلاعات از GIS و صحت سنجی

اطلاعات مورد نیاز جهت انجام بازآرایی بهینه به شرح زیر می باشد:

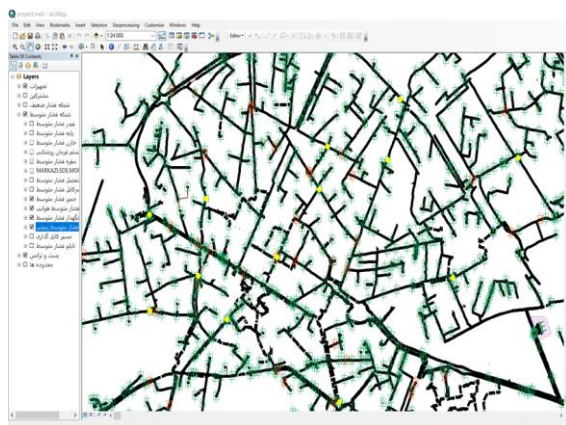
- ✓ اطلاعات مربوط به GIS شبکه
- ✓ اطلاعات مربوط به بارهای کنتر فها
- ✓ اطلاعات مربوط به بارهای عمومی

اطلاعات توصیفی و مکانی کلیه تجهیزات شبکه در سیستم GIS شرکت های توزیع موجود است. این اطلاعات دریافت شده و مبنای کار برای بقیه مراحل می باشد. لذا می بایست هر گونه بروزسانی و تغییرات در این سیستم انجام گردد. معمولاً در اطلاعات دریافتی مربوط به GIS مشکلاتی وجود دارد که در هنگام ترسیم شبکه ایجاد شده است. این ایرادات ممکن است مربوط به مشکلات مکانی (عدم اتصال دقیق تجهیزات و ایجاد جزیره در شبکه) و یا عدم ورود برخی اطلاعات توصیفی (نظیر مقدار بار، ضریب توان بار، ظرفیت ترانس و ...) باشد. ضروری است قبل از ادامه کار این ایرادات برطرف گردد.

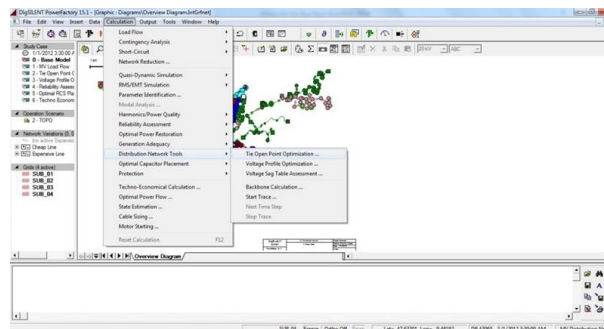
۳-۲- توسعه ماژول نرم افزاری جهت انتقال اطلاعات

از GIS به DigSILENT

در این بخش ماژول طراحی شده برای انتقال اطلاعات از نرم افزار GIS به DigSILENT توصیف شده است. در ابتدا باید تمام اطلاعات مورد نیاز مربوط به پایه ها و خطوط و بارها و ... از نرم افزار GIS گرفته شود. برای انجام این کار ماژولی طراحی و پیاده سازی می شود تا داده های مورد نیاز را از فایل mdb سیستم GIS استخراج و در یک فایل با قالب اکسل ذخیره مینماید. نمونه ای از فایل اکسل استخراج شده بر اساس اطلاعات واقعی موجود در GIS بصورت شکل ۲ است.

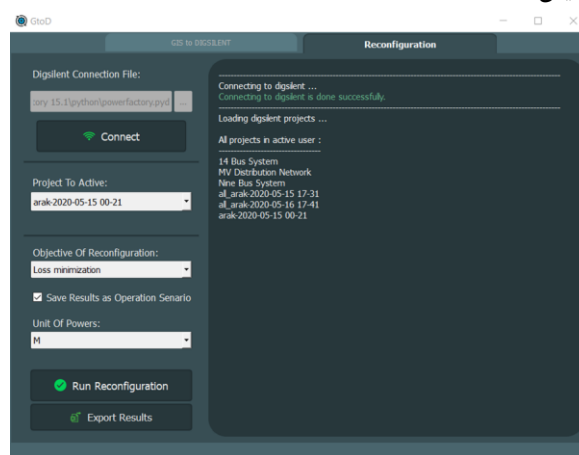


شکل (۶): مکان کلیدها به منظور تغییر وضعیت



شکل (۴): منوی مربوط به انجام مطالعات باز آرایشی

با انتخاب گزینه Tie Open Point Optimization و انتخاب تابع هدف مدنظر از بین سه حالت فوق الذکر و انجام تنظیمات مربوطه و اجرای برنامه، مطالعات باز آرایشی انجام شده و نتایج گزارش می‌شود. به منظور ساخت ماژول انجام محاسبات باز آرایشی، در محیط برنامه نویسی پایتون کدهایی نوشته شده است که بصورت گرافیکی اطلاعات لازم را دریافت نموده و بدون باز کردن نرم افزار DigSILENT و وارد شدن به محیط آن محاسبات باز آرایشی را انجام می‌دهد و خروجی‌های مدنظر شامل وضعیت کلیدهای شبکه از لحاظ باز یا بسته بودن را در یک فایل اکسل ذخیره مینماید. در شکل ۵ رابط گرافیکی طراحی شده نمایش داده شده است.



شکل (۵): ماژول انجام محاسبات باز آرایشی

۳-۴- نمایش نتایج باز آرایشی در نرم افزار GIS

بعد از انجام باز آرایشی و گرفتن خروجی اکسل، ماژولی طراحی شده که وظیفه برقراری ارتباط برعکس بین DigSILENT و GIS را برقرار میکند. به این صورت کلیدهایی که در آن‌ها مانور رخ داده و نرم افزار DigSILENT معرفی کرده با استفاده از این ماژول می‌توان در نرم افزار GIS مشاهده نمود. بعنوان نمونه برای اطلاعات قبلی، در شکل ۶ مکان کلیدها به منظور تغییر وضعیت (باز کردن) در GIS نشان داده شده است.

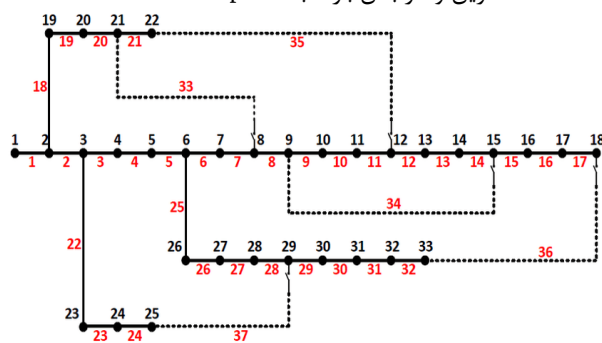
۴- شبیه سازی

شبیه سازی و تجزیه و تحلیل داده‌ها بخش مهمی از این پژوهش می‌باشد که در آن می‌توان داده‌های به دست آمده و گزارشات را با روش‌های دیگر مقایسه کرد و به درستی یا نادرستی روش ارائه شده پی برد. با توجه به روش ارائه شده، در این بخش در ابتدا دو شبکه تست مورد ارزیابی قرار گرفته است و نتایج به دست آمده با روش‌های دیگر مقایسه شده‌اند. سپس روش پیشنهادی بر روی شبکه واقعی در سطح کشور پیاده سازی شده است.

۴-۱- نتایج شبیه سازی بر روی IEEE 33 Bus System

شبکه ۳۳ با سه IEEE یکی از مهم‌ترین شبکه‌های استاندارد می‌باشد که اکثر پژوهشگران برای کارهای پژوهشی و تست، ایده خود را بر روی این شبکه استاندارد مورد مطالعه قرار می‌دهند. مطابق شکل ۷ این شبکه قسمتی از سیستم فوق توزیع شهر نیویورک آمریکا می‌باشد. اطلاعات شبکه مورد مطالعه در [۱۷] آمده است. این شبکه دارای اطلاعات زیر می‌باشد:

- تعداد کلیدهای بسته در حالت عادی: 32 (Sectionalizer)
- تعداد کلیدهای باز در حالت عادی: 5 (Tie switch)
- تلفات توان اکتیو شبکه در حالت عادی: ۲۱۰ kW
- تلفات توان راکتیو شبکه در حالت عادی: ۱۴۰ kVar
- کمترین ولتاژ باس بار شبکه: ۰.۹۱ p.u.



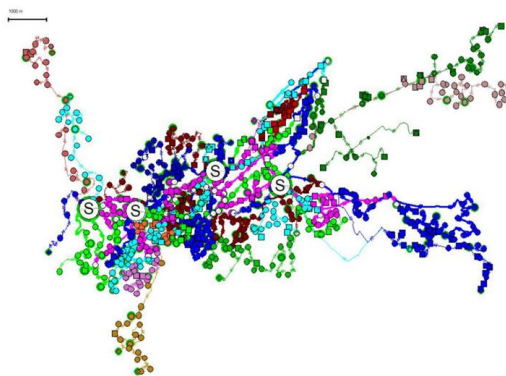
شکل (۷): ساختار شبکه ۳۳ با سه مورد مطالعه

شکل (۱۰): ولتاژ باس بارهای شبکه قبل از انجام بازآرایی

در مراجع بخش مقدمه، روش‌های مختلفی جهت بازآرایی با استفاده از الگوریتم‌های گوناگون روی شبکه IEEE 33 bus system پیاده سازی شده است. نتایج بدست آمده با ماژول پیشنهادی در مقایسه با روش‌های قبلی نشان دهنده موثر بودن روش ارائه شده می‌باشد.

۴-۲- نتایج شبیه سازی بر روی شبکه تست MV Distribution

این شبکه یکی از شبکه‌های موجود در خود نرم افزار DigSILENT می‌باشد که از کامل ترین شبکه‌های کاربردی برای انجام مطالعات و پژوهش پژوهشگران می‌باشد و نقشه و اطلاعات و بارهای موجود در شبکه بسیار شبیه به اطلاعات واقعی می‌باشد. این شبکه دارای ۷۵ فیدر ۲۰ کیلوولت و ۸۷۲ شین می‌باشد. شکل ۱۱ ساختار تک خطی این شبکه را نشان می‌دهد.



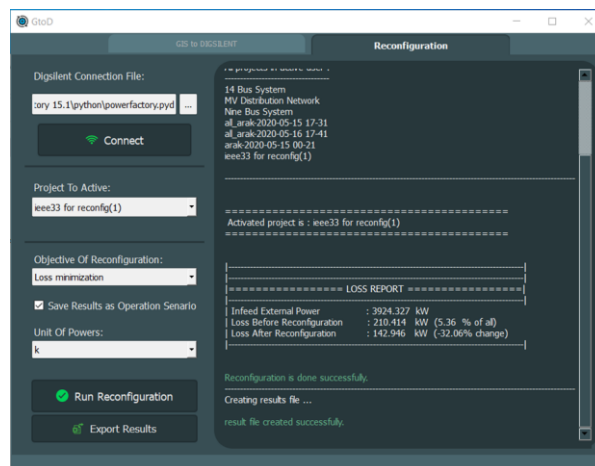
شکل (۱۱) شبکه نمونه MV Distribution

ماژول طراحی شده بر روی شبکه فوق اجرا شده و ملاحظه گردید که تلفات شبکه از ۲۷۰۲/۹۹ به مقدار ۲۲۶۵/۰۶ کیلووات کاهش یافت. انجام بازآرایی در این شبکه بزرگ حدود ۱۶٪ از تلفات توان را کاهش داده که با توجه به مقدار توان عدد قابل توجهی می‌باشد.

۴-۳- شبیه سازی یک شبکه توزیع فشار متوسط واقعی

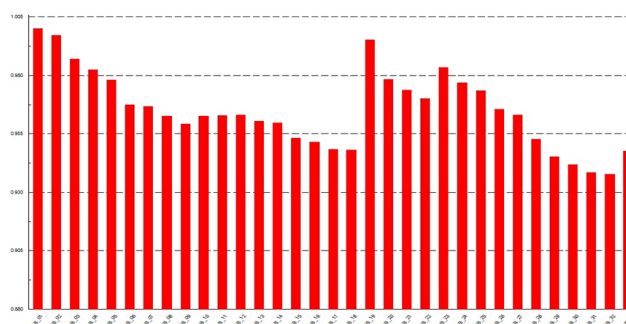
شبکه‌های توزیع به دلیل ساختار شعاعی، سیستم حفاظت ساده، فرسودگی، تنوع و تعدد تجهیزات بکار رفته سهم عمده تلفات شبکه برق و خاموشی‌های مشترکین را به خود اختصاص می‌دهند. از این رو کاهش تلفات و بهبود قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع برق توجه بسیاری از کارشناسان صنعت برق را به خود جلب کرده است. یکی از راه‌های کاهش تلفات و بهبود قابلیت اطمینان شبکه، پیکربندی بهینه آن می‌باشد. شکل ۱۲ شبکه توزیع مورد نظر در نرم افزار GIS را نشان می‌دهد.

بازآرایی شبکه ۳۳ باسه با هدف کاهش تلفات و رعایت قیود با استفاده از ماژول طراحی شده انجام شده که نتایج حاصله ماژول در شکل ۸ نمایش داده شده است.

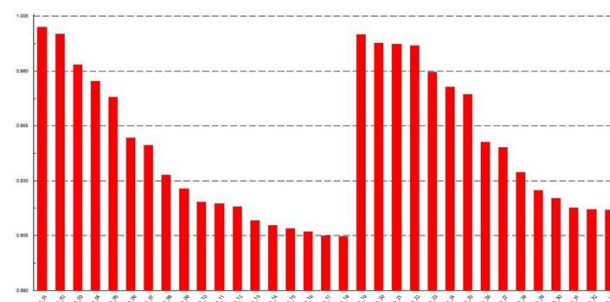


شکل (۸): ماژول بازآرایی برای شبکه ۳۳ باسه

همان طور که مشاهده می‌شود تلفات این شبکه قبل از پیاده کردن روش پیشنهادی حدود ۲۱۰ kW می‌باشد که بعد از بازآرایی تلفات توان به مقدار حدود ۳۳٪ کاهش داشته است. یک مقایسه دیگر هم می‌توان بین ولتاژ باسبارها انجام داد. شکل ۹ نشان دهنده ولتاژ همه باسبارها بعد از پیاده سازی روش و شکل ۱۰ قبل از پیاده سازی روش می‌باشد. با توجه به شکل‌های موجود می‌توان تاثیر انجام بازآرایی علاوه بر کاهش تلفات توان در بهبود پروفیل ولتاژ هم مشاهده کرد.



شکل (۹): ولتاژ باس بارهای شبکه بعد از انجام بازآرایی

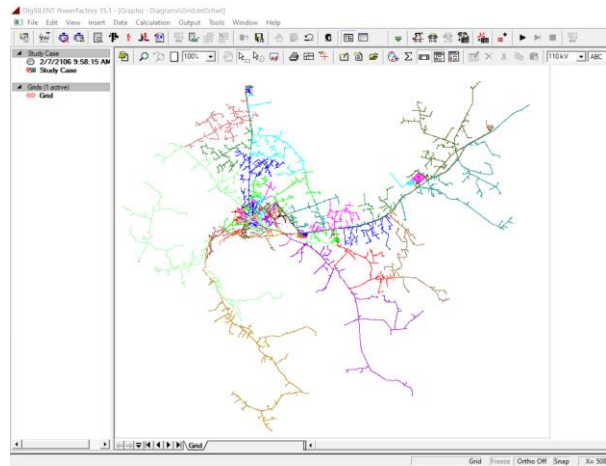


سپاس‌گزاری

مقاله حاضر حاصل پروژه تحقیقاتی فی مابین دانشگاه اراک و شرکت توزیع نیروی برق استان مرکزی می باشد. از کلیه کارکنان محترم شرکت توزیع نیروی برق استان مرکزی به ویژه از مدیرعامل محترم، مدیریت محترم تحقیقات و کارشناسان این بخش که در انجام این پروژه محققین را یاری نمودند، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

مراجع

- [1] P. Ushashree and K. S. Kumar, "Power System Reconfiguration in Distribution System for Loss Minimization Using Optimization Techniques: A Review," *Wireless Personal Communications*, vol. 128, no. 3, pp. 1907-1940, 2023.
- [2] R. Fathi, B. Tousi, and S. Galvani, "Allocation of renewable resources with radial distribution network reconfiguration using improved salp swarm algorithm," *Applied Soft Computing*, vol. 132, p. 109828, 2023.
- [3] S. Mishra, D. Das, and S. Paul, "A comprehensive review on power distribution network reconfiguration," *Energy Systems*, vol. 8, pp. 227-284, 2017.
- [4] M. Mahdavi, H. H. Alhelou, N. D. Hatziaargyriou, and F. Jurado, "Reconfiguration of electric power distribution systems: Comprehensive review and classification," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 118502-118527, 2021.
- [5] A. Mishra, M. Tripathy, and P. Ray, "A survey on different techniques for distribution network reconfiguration," *Journal of Engineering Research*, 2023.
- [6] A. Zidan, R. S. Al-Abri, and E. F. El-Saadany, "Load model effect on distributed generation allocation and feeders' reconfiguration in unbalanced distribution systems," in *GCC Conference and Exhibition (GCCCE)*, 2015 IEEE 8th, 2015, pp. 1-5: IEEE.
- [7] H. Zhai, M. Yang, B. Chen, and N. Kang, "Dynamic reconfiguration of three-phase unbalanced distribution networks," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 99, pp. 1-10, 2018.
- [8] S. R. Tuladhar, J. G. Singh, and W. Ongsakul, "Multi-objective approach for distribution network reconfiguration with optimal DG power factor using NSPSO," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 10, no. 12, pp. 2842-2851, 2016.
- [9] A. M. Tahboub, V. R. Pandi, and H. Zeineldin, "Distribution system reconfiguration for annual energy loss reduction considering variable distributed generation profiles," *IEEE Transactions on power delivery*, vol. 30, no. 4, pp. 1677-1685, 2015.
- [10] J. Shukla, B. Das, and V. Pant, "Stability constrained optimal distribution system reconfiguration considering uncertainties in correlated loads and distributed generations," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 99, pp. 121-133, 2018.
- [11] N. G. Paterakis et al., "Multi-objective reconfiguration of radial distribution systems using reliability indices," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 31, no. 2, pp. 1048-1062, 2016.
- [12] T. T. Nguyen, A. V. Truong, and T. A. Phung, "A novel method based on adaptive cuckoo search for optimal



شکل (۱۲): نقشه GIS فشار متوسط واقعی مورد شبیه سازی شده

ماژول طراحی شده بر روی این شبکه توزیع فشار متوسط واقعی پیاده سازی شده و نتایج استخراج گردیده است. تلفات شبکه در حالت عادی ۱۰/۵۶ مگاوات بوده که با انجام بازآرایی به ۹/۹۸ مگاوات رسیده است. جهت دستیابی به این موضوع ۴۸ کلید در شبکه باز و ۴۸ کلید دیگر بسته شده اند تا ضمن حفظ شعاعی بودن شبکه، تلفات به حداقل برسد و قیود مختلف رعایت گردد. با توجه به نتایج به دست آمده، ماژول طراحی شده جهت انجام بازآرایی باعث کاهش تلفات توان موثری در شبکه شده است.

۵- نتیجه گیری

شبکه های توزیع به دلیل ساختار، تنوع و تعداد تجهیزات به کار رفته سهم عمده ای از تلفات و خاموشی های مشترکین برق را به خود اختصاص می دهند. یکی از راه های کاهش تلفات این شبکه ها، پیکربندی بهینه آن می باشد. در این مقاله، روند طراحی و پیاده سازی یک ماژول نرم افزاری که بتواند با استفاده از اطلاعات موجود در سیستم GIS یک پیکربندی بهینه به منظور حداقل سازی تلفات و با رعایت قیود مختلف برای شبکه ارائه دهد پیشنهاد شده است. در ابتدا با استفاده از ماژول طراحی شده اطلاعات از GIS برداشته شده و سپس فایل DGS ساخته می شود و شبکه آماده انجام مطالعات پیکربندی می شود. در ادامه با استفاده از ماژول بازآرایی پیشنهاد شده، مطالعات مربوط به آن انجام شده و کلیدهایی که مانور در آن ها اتفاق می افتد مشخص شده و اطلاعات مانور وارد نرم افزار GIS شده و ارتباط دو طرفه برقرار شده و قابل نمایش در نرم افزار GIS می باشد. به منظور صحت سنجی نرم افزار توسعه داده شده، دو شبکه تست مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفتند. سپس نرم افزار بر روی یک شبکه واقعی بزرگ اجرا شده و نتایج حاصله نشان از کارایی ابزار طراحی شده دارد.

- network reconfiguration and distributed generation allocation in distribution network," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 78, pp. 801-815, 2016.
- [13] A. Abdelaziz, S. Mekhamer, F. Mohammed, and M. Badr, "A modified Particle Swarm Technique for distribution systems reconfiguration," *Online Journal on Electronics and Electrical Engineering (OJEEE)* Vol.(1)–No.(2), 2010.
- [14] H. R. Esmaeilian and R. Fadaeinedjad, "Energy Loss Minimization in Distribution Systems Utilizing an Enhanced Reconfiguration Method Integrating Distributed Generation," *IEEE Systems Journal*, vol. 9, no. 4, pp. 1430-1439, 2015.
- [15] 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*, vol. 64, pp. 88-95, 2015.
- [16] M. Esmaeili, M. Sedighizadeh, and M. Esmaili, "Multi-objective optimal reconfiguration and DG (Distributed Generation) power allocation in distribution networks using Big Bang-Big Crunch algorithm considering load uncertainty," *Energy*, vol. 103, pp. 86-99, 2016.
- [17] M. H. Kakueinejad, A. Heydari, M. Askari, and F. Keynia, "Optimal planning for the development of power system in respect to distributed generations based on the binary dragonfly algorithm," *Applied Sciences*, vol. 10, no. 14, p. 4795, 2020.