



Computational Intelligence in Electrical Engineering
Vol. 11, No. 2, 2020
Research Paper

Optimal Placement of Power Switches on Malayer Practical Feeder to Improve System Reliability Using Hybrid Particle Swarm Optimization with Sinusoidal and Cosine Acceleration Coefficients

Mohammad Abedini¹, Reza Eskandari², Javad Ebrahimi³, Mohammad Hossein Zeinali⁴, Amin Alahyari⁵.

¹ Dept. of Electrical Engineering, Ayatollah Borujerdi University, Borujerd, Lorstan, Iran
m.abedini@abru.ac.ir

^{2,3,5} Dept. of Electrical Engineering, Afarinesh University, Borujerd, Lorstan, Iran
eskandarireza110@gmail.com, javad.ebrahimi@iaukhsh.ac.ir, alahyari.amin@gmail.com

⁴ Hamadan Power Distribution Company, Malayer, Hamedan, Iran
m.h.zeinalii@gmail.com

Abstract:

Power switches are among the equipment that can help improve the distribution system condition and reduce the cost of failure at times of error. Finding the optimal location and number of these switches in the distribution system can be modeled with a variety of objective functions as a nonlinear optimization problem to improve reliability, reduce energy not supplied and other system costs. In this paper, a Hybrid Particle Swarm Optimization with Sinusoidal and Cosine Acceleration Coefficients (H-PSO-SCAC) is used to solve the problem of optimal placement of switches with the goal of reducing the cost of switches installation and outage simultaneously in a software format for the use of Malayer Distribution Company operators and other sections. The simulation results have been tested using the corresponding algorithm on the Malayer 108-bus distribution feeder and IEEE 118-bus sampling network and compared with the results of other methods. The results show that the algorithm (H-PSO-SCAC) is better than other algorithms in terms of response quality and computational efficiency, also its implementation in a user friendly software has made it easy for operators and Users to use.

Keywords: Distribution system, Energy Not Supplied, H-PSO-SCAC algorithm, optimal placement, Power switches, Reliability.



2252-083X/ © 2020 The Authors. Published by University of Isfahan

This is an open access article under the CC BY-NC-ND/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).



<http://dx.doi.org/10.22108/isee.2020.119480.1286>

مکان‌یابی بهینه کلیدهای قدرت روی فیدر عملی شهرستان ملایر برای بهبود قابلیت اطمینان سیستم با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات ترکیبی با ضرایب سینوس کسینوس (H-PSO-SCAC)

محمد عابدینی^{۱*}، رضا اسکندری^۲، جواد ابراهیمی^۳، محمدحسین زینعلی^۴، امین الهیاری^۵

۱- استادیار دانشکده فنی و مهندسی، گروه برق - دانشگاه آیت‌الله بروجردی - بروجرد - ایران

m.abedini@abru.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه برق - مؤسسه آموزش عالی غیرانتفاعی - غیردولتی آفرینش علم گستر بروجرد

- بروجرد - ایران

eskandarireza110@gmail.com

۳- مربی گروه برق - مؤسسه آموزش عالی غیرانتفاعی - غیردولتی آفرینش علم گستر بروجرد - بروجرد، ایران

javad.ebrahimi@iaukhsh.ac.ir

۴- کارشناس فنی شرکت توزیع برق استان همدان، ملایر - ایران

m.h.zeinalii@gmail.com

۵- استادیار گروه برق - مؤسسه آموزش عالی غیرانتفاعی - غیردولتی آفرینش علم گستر بروجرد - بروجرد، ایران

m.h.zeinalii@gmail.com

چکیده: از کلیدهای قدرت از جمله تجهیزاتی‌اند که به بهبود وضعیت سیستم توزیع و کاهش هزینه‌های قطعی در زمان خطا کمک می‌کنند. یافتن مکان و تعداد بهینه این کلیدها در سیستم توزیع می‌تواند با توابع هدف مختلفی به صورت یک مسئله بهینه‌سازی غیرخطی برای بهبود قابلیت اطمینان، کاهش انرژی توزیع‌نشده و دیگر هزینه‌های سیستم مدل شود. در این مقاله، الگوریتم ازدحام ذرات با ضرایب سینوسی و کسینوسی (H-PSO-SCAC)^۱ برای حل مسئله مکان‌یابی کلیدهای قدرت با اهداف کاهش هزینه نصب کلیدها و خاموشی به صورت هم‌زمان در قالب نرم‌افزاری برای استفاده بهره‌برداران شرکت توزیع شهرستان ملایر و سایر بخش‌ها ارائه شده است. نتایج شبیه‌سازی با استفاده از الگوریتم مربوطه روی فیدر توزیع ۱۰۸ شینه شهرستان ملایر و همچنین، شبکه نمونه ۱۱۸ شینه تست شده و با نتایج سایر روش‌ها مقایسه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند الگوریتم (H-PSO-SCAC) از نظر کیفیت جواب به دست آمده و بازدهی محاسباتی، عملکرد بهتری نسبت به دیگر الگوریتم‌ها دارد. همچنین، پیاده‌سازی آن در قالب یک نرم‌افزار کاربرپسند، استفاده از آن را برای بهره‌برداران و کاربران ساده کرده است.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ازدحام ذرات با ضرایب سینوسی و کسینوسی، انرژی توزیع‌نشده، سیستم توزیع، قابلیت اطمینان مکان‌یابی بهینه، کلیدهای قدرت.

۱- مقدمه

امروزه با توجه به محدودیت منابع انرژی، نبود زیرساخت‌های مناسب در مقابل پیشرفت‌های موجود و افزایش انتظارات مشترکین نیاز است به دنبال راهکاری بود تا انرژی الکتریکی را به بهترین شکل به دست مصرف‌کننده برساند. یکی از راهکارهای پیشنهادی برای انجام این مهم، افزایش اتوماسیون و کاهش دخالت انسانی در فرایند کاری سیستم قدرت است. حرکت به سمت اتوماسیون سیستم باید از پایین زنجیره، یعنی سیستم توزیع شروع شود. انتقال

^۱ تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۱۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۱۸

نام نویسنده مسئول: محمد عابدینی

نشانی نویسنده مسئول: ایران - لرستان - بروجرد - دانشگاه

آیت‌الله‌العظمی بروجردی - دانشکده فنی و مهندسی

۷۴ مکان‌یابی بهینه کلیدهای قدرت روی فیدر عملی شهرستان ملایر برای بهبود قابلیت اطمینان سیستم با استفاده از ...

برای جایابی کلیدهای قدرت مختلف اعم از کنترل پذیر و معمولی استفاده کرده است که هدف آن، تعیین میزان بهینه سطح سرمایه‌گذاری‌ها در شبکه‌های توزیع هوشمند است [۴]. در جایی دیگر، روشی مبتنی بر فرایند سلسله مراتبی تحلیلی برای مکان‌یابی ریکلوزر با هدف بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع پیشنهاد شده است [۵]. همچنین، مسئله تجدید ساختار در شبکه توزیع با هدف افزایش قابلیت اطمینان توسط الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری در مرجعی دیگر بررسی شده است [۶]. منبعی دیگر نیز روش بهینه‌سازی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک را برای مکان‌یابی کلیدها (ریکلوزر و سکشن‌لایزر) در سیستم‌های توزیع هوشمند پیشنهاد داده است [۷].

در مرجع دیگری، از روشی مبتنی بر شبیه‌سازی مونت کارلو به منظور انجام محاسبات موازی در ارزیابی قابلیت اطمینان و هزینه سیستم توزیع استفاده کرده‌اند [۹]. همچنین در مرجعی دیگر، مسئله مکان‌یابی بهینه با استفاده از الگوریتم DS^3 برای پیدا کردن تعداد و محل نصب بهینه کلیدها در سیستم توزیع اجرا شده است [۱۰]. در برخی از مطالعات نیز مسئله تجدید ساختار و بازآرایی شبکه توزیع با هدف کاهش تلفات توان و بهبود شاخص قابلیت اطمینان حل شده است [۱۱]. یکی دیگر از روش‌های پرکاربرد برای حل این نوع مسائل، روش الگوریتم کلونی مورچگان است؛ بنابراین در برخی مراجع، مسئله مکان‌یابی بهینه کلیدهای قدرت با این الگوریتم انجام شده است [۱۲]. بعضی نویسندگان نیز برای بهبود قابلیت اطمینان سیستم در حضور منابع تولید پراکنده، روش‌هایی مبتنی بر الگوریتم‌های چندمرحله‌ای را ارائه داده‌اند [۱۳].

در مرجع [۱۴]، از نظریه گراف برای طراحی بهینه ریزشبکه در حالت جزیره‌ای با هدف بهبود ارتباط بار و منابع تولید استفاده شده است. به صورت کلی در سیستم توزیع، طراحی بهینه با اهداف و روش‌های گوناگونی انجام می‌گیرد؛ برای مثال، در [۱۵] مسئله طراحی به منظور تعیین ظرفیت، تعداد منابع و کلیدها با هدف بهبود قابلیت اطمینان و امنیت سیستم توزیع حل شده است. در [۱۶، ۱۷] صرفاً توابع هدف اقتصادی برای بهینه‌سازی ظرفیت و تعداد منابع در سیستم توزیع با در نظر گرفتن عدم قطعیت تولید آورده

از ساختار قدیمی به ساختار جدید شبکه‌های توزیع، به ایجاد زیرساخت مناسب برای رفع محدودیت‌های فنی و اقتصادی پیش روی اتوماسیون شبکه‌های توزیع نیازمند است. از جمله مهم‌ترین اهداف شرکت‌های توزیع، تأمین انرژی الکتریکی بدون وقفه با حداقل هزینه و حداکثر سطح قابلیت اطمینان برای مشترکین خود است؛ از این رو، یکی از راهکارهایی که دستیابی به اهداف مذکور را ممکن می‌کند، استفاده از کلیدها و تجهیزات کنترل از راه دور است.

بهره‌برداران شبکه‌های توزیع با استفاده از کلیدهای کنترل از راه دور قادرند نقاط مانور مناسب را با توجه به تابع هدف از پیش تعیین شده پیشنهاد دهند تا بازایی بار پس از بروز خطا با کمترین زمان ممکن در شبکه انجام گیرد.

بنابراین، مکان و تعداد این کلیدها در سیستم توزیع باید با در نظر گرفتن اهدافی همچون تأمین مداوم انرژی الکتریکی، کاهش هزینه خاموشی شبکه و نصب کلیدها و قیود فنی مربوط به شبکه صورت گیرد. در واقع، رضایت مشترکین از شرکت‌های توزیع برق هدفی بسیار مهم است و بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان راه مؤثری برای دستیابی به این هدف است که با مکان‌یابی بهینه کلیدهای قدرت برآورده می‌شود. این کار باعث کاهش هزینه سرمایه‌گذاری در تجهیزات شبکه، افزایش تعداد مشتریان و همچنین قابلیت اطمینان سیستم می‌شود [۱].

از این رو، فعالیت‌های پژوهشی فراوانی برای حل مسئله مکان‌یابی بهینه کلیدهای قدرت و افزایش قابلیت اطمینان سیستم توزیع تاکنون صورت گرفته است که در ادامه به اختصار به آنها اشاره می‌شود. روش‌های هوش مصنوعی از جمله روش‌های مرسوم برای حل اینگونه مسائل‌اند؛ بنابراین، در برخی مراجع از الگوریتم بهینه‌سازی PSO^۲ برای تعیین تعداد و محل بهینه کلیدهای قدرت با هدف بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان در سیستم‌های توزیع استفاده شده است [۲]. در جایی دیگر، مسئله مکان‌یابی بهینه کلیدها در شبکه هوشمند توزیع با هدف کاهش هزینه سرمایه‌گذاری، زمان خاموشی مشترکین و مقدار انرژی توزیع‌نشده با استفاده از الگوریتم ژنتیک بررسی شده‌اند [۳]. مرجعی دیگر روشی مبتنی بر الگوریتم جستجوی ترکیبی را

در ادامه در بخش دوم، مدل‌سازی و روابط مرتبط با مکان‌یابی کلیدها بررسی می‌شوند. در بخش سوم، الگوریتم حل با روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات با ضرایب سینوسی و کسینوسی بررسی می‌شود. در بخش چهارم، نتایج و سناریوهای شبیه‌سازی با استفاده از الگوریتم پیشنهادی روی فیدر عملی ۱۰۸ شینه از ندریان شهرستان ملایر و فیدر ۱۱۸ شینه IEEE^۱، ارائه و در بخش پنجم، نتیجه‌گیری و پیشنهادها برای کارهای آینده بیان می‌شوند.

۲- فرمول‌بندی مسئله

مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهند عواملی همچون هزینه خاموشی برای مصرف‌کنندگان، مدت‌زمان خاموشی، توپولوژی شبکه، تغییرات بار، نرخ خرابی اجزای سیستم، زمان مشخص‌شدن محل بروز خطای به‌وجودآمده در سیستم، مدت‌زمان جداسازی قسمت معیوب، مقدار بار قطع شده در طی این فرایند زمانی (مقدار انرژی توزیع‌نشده) و درنهایت، بهبود مقادیر شاخص‌های قابلیت اطمینان، نقشی اساسی در تعیین تابع هدف مدنظر دارند.

۲-۱- تابع هدف

پروفسور بلینگتون در سال ۱۹۹۶ میلادی، به‌منظور حل مشکل خاموشی، بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان، کاهش هزینه‌های تحمیل‌شده به شرکت توزیع و مشترکین آن و همچنین، جلب رضایت مشترکین، یک تابع هدف کلی ارائه کرد که با آن بتوان وقفه ایجادشده در سیستم را به صورت ریاضی مدل کرد [۲،۲۹].

همچنین، قیمت بسیار بالای کلیدها، گسترده‌بودن شبکه توزیع انرژی الکتریکی و هزینه اجرای طرح‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که توجیه اقتصادی را برای شرکت‌های توزیع انرژی داشته باشد؛ یعنی بازده اقتصادی نصب تجهیزات کلیدزنی در طول یک مدت مشخص با توجه به در نظر گرفتن هزینه تعمیرات تجهیزات، رشد بار و میزان تورم باید تحلیل شود. بنابراین، هزینه کلیدهای قدرت و تعمیر و نگهداری آنها در چشم‌انداز درازمدت باید در تابع هدف لحاظ شود.

شده است. همچنین در [۱۸]، طراحی سیستم حفاظتی شبکه توزیع با هدف افزایش قابلیت اطمینان در برابر وقایع احتمالی مدنظر بوده است. همچنین در [۱۹]، طراحی و خوشه‌بندی منابع، بارها و کلیدها با هدف بهبود کنترل‌پذیری و زیرساخت مخابراتی شبکه مدنظر بوده است. در مرجع [۲۰] طراحی ظرفیت، تعداد منابع و کلیدها در چشم‌انداز درازمدت با هدف بهبود پارامترهای فنی، اقتصادی و در نظر گرفتن ریسک سرمایه‌گذاری انجام شده است. در مرجع [۲۱]، طراحی ساختار و ظرفیت تولید شبکه در حضور منابع ذخیره‌ساز با روش‌های هوشمند با اهداف اقتصادی و قابلیت اطمینان انجام شده است. همچنین در مراجع [۲۲-۲۵]، سعی شده است مسئله مکان‌یابی کلیدهای قدرت با هدف بهبود قابلیت اطمینان و بهبود بهره‌وری انرژی در قالب روش‌های چندهدفه انجام شود. در [۲۶] نیز جایابی مکان بهینه کلیدها در یک شبکه توزیع واقعی در حضور منابع تولید پراکنده با استفاده از الگوریتم زنبورعسل بهبودیافته انجام شده است. همچنین در [۲۷] و [۲۸]، مسئله جایابی کلیدهای قدرت با هدف بهبود قابلیت اطمینان سیستم با الگوریتم ژنتیک بهبودیافته و NSGA-II^۲ انجام شده است.

همان‌طور که شرح داده شد، مسئله مکان‌یابی کلیدهای قدرت و تغییر ساختار سیستم توزیع با اهداف گوناگون و روش‌های متفاوتی تاکنون حل شده است که هرکدام ویژگی‌هایی دارند؛ اما مواردی که مقاله حاضر را نسبت به مطالعات پیشین متمایز می‌کند به صورت خلاصه بیان می‌شود:

- در نظر گرفتن توابع هزینه نصب کلیدهای کنترل از راه دور، هزینه تعمیر و نگهداری تجهیزات و هزینه میزان انرژی توزیع‌نشده به‌صورت هم‌زمان در چشم‌انداز درازمدت در چند سناریوی مختلف؛
- انتخاب دو سیستم توزیع عملی و استاندارد برای بررسی و صحت‌سنجی نتایج حل مسئله؛
- ارائه روش پیشنهادی در قالب نرم‌افزاری برای استفاده در بهره‌برداری شرکت توزیع شهرستان ملایر؛
- حل مسئله با روش جدید الگوریتم ازدحام ذرات با ضرایب سینوسی و کسینوسی [۲۹].

۷۶ مکان‌یابی بهینه کلیدهای قدرت روی فیدر عملی شهرستان ملایر برای بهبود قابلیت اطمینان سیستم با استفاده از ...

$$CPV_1 = \frac{1 - (PV_1)^{EL}}{1 - (PV_1)} \quad (5)$$

$$PV_1 = \frac{1 + I_{inf}}{1 + I_{int}} (1 + LG) \quad (6)$$

PV_1 ضریب ارزش فعلی سرمایه گذاری برای انرژی توزیع نشده، EL طول عمر اقتصادی کلیدها، LG رشد بار مصرفی، I_{inf} میزان بهره چشم‌انداز و I_{int} میزان تورم چشم‌اندازند.

همچنین رابطه (۷)، تابع هزینه مربوط به نصب و تعمیر و نگهداری کلیدهای کنترل از راه دور در چشم‌انداز درازمدت است. روابط (۸) و (۹) هزینه تعمیر نگهداری در چشم‌انداز درازمدت را به سال اول انتقال می‌دهند.

$$J_2 = n_{RCS} \times (C_i + [C_m \times CPV_2]) \quad (7)$$

$$CPV_2 = \frac{1 - (PV_2)^{EL}}{1 - (PV_2)} \quad (8)$$

$$PV_2 = \frac{1 + I_{inf}}{1 + I_{int}} \quad (9)$$

C_i هزینه نصب کلید، C_m هزینه تعمیر و نگهداری کلیدها، n_{RCS} تعداد کلیدها، CPV_2 ضریب هزینه برای چشم‌انداز سرمایه‌گذاری کلید، I_{inf} میزان بهره چشم‌انداز، I_{int} میزان تورم چشم‌انداز، PV_2 ضریب ارزش فعلی سرمایه گذاری برای کلیدها هستند. W_2 و W_1 به ترتیب ضرایب وزنی اند که مقادیر آنها صفر یا یک است.

۲-۲-۲- قیود

با توجه به حضور کلیدهای قدرت در شبکه توزیع، باید تمام متغیرهای کنترلی و متغیرهای سیستم در معادلات پخش بار شبکه صدق کنند؛ بنابراین، قیودی که باید در حل مسئله رعایت شوند، شامل قیود مربوطه به توان اکتیو و راکتیو، با توجه به معادلات پخش بار در روابط (۱۰) و (۱۱) نشان داده شده‌اند.

$$P_{gi} - P_{di} - V_i \sum_{j=1}^N V_j Y_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) = 0 \quad (10)$$

$$Q_{gi} - Q_{di} - V_i \sum_{j=1}^N V_j Y_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) = 0 \quad (11)$$

در نتیجه، تابع هدف به صورت روابط (۱) تا (۹) خواهد بود [۱۰]. رابطه (۱) تابع هدف اصلی مسئله است که در زیر به آن اشاره می‌شود:

$$Min : W_1 J_1 + W_2 J_2 \quad (1)$$

رابطه (۲) نشان دهنده تابع هزینه انرژی توزیع نشده است:

$$J_1 = \sum_{j=1}^n ENS_j \times C_1 \times CPV_1 \quad (2)$$

که در آن، ENS_j میزان انرژی توزیع نشده به‌ازای وقوع خطا در سکشن J ام، n تعداد کل سکشن‌های فیدر، C_1 هزینه انرژی توزیع نشده و CPV_1 ضریب هزینه برای چشم‌انداز انرژی توزیع نشده است. روابط (۳) تا (۶) نحوه محاسبه شاخص انرژی توزیع نشده را بیان می‌کنند. رابطه (۳) بیان کننده نحوه محاسبه انرژی توزیع نشده است؛ L_j بار قطع شده به‌ازای خطا و U_j مدت زمان قطعی است.

$$ENS_j = \sum_{j=1}^n L_j U_j \quad (3)$$

همچنین رابطه (۴)، نحوه محاسبه مدت زمان قطعی به‌ازای خطا در خطوط شبکه را تعریف می‌کند.

$$U_j = \sum_{i0=1}^{nj0} \lambda_{i0} rep_{i0} + \sum_{i1=1}^{nj1} \lambda_{i1} res_{i1} \quad (4)$$

که در آن، λ_{i0} میزان خرابی سکشن‌های فیدر است که به‌ازای خرابی قطع شدند و قطع مانده‌اند. rep_{i0} مدت زمان تعمیر خطا و λ_{i1} میزان خرابی سکشن‌های فیدر است که به‌ازای خرابی قطع شدند و دوباره وصل شده‌اند. res_{i0} مدت زمان کلیدزنی و رفع عیب از نقطه معیوب است. n_{j0} تعداد سکشن‌های فیدر است که به‌ازای خرابی قطع شدند و قطع مانده‌اند. n_{j1} تعداد سکشن‌های فیدر است که به‌ازای خرابی قطع شدند و دوباره وصل شدند. همچنین رابطه (۵) و (۶)، ضریب هزینه برای چشم‌انداز انرژی توزیع نشده را معرفی می‌کنند.

c_1 ضریب یادگیری مربوط به تجارب شخصی هر ذره است و در مقابل، c_2 ضریب یادگیری مربوط به تجارب کل جمع است. از رابطه (۱۵) می‌توان نتیجه گرفت هر ذره هنگام حرکت، جهت حرکت قبلی خود و نیز بهترین موقعیتی که در آن قرار داشته و بهترین موقعیتی که توسط کل جمع تجربه شده است را در نظر می‌گیرد و این روند در یک چرخه تکراری تا رسیدن به جواب بهینه ادامه می‌یابد.

با این حال، الگوریتم ازدحام ذرات، یک مشکل اساسی دارد که همگرانیدن مناسب و به دام افتادن در بهینه محلی است. در این مقاله برای غلبه بر این مشکل از الگوریتم بهینه‌سازی جدید ازدحام ذرات سینوسی و کسینوسی (H-PSO-SCAC) استفاده شده است.

در الگوریتم H-PSO-SCAC برای بهبود در فرایند جستجو، تغییراتی به شرح ذیل در الگوریتم انجام شده است. روابط (۱۴) و (۱۵) نشان‌دهنده ضرایب تغییر یافته c_1 و c_2 هستند.

$$c_1 = \xi \times \sin\left(\left(1 - \frac{M_j}{M_{\max}}\right) \times \frac{\pi}{2}\right) + \delta \quad (14)$$

$$c_2 = \xi \times \cos\left(\left(1 - \frac{M_j}{M_{\max}}\right) \times \frac{\pi}{2}\right) + \delta \quad (15)$$

ضرایب c_1 و c_2 در پیدا کردن راه حل بهینه با سرعت و دقت زیاد خیلی مؤثرند. δ و ξ ضرایب ثابت تجربی اند که به ترتیب ۰/۵ و ۲ در نظر گرفته شده‌اند. M_j شماره تکرار فعلی و M_{\max} شماره حداکثر تکرار است.

همچنین، برای بهبود الگوریتم در مراحل پیدا کردن مکان بهینه محلی، جستجوی فضای مسئله و یافتن مکان بهینه کلی، تغییراتی روی متغیرها به صورت روابط (۱۶) تا (۱۷) داده می‌شود:

$$X_i^d = X_i^d \times w_{ij} + V_i^d \times w'_{ij} + \rho \times gbest^d \times w_{ij} \quad (16)$$

$$w_{ij} = \frac{\exp(f(j)/u)}{1 + \exp(-f(j)/u)^{iter}} \quad (17)$$

$$w'_{ij} = 1 - w_{ij}$$

w_{ij} و w'_{ij} ضرایب شتاب وزنی دینامیکی ذرات اند که به صورت رابطه (۱۷) تغییر می‌کنند. همچنین، u مقدار تابع

در روابط بالا، P_{gi} و Q_{gi} به ترتیب مربوط به توان های اکتیو و راکتیو بار در شین i هستند. δ_i و V_i نیز به ترتیب زاویه و اندازه ولتاژ شین‌ها هستند. P_{di} و Q_{di} مقدار تقاضای بار اکتیو و راکتیو در شین i هستند. θ_{ij} و Y_{ij} مقادیر زاویه و اندازه ادمیتانس اند که از ماتریس ادمیتانس شبکه استخراج می‌شوند و N نیز تعداد شین‌های شبکه است.

۳- روش حل

۳-۱- الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات با

ضرایب سینوسی و کسینوسی

یکی از جدیدترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی که در سال ۲۰۱۸ معرفی شده است [۲۹]، الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات با ضرایب سینوسی و کسینوسی H-PSO-SCAC است. هر ذره در الگوریتم PSO از سه بردار d بعدی تشکیل شده است. در مرحله ابتدایی الگوریتم، ذرات با موقعیت‌ها و سرعت‌های تصادفی ایجاد می‌شوند. در طی اجرای الگوریتم، موقعیت و سرعت هر ذره در مرحله بعدی الگوریتم از روی اطلاعات مرحله قبلی ساخته می‌شوند. به صورت خلاصه، روابطی که سرعت موقعیت ذرات را تغییر می‌دهند، عبارت‌اند از روابط (۱۲) و (۱۳):

$$V_i^d = V_i^d + c_1 \times r_1 (pbest_i^d - X_i^d) + c_2 \times r_2 (gbest_i^d - X_i^d) \quad (12)$$

$$X_i^d = X_i^d + V_i^d \quad (13)$$

رابطه (۱۲)، به روزرسانی سرعت ذرات و رابطه (۱۳) به روزرسانی موقعیت ذرات را انجام می‌دهد.

در این روابط، r_1 و r_2 اعدادی تصادفی در بازه $[0, 1]$ با توزیع یکنواخت و همچنین، c_1 و c_2 ضرایب یادگیری اند. V_i^d و X_i^d موقعیت و سرعت ذرات و همچنین، $pbest$ بهترین موقعیت قبلی ذره و $gbest$ بهترین موقعیت کل ذرات گروه است.

r_1 و r_2 باعث می‌شوند نوعی گوناگونی در جواب‌ها به وجود بیاید و به این صورت جستجوی کامل تری روی فضا انجام گیرد.

۷۸ مکان‌یابی بهینه کلیدهای قدرت روی فیدر عملی شهرستان ملایر برای بهبود قابلیت اطمینان سیستم با استفاده از ...

۱۱- تابع هدف را برای کل رخدادهای تعیین کن.

تناسب اصلی در تکرار اول، $iter$ شماره تکرار فعلی، $f(j)$ تابع تناسب ذره j و ρ نیز عددی تصادفی بین ۰ و ۱ است [۲۹].

۴- شبیه‌سازی و نتایج

سیستم‌های توزیع در نظر گرفته شده در این مطالعه، فیدر عملی ۱۰۸ شینه از ندریان شهرستان ملایر و فیدر توزیع ۱۱۸ شینه IEEE هستند که مطابق جدول (۱) در سه سناریوی مختلف با الگوریتم شرح داده شده، بررسی می‌شوند.

جدول (۱): معرفی سناریوها

شماره سناریو	هدف
سناریوی ۱	فقط کاهش هزینه کلید
سناریوی ۲	فقط کاهش هزینه انرژی توزیع‌نشده
سناریوی ۳	کاهش هزینه کلید و انرژی توزیع‌نشده

در جدول (۲) نیز پارامترهای الگوریتم ازدحام ذرات با ضرایب سینوسی و کسینوسی آورده شده‌اند. همچنین، برای هر دو فیدر سه سطح بار با توجه به جدول (۳) در نظر گرفته شده‌اند.

جدول (۲): پارامترهای الگوریتم H-PSO-SCAC

تعداد جمعیت	۱۰۰
تعداد تکرار	۶۰۰
δ	۰/۵
ζ	۲

جدول (۳): سطوح مختلف بار

سطح بار	دوره برحسب ساعت	درصد بار پیک
۱	۳۴۰ ساعت	۱
۲	۵۵۰۰ ساعت	۰/۴
۳	۲۹۲۰ ساعت	۰/۵

۴-۱- فیدر عملی ۱۰۸ شینه از ندریان

فیدر عملی ۱۰۸ شینه یکی از فیدرهای خروجی پست ۶۳/۲۰ کیلوولت جوکار است که طول فیدر مطالعه شده ۴۰ کیلومتر و پیک بار فیدر ۱۵۰ آمپر بوده است؛ مشخصات در نظر گرفته شده برای این فیدر مطابق جدول (۴) است. همچنین، دیاگرام تک‌خطی فیدر مدنظر در شکل (۱) آمده است.

۳-۲- روش پیاده‌سازی مسئله جایابی کلیدهای

کنترل از راه دور

مراحل شبیه‌سازی به‌ازای خطاهای مختلف به‌صورت زیر است:

۱- یک رخداد در یک شاخه یا انشعاب بین دو گره در نظر گرفته شود (محل خطا تعیین شود).

۲- تعیین درخت (گراف شبکه یا فیدر مربوطه) از محل رخداد تا پست فوق توزیع اصلی.

۳- در مسیر حرکت در درخت از محل خطا به‌سمت پست اصلی نخستین کلید کنترل از راه دور (RCS)^۷ در مسیر پیدا شود.

۴- با این کلید کنترل از راه دور، جداسازی ناحیه معیوب از بقیه قسمت‌های سالم انجام گیرد.

۵- اگر در این مسیر کلید کنترل از راه دور وجود نداشت، برو به ۶ و اگر وجود داشت به مرحله ۷ برو و ادامه بده.

۶- میزان انرژی توزیع‌نشده را برای تمام بارهایی (ترانس‌های توزیع و انشعابات) که با کلید کنترل از راه دور در مرحله ۴ جداسازی شده بودند، در مدت‌زمان تعمیر (rep) محاسبه کن و به مرحله ۱ بازگرد.

۷- میزان انرژی توزیع‌نشده را برای تمام بارهایی که با کلید کنترل از راه دور در مرحله ۴ جداسازی شده بودند، در مدت‌زمان بازیابی (res) محاسبه کن.

۸- ناحیه معیوب با کلید کنترل از راه دور پایین دست قطع شود؛ سپس در این مرحله، میزان انرژی توزیع‌نشده بارهایی که با کلید کنترل از راه دور پایین دست جداسازی شدند را برای زمان تعمیر (rep) محاسبه کن.

۹- تابع هدف مجموع برای هر رخداد محاسبه و ذخیره شود.

۱۰- آیا رخدادهای روی تمامی شاخه‌ها تمام شده‌اند؟ اگر جواب خیر است، به مرحله ۱ برگرد و رخداد بعدی را تعیین کن، اگر پاسخ مثبت است، به مرحله ۱۱ برو.

برای کل فیدر مطابق با اطلاعات ۱۰ سال اخیر دیسپاچینگ محاسبه شده است.

۴-۱-۱- سناریوی ۱ فیدر ۱۰۸ شینه

هدف در سناریوی ۱، کاهش هزینه کلیدها است؛ بنابراین، طبیعی است که الگوریتم برای کاهش هزینه کلیدها تعداد صفر کلید را پیشنهاد دهد. در این حالت، میزان انرژی توزیع نشده در بیشترین مقدار ممکن است و هزینه انرژی توزیع نشده نیز بدون تغییر باقی مانده است؛ در جدول (۵) نتایج این سناریو آورده شده‌اند.

جدول (۵): نتایج برای سناریوی ۱ فیدر ۱۰۸ شینه

تعداد کلیدها	هزینه کلیدها (ریال)	هزینه ENS (ریال)	هزینه کل (ریال)
۰	۰	۳۲,۵۴۷,۳۶۰,۰۰۰	۳۲,۵۴۷,۳۶۰,۰۰۰

۴-۱-۲- سناریوی ۲ فیدر ۱۰۸ شینه

هدف در سناریوی ۲، کاهش هزینه انرژی توزیع نشده بوده است؛ به همین دلیل، در این حالت بیشترین تعداد کلید در نظر گرفته شده است. همچنین، میزان انرژی توزیع نشده به کمترین مقدار خود رسیده است؛ نتایج این سناریو در جدول (۶) آورده شده‌اند.

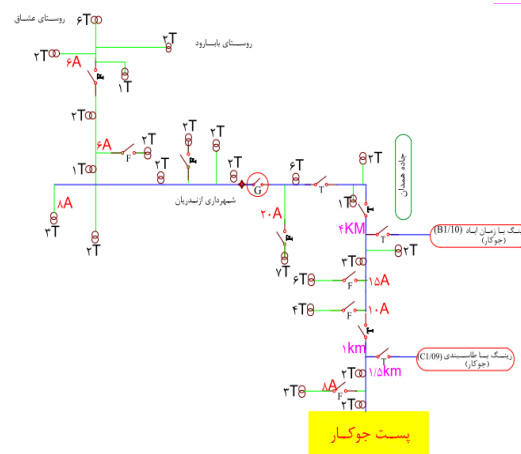
جدول (۶): نتایج برای سناریوی ۲ فیدر ۱۰۸ شینه

تعداد کلیدها	هزینه کلیدها (ریال)	هزینه ENS (ریال)	هزینه کل (ریال)
۴۷	۳۰,۹۱۳,۲۰۰,۰۰۰	۱۰,۷۳۸,۹۰۸,۰۰۰	۴۱,۶۵۲,۱۰۸,۰۰۰

همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، بیش از ۶۰٪ کاهش هزینه در میزان انرژی توزیع نشده در این حالت به دست آمده است.

جدول (۴): پارامترهای استفاده شده برای فیدر ۱۰۸ شینه از ندریان شهرستان ملایر

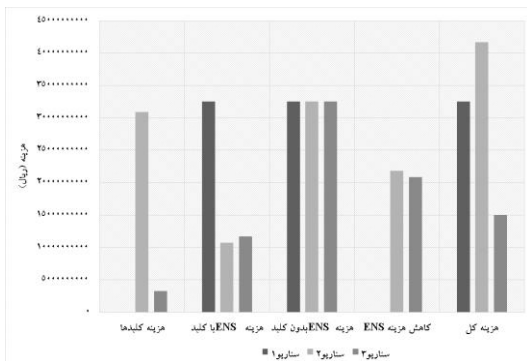
سکشن	نرخ خرابی (λ_{10} و λ_{41}) برای هر (بار بر سال)
مدت زمان تعمیر (rep)	۰/۸ (ساعت)
زمان بازیابی (res)	۵ (دقیقه)
میزان بهره (I_{inf})	۰/۰۸
میزان تورم (I_{mt})	۰/۰۵
رشد بار سالانه (LG)	۰/۰۵
قیمت کلید (C_i)	۲۱۰,۰۰۰,۰۰۰ (ریال)
هزینه تعمیر و نگهداری (C_m)	۲۴,۰۰۰,۰۰۰ (ریال)
طول عمر اقتصادی کلیدها (EL)	۱۵ (سال)
هزینه متوسط قطع توان (C_1)	۹۶۰۰۰ (ریال)



شکل (۱): دیاگرام تک خطی فیدر ۱۰۸ شینه از ندریان ملایر

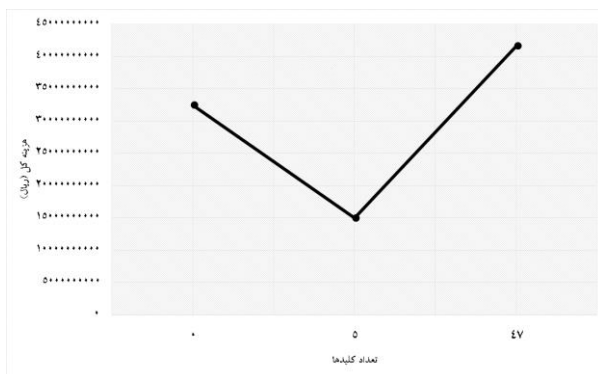
در جدول (۴) منظور از زمان بازیابی، مدت زمانی است که بهره بردار پست فوق توزیع در مواقع بروز خطای گذرا در شبکه (طبق مقررات) پس از طی زمان حدود ۵ دقیقه فیدر را مجدداً برق دار می‌کند. منظور از زمان تعمیر، زمان ایزوله کردن قسمت معیوب شبکه، تعمیر آن و اتصال مجدد قسمت معیوب به شبکه توزیع است که در فیدر مطالعه شده پس از بررسی اطلاعات دیسپاچینگ در ۱۰ سال اخیر، مدت زمان متوسط ۴۸ دقیقه محاسبه شده و در جدول (۴) برحسب ساعت آورده شده است. همچنین، میزان خرابی

۸۰ مکان‌یابی بهینه کلیدهای قدرت روی فیدر عملی شهرستان ملایر برای بهبود قابلیت اطمینان سیستم با استفاده از ...



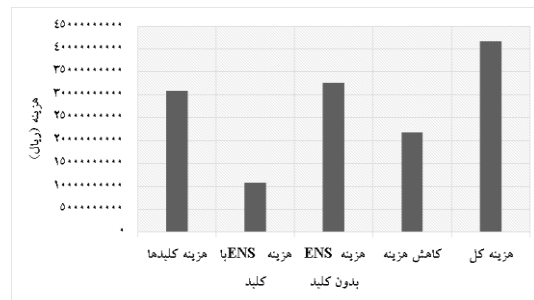
شکل (۴): مقایسه نتایج سه سناریو برای فیدر ۱۰۸ شینه

در شکل (۴) نیز همان طور که مشاهده می‌شود، با تغییر تابع هدف، میزان هزینه انرژی توزیع نشده، هزینه کل و هزینه کلیدها تغییر می‌کند و بهترین حالت، این است که هر دو تابع هزینه کلیدها و هزینه انرژی توزیع نشده در نظر گرفته شوند. شکل (۵) این مقایسه را نسبت به تعداد کلیدهای استفاده شده نشان می‌دهد.



شکل (۵): مقایسه تغییرات تعداد کلیدها به هزینه کل برای فیدر ۱۰۸ شینه

همان طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، سناریوی ۳ که تعداد ۵ کلید برای نصب در آن پیشنهاد شده است، بیشترین کاهش هزینه کل نسبت به دو سناریوی دیگر را دارد. میزان کاهش هزینه کل به حدود ۴۰٪ حالت پایه، یعنی سناریوی ۱ رسیده است. برای صحت‌سنجی بهتر کار در بخش (۴-۲) شبیه‌سازی روی فیدر ۱۱۸ شینه IEEE بررسی شده و با سایر روش‌ها مقایسه شده است.



شکل (۲): بررسی نتایج سناریوی ۲ برای فیدر ۱۰۸ شینه

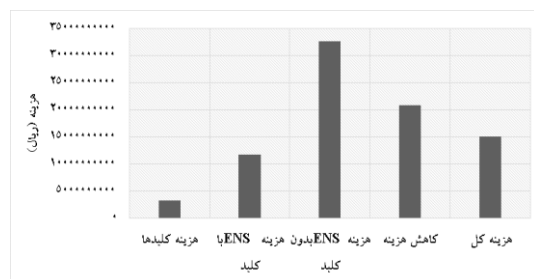
۴-۱-۳- سناریوی ۳ فیدر ۱۰۸ شینه

هدف در سناریوی ۳، کاهش میزان انرژی توزیع نشده و کاهش هزینه نصب کلیدها بوده است؛ نتایج مربوط به آن در جدول (۷) آمده‌اند.

جدول (۷): نتایج برای سناریوی ۳ فیدر ۱۰۸ شینه

تعداد کلیدها	هزینه کلیدها (ریال)	هزینه ENS (ریال)	هزینه کل (ریال)
۵	۳,۲۸۸,۶۴۸,۰۰۰	۱۱,۷۲۳,۱۷۲,۰۰۰	۱۵,۰۱۱,۸۲۰,۰۰۰

همان‌طور که در جدول (۷) و شکل (۳) مشاهده می‌شود، با نصب تعداد ۵ عدد کلید، ۵۹٪ کاهش هزینه نسبت به سناریوی ۱ را خواهیم داشت.



شکل (۳): بررسی نتایج سناریوی ۳ برای فیدر ۱۰۸ شینه

با توجه به شکل (۴)، بعد از شبیه‌سازی بهترین حالت برای کاهش هزینه انرژی توزیع نشده و هزینه کلیدها به صورت هم‌زمان، نصب تعداد ۵ کلید در فیدر ۱۰۸ شینه است و با اندکی سرمایه‌گذاری روی شبکه می‌توان تا حدود ۶۰٪ میزان انرژی توزیع نشده را کاهش داد.

۴-۲- فیدر استاندارد ۱۱۸ شیئۀ IEEE

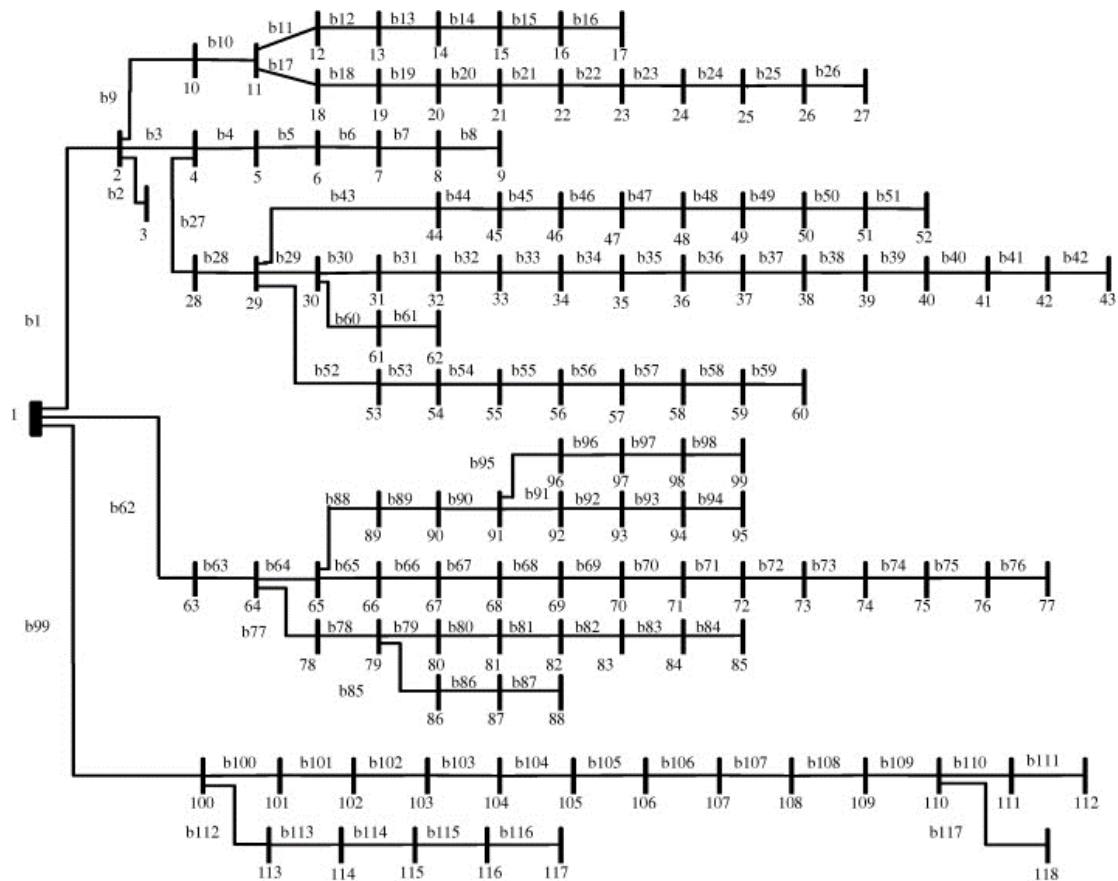
مدت زمان تعمیر (rep)	۵ (ساعت)
زمان بازیابی (res)	۵ (دقیقه)
میزان بهره (I_{inf})	۰/۰۸
میزان تورم (I_{int})	۰/۰۵
رشد بار سالانه (LG)	۰/۰۵
قیمت کلید (C_i)	۱۸۰۰۰ (دلار)
هزینه تعمیر و نگهداری (C_m)	۲۰۰۰ (دلار)
طول عمر اقتصادی کلیدها (EL)	۱۵ (سال)
هزینه متوسط قطع توان (C_1)	۸ (دلار)

مشخصات در نظر گرفته شده برای این فیدر مطابق مرجع [۱۰] و جدول (۸) است. همچنین، دیاگرام تک خطی فیدر ۱۱۸ شیئۀ مطابق شکل (۶) است.

در ادامه، نتایج به دست آمده در این مورد مطالعاتی با سه روش دیگر از مرجع [۱۰] در هر سناریو مقایسه می شود تا عملکرد روش پیشنهادی بهتر نشان داده شود.

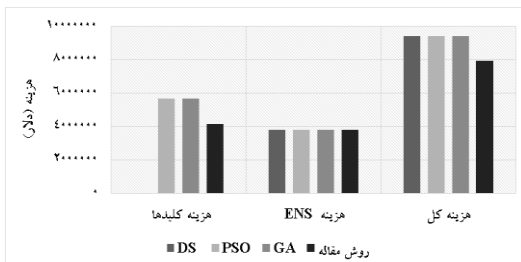
جدول (۸): پارامترهای استفاده شده برای فیدر استاندارد ۱۱۸

IEEE	
میزان خرابی (λ_{i0} و λ_{i1}) برای هر سکتشن	۰/۰۶۵ (بار بر سال)



شکل (۶): دیاگرام تک خطی فیدر ۱۱۸ شیئۀ [۱۰]

۸۲ مکان‌یابی بهینه کلیدهای قدرت روی فیدر عملی شهرستان ملایر برای بهبود قابلیت اطمینان سیستم با استفاده از ...



شکل (۷): مقایسه نتایج فیدر ۱۱۸ شینه برای سناریوی ۲

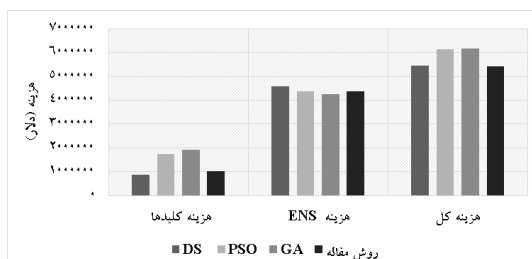
۴-۲-۳- سناریوی ۳ فیدر ۱۱۸ شینه

در این سناریو بعد از شبیه‌سازی بهترین حالت برای کاهش هزینه انرژی توزیع‌نشده و هزینه کلیدها به صورت هم زمان، نصب تعداد ۱۲ کلید در شبکه بوده است. بنابراین، با اندکی سرمایه‌گذاری روی شبکه، ۵۵٪ میزان انرژی توزیع‌نشده را می‌توان کاهش داد؛ البته روش پیشنهادی توانسته است نتایج بهتری را نسبت به سه روش قبلی در مرجع [۱۰] ارائه کند که این نشان دهنده قدرت الگوریتم پیشنهادی است.

جدول (۱۱): مقایسه نتایج سناریوی ۳ فیدر ۱۱۸ شینه

روش	تعداد کلیدها	هزینه کلیدها (دلار)	هزینه ENS (دلار)	هزینه کل (دلار)
DS [۱۰]	۱۶	۸۷۶,۹۷۰	۴,۵۸۶,۸۰۰	۵,۴۶۳,۷۷۰
PSO [۱۰]	۳۲	۱,۷۵۳,۹۰۰	۴,۳۷۰,۰۰۰	۶,۱۲۳,۹۰۰
GA [۱۰]	۳۵	۱,۹۱۸,۳۷۸	۴,۲۴۱,۱۰۰	۶,۱۵۹,۴۷۸
روش مقاله	۱۹	۱,۰۴۱,۴۰۰	۴,۳۷۴,۳۰۰	۵,۴۱۵,۷۰۰

نتایج این مقایسه در شکل (۸) بهتر نشان داده می‌شوند.



شکل (۸): مقایسه نتایج فیدر ۱۱۸ شینه برای سناریوی ۳

مطابق جدول (۹) همان‌طور که انتظار می‌رود، در سناریوی ۱، چون هدف کاهش هزینه کلیدها است، مقدار جواب برای همه روش‌ها صفر شده است.

جدول (۹): مقایسه نتایج سناریوی ۱ فیدر ۱۱۸ شینه

روش	تعداد کلیدها	هزینه کلیدها (دلار)	هزینه ENS (دلار)	هزینه کل (دلار)
DS [۱۰]	۰	۰	۹,۵۹۳,۸۰۰	۹,۵۹۳,۸۰۰
PSO [۱۰]	۰	۰	۹,۵۹۳,۸۰۰	۹,۵۹۳,۸۰۰
GA [۱۰]	۰	۰	۹,۵۹۳,۸۰۰	۹,۵۹۳,۸۰۰
روش مقاله	۰	۰	۹,۵۹۳,۸۰۰	۹,۵۹۳,۸۰۰

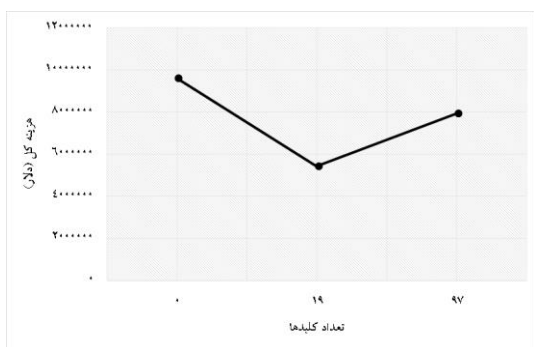
۴-۲-۲- سناریوی ۲ فیدر ۱۱۸ شینه

هدف در سناریوی ۲، فقط کاهش میزان انرژی توزیع‌نشده بوده است و مطابق جدول (۱۰)، بعد از شبیه‌سازی بهترین حالت برای کاهش هزینه انرژی توزیع‌نشده، نصب تعداد ۹۷ کلید در شبکه مطالعه شده بوده است.

جدول (۱۰): مقایسه نتایج سناریوی ۲ فیدر ۱۱۸ شینه

روش	تعداد کلیدها	هزینه کلیدها (دلار)	هزینه ENS (دلار)	هزینه کل (دلار)
DS [۱۰]	۱۰۲	۵,۵۹۰,۷۰۰	۳,۸۱۴,۴۹۱	۹,۴۰۵,۱۹۱
PSO [۱۰]	۱۰۳	۵,۶۴۵,۵۰۰	۳,۸۱۴,۴۹۱	۹,۴۰۵,۱۹۱
GA [۱۰]	۱۰۳	۵,۶۴۵,۵۰۰	۳,۸۱۴,۴۹۱	۹,۴۰۵,۱۹۱
روش مقاله	۹۷	۴,۱۳۳,۶۴۰	۳,۷۹۵,۵۹۰	۷,۹۲۹,۲۳۰

در نهایت، با سرمایه‌گذاری کلانی برای نصب کلیدها در شبکه، ۶۰٪ میزان انرژی توزیع‌نشده را می‌توان کاهش داد. این مقایسه در شکل (۷) بهتر نمایش داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، هزینه انرژی توزیع‌نشده و هزینه کل سیستم، کاهش نسبتاً مطلوبی داشته‌اند.



شکل (۱۰): مقایسه تغییرات تعداد کلیدها به هزینه کل برای فیدر ۱۱۸ شینه

با توجه به نتایج به دست آمده در شبیه‌سازی‌های انجام شده، مهم‌ترین هدف در بحث مکان‌یابی کلیدهای کنترل از راه دور، انتخاب تعداد و مکان نصب بهینه با کمترین هزینه نصب و خاموشی است که الگوریتم پیشنهادی این هدف را به خوبی برآورده کرده است. این روش به لحاظ بهینگی جواب‌ها نسبت به PSO معمولی و دو روش دیگر، جواب‌های بهتری داشته است. همچنین، روش پیشنهادی به‌عنوان راهکاری مناسب برای برطرف کردن نیازهای بهره‌برداران شرکت توزیع می‌تواند به شکل نرم‌افزاری جامع آماده شود. شکل (۱۱) شمای این نرم‌افزار را نمایش می‌دهد که با ظاهری ساده، محاسبات پیچیده فنی و اقتصادی را برای کاربران معمولی انجام‌پذیر می‌کند.



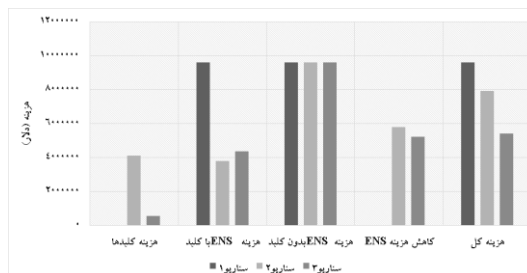
شکل (۱۱): شمای نرم‌افزار جامع محاسبات فیدر برای شرکت توزیع استان همدان

در ادامه، نتایج عددی شبیه‌سازی مربوط به مکان‌یابی کلید در جدول (۱۲) برای سناریوهای مختلف آورده شده‌اند.

جدول (۱۲): بررسی نتایج برای هر سه سناریو

سناریو	۳	۲	۱
هزینه (دلار)			
ENS قبل از بهینه‌سازی	۸۰۰,۵۹۳,۹	۸۰۰,۵۹۳,۹	۸۰۰,۵۹۳,۹
ENS بعد از بهینه‌سازی	۴,۳۷۴,۳۰۰	۵۹۰,۷۹۵,۳	۸۰۰,۵۹۳,۹
نصب کلید	۱,۰۴۱,۴۰۰	۶۴۰,۱۳۳,۴	۰
کلید و کاهش هزینه ENS	۵,۴۱۵,۷۰۰	۲۳۰,۹۲۹,۷	۸۰۰,۵۹۳,۹
تعداد کلیدها	۱۹	۹۷	۰

با توجه به نتایج جدول (۱۲) می‌توان دریافت کمترین میزان هزینه کل، در سناریوی سوم و بیشترین میزان کاهش انرژی توزیع‌نشده در سناریوی دوم به دست آمده است. این مقایسه در شکل (۹) بهتر نمایش داده شده است.



شکل (۹): مقایسه نتایج سه سناریو برای فیدر ۱۱۸ شینه

با توجه به جدول (۱۲) مشاهده می‌شود که بازهم صرفاً افزایش تعداد کلید باعث کاهش هزینه کل سیستم نمی‌شود اما می‌توان به بهترین شکل میزان انرژی توزیع نشده را کاهش داد که البته مسئله هماهنگی حفاظتی نیز مشکل‌تر می‌شود. این مسئله در شکل (۱۰) بهتر نمایش داده شده است.

- enabled power distribution network", IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 9, No. 2, pp.980-992, March 2018.
- [4] T.F.Tsao, Y.P.Chang, W.K.Tseng, "Reliability and Costs Optimization for Distribution System Placement Problem", IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition: Asia and Pacific Dalian, China, Aug. 2005.
- [5] K.Alvehag, "Impact of Dependencies in Risk Assessments of Power Dist. Systems", Licentiate Thesis, Royal Institute Of Technology, School Of Electrical Engineering, Electric Power Systems, Stockholm, Sweden, Karin Alvehag, September 2008.
- [6] F. S.Gazijahani and J.Salehi, "Robust design of microgrids with reconfigurable topology under severe uncertainty", IEEE Trans. Sustainable Energy, Vol. 9, No. 2, pp. 559-569, April 2018.
- [7] T.A.Short, "Distribution Reliability and Power Quality", Taylor & Francis Group. LCC, 2006.
- [8] H.Zheng, Y.Cheng, B.Gou, D.Frank, A.Bern and WE.Muston, "Impact of automatic switches on power distribution system reliability", Electr Pow Syst Res, Vol. 83, No. 1, pp. 51-57, February 2012.
- [9] G.Haifenga and S.Asgarpoor, "Parallel Monte Carlo simulation for reliability and cost evaluation of equipment and systems", Electr Pow Syst Res, Vol. 81, No. 2, pp-347-356, February 2011.
- [10] S. Ray, A. Bhattacharya and S. Bhattacharjee, "Optimal placement of switches in a radial distribution network for reliability improvement", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 76, No. 2, pp. 53-68, march 2016.
- [11] M. Nick, R. Cherkaoui and M. Paolone, "Optimal planning of distributed energy storage systems in active distribution networks embedding grid reconfiguration", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 33, No. 2, pp. 1577-1590, march 2018.
- [12] T.Wagner, "Impact of remote controlled switches on distribution grid recovering process", Master Degree Project, Royal Institute of Technology (KTH), School of Electrical Engineering, 2010.
- [13] F.Hajimohammadi, B.Fani, M.Moazzami, "A New intelligent method of Fuse - Recloser Coordination in a Distribution System with High PV Penetration Rates", intelligent systems in electrical engineering, Vol. 9, No. 1, pp. 49-64, spring 2018.
- [14] L.H.Tsai, "Network Reconfiguration to Enhance Reliability of Electric Distribution Systems", EPSR, Vol. 27, No. 2, pp. 135-140, julay 1993.
- [15] L. Che, X. Zhang, M. Shahidehpour, A. Alabdulwahab, and Y.Al-Turki, "Optimal planning of loop-based microgrid topology", IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 8, No. 4, pp. 1771-1781, July 2017.
- [16] S. A. Arefifar, A.R. M. Yasser, and T. H. El-Fouly, "Optimum microgrid design for enhancing reliability and supply-security", IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 4, No. 3, pp. 1567-1575, Sept 2013.

در این مقاله، مکان‌یابی بهینه کلیدهای قدرت روی فیدر عملی ۱۰۸ شینه شهرستان ملایر و سیستم استاندارد ۱۱۸ شینه انجام شد. تحلیل نتایج، حاکی از عملکرد خوب الگوریتم H-PSO-SCAC در بهینه‌کردن تابع هدف تعیین‌شده برای کاهش هزینه‌های خاموشی و نصب کلیدهای قدرت در طول چشم‌انداز ۱۵ ساله بود.

در کل با توجه به نتایج و همان‌طور که قبلاً اشاره شد، یکی از محدودیت‌های اصلی در بحث تولید و توزیع توان در شبکه، مسئله هزینه‌ها و کاهش ضرر و زیان سیستم توزیع است.

از این رو، با داشتن اطلاعات آماری جامع از تعداد و علت خاموشی‌ها در شبکه توزیع و نصب بهینه کلیدهای کنترل از راه دور، از بروز بیشتر خاموشی‌ها جلوگیری می‌شود و پایداری شبکه بهبود می‌یابد؛ در نتیجه، میزان سرمایه‌گذاری غیرضروری و انرژی توزیع‌نشده تا حد زیادی کاهش داده می‌شوند. بنابراین، نیاز است با اعمال اتوماسیون و هوشمندسازی شبکه‌های توزیع با سرعت عمل بالا محل خطای به‌وجودآمده در فیدر را شناسایی و در زمان کوتاه نسبت به رفع خطا اقدام کرد.

در اینجا با توجه به نوع مسئله الگوریتم بهینه‌سازی H-PSO-SCAC گزینه مناسبی بود که از آن استفاده شد و همان‌طور که انتظار می‌رفت نتایج مطلوبی را در مقایسه با سایر روش‌ها ارائه کرد. همچنین، با ارائه این راهکار بهره‌برداران شرکت توزیع به‌صورت کارشناسی شده می‌توانند با کمک نرم‌افزار ساخته‌شده به‌سهولت با حداقل میزان اطلاعات فنی، مسئله تغییر ساختار در سیستم را بررسی کنند و محاسبات فنی و اقتصادی مربوطه را به بهترین شکل ممکن انجام دهند.

مراجع

- [1] J. R.Bezerra, G. C.Barroso, R. P. S. Leão, and R. F. Sampaio, "Multiobjective optimization algorithm for switch placement in radial power distribution networks", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 30, No. 2, pp.545-552, May 2014.
- [2] R.Billinton and R.N.Allan, "Reliability Evolution of Power Systems", 2nd Edition, Plenum Press, New York and London, 1996.
- [3] M. H. Kapourchali, M.Sepehry and V.Aravintan, "Fault detector and switch placement in cyber-

- distribution network in real time", *Electr Pow Syst Res*, Vol. 97, No. 1, pp. 84-92, April 2013.
- [25] A.Kavousi-Fard, M-R.Akbari-Zadeh, "Reliability enhancement using optimal distribution feeder reconfiguration", *Neurocomputing*, Vol. 106, No. 1, pp. 1-11, April 2013.
- [26] M.Raoufat, "Simultaneous allocation of DGs and remote controllable switches in distribution networks considering multilevel load model", *Int J Electr Pow Energy Syst*, Vol. 33, No. 8, pp.1429-1436, October 2011.
- [27] H.Gholizade-Narm, Y.Damchi, M-Z.Ghorbani Jouybari, "Optimal Switch Placement in Real Distribution Network considering Cut-out Fuses, the Importance of Feeders and Ring Points in the Presence of Distributed Generation using Improved Bee Algorithm (Case Study: Mazandaran Distribution Network)", *intelligent systems in electrical engineering*, Vol. 10, No. 4, pp. 15-26, Winter2020.
- [28] M.Shahabi, M.Rezaie, "Simultaneous Placement of Distributed Generation Units and Sectionalizing Switches in Distribution Network for Loss Reduction and Reliability Improvement with Islanding Operation and Time Variant Load Using Improved Genetic based Algorithm", *intelligent systems in electrical engineering*, Vol. 6, No. 4, pp. 107-120, Winter 2016.
- [29] D. Moniz, J. Pedro, N. Horta and J. Pires, "Multi-objective framework for cost-effective OTN switch placement using NSGA-II with embedded domain knowledge", *Applied Soft Computing*, Vol. 83, No. 5, pp. 1-12, October 2019.
- [30] K. Chen, F. Zhou, L. Yin, S. Wang, Y. Wang and F. Wan, "A hybrid particle swarm optimizer with sine cosine acceleration coefficients", *Information Sciences*, Vol. 422, No. 4, pp. 218-241, January 2018.
- [17] L. Guo, W. Liu, B. Jiao, B. Hong, and C. Wang, "Multi-objective stochastic optimal planning method for stand-alone microgrid system", *IET Generation, Transmission & Distribution*, Vol. 8, No. 7, pp. 1263-1273, July 2014.
- [18] A. Khodaei, S. Bahramirad, and M. Shahidehpour, "Microgrid planning under uncertainty", *IEEE Transaction on Power System*, vol. 30, No. 5, pp. 2417-2425, September 2015.
- [19] Z. Wang and J. Wang, "Self-healing resilient distribution systems based on sectionalization into microgrids" *IEEE Transaction on Power System*, Vol. 30, No. 6, pp. 3139-3149, November 2015.
- [20] S. A. Arefifar, Y. A.R. I. Mohamed, and T. El-Fouly, "Optimized multiple microgrid-based clustering of active distribution systems considering communication and control requirements", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 62, No. 2, pp. 711-723, February 2015.
- [21] A. Narayan and K. Ponnambalam, "Risk-averse stochastic programming approach for microgrid planning under uncertainty", *Renewable energy*, Vol. 101, No. 6, pp. 399-408, February 2017.
- [22] M.Husein and I.Y.Chung, "Optimal design and financial feasibility of a university campus microgrid considering renewable energy incentives", *Applied energy*, Vol. 225, No.2, pp. 273-289, September 2018.
- [23] P.Zhang, W.Li, S.Wang, "Reliability-oriented distribution network reconfiguration considering uncertainties of data by interval analysis", *Int J Electr Pow Energy Syst*, Vo. 34, No. 1, pp. 138-144, January 2012.
- [24] LL. Pfitscher, DP. Bernardon, LN. Canha, VF. Montagner, VJ. Garcia, AR. Abaide, "Intelligent system for automatic reconfiguration of

¹ Hybrid Particle Swarm Optimization Sine Cosine Acceleration Coefficients

² Particle Swarm Optimization

³ Differential Search

⁴ Non-dominated Sorting Genetic Algorithm

⁵ Institute of Electrical and Electronics Engineers

⁶ Energy Not Supply

⁷ Remote Control Switch

۸۶ مکان‌یابی بهینه کلیدهای قدرت روی فیدر عملی شهرستان ملایر برای بهبود قابلیت اطمینان سیستم با استفاده از ...

