Journal of **N**ovel **R**esearches on **S**mart **P**ower **S**ystems - Vol. 13 - No. 3 – Autumn 2024
P-ISSN: 2322-2468, E-ISSN: 2981-0272, https://jeps.dezful.iau.ir/

Research Article

Simultaneous switches placement in distribution networks under uncertainty: A fuzzy multi-objective approach

Alireza Norouzi[1], *Ph.D*, Hossein Shayeghi*[,2], *Professor*, Javad Olamaei [3], *Professor*, Aref Jalili[4], *Assistant Professor*

1-Department of Electrical engineering, Ardabil Branch, Islamic Azad University, Ardabil, Iran
Alireza.norouzi@azad.ac.ir

2-Department of Electrical Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
hshayeghi@gmail.com

3-Department of Electrical engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
J_olamaei@azad.ac.ir

4-Department of Electrical engineering, Ardabil Branch, Islamic Azad University, Ardabil, Iran
arefjalili@gmail.com

Abstract: Due to the extensive range and diversity of equipment within distribution networks, this part of the power system is responsible for a considerable proportion of customer outages, as reported by electricity departments. A viable solution to mitigate these outages and prevent associated economic losses is the strategic placement of switches along distributed generation resources within the network. This paper presents an optimal placement of sectionalizing switch and fuse in the presence of distributed generation using a fuzzy multi-objective function. Uncertainties in load, failure rates, and repair times are also considered to allow for devising a superior design. The primary objectives of the plant are to elevate the system's reliability and simultaneously reduce the cost of switches, defined via fuzzy membership functions. The use of a fuzzy multi-objective function helps propose various plans tailored to economic and technical conditions. The HBMO algorithm is employed for optimization. To validate the proposed method's efficiency, tests are finally conducted on an RBTS test network and real distribution network.

Keywords: uncertainty, fuzzy multi-objective function, reliability

Received: 21 3 July 2024
Revised: 11 Sep. 2024
Accepted: 20 Nov. 2024

*** Corresponding Author:** Dr. Hossein Shayeghi

Citation: A. Norouzi, H. Shayeghi, M. Delshad, J. Olamaei, A. Jalili, "Simultaneous switches placement in distribution networks under uncertainty: A fuzzy multi-objective approach", Journal of Novel Researches on Smart Power Systems, vol. 13, no. 3, pp. 73-80, December 2024 (in Persian).

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.511]

مقاله پژوهشی

جایابی چندمنظوره فازی کلیدها در شبکه توزیع با درنظرگرفتن عدم قطعیت‌ها

علیرضا نوروزی [۱]، حسین شایقی*[۲]، جواد علمایی[۳]، عارف جلیلی[۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی برق، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران، alireza.norouzi@azad.ac.ir

*۲- استاد، گروه مهندسی برق، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، hshayeghi@gmail.com

۳- استاد، گروه مهندسی برق، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، J_olamaei@azad.ac.ir

۴-استادیار، گروه مهندسی برق ، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران، arefjalili@gmail.com

چکیده: وسعت زیاد و تنوع تجهیزات مورد استفاده در شبکه های توزیع باعث شده که این بخش از سیستم قدرت سهم قابل توجهی از خاموشیهای مشترکین را طبق گزارشات ادارات برق به خود اختصاص دهد. یکی از راهکارهای مناسب برای کاهش این خاموشیها و جلوگیری از زیانهای ناشی از آن جایابی مناسب کلیدها در کنار منابع تولید پراکنده می باشد. در این مقاله، جایابی بهینه کلیدها در حضور منابع تولید پراکنده با استفاده از تابع هدف چندگانه فازی انجام شده است. برای ارائه طرحی مناسب، عدم قطعیت های موجود در بار، نرخ خرابی و زمان تعمیرات نیز لحاظ شده است. اهداف اصلی طرح افزایش سطح قابلیت اطمینان سیستم و کاهش هزینه کلیدها می باشد که برای تعریف آنها از توابع عضویت فازی استفاده شده است. بدلیل استفاده از تابع هدف چندگانه فازی امکان ارائه طرحهای گوناگون متناسب با شرایط اقتصادی و فنی امکان پذیر شده است. برای بهینه سازی از الگوریتم جفت گیری زنبور عسل(HBMO) استفاده شده است. در پایان برای نشان دادن کارایی روش پیشنهادی آزمایشهایی بر روی شبکه تست RBTS و شبکه واقعی صورت گرفته است.

واژه‌های کلیدی: تابع هدف چندگانه فازی، عدم قطعیت و قابلیت اطمینان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۴/۳۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۶/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۸/۳۰

* **نام نویسنده مسئول:** دکتر حسین شایقی

نشانی نویسنده مسئول: اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی، گروه مهندسی برق

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.511]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 13 - No. 3- Autumn 2024

۱- مقدمه

سیستم توزیع به دلیل نزدیکی به مصرف‌کننده‌ها و واسط بودن بین شبکه انتقال و توزیع از بخش‌های مهم سیستم قدرت محسوب می‌شود. بنابر گزارش های شرکتها برق در حدود ۸۰-۹۰ ٪ خاموشیهای رخ داده در شبکه به دلیل وقوع خطا در سیستم توزیع می‌باشد. بروز این خاموشیها علاوه بر نارضایتی مشترکین منجر به عدم فروش انرژی شده و زیانهای اقتصادی قابل توجهی را متوجه شرکتهای توزیع می‌کند [۲-۱]. در نتیجه افزایش قابلیت اطمینان شبکه برای کاهش زیانها از جمله مواردی است که توجه بسیاری از کارشناسان را به خود جلب کرده است. یکی از راهکارهای موثر برای بهبود قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع استفاده از تجهیزات کلیدزنی مانند سکسیونر و فیوز می‌باشد. هنگام وقوع خطا مجموعه‌ای از عملیات تحت عنوان مدیریت اتفاقات برای رفع وقفه انجام می‌شود که شامل مراحل، بخش شناسایی محل خطا، عملیات کلیدزنی و جداسازی، انجام عملیات تعمیر و بازیی مناطق بدون سرویس. در یک فیدر لازم است مراحل ذکر شده، طی شود تا شبکه به حالت عادی خود باز گردد، چرا که با بروز خطا کلید قدرت ابتدای فیدر مدار را قطع می‌کند. بنابراین تمامی فیدر بی‌برق می-شود و پست‌های توزیعی که از طریق این فیدر تغذیه می‌شوند در خاموشی به سر می‌برند، از این رو لازم است پس از شناسایی و تعیین محل خطا، با استفاده ازکلیدهای جداکننده و حفاظت‌کننده قسمت آسیب‌دیده از دیگر بخش‌های سالم فیدر ایزوله شود، سپس سعی می‌گردد تا با استفاده حداکثر از ظرفیت نقاط مانور و یا DG بخش‌های سالم فیدر تا پایان انجام تعمیرات تغذیه گردد و تنها ناحیهٔ آسیب‌دیده (و قسمت‌هایی از فیدر که امکان انجام مانور برای تغذیه آنها وجود ندارد) تا رفع عیب خاموش بماند [۴-۱و۵].

در [۸] برای بازیابی سرویس روشی بر پایه گراف بیان شده دو هدف اصلی آن کاهش هزینه‌های بازیابی سرویس با در نظرگرفتن قیود ولتاژ و جریان و حفظ شعاعی بودن شبکه توزیع و مینیمم کردن مناطق بدون انرژی می‌باشد. روشی برای حل مسئله جایابی سکسیونرها با تعداد زیاد منابع DG در [۹] ارائه شده است. هدف اولیه کاهش هزینه‌ها برای بهبود قابلیت اطمینان مورد نظر در حضور DG که توسط روش MILP فرمول‌بندی شده است. قابلیت اطمینان، هزینه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری سالانه و هزینه تعمیرات در این مقاله در نظر گرفته شده است. جایابی همزمان DG و کلیدهای کنترل از را دور در شبکه توزیع توسط M.Raoofat ارائه شده است. هدف روش پیشنهادی بهبود قابلیت اطمینان و کاهش تلفات می‌باشد که برای رسیدن به این اهداف مکان‌یابی DG و کلیدهای کنترل از راه دور به‌طور همزمان انجام شده است[۱۰]. در [۱۱] برنامه‌های پاسخگویی به تقاضا در بخش واحدهای مسکونی توجه شده است. تاثیر کمی کلیدهای اتوماتیک بر روی قابلیت اطمینان سیستم توزیع در [۱۲] مورد مطالعه قرار گرفته است. بر اساس ویژگی‌های توپولوژی سیستم مورد مطالعه، مدل قابلیت اطمینان برای اجرای در شبیه‌سازی مونت کارلو توسعه یافته است. در [۱۳] یک روش طراحی چند منظوره برای قابلیت اطمینان شبکه توزیع با استفاده از الگوریتم memetic ارائه شده است. در این بهینه‌سازی قابلیت اطمینان، نوع تجهیزات، مکان و تعداد آنها بهینه‌سازی می‌شود. هدف به طور همزمان کاهش هزینه کل تجهیزات و مینیم‌سازی دو شاخص قابلیت اطمینان شبکه (SAIDI,SAIFI) می‌باشد. Laura Silva و همکاران یک روش بهینه‌سازی برای جایابی کلیدها در شبکه توزیع شعاعی بیان کرده‌اند. چارچوب کار، جایابی و مدل‌سازی سکسیونرها و کلیدهای مانور با ظرفیت‌های مختلف و بهره‌برداری‌های دستی و اتوماتیک است [۱۴]. در [۱۵] روش جدیدی برای ارزیابی شاخص‌های CIC و SPMC در شبکه توزیع ایجاد شده است. در روش ارائه شده، انواع مشتری، الگوهای بار مشتریان، نرخ بارگذاری‌های ماهانه، روزانه و ساعتی مشتریان در نظر گرفته می‌شود. در [۱۶]، مفاهیم سیستم چندعاملی برای توسعه یک استراتژی خودترمیمی به کار گرفته می‌شود که با آگاهی از وضعیت فعلی شبکه جهت بازیابی خودکار شبکه توزیع همکاری می‌کنند. یک رویکرد بهینه‌سازی چندهدفه برای جایابی کلیدها که مبتنی بر روش بهینه‌سازی دسته‌جمعی ذرات است در [۱۷] ارائه شده است. الگوریتم پیشنهادی در تلاش است که ابزاری با ارزش و منعطف برای برنامه‌ریزی شبکه‌های توزیع مدرن و مطمئن باشد. در مقاله[۱۸] روشی بر پایه MILP برای بهبود قابلیت اطمینان و هزینه با استفاده از ریکلوزر و سکسیونر به طور همزمان انجام شده است که نتایج نشان از بهبود قابل توجه شاخص-های قابلیت اطمینان و هزینه دارد. در [۱۹] پیش‌بینی بلندمدت بار برای جایابی کلیدهای اتوماتیک مورد استفاده قرار گرفته است. مدل MILP اصلاح شده بر روی شبکه RBTS مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد براورد بار بر دقت

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.511]

براورد هزینه تاثیر بسزایی دارد. این مطالعه پیشنهاد براورد بار در کنار جایابی کلید را برای کاهش هزینه‌ها و آینده‌نگری پیشنهاد داده است. در [۲۰] فرمول جدیدی برای مکان‌یابی بهینه کلیدها و فیوزها با در نظر گرفتن ضرر مالی مشترکین برق و واحدهای DG پیشنهاد شده است. این مقاله مدلی برای جایابی همزمان کلیدهای کنترل از راه دور، منابع تولید پراکنده وخطوط اتصال برای بهبود قابلیت اطمینان سیستم توزیع پیشنهاد داده است. منابع ذخیره‌ساز و تولید پراکنده دراین مطالعه لحاظ شده و علاوه بر این، دو روش کاهش بار عملی مختلف برای متعادل کردن کل تولید و مصرف در ریزشبکه‌ها در نظر گرفته شده است [۲۱]. در [۳۲] برای افزایش انعطاف‌پذیری شبکه توزیع یک روش سه مرحله‌ای پیشنهاد داده است. مرحله اول استفاده از کلیدهای اتوماتیک برای افزایش سطح قابلیت اطمینان شبکه، مرحله دوم کلیدزنی و استفاده از ژنراتور و مرحله سوم تعمیرات پس از خطا را شامل می‌شود. روشی برای تحلیل قابلیت اطمینان شبکه توزیع فعال دارای منابع تولید پراکنده در [۳۳] بر پایه روش ریاضی مونت کارلو ارائه شده است. در این روش، تمامی حالتهای خرابی اجزای شبکه بصورت تصادفی دسته‌بندی و مشخص شده است. از طرفی با بکارگیری مدل پیشنهادی قابلیت اطمینان DGها، ماهیت تصادفی بودن این منابع بطور دقیق در فرآیند شبیه‌سازی لحاظ شده است. در این تحقیق، جایابی همزمان سکسیونرها و فیوزها با در نظر گرفتن عدم قطیت در زمان تعمیر، نرخ خرابی (فقط فیدر در نظر گرفته شده است) و بار درحضور منابع تولید پراکنده با استفاده از تابع هدف چندگانه فازی انجام شده است. استفاده از تابع هدفی ساده به دلیل ماهیت عوامل دخیل (تضاد بین افزایش قابلیت اطمینان و هزینه کلیدها) در مسئله، محاسبات و طراحی را به دور از شرایط واقعی و فنی می‌سازد. در حالی که بهره‌گیری از تابع هدف چندگانه فازی امکان مصالحه بین عوامل دخیل و ایجاد طرحی متناسب با شرایط فنی و اقتصادی را مهیا می‌سازد. بهینه‌سازی این مسئله به خصوص برای شبکه‌های بزرگ کاری پیچیده و مشکل می‌باشد. برای بهینه سازی در این مطالعه از الگوریتم جفت‌گیری زنبورهای عسل (HBMO) استفاده شده است. در پایان برای نشان دادن تاثیر روش پیشنهادی آزمایش-هایی بر روی شبکه‌ها صورت گرفته است.

۲- مسئله جایابی کلیدها

برای فرمول‌بندی مسئله دو هدف در نظر گرفته شده است. بهبود قابلیت اطمینان که برای بیان آن شاخص‌های متفاوتی وجود دارد که انرژی فروخته‌نشده سالیانه (EENS) یکی از شاخص‌های مهم قابلیت اطمینان می‌باشد. هدف دوم کمینه کردن هزینه کلیدها که از طریق کاهش کلیدها برای جایابی امکان‌پذیر می‌باشد. اهداف در قالب توابع عضویت فازی که بین بازه صفر کمترین میزان مطلوبیت و یک بالاترین میزان مطلوبیت می‌باشد تعریف شده است. بنابراین می‌توان از رابطه زیر برای بیان تابع هدف استفاده کرد[۲۲].

$$F = \{Max[\beta_1 U_{\overline{LY}} + \beta_2 U_{\overline{SCM}}]\} \quad (۱)$$
$$\beta_1 + \beta_2 = 1$$

که در آن $U_{\overline{LY}}$ و $U_{\overline{SCM}}$ به ترتیب توابع عضویت انرژی فروخته و هزینه کلید هستند. $U_{\overline{LY}}$ بیانگر مقدار شاخص هزینه انرژی توزیع‌نشده، و $U_{\overline{SCM}}$ کل هزینه سرمایه گذاری جهت نصب کلید می‌باشد. متغیرهای β_1 و β_2 ضرایب وزنی هستند که درجه اهمیت و الویت انرژی فروخته‌نشده و هزینه کلید را مشخص می‌کنند. با تغییر و تنظیم ضرایب وزنی می‌توان طرح‌های مختلف متناسب با شرایط اقتصادی و فنی ایجاد کرد.

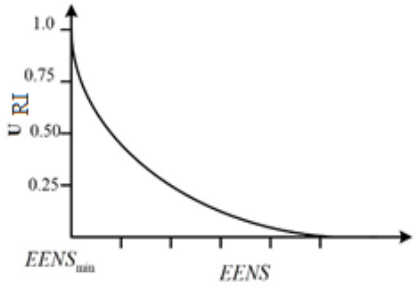
۲-۱- تابع عضویت قابلیت اطمینان

برای بیان قابلیت اطمینان شبکه در این مقاله از شاخص EENS به‌صورت فازی استفاده شده است. هدف اصلی این تابع عضویت افزایش قابلیت اطمینان از طریق کاهش انرژی فروخته‌نشده می‌باشد. با توجه به شکل (۱) کمترین انرژی فروخته‌نشده ($EENS_{min}$) با نصب کلیدها (سکسیونر و فیوز) در تمام مکان‌های کاندید حاصل می‌شود. در این حالت قابلیت اطمینان بالاترین میزان مطلوبیت را دارا می‌باشد. با افزایش EENS مقدار عضویت کاهش پیدا کرده و در $EENS_{max}$ اهمیت هدف به کمترین مقدار خود می‌رسد.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.511]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 13 - No. 3- Autumn 2024

$$U_{\widetilde{LY}} = \begin{cases} 1 & RL(\widetilde{EENS}) \leq RL(\widetilde{EENS}_{min}) \\ exp\ \frac{(RL(\widetilde{EENS}_{min}) - RL(\widetilde{EENS}))}{RL(\widetilde{EENS}_{min})} & otherwise \end{cases} \quad (۲)$$

$U_{\widetilde{LY}}$ تابع عضویت فازی برای $\widetilde{EENS}$ و $\widetilde{EENS}_{min}$ کمترین مقدار آن می‌باشد. Removal($\widetilde{EENS}$) با اعمال تابع بر مقدار فازی انرژی تغذیه‌نشده حاصل می‌گردد. در رابطه فوق به دلیل عدم قطعیت در بار، فرمول‌بندی به صورت فازی در نظر گرفته شده است. اعداد به صورت مثلث فازی در نظر گرفته شده است[۲۵-۲۳].



شکل(۱): تابع عضویت قابلیت اطمینان

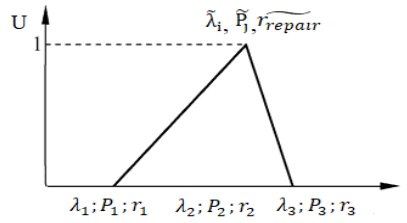
Figure (1): Reliability membership function

۲-۱-۱- محاسبه شاخص EENS

با فرض حضور منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع، با در نظر گرفتن عدم قطعیت در بار، نرخ خرابی و زمان تعمیر میزان انرژی تغذیه نشده فازی به‌عنوان یکی از مهمترین شاخص‌های قابلیت اطمینان به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\widetilde{EENS} = \sum_{i=1}^{N_b} \tilde{\lambda}_i L_i (\sum_{j \in island} \tilde{P}_j \cdot \widetilde{r_{repair}}) \quad (۲)$$

$\widetilde{EENS}$ میزان انرژی تغذیه‌نشده به‌صورت فازی، N_b تعداد کل بخش‌های شبکه، L_i طول بخش iام فیدر، λ_i نرخ خرابی بخش i ام فیدر به صورت فازی، LP_j توان نقطه بار jام وr_{repair} مدت زمان لازم جهت تعمیر بخش آسیب‌دیده فیدر هنگام وقوع خطا در شاخه iام هر سه عنصر ($\tilde{\lambda}_i$, $\tilde{P}_j$,$\widetilde{r_{repair}}$) بصورت فازی در نظر گرفته شده است. نمایش فازی این پارامترها در شکل(۲) نمایش داده شده است.



شکل(۲): نمایش فازی نرخ خطا، بار و زمان تعمیر

Figure (2): Fuzzy representation of error rate, load and repair time

۲-۲- تابع هزینه کلیدها

در این تابع با افزایش کلیدهای انتخابی برای نصب که به‌منظور کاهش خاموشی‌های شبکه صورت می‌گیرد، هزینه‌های لازم برای خرید و نصب کلیدهای نیز افزایش می‌یابد. شکل (۳) این تابع عضویت را نشان می‌دهد. برای محاسبه کل هزینه‌های مربوط به کلیدها می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد.

$$SCM = (N_{sec} \times C_{sec}) + (N_{fu} \times C_{fu}) \quad (۳)$$

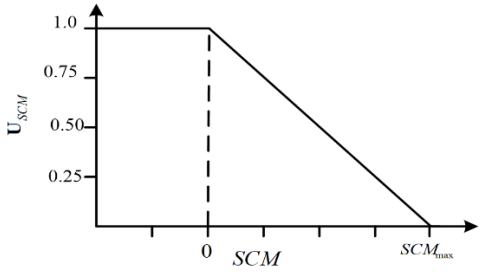
SCM هزینه کل کلیدها و N_{sec} تعداد سکسیونرها و N_{fu} تعداد فیوزها می‌باشد. از رابطه زیر می‌توان برای تعریف تابع عضویت هزینه کلی استفاده نمود.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.511]

$$U_{\overline{SCM}} = \begin{cases} 1 & SCM \leq 0 \\ \frac{SCM_{max} - SCM}{SCM_{max}} & 0 \leq SCM \leq SCM_{max} \\ 0 & SCM_{max} \leq SCM \end{cases} \quad (۴)$$

که در آن SCM_{max} بیشترین هزینه کلید می باشد. مقدار هزینه کلیدهای قابل نصب با توجه به معیاری مانند بودجه برای خرید کلید تعیین می شود در این حالت مقدار تابع عضویت و الویت هزینه کلی در کمترین مقدار خود قرار دارد.



شکل (۳): تابع عضویت هزینه کلید

Figure (3): Key cost membership function

۳- الگوریتم جفت‌گیری زنبور عسل

ساختار جامعه زنبور عسل دارای سه شکل متفاوت می‌باشد، ملکه جهت تخم‌ریزی، زنبور نر که وظیفه آن آمیزش با ملکه و زنبور کارگر که وظیفه نگهداری از نوزادان، مراقبت از ملکه و نرها و دیگر کارهای کندو را بر عهده دارد[۲۶]. می‌توان الگوریتم جفت گیری زنبور عسل را در گامهای زیر خلاصه کرد [۲۷]:

- الگوریتم با پرواز جفت‌گیری آغاز می‌شود و طی این فرآیند ملکه به طور احتمالاتی زنبورهای نر را برای جفت‌گیری (پر کردن محفظه اسپرم) انتخاب می‌کند.
- نوزادان جدید با استفاده از تقاطع ژن‌های زنبور نر و ملکه ایجاد می‌شوند.
- زنبورهای کارگر جهت پرورش و ارتقائ نسل نوزادان مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- نوزاد مناسب در صورت برتری نسبت به ملکه موجود جهت جایگزینی با ملکه انتخاب می‌شود.

آغاز این فرآیند با پرواز جفت‌گیری از جانب ملکه به همراه تعدادی از زنبورهای نرکه به تعقیب ملکه پرداخته‌اند انجام می-پذیرد، در این جفت‌گیری ملکه چندین بار و با چند زنبور نر جفت‌گیری می‌کند. در این فرآیند طی هر قدم در فضا، ملکه با یک زنبور نر که به صورت تصادفی با آن روبرو شده، بنابر قانون احتمال زیر که مانند یک تابع آب‌کاری فلزات عمل می‌کند، جفت‌گیری می‌نماید[۲۹] .

$$Prob(D) = e^{\frac{-\Delta(f)}{s(t)}} \quad (۵)$$

Prob(D) احتمال اضافه شدن اسپرم زنبور نر (D) به کیسه محل تجمع اسپرم در ملکه (Q) یعنی احتمال یک جفت‌گیری موفق می‌باشد. $\Delta(f)$ قدر مطلق اختلاف بین تابع هدف زنبور نر f(D) و تابع هدف ملکه f(Q) می‌باشد. S(t) سرعت ملکه در لحظه t می‌باشد. سرعت ملکه نیز در ابتدا به‌صورت تصادفی تولید می‌گردد.

$$S_{queen} = rand(\cdot) \times (S_{max} - S_{min}) + S_{min} \quad (۶)$$

احتمال پرواز جفت‌گیری را می‌توان به یک تکاپو و حرکت در فضا و زمان نسبت داد که در آن ملکه به‌طور تصادفی در مکان-های مختلف و با سرعت‌های گوناگون با زنبورهای نر برخورد می‌کند. با توجه به خاصیت رابطه (۶) مشخص است که احتمال جفت‌گیری در ابتدای پرواز که ملکه دارای سرعت زیادی می‌باشد و یا در حالتی که قابلیت زنبور نر به قابلیت ملکه نزدیک است بسیار زیاد می‌باشد. پس از هر جابجایی در فضا و سپری شدن زمان سرعت و انرژی اولیه ملکه به‌ترتیب طبق معادلات زیر کاهش می‌یابد [۱۵].

$$S(t+1) = \beta \times S(t) \quad (۷)$$

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.511]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 13 - No. 3- Autumn 2024

$$E_n(t+1) = E_n(t) - \beta \quad (۸)$$

که در آن که در آن β ضریبی است متعلق به بازه [۰،۱] و γ مقدار کاهش سرعت و انرژی ملکه در هر انتقال می‌باشد. برای تشکیل ماتریس ذخیره اسپرم ملکه، پس از انتخاب زنبور نر و محاسبه احتمال جفت‌گیری یک عدد بین صفر و یک به صورت تصادفی تولید می‌گردد و با احتمال انتخاب مقایسه می‌گردد، در صورت موفقیت‌آمیز بودن جفت‌گیری اسپرم زنبور نر در کیسه ملکه ذخیره می‌شود، این کار تا پایان یافتن سرعت و انرژی ملکه یا پر شدن کیسه ادامه می‌یابد.

$$S_{perma-ma} = [Sp_1\ Sp_2\ \ Sp_3 \quad\quad Sp_{Nsperm}]$$
$$Sp_i = [Can_1\ Can_2\ Can_3\ \dots\ Can_n]$$
$$i = 1.2.\dots..N_{sperm} \quad (۹)$$

که در آن Sp_i، iامین اسپرم در کیسه ملکه می‌باشد. سپس تولید نوزادان به تعدادی مورد نظر که قبلا تعیین گردیده آغاز می‌گردد. ملکه اسپرمی را به‌صورت تصادفی از محفظه اسپرم خود خارج کرده و جفت‌گیری می‌نماید. با استفاده از تقاطع ملکه وزنبور نر، نوزاد جدید (جواب‌های آزمایشی) تولید می‌گردد jامین نوزاد با استفاده از فرایند زیر تولید می‌شود.

$$\bar{X}_{best} = [X^1_{best}\ X^2_{best}\ \dots\ X^n_{best}]$$
$$Sp_i = [S_i^1\ S_i^2\ \dots\ S_i^n]$$
$$Br_j = round\ (\bar{X}_{best} + K(\bar{X}_{best} - Sp_i))$$
$$j = 1.2.\dots..N_{Brood} \quad (۱۰)$$

که K یک عدد تصادفی بین صفر و یک می‌باشد و Broodj، jامین نوزاد می‌باشد. در ادامه زنبورهای کارگر برای بهبود نوزادان به دنیا آمده وارد عمل می‌شوند. این کار توسط توابع هوشمند و عملگرهای جهش انجام می‌پذیرد. ابتدا jامین نوزاد به طور تصادفی انتخاب می‌گردد و دو عدد صحیح(C_1,C_2) بین $(1,n)$ به صورت تصادفی انتخاب می‌گردد. نوزادن با فرض شرط $C_2>C_1$ به صورت زیر بهبود می‌یابند.

$$Br_i(j) = Br_i \quad if\ \ j \le C_1$$
$$Br_i(j) = rand(\cdot) \times (X^j_{max} - X^j_{min}) + X^j_{min} \quad if\ C_1 \le C_2$$
$$Br_i(j) = Br_i(j) \quad if\ \ j \ge C_2$$
$$i = 1.2.\dots..N_{worker} \quad (۱۱)$$

که در آن X^j_{min}وX^j_{max} به ترتیب مقادیر ماکزیمم و مینیمم jامین متغیرهای حالت می‌باشد. در انتها اگر نوزادی بهتر از ملکه بود با آن جایگزین می‌شود. در واقع ملکه بهترین حالت ممکن از قرارگیری کلیدها در شبکه برای بالاترین قابلیت اطمینان و کمترین هزینه می‌باشد. به دلیل استفاده الگوریتم HBMO از خود تابع هدف و نه اطلاعات کمکی دیگر و با توجه به اینکه جستجوی آن در مجموعه‌ای از نقاط انجام می‌پذیرد و نه در یک نقطه منفرد مجموعه‌ی عوامل بالا باعث رسیدن به بهینه واقعی با سرعت مناسب شده است.

۳-۱- پیاده‌سازی الگوریتم

در این مرحله، دو نوع اطلاعات ورودی شبکه و الگوریتم، شامل توپولوژی شبکه، طول خطوط، نرخ خرابی و متوسط زمان تعمیر، مکان‌های کاندید برای نصب سکسیونرها، سرعت ملکه در ابتدای پرواز جفت‌گیری (S_{max})، سرعت ملکه در انتهای پرواز جفت‌گیری(S_{min})، ضریب کاهش سرعت (β)، تعداد تکرار، تعداد کارگران (N_{Worker})، تعداد نرها (N_{Drone})، ابعاد ماتریس کیسه ملکه (N_{Sperm}) و تعداد نوزادان (N_{Brood}) تعریف می‌شوند و سپس جمعیت اولیه به‌صورت تصادفی تولید در محدوده مورد نظر تولید می‌گردد.

$$P_o = [\bar{X}_1.\bar{X}_2.\dots..\bar{X}_n]$$
$$\bar{X}_i = [Can_1.Can_2.Can_3\ \dots..Can_n] \quad (۱۲)$$
$$i = 1.2.\dots..N$$

N تعداد نقاط کاندید برای نصب کلیدها می‌باشد.

جهت بهینه‌سازی مسأله توسط الگوریتم HBMO اولین نکته، تبدیل متغیرهای تصمیم مسأله در قالب کدهای قابل استفاده در عملگرهای الگوریتم بهینه‌سازی مورد استفاده است. در روش پیشنهاد شده سکسیونرها و کات اوت فیوزها همان‌طور که ذکر

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

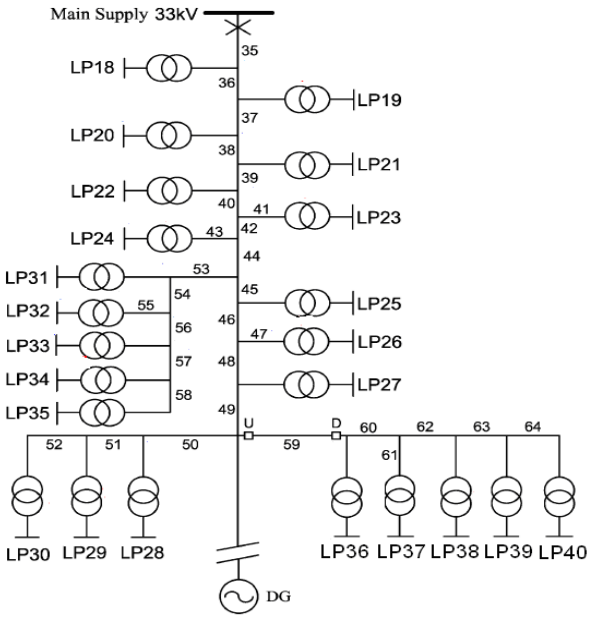
[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.511]

گردید، برای کدبندی جواب‌های محتمل (رشته‌ها) از سه عدد صفر، یک و دو استفاده شده است که عدد صفر برای حالت عدم نصب هیچ یک از کلیدها، عدد یک برای حالت نصب سکسیونر و عدد دو برای حالت نصب کات اوت فیوز در مکان کاندید در نظر گرفته شده است. نحوه اجرای الگوریتم در شکل(۵) نشان داده شده است.

۴- شبیه‌سازی و نتایج عددی

۴-۱- شبکه استاندارد RBTS

شبکه اول مربوط به فیدر توزیع شماره ۴ متصل به باس شماره ۶ RBTS استفاده شده است. شکل (۴) دیاگرام تک خطی این شبکه ۳۳ کیلوولت را نشان می‌دهد. اطلاعات مربوط به ساختار و متوسط میزان و نوع بار در نقاط مصرف و نیز پارامترهای قابلیت اطمینان مربوط به این فیدر در مراجع [۲۲و۲۹-۳۰] ارائه شده است. در این سیستم دو طرف سکشن‌ها به عنوان مکان کاندید نصب سکسیونر فرض شده است و جایابی فیوزها در شاخه‌های فرعی صورت گرفته است (برای سکشن ۵۹ در شکل مذکور این موضوع نشان داده شده است). اطلاعات مربوط به الگوریتم و اطلاعات شبکه در جدول (۱) و (۲) آمده است.



شکل (۴): شبکه اصلاح شده RBTS - فیدر ۴

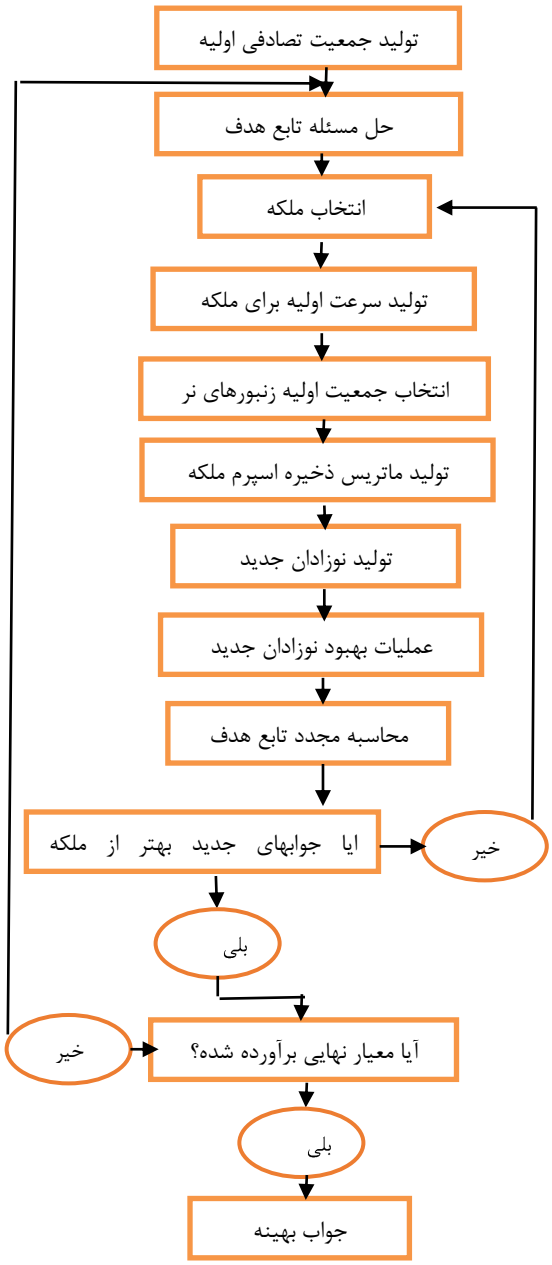
Figure (4): Modified RBTS network - Feeder 4

Table (1): RBTS Network Information

جدول (۱): اطلاعات شبکه RBTS

پارمتر	مقدار
مقاومت [Ω /km]	۰/۲۵۷
راکتانس [Ω /km]	۰/۰۸۷
ماکزیمم حد حرارتی [A]	۲۸۰
ماکزیمم افت ولتاژ قابل قبول	٪۵
هزینه سکسیونر (دلار)	$۲۰۰۰
هزینه کات اوت فیوز (دلار)	$۸۰۰
متوسط زمان تعمیر[h]	۱
متوسط زمان کلید زنی [h]	۴
حداکثر تعداد سکسیونر	۳۰
حداکثر تعداد فیوز	۳۰

[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.511] [Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 13 - No. 3- Autumn 2024



شکل(۵): فلوچارت الگوریتم اجرایی

Figure (5): Flowchart of the execution algorithm

Table (2): HBMO algorithm information

جدول (۲): اطلاعات الگوریتم HBMO

پارامتر	S_{max}	S_{min}	β	N_{Brood}	N_{Drone}	N_{Sperm}	N_{Worker}	iteration
مقدار	۱	۰/۲	۰/۹۴	۲۵	۳۵	۲۵	۲۵	۱۰۰

آزمایش اول: در نظر گرفتن حالت پایه سیستم و استفاده از سکسیونر

این آزمایش که برای دو حالت بدون DG و با در نظرگرفتن DG یک مگاولت آمپری انجام شده است. مقدار ۰/۵ برای β_1 و β_2 انتخاب شده که نشان‌دهنده درجه اهمیت و الویت یکسان هزینه و انرژی فروخته نشده برای این آزمایش می‌باشد. هدف اصلی این آزمایش نشان دادن تغییراتی است که بعد از حضور منابع تولید پراکنده رخ داده است. نتایج حاصل در جدول (۳)

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.511]

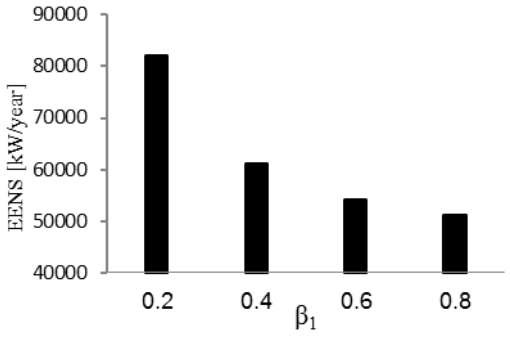
حاکی از بهبود قابل توجه شاخص‌های قابلیت اطمینان (EENS,SAIDI) بعد از حضور DG دارد. با مقایسه نتایج آزمایش ۱-۱ و ۱-۲ مشاهده می‌گردد که انرژی فروخته نشده EENS بهبود قابل توجهی پیدا کرده در حدود ۱۱٪ کاهش یافته است. همچنین تعداد و مکان سکسیونرها نیز تغییر کرده است. نتایج نمایانگر اهمیت حضور DG در کنار جایابی کلید برای افزایش قابلیت اطمینان شبکه می‌باشد.

آزمایش دوم: بررسی تاثیر ضرایب وزنی

جایابی سکسیونر در شبکه های توزیع با یکسان بودن تمامی شرایط و ضوابط شبکه در مکان‌های مختلف به دلیل شرایط خاص آن منطقه متفاوت از یکدیگر خواهد بود. هدف از اجرای این آزمایش استفاده از تغییرات ضرایب وزنی برای اجرای طرح‌های مورد نظر طراحان بر اساس شرایط فنی واقتصادی لازم می‌باشد و نتایج حاصل در جدول (۴) آمده است. بیشترین وکمترین مقدار اهداف متناسب با مقادیر ضرایب وزنی می‌باشد. نتایج حاصل نشان از تاثیر قابل ملاحظه ضرایب وزنی بر روی مسئله دارد.β_1 وβ_2 از ۰/۲ تا ۰/۸تغییر یافته‌اند در حالی که دیگر شرایط شبیه آزمایش۱-۲ بوده است. برای حالت $\beta_1=0.2$ چون اهمیت والویت قابلیت اطمینان در درجه پایین‌تری می‌باشد تنها یک کلید توسط الگوریتم انتخاب شده است تا هزینه تا حد ممکن کاهش یابد. با افزایش β_1 از ۰/۲ تا ۰/۸ در هر مرحله EENS,SAIDI هر دو کاهش یافته‌اند و قابلیت اطمینان بهبود یافته است و برعکس هزینه کلیدها افزایش یافته است. مقدارEENS در مقایسه حالت‌های $\beta_1=0.2$ و $\beta_1=0.8$ تقریبا ۳۱۰۰۰ کیلو وات ساعت بر سال کاهش پیدا کرده است.که این امر نشان‌دهنده حساسیت بالای مسئله نسبت به تغییرات ضرایب وزنی می‌باشد. مقدار U_{RY} نیز ۵۴٪ بهبود یافته که نشان از بهبود قابلیت اطمینان به‌دلیل افزایش ضریبβ_1 دارد. تغییراتEENS,SAIDI نسبت به تغییرات ضرایب وزنی به ترتیب در شکلهای (۶) و (۷) نشان داده شده است.برای ضریب β_2 نیز که الویت هزینه کلید را مشخص می‌کند متناسب با کاهش β_2 هزینه کلیدهای انتخابی افزایش یافته است. به دلیل کاهش درجه اهمیت هزینه، الگوریتم با انتخاب تعداد کلید بیشتر سعی می‌کند قابلیت اطمینان را افزایش دهد.

آزمایش سوم: جایابی همزمان کلیدها

در آزمایش جایابی همزمان، شرایط با شرایط آزمایش قبلی یکسان فرض شده است،.ضرایب وزن برای هر دو هدف ۰/۵ تعیین شده است. همان‌طور که در جدول (۵) مشخص است، قابلیت اطمینان و هزینه‌های با انتخاب فیوزهای بهبود یافتند. مقدار EENS در مقایسه با شرایط مشابه ۲۴۷۵ کیلووات ساعت بهبود یافت، در حالی که هزینه تقریباً بدون تغییر باقی مانده است. SAIDI نیز نسبت به آزمایش قبلی ۹ درصد بهبود داشته است. به طور مشابه، SAIFI نیز به دلیل استفاده از فیوز در مقایسه با شرایط قبلی ۱۳ درصد بهبود یافته است. نتایج بر اهمیت استفاده از ترکیب و قرار دادن همزمان کلیدها برای افزایش شاخص‌های قابلیت اطمینان، هزینه‌ها و رضایت مشتری تاکید می‌کند.

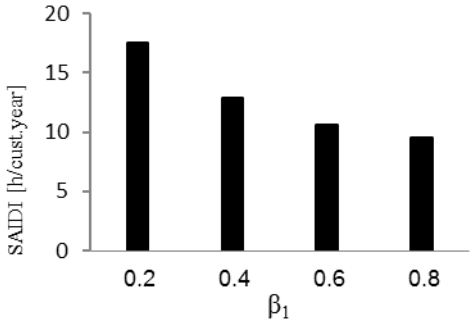


شکل(۶): تغییرات انرژی فروخته نشده نسبت به β_1

Figure (6): Unsold energy changes relative to β_1

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.511]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 13 - No. 3- Autumn 2024



شکل(۷): تغییرات SAIDI نسبت به β_1

Figure (7): SAIDI changes relative to β_1

Table (3): Results of the first test

جدول (۳): نتایج حاصل از آزمایش اول

آزمایش	DG (*MVA*)	β_1	β_2	EENS (*kWh/year*)	مکان سکسیونر	SAIDI *(h/cust .year)*
1-1	0	0.5	0.5	62328	45U,50U,53U,59U	12.18
1-2	1	0.5	0.5	55621	45U,49D,50U,53U,59U	11.1

Table (3): Results of the second test

جدول(۴): نتایج حاصل از آزمایش دوم

آزمایش	DG	β_1	β_2	EENS (*kWh/year*)	U_{RY}	U_{SCM}	مکان سکسیونر	SAIDI
2-1	1	0.2	0.8	82043	0.4912	0.9666	45U	17.58
2-2	1	0.4	0.6	61038	0.7600	0.9000	45U,49D,53U	12.90
2-3	1	0.6	0.4	54091	0.8786	0.8000	40U,45U,49U 50U,53U,59U	10.57
2-4	1	0.8	0.2	51036	0.9365	0.6667	39U,43U,45U,48U,49D, 50U,53U,56U,59U,63U	9.51

Table (3): Results of the third test

جدول (۵): نتایج حاصل از آزمایش سوم

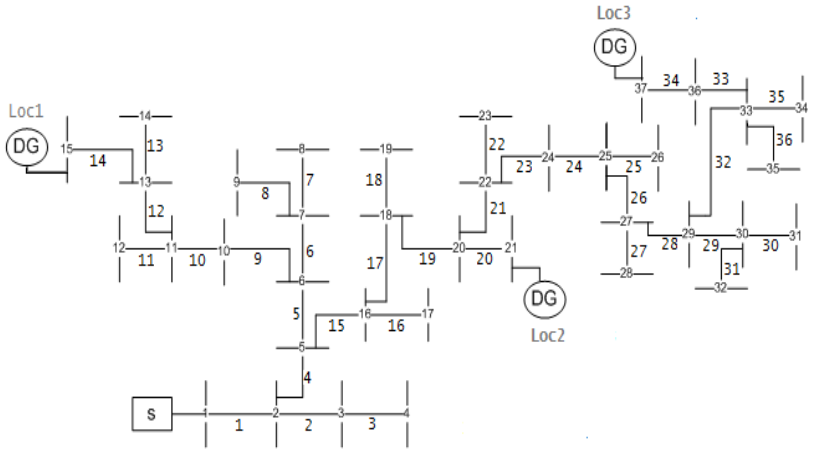
آزمایش	DG (*MVA*)	β_1	β_2	EENS (*kWh/year*)	SAIDI	SAIFI	مکان سکسیونر	مکان فیوز
3-1	1	0.5	0.5	55621	11.1	3.98	45U,49D,50U, 53U,59U	-
3-2	1	0.5	0.5	53145	10.122	3.457	45U,53U,49D	51U,57U,58U,63U

۲-۴- مورد مطالعاتی دوم شبکه واقعی

برای آزمایش دوم شبکه واقعی فیدر شماره ۸ شهر اردبیل انتخاب شده است که اطلاعات مربوط به آن در جدول (۶) آمده است. دیاگرام تک خطی این فیدر فشار در شکل (۸) نشان داده شده است. این فیدر دارای ۳۶ سکشن است که دورترین نقطه بار آن تا سرخط ۲۰/۶۳ کیلومتر فاصله دارد. بار کل آن برابر۵/۶۹۲ مگاوات بوده و برای تمامی نقاط بار این فیدر ضریب قدرت ۰/۸ منظور شده است. دو سوی تمامی سکشن‌ها به عنوان نقطه کاندید برای نصب سکسیونر در نظر گرفته شده است. مقاومت اهمی و راکتانس سلفی به ترتیب برابر ۰/۳۰ و ۰/۲۱ است. نرخ سالیانه وقوع خطاهای ماندگار به ازای هر کیلومتر ۰/۳ می‌باشد. همچنین متوسط زمان لازم برای انجام عملیات مانور و کلیدزنی یک ساعت، و متوسط مدت زمان تعمیرات در فیدر برابر ۴ ساعت می‌باشد. لازم به ذکر است که این پارامترها از آمار سالیانه معاونت بهره‌برداری شرکت توزیع آذربایجان شرقی استخراج شده است.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.511]



شکل (۸): دیاگرام تک خطی فیدر شهر اردبیل

Figure (8): Single-line diagram of the Ardabil city feeder

Table (6): Practical network information

جدول(۶): اطلاعات شبکه واقعی

پارامتر	مقدار
مقاومت [Ω /km]	۰/۱۶۹۲
راکتانس[Ω /km]	۰/۲۹۲۶
نرخ خطا[fail./year-km]	۰/۳
مدت زمان تعمیر[h]	۴
مدت زمان کلید زنی [h]	۱
بیشترین تعداد سکسیونر قابل نصب	۱۵
بیشترین تعداد فیوز قابل نصب	۱۵

۴-۲-۱- آزمایش اول : تاثیر منابع تولید پراکنده

این آزمایش جهت بررسی تاثیر مکان DG بر مسئله انجام شده است. ضرایب وزنی برای این مطالعه$\beta_1=\beta_2=0.5$ و ظرفیت منابع تولید پراکنده برای هر سه آزمایش ۱ مگاوات فرض شده است. این آزمایش از حالت بدون DG آغاز می‌شود و در هر مرحله DG در مکان‌های موردنظر جابجا می‌شود. نتایج این آزمایش در جدول (۷) ارائه شده است. در کلیه جداول، مقادیر DGها (باس ۱۵ مکان اول، باس ۲۱ مکان دوم و باس ۳۷ مکان سوم) بر حسب مگاوات است. همان‌طور که از نتایج مشخص است، با جابجایی DG نتایج حاصل نیز تغییر کرده است. از دید قابلیت اطمینان مکان باس ۳۷ مناسب‌ترین مکان می‌باشد. مقدار EENS نسبت به حالت اول ۱۴٪ کاهش نشان می-دهد که نشان از بهبود قابلیت اطمینان دارد. در حالت پنجم نیز با حضور سه منبع تولید پراکنده همان‌طور که انتظار می‌رفت قابلیت اطمینان در بهترین وضعیت خود می‌باشد. مقدار EENS نسبت به حالت اول به ترتیب ۱۳۶۰۰و۱۴۱۰۰و۲۴۲۳۰ کیلووات ساعت بر سال کاهش یافته است. شاخص SAIDI نیز متناسب با کاهش EENS کم شده است. همچنین باید توجه داشت با ورود DG و تغییر مکان DG تعداد و مکان سکسیونر ها نیز تغییر یافته است.

۴-۲-۲- آزمایش دوم : جایابی همزمان

با مقایسه نتایج آزمایش برای (j-2,j-3,j-4) با (jj-1,jj-2,jj-3) مشاهده می‌گردد در جایابی همزمان با کاهش تعداد سکسیونر و افزوده شده فیوز هردو شاخص EENS و SAIDI بهبود یافته است و به دلیل ورود فیوز شاخص SAIFI نیز مقدار قابل توجهی یافته است. مشاهده می‌گردد ترکیب جایابی همزمان کلیدها در شبکه علاوه بر کاهش هزینه‌های خرید در بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان نیز تاثیر چشمگیری دارد.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.511]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 13 - No. 3- Autumn 2024

۵- نتیجه گیری

در این مقاله مساله مکان یابی همزمان کلیدها در حضور منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع با استفاده از تابع هدف چندگانه فازی و با استفاده از الگوریتم HBMO انجام گرفته است. استفاده از تابع هدف چندگانه فازی امکان داشتن قابلیت اطمینان بالا و هزینه پایین به طور همزمان و ایجاد طرح‌های متنوع و متناسب با شرایط را فراهم آورد. همچنین لحاظ نمودن مسائلی مانند حضور منابع تولید پراکنده و مهمتر از همه در نظر گرفتن عدم قطیتهای موجود در بار، نرخ خرابی و زمان تعمیرات باعث ارائه روشی عملی برای حل مسئله جایابی کلیدها در شبکه گردید. نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان از تاثیر مکان منابع تولید پراکنده بر روی تعداد و مکان کلیدها و تاثیر قابل توجه بر قابلیت اطمینان شبکه داشت. همچنین تاثیر ضرایب وزنی بر روی اهداف مسئله قابل توجه بود. در جایابی همزمان نیز شاهد تاثیر چشمگیر بر بهبود قابلیت اطمینان و هزینه بودیم. البته باید در نظر داشت جایابی همزمان سکسیونر و فیوز در کنار حضور منابع تولید پراکنده بهترین نتیجه ممکن از دید قابلیت اطمینان و هزینه را در پی داشت.

Table (7): The results of the first test on the practical network

جدول (۷): نتایج حاصل از آزمایش اول بر روی شبکه واقعی

آزمایش	DG		SAIDI	EENS (*kWh/year*)	مکان سکسیونر
	مکان	ظرفیت			
j-1	-	-	32.34	175530	2U,5U, 15U
j-2	LOC1	1	29.56	161930	2U,5U, 15U,9U
j-3	LOC2	1	29.4	161430	2U,5U, 15U,28D
j-4	LOC3	1	26.85	151300	2U,5U, 17U,28D
j-5	LOC1,LOC2,LOC3	1,1,1	24.17	136680	4U,15D, 10U,28D

Table (8): The results of the second test on the practical network

جدول (۸): نتایج حاصل از آزمایش دوم بر روی شبکه واقعی

آزمایش	مکان DG	EENS	SAIDI	SAIFI	مکان سکسیونر	مکان فیوز
jj-1	LOC 1	157860	28.85	12.47	2U,5U,15U	3U,7U
jj-2	LOC 2	151790	27.85	12.41	2U,5U,15U,28U	7U,3U,8U
jj-3	LOC 3	146850	26.9	12.24	2U,5U,17D,28D	3U,7U,8U,30U

References

مراجع

[1] R. Billinton, R. N. Allan ,"Reliability Evaluation of Power Systems", 2nd edition, Plenum Press, New York, 1996.

[2] R. Billinton and S. Jonnavithula, "Optimal switching device placement in radial distribution systems," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 11, pp. 1646–1651, July 1996.

[3] R. E. Brown, Electric Power Distribution Reliability. New York: Marcel Dekker, 2002.

[4] Weixing Li, Peng Wang, Zhimin Li, and Yingchun Liu "Reliability Evaluation of Complex Radial Distribution Systems Considering Restoration Sequence and Network Constraints", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 19, No. 2, 2004, pp. 753-758.

[5] R. E. Brown and L. A. A. Freeman, "Analyzing the reliability impact of distributed generation," in Power Eng. Soc. Summer Meeting, vol. 2, 2001, pp. 1013–1018.

[6] H. Hashemi. Dezaki, H. Askaraian. Abyaneh, Y. Kabiri, H. Nafisi, K. Mazlumi, H. Akbar Fakhrabadi "Optimized Protective Devices Allocation in Electric Power Distribution Systems Based on the Current Conditions of the Devices," IEEE International Conference on Power and Energy (PECon 2010), Nov 29- Dec 1, 2010, Kuala Lumpur, Malaysia.

[7] M. H. Kapourchali, M. Sepehry and V. Aravinthan, " Fault Detector and Switch Placement in Cyber- Enabled Power Distribution Network" , IEEE Transactions on Smart Grid 2016.

[8] S. Dimitrijevic, N. Rajakovic"Service Restoration of Distribution Networks Considering Switching Operation Costs and Actual Status of the Switching Equipment" IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID, 2016.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.511]

[9] A.Heidari, V. G. Agelidis and Mohsen Kia "Considerations of Sectionalizing Switches in Distribution Networks with Distributed Generation", IEEE Transactions on Power Delivery, 2016.
[10] M. Raoofat, "Simultaneous allocation of DGs and remote controllable switches in distribution networks considering multilevel load model", Electrical Power and Energy Systems 33 (2011) 1429–1436.
[11] F. Pallonetto, M.D. Rosa, F.D. Ettorre, D.P. Finn, "On the assessment and control optimisation of demand response programs in residential buildings", Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 127, no. 1, Article Number: 109861, Apr. 2020.
[12] D.P. Bernardona, M. Sperandioa, V.J. Garciaa, J. Russia, L.N. Canhab, A.R. Abaideb and E.F.B. Dazac, "Methodology for allocation of remotely controlled switches in distribution networks based on a fuzzy multi-criteria decision making algorithm", Electric Power Systems Research 81 (2011) 414–420.
[13] A.VieiraPombo, JoãoMurta-Pina, V.FernãoPires, "Multiobjective planning of distribution networks incorporating switches and protective devices using a memetic optimization", Reliability Engineering and System Safety p:101– 108, 2015.
[14] L. S. deAssis, J. F. González, F. L. Usberti, C. Lyra, C. Cavellucci and F. J. Von Zuben," Switch Allocation Problems in Power Distribution Systems" IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 30, NO. 1, JANUARY 2015.
[15] Goroohi Sardou1 M. Banejad1 R. Hooshmand 2 A. Dastfan "Modified shuffled frog leaping algorithm for optimalswitch placement in distribution automation system using a multi-objective fuzzy approach", IET Generation, Transmission & Distribution 2015.
[16] J.B. Leite, J.R.S. Mantovani, "Development of a self-healing strategy with multiagent systems for distribution networks", IEEE Trans. on Smart Grid, vol. 8, no. 5, pp. 2198-2206, Jan. 2016.
[17] J. R. Bezerra, G. C. Barroso, R. P. Saraiva Leão and R. Furtado Sampaio, "Multiobjective Optimization Algorithm for Switch Placement in Radial Power Distribution Networks" IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 30, NO. 2, APRIL 2015.
[18] A. C. Gomes , R. P. Saraiva Leão , " Optimal placement of manual and remote-controlled switches based on the Pareto front", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 147, May 2023, 108894.
[19] J. Forcan , M. Forcan," Optimal placement of remote-controlled switches in distribution networks considering load forecasting", Sustainable Energy, Grids anNetworks, Volume 30, June 2022.
[20]N. Gholizadeh , S.H. Hosseinian , M. Abedi , H. Nafisi and P. Siano, "Optimal placement of fuses and switches in active distribution networks using value-based MINLP", Reliability Engineering & System Safety, Volume 217, January 2022, 108075.
[21] M. Zare-Bahramabadi , M. Ehsan and H. Farzin," An MILP Model for Switch, DG, and Tie Line Placement to Improve Distribution Grid Reliability", IEEE Systems Journal ,Volume: 17, Issue: 1, March 2023.
[22] H. Falaghi, M.R. Haghifam, and Ch. Singh, "Ant colony optimization-based method for placement of sectionalizing switches in distribution networks using a fuzzy multi-objective approach," IEEE Transactions IEEE Transactions on on Power Delivery, vol.24, no.1, 2009, pp.268 276.
[23] K.Kauhaniemi, "Fuzzy models and techniques for the calculation of radial distribution networks," IEEE/NTUA Athens Power Tech. Conference; Athens Greece; Sept. 1993, pp. 423–428.
[24] C. Zhao, Y. Deng and X. Ren, "Reactive Power Optimization with Time-Varying Fuzzy Load Demand for Distribution Systems," IEEE 2002.
[25] Y.M. Deng and X.J. Ren, "Optimal Capacitor Swithing with Fuzzy Load Model for Radial Distribution Systems," IEE Proc. Gener-Trans-Distrib., Vol. 150, No. 2, March 2003.
[26] T. Niknam, "An efficient hybrid evolutionary algorithm based on PSO and HBMO algorithms for multi-objective Distribution Feeder Reconfiguration", Energy Conversion and Management, vol 50, pp.2074-82 2009.
[27] A. Afshar, O. B. Haddad, M. A. Marino, B. J. Adams, " Honey-bee mating optimization (HBMO) algorithm for optimal reservoir operation,Journal of the Franklin Institute" , Pages:452-462,2007.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.511]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 13 - No. 3- Autumn 2024

[28] O. B. Hadad, A. Afshar, M. A. Mario, "Honey-bee mating optimization (HBMO) algorithm: a new heuristic approach for water resources optimization "J Water Res. Manag, Vol. 20,No.5,2006, PP.661-680.
[29] Billinton R. Jonnavithula S. A test system for teaching overall power system reliability assessment. IEEE Trans Power Syst 1996; 11(4): 1670-1676.
[30] Allan RA, Billinton R, Sjarief I, Goel L, So KS.A reliability test system for educational purposes—Basic distribution system data and results. IEEE Trans. Power Syst 1991; 6(2): 813-820.
[31] Wiwat Tippachon, Dulpichet Rerkpreedapong "Multi-objective optimal placement of switches and protective devices in electric power distribution systems using ant colony optimization," Electric Power Systems Research 79 (2009) 1171–1178.
[32] S. M A. Hashemifar, M. Joorabian, M. S. Javadi, "A Multi-Stage Framework for Resilience Enhancement of Active Networks through Prepositioning of Crew Teams and Mobile Emergency Unit", Journal of Novel Researchs on Smart Power Systems, Vol. 12, No.4, pp. 1-19, winter 2024.
[33] I. Chaharmahali, M. Jafarifar, "Providing a method to evaluate the reliability of active distribution networks Using Monte Carlo simulation", Journal of Novel Researchs on Smart Power Systems, Vol. 12, No.3, pp. 61-70, autumn 2024.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.82362/jeps.2024.3.511]