Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers
Vol. 21 No. 4, 2024
DOI: 10.61186/jiaeee.21.4.161

Simultaneous Compensation of Active and Reactive Power in the Presence of Distributed Generation Sources Using a New Analytical Method

Ramin Borjali Navesi[1] , Sasan Piruzi[2]

[1] Phd, Department of Elecrical Engineering, Technical and Vocational University, Urmia, Iran
r.borjali.68@gmail.com
[2] Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Islamic Azad University, Semirom,Iran
a.pirouzi69@yahoo.com

Abstract:

In this paper, a new analytical approach for the optimal active and reactive power scheduling of distributed generations (DG) and capacitor banks in distribution networks is presented. The scheme is very simple and lacks the complexity of other methods. The objective functions used in this study include minimizing power losses and improving the voltage profile of the distribution network. To show the capabilities of the scheme, simulation results have been performed on 33 distribution network and its performance has been compared with global searching methods. Finally, the presented approach to achieve the optimal power coefficients of DGs and capacitor banks has also been used in the119 bus distribution network. The simulation results show that the analytical approach presented in finding optimal results is very strong, fast and easy and can be used on wide distribution systems.

Keywords: Locating and determining optimal capacity, Distributed generation sources, Capacitor banks, Distribution network, New analytical method

Article Type: Research

Received: 07. 04. 2023

Revised: 09. 01. 2024

Accepted: 21. 04. 2024

Corresponding author: Sasan Piruzi

Corresponding author's address: Elec. Eng. Dep., Islamic Azad Univesity. Semirom, Iran

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[DOI: 10.61186/jiaeee.21.4.135]

Copyright © 2024 The Authors. Published by Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

1. Motivation of the work

Traditionally, distribution systems are operated in centralized and vertical manner due to the simplicity of control and protection operations. These networks include radial or weakly-meshed topologies having high value of R/X ratio which results in improper voltage profile and high power losses. A prevalent action taken by the network operators to settle this problem is the feeder reconfiguration techniques. By the introduction of distributed generation (DG) into power system, there has been another alternative to tackle with the poor voltage regulation and high power losses in distribution system. DG units, with several technological types, have potential advantages such as voltage profile improvement, power loss reduction, reliability enhancement, and investment deferral of system equipment. If the DG units' location and size are properly determined, they can play a key role in minimizing power loss and improving voltage profile of distribution networks.

2. Contributions

Among the methodologies used for DG siting and sizing problem, the analytical approaches have attracted great attention due the simplicity of their implementation comparing to the other techniques. The current paper proposes a novel analytical method for optimal allocation of active and reactive power sources, i.e. distributed generation (DG) and capacitor banks. The conducted approach is very simple and lacks the complications of other methods. Based on some analytical calculation, two main formulations are derived. Then, the resulting formulations are used to site and size capacitor and DG in 33-bus distribution network to verify its performance by comparing the obtained results with those of global search method. Then, the proposed method is used to allocate specified number of DG and capacitor on 33 and 69-bus systems. Finally, the conducted approach is employed to allocate multiple DGs and capacitors, and also multiple DGs with optimal power factor on 119-bus distribution network. The simulation results demonstrate that the presented analytical approach is very strong in finding the optimal results, very fast and simple, and applicable to large distribution systems.

3. Procedures

the proposed analytical approach for optimal active and reactive power compensation in radial distribution networks is described and formulated mathematically. It is aimed to determine the location and capacity of both active and reactive compensators, i.e. DGs and capacitors in order to minimize the power loss and improve the voltage profile in distribution network. To verify the effectiveness of the developed approach, it is applied to the 33-bus distribution network, and the obtained results are compared with those of recent works. For this aim, six scenarios are considered . Three scenarios are related to siting and sizing of 1, 2, and 3 DG units with unity power factor, and the other three scenarios corresponding to siting and sizing of 1, 2, and 3 capacitor banks. In each scenario, the results are compared with the results obtained from the improved analytical (IA) method and the hybrid approach proposed. As it can be seen, in some cases (1DG, 2DG, 3DG), the proposed approach obtains lower power loss with the sizes not so much higher than the other methods. In some other cases (1C, 2C, 3C), the proposed approach reaches almost the same power loss but with lower sizes.

4. Findings

In the previous case studies, only active (DG with unity power factor) or reactive power (capacitor) allocation were considered. By using the proposed approach in this part, it is aimed to allocate DG injecting both active and reactive power. Also, the optimal power factor of the allocated DG units is determined. This optimal power factor determines the best value of injected active (P) and reactive power (Q) for the sake of acquiring minimum power loss. For this purpose, the proposed approach is tested on a large-scale system, 119-bus radial distribution network in five scenarios. The scenarios include sizing and siting of 1) five capacitor 2) five DGs with unity power factor 3) five DGs with optimal power factor (PF) 4) seven DGs with unity power factor 5) seven DGS with optimal PF.

5. Conclusion

There have been a wide range of solution methodologies such as mathematical, heuristic, meta-heuristic, and analytical algorithms presented for the siting and sizing of active and reactive power sources in radial distribution systems. Based on two main formulations, a novel analytical approach is proposed in this paper which is very simple, fast, accurate, and applicable to large distribution systems. To verify the efficiency of the conducted approach, it is first tested on 33-bus distribution network to allocate capacitor banks and DG units with unity power factor, and the obtained results are compared with those of global search method. Then, the proposed method is used to allocate multiple DGs and capacitors on 33 and 69-bus distribution systems, and the obtained results are compared with PSO, IA, and Hybrid method reported in recent literature. After confirming the capability of the conducted method, at the final stage, it is employed to allocate multiple DGs with optimal power factor on 119-bus distribution network. It is verified that the proposed analytical approach is superior to the previous methods in terms of total allocated size, power loss reduction, and computational time. In total, the presented approach is very accurate, fast and simple, and applicable to large distribution systems.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[DOI: 10.61186/jiaeee.21.4.135]

نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران

نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران، سال بیست و یکم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۳، صفحات ۱۶۱-۱۷۲

DOI: 10.61186/jiaeee.21.4.161

جبران سازی همزمان توان اکتیو و راکتیو در حضور منابع تولید پراکنده با استفاده از یک روش تحلیلی جدید

رامین برجعلی نوه سی [۱]، ساسان پیروزی [۲]

۱- دکتری- گروه مهندسی برق- دانشگاه دانشگاه فنی حرفه ای- ارومیه- ایران

r.borjali.68@gmail.com

۲- استادیار- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه آزاد - سمیرم- ایران

a.pirouzi69@yahoo.com

چکیده: در این مقاله یک روش تحلیلی جدید برای تخصیص بهینه توان‌های اکتیو و راکتیو منابع تولید پراکنده (DG) و بانک‌های خازنی در شبکه‌های توزیع ارائه شده است. روش انجام کار بسیار ساده و فاقد پیچیدگی سایر روش‌ها است. توابع هدف بکار گرفته شده در این مطالعه شامل مینیمم سازی تلفات توان و بهبود پروفیل ولتاژ شبکه توزیع می‌باشد. برای نشان دادن کارایی روش پیشنهادی، نتایج شبیه‌سازی بر روی شبکه توزیع ۳۳ باسه انجام شده و عملکرد آن با روش‌های جستجوی سراسری مقایسه شده است. در نهایت رویکرد ارائه شده برای تخصیص ضرایب توان بهینه DGها و بانک خازنی در شبکه توزیع ۱۱۹ باسه نیز بکار گرفته شده است. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که رویکرد تحلیلی ارائه شده در یافتن نتایج بهینه، بسیار قوی، سریع و آسان می‌باشد و بر سیستم های توزیع وسیع قابل استفاده است.

کلمات کلیدی: مکان یابی و تعیین ظرفیت بهینه ، منابع تولید پراکنده، بانک های خازنی، شبکه توزیع، روش تحلیلی جدید

نوع مقاله: پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۱۸

بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۱۹

پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۲

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر ساسان پیروزی

نشانی نویسنده‌ی مسئول : ایران – سمیرم –دانشگاه آزاد اسلامی – دانشکده‌ی برق

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[DOI: 10.61186/jiaeee.21.4.135]

حق انتشار این مستند، متعلق به نویسندگان آن است. ۱۴۰۳ ©. ناشر این مقاله، انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران است.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشرشده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است.

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license

(https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

۱- مقدمه

سیستم های توزیع بـه دلیـل سـادگی حفاظـت و کنتـرل بـه صـورت متمرکـز مـورد بهره‌بـرداری قـرار مـی‌گیرنـد. ایـن شـبکه هـا شـامل توپولوژی‌های شعاعی یا مش ضعیف و نسبت R/x بالا هستند که منجر به ایجاد ولتاژ نامناسب و تلفات زیاد خواهند شد[۱-۳]. برای حـل ایـن مشکل در مرجع [۴-۸] تکنیک‌های پیکربنـدی مجـدد اسـتفاده شـده است. با نفوذ منابع DG ، گزینه دیگری برای مقابله بـا تنظـیم ولتـاژ و تلفات بالای توان در سیستم‌های توزیع بوجود آمده است[۹]. واحدهای DG با تکنولوژی‌های مختلف، دارای مزایای بالقوه مانند بهبود پروفیـل ولتاژ، کاهش اتلاف انرژی و افزایش قابلیت اطمینان هستند. اگر مکان و اندازه واحدهای DG به درستی تعیین شوند، می‌توانند نقشـی کلیـدی در به حداقل رساندن تلفات توان و بهبود پروفیل ولتاژ شبکه‌های توزیع ایفا کنند[۱۰و۱۱].

مساله مکان‌یابی و تعیین ظرفیت DG در اصل یک مساله بهینه‌سـازی پیچیده و غیرخطی است. تحقیقات انجام شده در ایـن زمینـه از نظـر اهداف، محدودیت‌ها و الگوریتم‌های مطرح شده در چنـد دسـته قـرار می‌گیرند[۱۲]. توابع هدف تعیـین شـده توسـط محققـان شـامل بـه حداقل رساندن تلفات توان[۱۳-۱۶]، بهبود پروفیل ولتاژ[۱۷-۲۰]، به حداقل رساندن هزینـه‌هـای ارتقـاء کیفیـت شـبکه [۲۰-۲۲]، بهبـود قابلیت اطمینان[۲۳-۲۷] و کاهش آلودگی‌های زیست محیطـی [۲۸] می‌باشد.

طیف وسیعی از روش‌های حل مسأله مکان‌یابی و تعیین ظرفیـت DG ها پیشنهاد شده‌اند. این تکنیک‌هـا اساسـاً بـه صـورت الگـوریتم‌هـای برنامه‌ریزی ریاضـیاتی، روش‌هـای ابتکـاری، فراابتکـاری و روش‌هـای تحلیلی دسته‌بندی می‌شوند. روش‌های دسته اول از فرمولاسیون‌هـای ریاضی نظیر برنامه ریـزی خطـی و غیرخطـی اعـدد صـحیح مخـتلط اسـتفاده مـی‌کنـد[۲۹-۳۰]. روش‌هـای ابتکـاری، مبتنـی بـر تجربـه مهندسی مانند تحقیقات انجام شده در[۳۱-۳۲] هستند. روش‌های فرا ابتکاری به صورت روش‌های بهینه‌سازی مبتنی بـر جمعیـت شـناخته می‌شوند کـه شـامل الگـوریتم‌هـایی ماننـد الگـوریتم ژنتیـک (GA[۱]) [۳۳و۳۴]، بهینـه‌سـازی ازدحـام ذرات (PSO[۲])[۳۵]، جسـتجوی هـارمونی (HS[۳]) [۳۶]، زنبورعسـل(ABC[۴])[۱۴] و الگـوریتم‌هـای ترکیبی مانند GA-PSO [۳۷]، جستجوی ممنوعه-الگـوریتم ژنتیـک (GA-TS[۵]) [۳۸]، الگـوریتم‌هـای جهـش قورباغـه و PSO (-PSO SFL[۶]) [۳۸] و غیره است. روش‌های مبتنی بر جمعیت ذکـر شـده در بالا به طور گسترده‌ای برای بهینه سـازی مطالعـات طراحـی و بهـره-برداری بکار گرفته می‌شوند.

در میان روش‌های استفاده شده برای مساله مکان‌یابی و تعیین ظرفیت DG ، روش‌های تحلیلی بخاطر سادگی پیـاده سـازی، در مقایسـه بـا روش‌های دیگر مورد توجه زیادی بـوده‌انـد[۴۰-۴۳]. مینـیمم سـازی تلفات توان و بهبود پروفیل ولتاژ شبکه‌های توزیع رایـج تـرین اهـداف پژوهشـی در مسـأله تخصـیص DG هـا هسـتند. در[۴۴]، یـک روش تحلیلی برای تعیین مکان و اندازه DGها، با هدف مینیمم‌سازی تلفات توان ارائه کردند. یک ضریب حساسیت بـه تلفـات مبتنـی بـر تزریـق جریان فرمول بندی شد که بـه مـاتریس ادمیتـانس، معکـوس آن یـا ماتریس ژاکوبین نیـاز نـدارد. در مقالـه [۴۰] از روش تزریـق جریـان فازوری برای بدست آوردن یک روش تحلیلی برای جایابی بهینـه DG در شبکه توزیع استفاده کردند تا تلفات توان را به حداقل برسـانند. در [۴۵] به مسأله کاهش تلفات شبکه‌های توزیع با تعیین مکان و انـدازه بهینه واحدهای DG با استفاده از یک روش تحلیلی پرداختنـد. روش توسعه یافته مبتنی بر یک فرمولاسیون غیرتکراری جدیـد درخصـوص شارش توان است، که مشکلات همگرایی را حتی برای سیسـتم هـایی کـه دارای نسـبت هـای $\frac{R}{x}$ بالـا هسـتند نـدارد. در مرجـع [۴۶] یـک الگوریتم بهینـه‌سـازی غـذایابی بـاکتری (BFOA[۷]) بـرای تخصـیص همزمان DG و جبران‌ساز اسـتاتیکی (DSTATCOM[۸]) در سیسـتم توزیع به منظور حـداقل کـردن تلفـات و هزینـه‌هـای بهـره‌بـرداری و همچنین بهبود منحنی ولتاژ ارائه شده است. در این مرجع ابتدا بـرای تعیین محل اولیه‌ی منبع تولید پراکنده و DSTATCOM از ضـریب حساسیت تلفات (LSE) استفاده شده است و سپس الگوریتم BFOA برای تعیین ظرفیت بهینه‌ی DG و DSTATCOM به ازای مدل‌های مختلف بار مورد استفاده قرار گرفته است.

۲- فرمول‌نویسی مساله

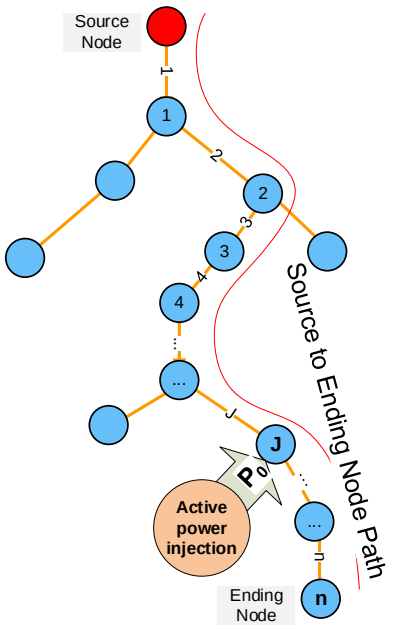
در این بخش روش تحلیلی پیشنهادی برای جبران‌سازی بهینه‌ی تـوان اکتیو و راکتیو در شـبکه‌هـای توزیـع شـعاعی تشـریح داده شـده و بـا استفاده از عبارات ریاضی فرمول‌نویسی می‌شود. هدف از این کار تعیین محل و ظرفیت هر دو گروه جبران‌سازهای توان اکتیو و راکتیو – یعنی DG و بانک‌های خازنی – به منظور به حداقل رساندن تلفـات تـوان و بهبود منحنی ولتاژ در شبکه‌ی توزیع می‌باشد.

۲-۱- روش پیشنهادی در جبران‌سازی توان اکتیو

شکل(۱) نمای کلی یک شبکه‌ی توزیع معمولی دارای n شین را نشان می‌دهد. در این شبکه، پست تغذیه‌کننده نقش شـین منبـع را دارد و شین‌های بار را از طریق خطوط شعاعی تغذیه می‌کند. فرض کنید یک منبع توان(مثلاً یک DG) که به jاُمین شین از این شبکه متصل است، توان اکتیو P_0 را به آن تزریق کند. تلفات توان اکتیو در ایـن شـبکه را می‌توان با جمع کردن تلفات توان در همه‌ی شاخه‌ها به صورت رابطه‌ی (۱) محاسبه کرد. بر اسـاس رابطـه‌ی (۲) بـا نصـب DG در گـره‌ی j، تلفات توان برخی از خطـوط (یعنـی خطـوطی کـه بـین منبـع تولیـد پراکنده و پست تغذیه‌کننده قرار دارند) کاهش پیدا می‌کند، اما تلفـات توان سایر خطوط شبکه بر اثر نصب DG تغییری نخواهد کرد. چنانچه از اختلاف اندک بـین رابطـه‌ی (۱) و نخسـتین جملـه از رابطـه‌ی (۲) چشم‌پوشی کنیم، می‌توانیم تغییرات تلفات توان را پس از نصب DG با

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]
[DOI: 10.61186/jiaeee.21.4.135]

تقریب به صورت رابطه‌ی (۳) بیان کنیم. برای اینکه تلفات توان پس از نصب DG کاهش یابد، باید شرط لازم در رابطه‌ی (۴) برقرار باشد.



شکل (۱): شبکه‌ی توزیع شعاعی با تزریق توان اکتیو به گره j

$$P_{Loss}^{Before} = \sum_{i=1}^{n} r_i \left(\frac{(P_i^2 + Q_i^2)}{|V_i'^2|} \right) \quad (۱)$$

$$P_{Loss}^{After} = \sum_{i=1}^{j} r_i \left(\frac{(P_i - P_0)^2 + Q_i^2}{|V_i^2|} \right) + \sum_{i=j+1}^{n} r_i \left(\frac{(P_i^2 + Q_i^2)}{|V_i^2|} \right) = \sum_{i=1}^{n} r_i \left(\frac{(P_i^2 + Q_i^2)}{|V_i^2|} \right) + \sum_{i=1}^{j} r_i \left(\frac{(P_0^2 - 2P_0P_i)}{|V_i^2|} \right) \quad (۲)$$

$$\Delta P_{loss} = P_{Loss}^{After} - P_{Loss}^{Before} \approx \sum_{i=1}^{j} r_i \left(\frac{(P_0^2 - 2P_0P_i)}{|V_i^2|} \right) < 0 \quad (۳)$$

$$(3) \xRightarrow{yields} \sum_{i=1}^{j} r_i (P_0 - 2P_i) < 0 \xRightarrow{yields} 0 < P_0 < 2P_i \quad (۴)$$

در شبکه‌های شعاعی داریم: $P_1 > P_2 > \cdots > P_{j-1} > P_j$، برای برقراری رابطه‌ی (۴) به ازای تمامی مقادیر i کافی است که $P_0 < P_j$ باشد.

تلفات توان پیش و پس از نصب DG را می‌توان بر حسب جریان عبوری از شاخه‌های شبکه و مطابق با روابط (۵) و (۶) محاسبه کرد. اختلاف بین این دو مقدار یعنی ΔP_{loss} را نیز می‌توان به صورت رابطه‌ی (۷) بیان نمود. حداکثر کردن مقدار ΔP_{loss} مطابق با رابطه‌ی (۸) منجر به حداکثر شدن مجموع افت ولتاژها از پست تغذیه‌کننده تا شین j اُم شبکه که DG در آن نصب شده است، می‌شود. این بدان معناست که شین j باید به عنوان شینی که دارای حداقل مقدار ولتاژ در مسیر است، انتخاب شود. در واقع در شبکه‌های توزیع شعاعی j شین آخر مسیر خواهد بود.

$$P_{Loss}^{Before} = \sum_{i=1}^{n} r_i |I_i|^2 \quad (۵)$$

$$P_{Loss}^{After} = \sum_{i=1}^{j} r_i |I_i - I_0|^2 + \sum_{i=j+1}^{n} r_i |I_i|^2 \quad (۶)$$

$$\Delta P_{loss} = P_{Loss}^{After} - P_{Loss}^{Before} = \sum_{i=1}^{j} r_i ({I_0}^2 - 2I_0I_i) = \sum_{i=1}^{j} r_i I_0 (I_0 - 2I_i) \quad (۷)$$

$$max\ (\Delta P_{loss}) \xRightarrow{yields} max \left(\sum_{i=1}^{j} r_i I_i \right) = max \left(\sum_{i=1}^{j} \Delta V_i \right) = max(1 - V_j) \xRightarrow{yields} min(V_j) \quad (۸)$$

از روابط (۴) و (۸) نتیجه می‌شود که برای حداقل کردن مقدار تلفات، لازم است که DG در شینی که بیشترین افت ولتاژ (کمترین ولتاژ) را دارد نصب شود، مشروط بر آنکه ظرفیت DG (P_0) از توان اکتیو عبوری از شاخه‌ی بالادست آن کوچک‌تر باشد.

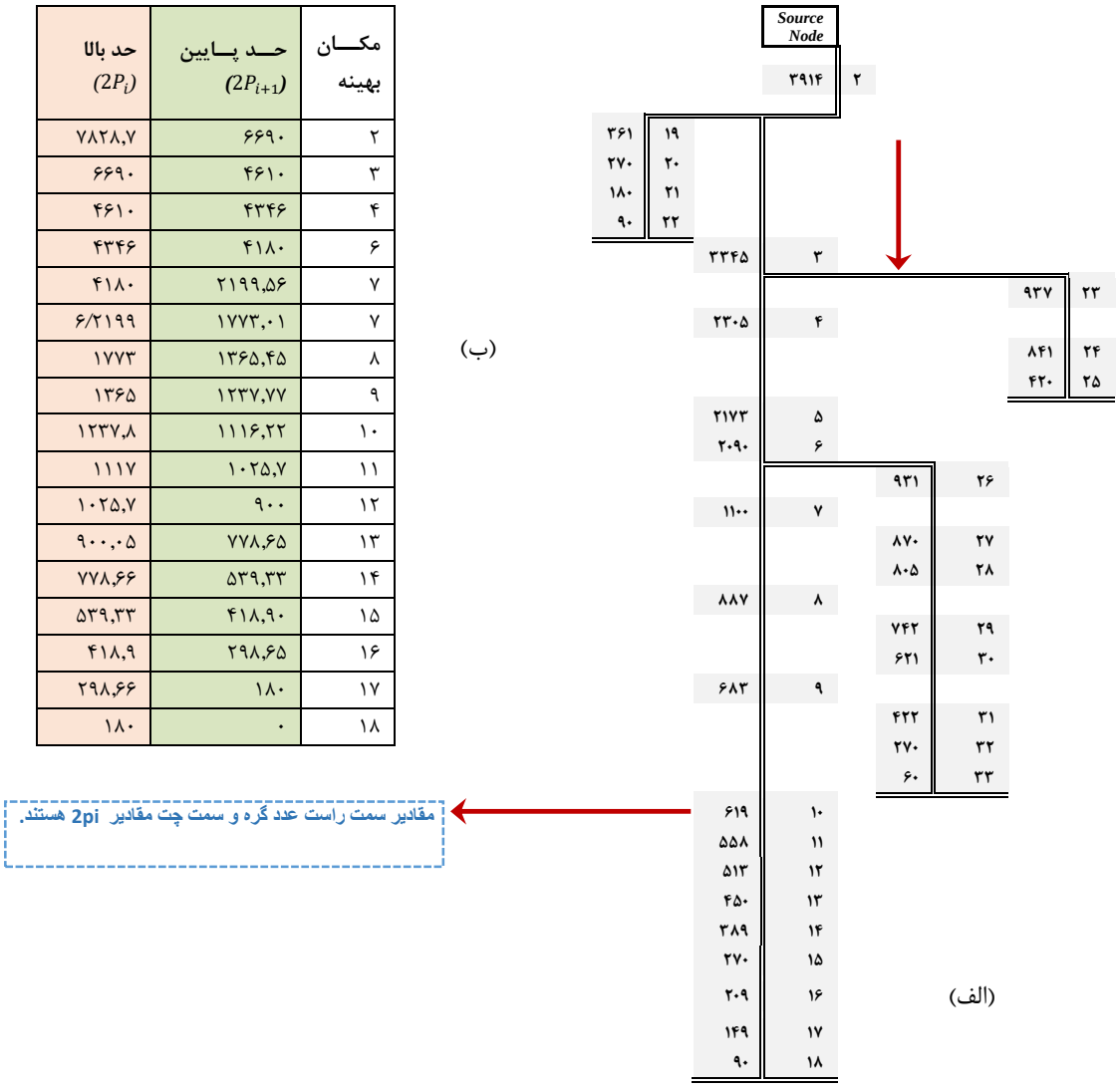
برای محاسبه‌ی افت ولتاژ ناشی از جریان‌های اکتیو، بخش‌های راکتیو تمامی بارها در حین فرآیند مکان‌یابی و تعیین ظرفیت منبع تولید پراکنده حذف می‌شوند. با توجه به توضیحات فوق می‌توان از الگوریتم زیر برای تعیین محل نصب DG در شبکه‌های توزیع شعاعی استفاده کرد:

۱) بخش راکتیو تمامی بارها را از داده‌های شبکه حذف کرده و برنامه‌ی پخش بار را اجرا کنید.
۲) باس‌های شبکه را بر مبنای دامنه‌ی ولتاژ آن‌ها مرتب کنید.
۳) توان اکتیو عبوری از شاخه‌ی بالادست (P_i) را محاسبه نمایید.
۴) شین دارای کمترین ولتاژ که در شرط $P_0 < 2P_i$ صدق کند، بهترین شین برای نصب DG است.

برای ارزیابی عملکرد روش پیشنهاد شده در تعیین محل نصب بهینه منبع تزریق کننده توان اکتیو، الگوریتم فوق در یک شبکه‌ی توزیع ۳۳

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]
[DOI: 10.61186/jiaeee.21.4.135]

شینه برای تعیین بهترین نقاط جهت نصب DG مورد استفاده قرار می‌گیرد. مراحل چهارگانه فوق مطابق با شکل (۲) بر روی شبکه ۳۳ شینه مذکور اجرا می شوند. بار کل این شبکه توزیع ۳۳ شینه ۳/۷۲ مگاوات و ۲/۳ مگاوار بوده که داده های مربوط به آن در[۴۷] قابل مشاهده هستند.



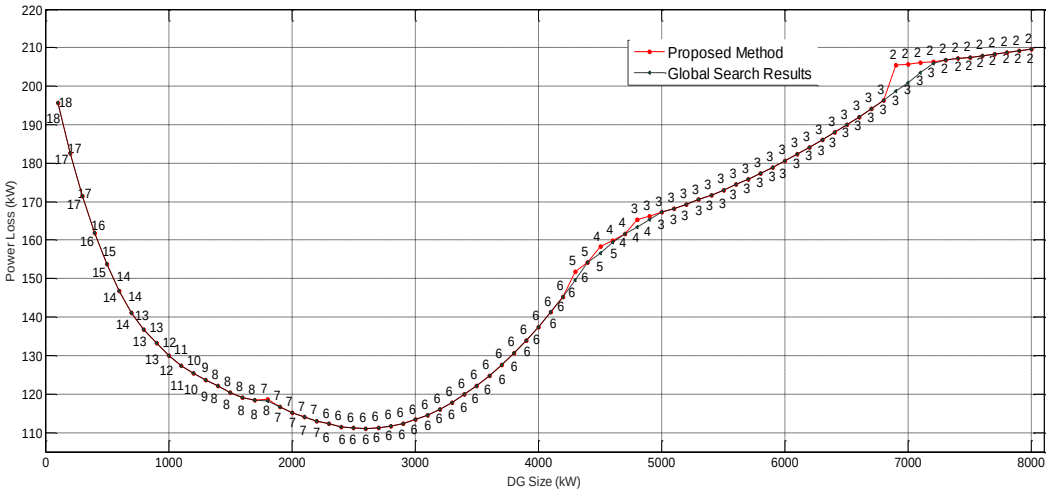
مکان بهینه	حد پایین $(2P_{i+1})$	حد بالا $(2P_i)$
۲	۶۶۹۰	۷۸۲۸,۷
۳	۴۶۱۰	۶۶۹۰
۴	۴۳۴۶	۴۶۱۰
۶	۴۱۸۰	۴۳۴۶
۷	۲۱۹۹,۵۶	۴۱۸۰
۷	۱۷۷۳,۰۱	۶/۲۱۹۹
۸	۱۳۶۵,۴۵	۱۷۷۳
۹	۱۲۳۷,۷۷	۱۳۶۵
۱۰	۱۱۱۶,۲۲	۱۲۳۷,۸
۱۱	۱۰۲۵,۷	۱۱۱۷
۱۲	۹۰۰	۱۰۲۵,۷
۱۳	۷۷۸,۶۵	۹۰۰,۰۵
۱۴	۵۳۹,۳۳	۷۷۸,۶۶
۱۵	۴۱۸,۹۰	۵۳۹,۳۳
۱۶	۲۹۸,۶۵	۴۱۸,۹
۱۷	۱۸۰	۲۹۸,۶۶
۱۸	۰	۱۸۰

شکل (۲): (الف) نتایج پخش بار برای شبکه‌ی ۳۳ باسه وقتی بخش راکتیو بارها حذف شده و بخش اکتیو آن‌ها دو برابر $(2P_i)$ شده است، (ب) مکان بهینه برای تزریق توان اکتیو در بازه‌ی داده‌شده (از صفر تا ۷۸۲۸/۷ کیلووات)

شکل(۳) مکان بهینه‌ی به دست آمده از روش پیشنهادی و الگوریتم جستجوی سراسری با تلفات توان متناظر به ازای مقادیر مختلفی از توان اکتیو تزریق‌شده به شبکه را نمایش می‌دهد. پاسخ به دست آمده از روش پیشنهادی تقریباً همان پاسخ حاصل از روش جستجوی سراسری است. تنها در چهار حالت (به عنوان نمونه در حالت ۶۹۰۰ کیلووات) اختلاف اندکی بین نتایج دو روش وجود دارد که ناشی از عبور بخش راکتیو بارها از شاخه‌های شبکه است و منجر به ایجاد مقداری تلفات توان اکتیو در آنها می‌شود (که می‌تواند اندکی مقدار $2P_i$ شین‌ها را افزایش دهد). در حالی که از این موضوع در محاسبات روش پیشنهادی صرف نظر شده است.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[DOI: 10.61186/jiaeee.21.4.135]



شکل (۳):تلفات توان محاسبه‌شده از روش پیشنهادی و روش جستجوی سراسری به ازای تزریق توان اکتیو به شبکه از ۱۰۰ کیلووات تا ۸۰۰ کیلوات

۲-۲- روش پیشنهادی در جبران‌سازی توان راکتیو

برای تعیین دو شرط لازم جهت حداکثر کردن کاهش تلفات توان شبکه می‌توان از روندی مشابه روند سابق استفاده کرد، با این تفاوت که در اینجا توان راکتیو به شبکه تزریق می‌شود (به عنوان مثال با نصب بانک خازنی در شبکه). شرط لازم حالت اول مشابه شرط مربوط به رابطه‌ی (۹) است، و شرط لازم حالت دوم را می‌توان به صورت رابطه‌ی زیر بیان کرد:

$$0 < Q_0 < 2Q_i \quad \forall i \in \{1.2. \ldots . j\} \qquad (۹)$$

در نتیجه برای مکان‌یابی و تعیین ظرفیت منابع تولید توان راکتیو در شبکه می‌توان گام‌های چهارگانه‌ی ذکرشده برای تخصیص بهینه‌ی توان اکتیو در بخش قبل را به صورت زیر تغییر داد:

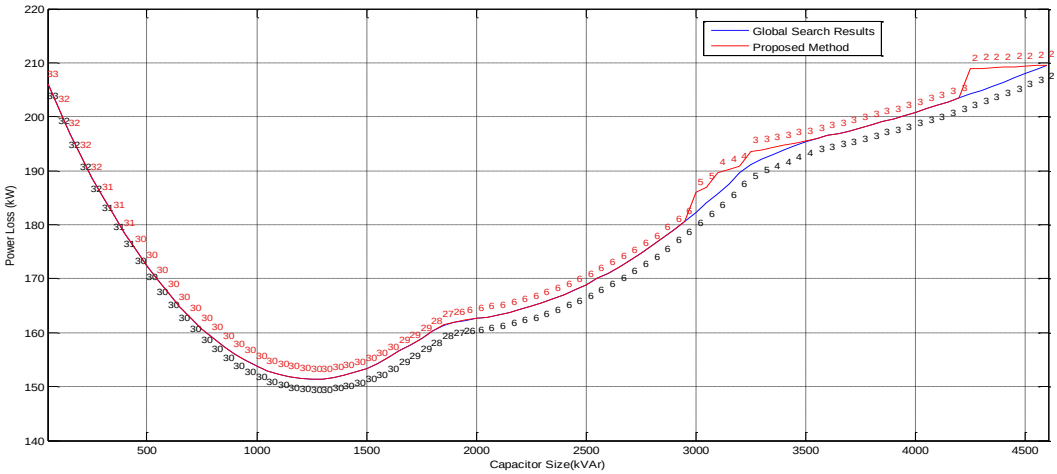
۱) بخش اکتیو تمامی بارها از داده‌های شبکه حذف و برنامه‌ی پخش بار را اجرا کنید.

۲) باس‌های شبکه را بر مبنای دامنه‌ی ولتاژ آن‌ها مرتب کنید.

۳) توان راکتیو عبوری از شاخه‌های بالادست (Q_i) را محاسبه نمایید.

۴) باس دارای کمترین ولتاژ که در شرط $Q_0 < 2Q_i$ صدق کند، بهترین باس برای نصب بانک خازنی است.

در شکل(۴) مکان بهینه‌ی به دست آمده از روش پیشنهادی و الگوریتم جستجوی سراسری به همراه تلفات توان متناظر با آن‌ها و به ازای مقادیر مختلفی از توان راکتیو تزریق‌شده به شبکه نمایش داده شده است. همانگونه که در این شکل ملاحظه می‌شود، پاسخ به دست آمده از روش پیشنهادی به جز چند مورد معدود، در بقیه‌ی موارد همان پاسخ حاصل از روش جستجوی سراسری است.



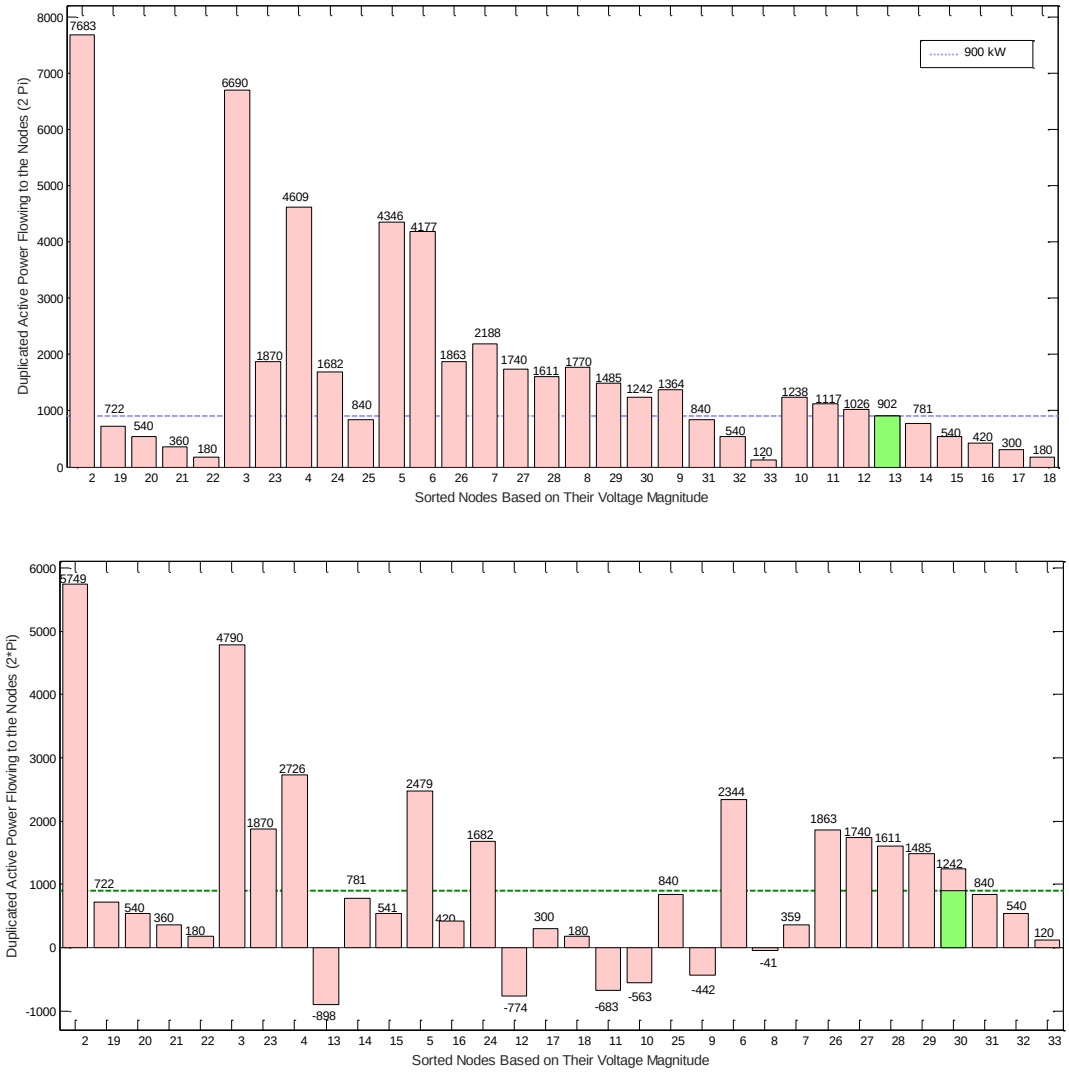
شکل(۴): تلفات توان محاسبه‌شده از روش پیشنهادی و روش جستجوی سراسری به ازای تزریق توان راکتیو به شبکه از ۱۰۰ کیلووار تا ۴۶۰۰ کیلووار

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[DOI: 10.61186/jiaeee.21.4.135]

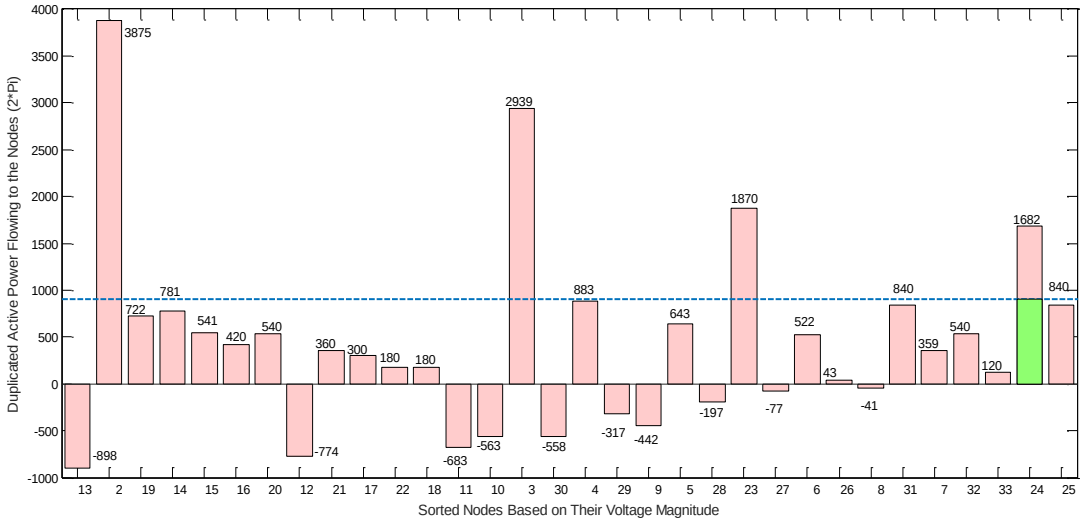
۲-۳- مکان‌یابی بهینه‌ی چندین DG با ظرفیت مشخص

چنانچه بخواهیم چندین DG (منابع تولید توان اکتیو) را در یک شبکه‌ی توزیع مکان‌یابی نمائیم، باید این منابع را یکی پس از دیگری جا نمایی کنیم به طوری که در مکان‌یابی هر DG گام‌های ۱ تا ۴ پیاده‌سازی شوند. برای ارزیابی کارآمدی روش پیشنهادی در این حالات، از این روش برای مکان‌یابی سه واحد تولید پراکنده با توان ۹۰۰ کیلووات در یک شبکه‌ی توزیع ۳۳ شینه استفاده شده است. مراحل مکان‌یابی این سه منبع در شبکه بر اساس شکل(۵) اجرا شده است. با توجه به توضیحات ارائه‌شده در بخش‌های فوق، شین‌های این شبکه بر مبنای مقدار ولتاژشان مرتب‌سازی می‌شوند و سپس با در نظر گرفتن بازه‌ی توان اکتیو مربوط به تمامی شین‌های شبکه، DG نخست در شین شماره‌ی ۱۳ شبکه مکان‌یابی می‌گردد (شکل ۵ (الف)). در ادامه با در نظر گرفتن اولین منبع تولید پراکنده‌ی نصب‌شده در شبکه، روند فوق از نو اجرا می‌شود و محل نصب دومین منبع تولید پراکنده در شین شماره‌ی ۳۰ شبکه تعیین می‌گردد (شکل ۵ (ب)). در نهایت منبع تولید پراکنده‌ی سوم در شین ۲۴ مکان‌یابی می‌شود (شکل ۵ (ج)). نتایج به دست آمده در این حالت دقیقاً مشابه نتایج به دست آمده از روش پخش بار جامع (*ELF*) در مرجع [۴۳] است. با این نحوه‌ی نصب منابع تولید پراکنده، میزان تلفات توان اکتیو در شبکه‌ی توزیع شعاعی ۳۳ شینه برابر با ۷۴/۲۷ کیلووات به دست می‌آید. لازم به ذکر است که تلفات این شبکه بدون نصب هیچ کدام از DG ها ۲۱۱ کیلووات می‌باشد. [۲۹]



[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[DOI: 10.61186/jiaeee.21.4.135]



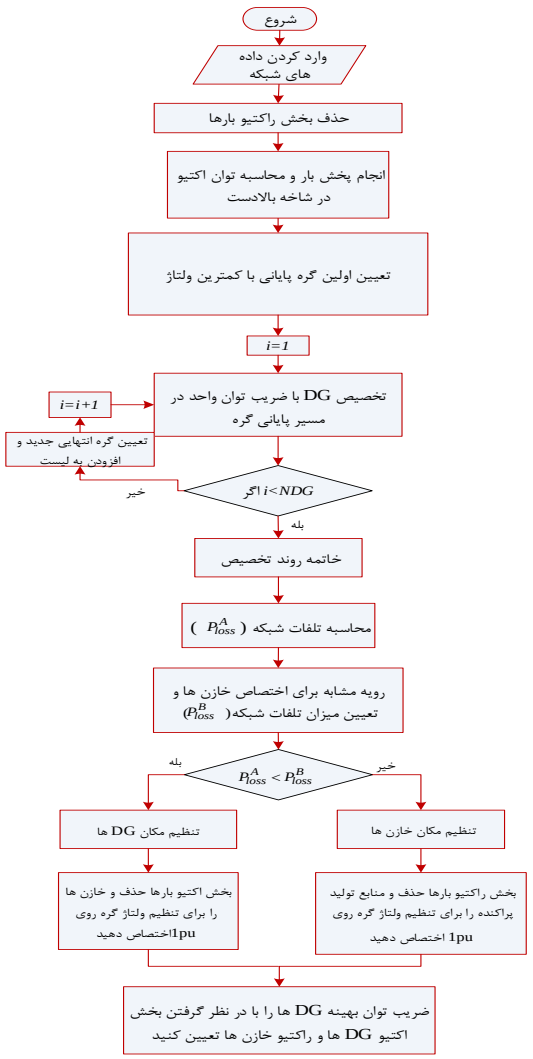
شکل(۵): روند مکان‌یابی سه DG در شبکه‌ی توزیع ۳۳ شینه، شکل‌های (الف)،(ب)،(ج) به ترتیب نشان‌دهنده‌ی فرآیند مکان‌یابی منابع تولید پراکنده‌ی اول، دوم و سوم در شبکه هستند.

پس از اجرای گام‌های ۱ تا ۴ ، محل و ظرفیت منابع تولید توان اکتیو (DG دارای ضریب توان واحد) تعیین شده و تلفات توان اکتیو شبکه (P_{loss}^{A}) محاسبه می‌گردد.

برای تعیین محل و ظرفیت منابع تولید توان راکتیو (بانک‌های خازنی) نیز روندی مشابه گام‌های ۱ تا۴ اجرا می‌شود. در این شرایط نیز تلفات توان اکتیو شبکه (P_{loss}^{B}) مجدداً مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

تلفات شبکه با در نظر گرفتن جبران‌سازهای توان اکتیو و راکتیو (یعنی P_{loss}^{A} و P_{loss}^{B}) با یکدیگر مقایسه می‌شوند. چنانچه $P_{loss}^{A} < P_{loss}^{B}$ باشد، محل‌های تعیین‌شده برای منابع اکتیو (DG دارای ضریب توان واحد) به عنوان محل‌های بهینه در نظر گرفته می‌شوند؛ حال برای این محل‌ها مجدداً تزریق توان راکتیو (با استفاده از بانک‌های خازنی) انجام می‌گیرد (بدین معنی که بخش‌های اکتیو بارها حذف می‌شوند و مقدار بهینه‌ی توان راکتیو تزریق‌شونده به گونه‌ای محاسبه می‌شود که ولتاژ شین های تعیین‌شده‌ی فوق روی ۱ پریونیت تنظیم گردد). حال اگر $P_{loss}^{A} > P_{loss}^{B}$ باشد، محل‌های تعیین‌شده برای منابع راکتیو (بانک‌های خازنی) به عنوان محل‌های بهینه در نظر گرفته می‌شوند؛ سپس برای این مکان‌ها، تزریق توان اکتیو (با استفاده از DG دارای ضریب توان واحد) دوباره انجام می‌گیرد (یعنی ابتدا بخش‌های راکتیو بارها حذف شده و بعد مقدار بهینه‌ی توان اکتیو تزریق‌شونده به شین‌های منتخب به گونه‌ای محاسبه می‌شود که ولتاژ این شین‌ها روی ۱ پریونیت تنظیم گردد).

ساختار کلی روش پیشنهادی برای تخصیص بهینه‌ی منابع تولید توان اکتیو و راکتیو به شبکه به صورت نمودار گردشی شکل(۶) قابل نمایش است.



شکل(۶): نمودار گردشی روش پیشنهادی برای محل‌یابی و تعیین ظرفیت DG با ضریب توان بهینه

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[DOI: 10.61186/jiaeee.21.4.135]

۳- روش پیشنهادی در شبکه‌ی ۳۳ باسه

به منظور ارزیابی کارآمدی طرح پیشنهادی، این روش در شبکه‌ی توزیع ۳۳ شینه و در محیط نرم افزار MATLAB کد گذاری شده است و نتایج حاصل با کارهای اخیر در این زمینه مقایسه می‌گردد. شش سناریوی مطالعاتی به صورت جدول(۱) در نظر گرفته شده است. سه سناریو از این شش سناریو عبارتند از مکان‌یابی و تعیین ظرفیت ۱، ۲ و ۳ منبع تولید پراکنده با ضریب توان واحد و سه سناریوی دیگر نیز مکان‌یابی و تعیین ظرفیت ۱، ۲ و ۳ بانک خازنی در شبکه هستند. نتایج به دست آمده در هر سناریو با نتایج حاصل از روش تحلیلی ارتقا یافته (*IA*) [۴۳] و روش *ترکیبی* [۴۸] مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. با توجه به مشاهدات حاصل، در برخی موارد (۱، ۲ و ۳ منبع تولید پراکنده) تلفات کمتری از روش‌های دیگر به دست آمده است، بدون آنکه ظرفیت‌های نصب‌شده خیلی بزرگتر از ظرفیت‌های مربوط به آن روش‌ها باشند. در برخی موارد دیگر (۱، ۲ و ۳ بانک خازنی) تلفات توان حاصل از روش پیشنهادی تقریباً برابر با تلفات حاصل از روش‌های دیگر است، با این تفاوت که در روش پیشنهادی این تلفات توان با ظرفیت‌های نصب‌شده‌ی کوچکتری به دست آمده است.

جدول(۱): مقایسه نتایج به دست آمده از روش پیشنهادی با روش‌های موجود در شبکه ۳۳ باسه

تلفات اکتیو (kW)	ظرفیت کل (kW/kVAr)	جزئیات				روش ها	تعداد DG ها و خازن ها
۲۱۱	۰					----	شبکه اصلی
۱۱۱,۱	۲۶۰۰	شین	۶			تحلیلی بهبود یافته	1 DG
		مقدار	۲۶۰۰				
۱۱۱,۱۷	۲۴۹۰	شین	۶			ترکیبی	
		مقدار	۲۴۹۰				
۱۱۱,۰۳	۲۵۹۳,۶	شین	۶			روش پیشنهادی	
		مقدار	۲۵۹۳,۶				
۹۱,۶۳	۲۵۲۰	شین	۶	۱۴		تحلیلی بهبود یافته	2 DG
		مقدار	۱۸۰۰	۷۲۰			
۸۷,۲۸	۱۹۴۰	شین	۱۳	۳۰		ترکیبی	
		مقدار	۸۳۰	۱۱۱۰			
۸۷,۱۹	۱۹۷۴	شین	۱۳	۳۰		روش پیشنهادی	
		مقدار	۸۴۰	۱۱۳۴			
۸۱,۰۵	۲۵۲۰	شین	۶	۱۲	۳۱	تحلیلی بهبود یافته	3 DG
		مقدار	۹۰۰	۹۰۰	۷۲۰		
۷۲,۸۹	۲۸۷۰	شین	۱۳	۲۴	۳۰	ترکیبی	
		مقدار	۷۹۰	۱۰۷۰	۱۰۱۰		
۷۲,۸۴	۲۸۸۷	شین	۱۳	۲۴	۳۰	روش پیشنهادی	
		مقدار	۷۹۲	۱۰۶۸	۱۰۲۷		
۱۵۱,۴۱	۱۲۳۰	شین	۳۰			ترکیبی	1 C
		مقدار	۱۲۳۰				
۱۵۱,۵۵	۱۱۹۰	شین	۳۰			روش پیشنهادی	
		مقدار	۱۱۹۰				
۱۴۱,۹	۱۴۷۰	شین	۱۲	۳۰		ترکیبی	2 C
		مقدار	۴۳۰	۱۰۴۰			
۱۴۱,۹	۱۴۵۷	شین	۱۳	۳۰		روش پیشنهادی	
		مقدار	۴۰۵	۱۰۵۲			
۱۳۸,۳۷	۱۸۹۰	شین	۱۳	۲۴	۳۰	ترکیبی	3 C
		مقدار	۳۶۰	۵۱۰	۱۰۲۰		
۱۳۸,۶۵	۱۷۶۹	شین	۱۳	۲۵	۳۰	روش پیشنهادی	
		مقدار	۳۸۳	۳۸۶	۱۰۰۰		

۳-۱- مکان‌یابی بهینه‌ی چندین *DG* با ظرفیت مشخص

در مطالعات قبلی، تنها تخصیص توان اکتیو (*DG* با ضریب توان واحد) یا راکتیو (خازن) در نظر گرفته شده بود. با استفاده از رویکرد پیشنهادی نشان داده شده در نمودار گردشی شکل(۶)، اختصاص *DG* با تزریق توان اکتیو و راکتیو مورد هدف می باشد. همچنین ضریب توان بهینه واحدهای تخصیص یافته *DG* تعیین می‌شود. این ضریب

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[DOI: 10.61186/jiaeee.21.4.135]

توان بهینه بهترین مقدار توان تزریقی اکتیو (P) و راکتیو (Q) را برای به دست آوردن حداقل اتلاف انرژی، تعیین می کند. به این منظور، رویکرد پیشنهادی بر روی یک سیستم بزرگ مقیاس شبکه توزیع شعاعی ۱۱۹ باسه در پنج سناریو مورد آزمایش قرار می‌گیرد و با نتایج رفرنس[۴۹] مقایسه شده است. پروفیل ولتاژ شبکه ۱۱۹ باسه در موارد ۵-*DG* و ۷-*DG* برای ضریب توان واحد و بهینه در شکل های (۷) و (۸) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در هر دو حالت ضریب توان واحد و بهینه، پروفیل ولتاژ نسبت به حالتی که *DG* در شبکه نصب نشده است، به طور مناسبی بهبود یافته است. در حالت ضریب توان بهینه، پروفیل ولتاژ تقریبا مسطح است و ولتاژ باس های *DG* به *pu* ۱ افزایش یافته است.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله بر اساس دو فرمول اصلی، رویکردی تحلیلی و نوین ارائه شده است که بسیار ساده، سریع، دقیق و قابل اعمال بر روی سیستم های توزیع بزرگ می‌باشد. برای تایید کارایی، رویکرد ارائه شده ابتدا بر روی شبکه توزیع۳۳ باسه آزمایش می‌شود و نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از روش جستجوی سراسری مقایسه می‌شود. سپس روش پیشنهادی برای تخصیص *DG* های چندگانه و خازن‌ها در سیستم های توزیع ۳۳ باسه استفاده و نتایج به دست آمده با نتایج *PSO*، *IA* و روش آمیخته که در مقالات اخیر ارائه شده اند مقایسه می‌شود. پس از تایید توانایی روش ارائه شده، در مرحله نهایی برای تخصیص*DG* های چندگانه همراه با ضریب توان بهینه در شبکه توزیع ۱۱۹ باسه استفاده می‌شود. زمان اجرای روش پیشنهادی به طور قابل توجهی کمتر از روش‌های دیگر است. به عنوان مثال، در مورد ۷-*DG* با ضریب توان واحد، زمان شبیه سازی ۴,۱ ثانیه است در حالی که برای الگوریتم *BFO 24.96* ثانیه است. رویکرد تحلیلی پیشنهادی از لحاظ کل مقدار تخصیص یافته، کاهش اتلاف انرژی و زمان محاسباتی نسبت به روش‌های قبلی برتری دارد. در نهایت، رویکرد ارائه شده بسیار دقیق، سریع و آسان و قابلیت اعمال بر سیستم های توزیع بزرگ می باشد.

جدول(۲): مقایسه نتایج به دست آمده از روش پیشنهادی با روشهای موجود در شبکه ۱۱۹ باسه

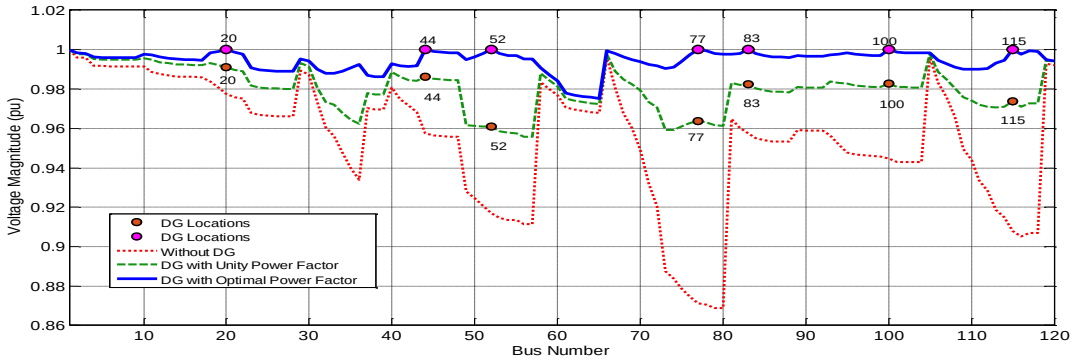
روش	شبکه اصلی	روش پیشنهادی		رفرنس ۴۹		روش پیشنهادی		رفرنس ۴۹		روش پیشنهادی			رفرنس ۴۹		
سناریوها	---	۵ خازن				۵ منبع تولید پراکنده با ضریب توان واحد				۵ منبع تولید پراکنده با ضریب توان بهینه					
مقدار توان اکتیو و راکتیو که باید در هر سناریو به مکان های معین تزریق شود	---	شین	توان راکتیو	شین	توان راکتیو	شین	توان اکتیو	شین	توان اکتیو	شین	توان اکتیو	شین	توان راکتیو	شین	توان اکتیو
		۵۲	۲۶۶۵	۳۸	۲۵۱۴	۴۴	۱۲۹۵	۳۸	۲۷۵۰	۴۴	۸۳۳	۴۴	۲۶۹۶	۳۸	۲۴۸۰
		۷۷	۱۵۲۱	۴۷	۱۴۲۵	۵۲	۲۷۶۹	۴۷	۲۰۰۰	۵۲	۲۶۲۱	۵۲	۱۹۴۵	۴۸	۱۳۰۰
		۸۳	۱۶۵۸	۷۶	۱۵۲۱	۷۶	۲۴۲۲	۷۳	۲۸۰۰	۷۶	۱۷۱۸	۷۶	۲۴۱۲	۷۶	۱۵۸۰
		۱۰۰	۱۰۹۸	۹۴	۱۷۱۵	۱۰۰	۱۸۱۲	۹۴	۲۱۶۰	۱۰۰	۱۴۴۶	۱۰۰	۲۱۸۶	۹۴	۱۷۰۰
		۱۱۵	۲۵۶۰	۱۲۲	۲۰۲۱	۱۱۵	۲۷۸۰	۱۱۳	۲۹۵۰	۱۱۵	۲۵۶۰	۱۱۳	۲۹۸۴	۱۱۳	۲۴۰۰
کل توان اکتیو و راکتیو	---	۹۵۰۲		۹۱۹۶		۱۱۰۷۸		۱۲۶۶۰		۱۱۰۷۸	۹۱۷۸	--	۱۲۲۲۳	--	۹۴۶۰
تلفات توان اکتیو	۱۲۹۸	۸۶۱,۶		۸۷۱,۴		۵۸۰,۷۴		۵۷۸,۹۷		۲۲۷,۵			۲۲۷,۹		
کاهش تلفات اکتیو	٪	٪۳۳,۵		٪۳۲,۹		٪۵۵,۲		٪۵۵,۴		٪۸۲,۵			٪۸۲,۴		
حداقل ولتاژ	۰,۸۶۹	۰,۹۰۹۴		۰,۹۰۶۲		۰,۹۵۵۸		۰,۹۵۳۶		۰,۹۶۶۲			۰,۹۶۴		
زمان محاسبه(ثانیه)	۰	۲		۲۳,۲۱		۲,۵		۲۳,۲۴		۵,۴			۲۴,۶۵		

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[DOI: 10.61186/jiaeee.21.4.135]

روش	شبکه اصلی	روش پیشنهادی		رفرنس ۴۹		روش پیشنهادی		رفرنس ۴۹	
سناریوها	---	۷ منبع تولید پراکنده با ضریب توان واحد				۷ منبع تولید پراکنده با ضریب توان بهینه			
مقدار توان اکتیو و راکتیو که باید در هر سناریو به مکان های معین تزریق شود	---	شین	توان اکتیو	شین	توان اکتیو	شین	توان راکتیو	توان اکتیو	شین	توان راکتیو	توان اکتیو
		۲۰	۱۸۰۲	۳۲	۱۵۴۵	۲۰	۱۱۲۰	۱۸۰۲	۱۹	۱۳۰۰	۱۷۵۶
		۴۴	۱۲۶۷	۳۹	۱۹۶۸	۴۴	۸۲۲	۱۲۶۷	۳۹	۲۵۱۰	۲۶۴۵
		۵۲	۲۷۳۱	۴۸	۲۰۷۳	۵۲	۲۶۱۳	۲۷۳۱	۴۸	۱۱۶۵	۲۰۴۴
		۷۷	۲۲۸۷	۷۴	۲۶۷۰	۷۷	۱۵۲۱	۲۲۸۷	۷۲	۱۵۲۰	۲۳۹۱
		۸۳	۲۰۸۰	۸۷	۱۵۳۴	۸۳	۱۶۵۸	۲۰۸۰	۸۷	۱۰۰۰	۱۵۳۶
		۱۰۰	۱۶۶۷	۹۴	۲۱۰۶	۱۰۰	۱۰۹۸	۱۶۶۷	۹۴	۱۶۴۰	۲۰۱۲
		۱۱۵	۲۷۸۰	۱۱۳	۳۱۲۸	۱۱۵	۲۵۶۲	۲۷۸۰	۱۱۳	۲۴۰۰	۲۸۱۵
کل توان اکتیو و راکتیو	---	۱۴۶۱۴		۱۵۰۱۴		۱۴۶۱۴	۱۱۳۹۴	--	--	۱۱۵۳۵	۱۵۱۹۷
تلفات توان اکتیو	۱۲۹۸	۵۱۵,۷		۵۲۶,۳۴		۱۲۸,۸			۱۳۲,۱		
کاهش تلفات اکتیو	٪	٪۶۰,۲		٪۵۹,۵		٪۹۰,۱			٪۸۹,۹		
حداقل ولتاژ	۰,۸۶۹	۰,۹۵۵۸		۰,۹۴۹۷		۰,۹۷۵۳			۰,۹۷۶۱		
زمان محاسبه(ثانیه)	.	۴,۱		۲۴,۹۶		۶,۲			۲۵,۹۶		

شکل(۷): پروفیل ولتاژ شبکه ۱۱۹ شینه در حالت نصب DG-۵



شکل(۸): پروفیل ولتاژ شبکه ۱۱۹ شینه در حالت نصب DG-۷

مراجع

[1] H. L. Willis, Power Distribution Planning Reference Book, 2nd Edition, MarcelDekker, New York, 2004, pp. 1217.

[2] W. H Kersting, "Distribution System Modeling and Analysis", CRC Press, 2000.

[3] R. Borjali Navesi, D. Nazarpour, R. Ghanizadeh, P. Alemi, "Switchable Capacitor Bank Coordination and Dynamic Network Reconfiguration for Improving Operation of Distribution Network Integrated with Renewable Energy Resources" Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, vol.10, pp. 637 – 646, 2021, DOI: 10.35833/MPCE.2020.000067

[4] D. Shirmohammadi, H. W. "Reconfiguration of electric distribution networks for resistive line losses reduction", IEEE Trans. Power Deliv., vol. 4, no. 2, pp. 671-679, Apr. 1989.

[5] G. K. Viswanadha, P. R. Bijwe, "Efficient reconfiguration of balanced and unbalanced distribution systems for loss minimization'", IET Gener. Transm. Distrib., vol. 2, no. , pp. 7-12, Jan. 2008.

[6] Y. Wu, C. Lee, L. Liu, S. Tsai, "Study of reconfiguration for the distribution system with distributed generators", IEEE Trans. Power Deliv., vol. 25, no. 3, pp. 1678-1685, Apr. 2010.

[7] R. S. Rao, S. V. L. Narasimham, M. R. Raju, A. S. Rao, "Optimal network reconfiguration of large-scale distribution system using harmony search algorithm", IEEE Trans. Power Syst., vol. 26, no. 3, pp. 1080-1088, Aug. 2011.

[8] R. Rao, K. Ravindra, K. Satish, S. Narasimham, "Power loss minimization in distribution system using network reconfiguration in the presence of distributed generation", IEEE Trans. Power Syst., vol. 28, no. 1, pp. 317-325, May. 2012.

[9] T. Ackermann, G. Andersson, L. Soder, "Distributed generation: a definition', Electr. Power Syst. Res., vol. 57, no. 3, pp. 195-204, Apr. 2001.

[10] J. A. Pecas Lopes, N. Hatziargyrou, J. Mutale, P. Djapic, N. Jenkins, "Integrating Distributed Generation into Electric Power Systems: a Review of Drivers,

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[DOI: 10.61186/jiaeee.21.4.135]

Challenges and Opportunities", Electr. Power Syst. Res., vol. 77, no. 9, pp. 1189-1203, Jul. 2007

[11] H. L. Willis, G. S. Walter, "Distributed power generation: planning and evaluation", CRC Press, 2000.

[12] H. A. M. Pesaran, P. D. Huy, V. K. Ramachandaramurthy, "A review of the optimal allocation of distributed generation: Objectives, constraints, methods, and algorithms", Renew. Sustain. Energ. Rev., vol. 75, pp. 293-311, Aug. 2017.

[13] H. Hedayati, S. A. Nabaviniaki, A. Akbarimajd, "A method for placement of DG units in distribution networks", IEEE Trans. Power Deliv., vol. 23, no. 3, pp.1620-16288, May 2008.

[14] F. S. Abu-Mouti, M. E. El-Hawary, "Optimal distributed generation allocation and sizing in distribution systems via artificial bee colony algorithm", IEEE Trans. Power Deliv., vol. 26, no. 4, pp. 2090-2101, Oct. 2011.

[15] DQ. Hung, N. Mithulananthan N, K. Y. Lee, "Optimal placement of dispatchable and nondispatchable renewable DG units in distribution networks for minimizing energy loss", Electr. Power Energ. Syst. vol. 55, pp. 179-86.

[16] S. Lee S, J. W. Park, "Selection of optimal location and size of multiple distributed generations by using kalman filter algorithm", IEEE Trans. Power Syst., vol. 24, no. 3, pp. 1393-1400.

[17] KM. Muttaqi, AD Le, M. Negnevitsky, G. Ledwich, "An algebraic approach for determination of dg parameters to support voltage profiles in radial distribution networks. IEEE Trans. Smart Grid, vol. 5, no. 3, pp. 1351-1360, Apr. 2014.

[18] P. Juanuwattanakul, M. Masoum, "Increasing distributed generation penetration in multiphase distribution networks considering grid losses, maximum loading factor and bus voltage limits", IET Gener. Transm. Distrib., vol. 6, no. 12, pp. 1262-1271, Dec. 2012.

[19] Rajaeyan E, Zeinali Davarani R. Optimal Allocation and Capacity Determination of Hybrid Distributed Generation Resources to Provide Load, Optimal Use of Renewable Resources, Reduce Net Present Cost, and Improve Network Voltage Stability. Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers 2023; 20 (2) :19-27.

[20] Kharazian E, Jalilian A. Optimal Allocation of DGs with BESS for Improving Voltage Quality Problems in a Reconfigurable Distribution Network. Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers 2023; 20 (2) :29-42.

[21] V. H. Mendez, J. Rivier, De la Fuente, T. Gomez, J. Arceluz, J. Marn, M. Madurga, "Impact of distributed generation on distribution investment deferral", Electr. Power Energy Syst., vol. 28, no. 4, pp. 244-252.May 2006.

[22] Z. Yan, Z. Gao, R. Borjali Navesi, M. Jadidoleslam, A. Pirouzi, " Smart Distribution Network Operation based on Energy Management System Considering Economic-Technical Goals of Network Operator" journal of Energy Reports, vol.9, pp 4466-4477,2023, doi.org/10.1016/j.egyr.2023.03.095

[23] A. A. Chowdhury, S. K. Agarwal, D. O. Koval, "Reliability modeling of distributed generation in conventional distribution systems planning and analysis", IEEE Trans Ind. Appl., vol. 39, no. 5, pp.1493-1498, Sep. 2003.

[24] M. Yiming, K. N. Miu, "Switch placement to improve system reliability for radial distribution systems

with distributed generation", .IEEE Trans. Power Syst. vol. 18, no. 4, pp. 1346-1352, Nov. 2003.

[25] D .T. C Wang, L. F. Ochoa, G. P. Harrison, "DG impact on investment deferral: network planning and security of supply", IEEE Trans. Power Syst., vol. 25, no. 2, pp.1134-1141, May 2010.

[26] W. Lingfeng, C. Singh, "Reliability-constrained optimum placement of reclosers and distributed generators in distribution networks using an ant colony system algorithm", IEEE Trans. Syst. Man. Cybern. Appl. Rev. Part C, vol. 38, no. 6, pp. 757-764, Nov. 2008.

[27] D. Zhu, R. P. Broadwater, K. S. Tam, R. Seguin, H. Asgeirsson, "Impact of DG placement on reliability and efficiency with time-varying loads. IEEE Trans. Power Syst., vol. 21, no. 1, pp. 419-427, Feb 2006.

[28] P. Chiradeja, R. Ramkumar, "An approach to quantify the technical benefits of distributed generation", IEEE Trans. Energy Convers., vol. 19, no. 4, pp. 764-773, Nov. 2004.

[29] A. C. Rueda-Medina, J. F. Franco, M. J. Rider, A. Padilha-Feltrin, R. A. Romero, "Mixed-integer linear programming approach for optimal type, size and allocation of distributed generation in radial distribution systems", Electr. Power Syst. Res., vol. 97, pp. 133-143, Apr. 2013.

[30] Akbar Bayat, Amir Bagheri, Ramin Borjali Navesi "A real-time PMU-based optimal operation strategy for active and reactive power sources in smart distribution systems" Electric Power Systems Research, Volume 225, December 2023, 109842, https://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.109842

[31] K. Muthukumar , S. Jayalalitha, "Optimal placement and sizing of distributed generators and shunt capacitors for power loss minimization in radial distribution networks using hybrid heuristic search optimization technique", Electr Power Energy Syst., vol. 78, 299-319, Jun. 2016.

[32] W. Sebastian, L. R. Jose, E. Istvan, "Optimal allocation and sizing of dynamic VAr sources using heuristic optimization", IEEE Trans. Power Syst., vol. 30, no. 5, pp. 2538-2546, Sep. 2015.

[33] T. N. Shukla, S. P. Singh, V. Srinivas, K. B. Naik, "Optimal sizing of distributed generation placed on radial distribution systems", Electr. Power Compon. Syst., vol. 38, no. 3, pp. 260-274, Jan. 2010.

[34] G. Celli, E. Ghiani, S. Mocci, F. Pilo, "A multi-objective evolutionary algorithm for siting and sizing of distributed generation", IEEE Trans. Power Syst., vol. 20, no. 2, pp. 750-757, May 2005.

[35] A. Ameli, S. Bahrami, F. Khazaeli, M. R. Haghifam, "Multiobjective particle swarm optimization for sizing and placement of dgs from dg owner's and distribution company's viewpoints", IEEE Trans Power Deliv., vol. 29, no. 4, pp. 1831-1840, Aug. 2014.

[36] K. Nekooei, M. M. Farsangi, H. Nezamabadi-Pour, K. Y. Lee, "An improved multiobjective harmony search for optimal placement of DGs in distribution systems", IEEE Trans. Smart Grid, vol. 4, no. 1, pp. 557-567, Mar. 2013.

[37] M. H. Moradi, M. Abedini, "A combination of genetic algorithm and particle swarm optimization for optimal DG location and sizing in distribution systems", Electr. Power Energy Syst., vol. 34, no. 1, pp. 66-74, Jan. 2012.

[38] M. Gandomkar,M. Vakilian, M. Ehsan, "A genetic based tabu search algorithm for optimal DG allocation in

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[DOI: 10.61186/jiaeee.21.4.135]

distribution networks", Electr. Power Compon. Syst., vol. 33, no. 12, pp. 1351-1362, Feb. 2007.

[39] M. Nayeripour , E. Mahboubi-Moghaddam, J. Aghaei J, A. Azizi-Vahed, "Multi-objective placement and sizing of DGs in distribution networks ensuring transient stability using hybrid evolutionary algorithm", Renew Sustain Energy Rev., vol.25, pp. 759-767, Sep. 2013.

[40] C. Wang, M. H. Nehrir, "Analytical approaches for optimal placement of distributed generation sources in power systems", IEEE Trans. Power Syst., vol. 19, no. 4, pp. 2068-2076.

[41] N. Acharya, P. Mahat, N. Mithulananthan, "An analytical approach for DG allocation in primary distribution network", Electr. Power Syst. Res., vol. 28, no. 10, pp. 669-678, Dec. 2006.

[42] D. Q. Hung, N. Mithulananthan, R. C. Bansal, "Analytical expressions for DG allocation in primary distribution networks', IEEE Trans. Energy Convers., vol. 25, no. 3, pp. 814-820, Sep. 2010.

[43] D. Q. Hung, N. Mithulananthan, "Multiple distributed generator placement in primary distribution networks for loss reduction", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 60, no. 4, pp. 1700-1708, Apr. 2013.

[44] T. Gozel, M. H. Hocaoglu, "An analytical method for the sizing and siting of distributed generators in radial system", Electr. Power Syst. Res., vol. 79, no. 6, pp. 912-918, Jun. 2009.

[45] H. Khan,M. A. Choudhary, "Implementation of distributed generation (IDG) algorithm for performance enhancement of distribution feeder under extreme load growth", Electr. Power Energy Syst., vol. 32, no. 9, pp. 985-997, Nov. 2010.

[46] S. N. G. Nayk, D. K. Khatod, M. P. Sharma, "Analytical approach for optimal siting and sizing of distributed generation in radial distribution networks", IET Gener. Transm. Distrib., vol. 9, no. 3, pp. 209-220, Feb. 2015.

[47] S. Elsaiah, M. Benidris, J. Mitra, "Analytical approach for placement and sizing of distributed generation on distribution systems", IET Gener. Transm. Distrib., vol. 8, no. 6, pp. 209-220, Jun. 2014.

[48] S. Kansal, V. Kumar, B. Tyagi, "Hybrid approach for optimal placement of multiple DGs of multiple types in distribution networks", vol. 75, pp. 226-235, Feb. 2016.

[49] K. R. Devabalaji, K. Ravi, "Optimal size and siting of multiple DG and DSTATCOM in radial distribution system using Bacterial Foraging Optimization Algorithm", Ain Shams Engineering Journal, vol. 7, no. 3, pp. 959-971, Sep. 2016.

زیرنویس‌ها

[1] Genetic Algorithms

[2] Particle swarm optimization

[3] Harmony Search

[4] Artificial Bee Colony

[5] Tabu Search

[6] Shuffled Frog Leaping Algorithm

[7] Bacterial Foraging optimization Algorithm

[8] Distribution static compensator

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

[DOI: 10.61186/jiaeee.21.4.135]