پیکربندی بهینه شبکه توزیع توسط الگوریتم بهینه‌سازی چرخه آب با حضور نیروگاه‌های تولیدپراکنده

ماشاالله طلاوری
دفتر مرکزی توسعه نیشکر و صنایع جانبی، اهواز، ایران
mashalatalavari@gmail.com
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۱۸

چکیده: تأمین منابع مورد نیاز برای برآورده کردن انرژی صنعت و به حداقل رساندن تأثیرات این منابع از عمده‌ترین چالش‌های کنونی صنعت برق است. یکی از راه حل‌های استراتژیک برای این چالش بازآرایی شبکه توزیع هوشمند است، در حالی که نه تنها کارایی را افزایش می‌دهد، بلکه هزینه‌ها را نیز کاهش می‌دهد. ظهور نیروگاه‌های بزرگ منجر به منسوخ شدن ژنراتورهای کوچک برای تولید برق شد. با این حال، توسعه فن‌آوری‌های تولید برق در مقیاس کوچک و نظریه بازآرایی در صنعت برق، همراه با مشکلات زیست محیطی منجر به استفاده مجدد از این مولدها در صنعت برق شده است. با افزایش هزینه‌های انتقال و توزیع، DG می‌تواند برق را با قیمت مناسب‌تری برای مصرف‌کنندگان تأمین کند. در این سیستم‌ها، توان تولید شده توسط منابع DG کنترل می‌شود که می‌تواند با کنترل مناسب سوئیچ‌های شبکه توزیع، مشخصات ولتاژ را بهبود بخشد و تلفات شبکه را کاهش دهد. این مسائل عمدتا در قالب یک مسئله بهینه‌سازی برای بهبود اهداف مورد نظر تجزیه و تحلیل می‌شوند. در این مقاله، مسئله بازآرایی در شبکه‌های توزیع با تعیین اندازه تولید توزیع شده برای به حداقل رساندن تلفات برق و بهبود مشخصات ولتاژ شبکه انجام می‌شود. از الگوریتم بهینه‌سازی چرخه آب برای حل مسأله بهینه‌سازی مورد نظر استفاده می‌شود. مطالعات بازآرایی تحت سیستم‌های ۳۳ و ۶۹ باسه انجام شده است. شبیه‌سازی‌های این مقاله با استفاده از از نرم‌افزار MATLAB انجام گرفته است.

واژه‌های کلیدی: بازآرایی، الگوریتم بهینه‌سازی چرخه آب، منابع تولیدپراکنده، کاهش تلفات توان، بهبود پروفیل ولتاژ

۱- مقدمه

بازآرایی شبکه‌های توزیع با هدف‌های متنوعی همچون کاهش تلفات توان خطوط انتقال، خدمات‌رسانی صحیح مشترکین و کمینه‌کردن ناحیه‌های بی‌برق، بهبود پروفایل ولتاژ، متعادل‌سازی بار، کاهش خاموشی‌ها و افزایش قابلیت اعتماد شبکه استفاده می‌شود. لذا می‌توان بازآرایی شبکه‌های توزیع را بعنوان یک مسئله بهینه‌سازی با هدف‌ها و محدودیت‌های گوناگون است و استحصال یک حل‌بهینه دقیق برای این مشکل است. تابه امروز راهکارهای گوناگونی برای بازآرایی شبکه‌های توزیع معرفی شده است [1-3].

باتوجه به تنوع شبکه‌های توزیع و نیز حجم زیاد انرژی توزیع‌شده آنها، تحقیقات و پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه بهره‌برداری مؤثر و اقتصادی از این سیستم‌ها سبب صرفه‌جویی عظیمی خواهد شد. یکی از روش‌های نوین بهره‌برداری بهینه از شبکه‌های توزیع بازآرایی آنها در بهره‌برداری آنهاست. به این معنی که با تغییر شروط بهره‌برداری نظیر بروز اغتشاش و تغییر بارها، ساختار شبکه را بگونه‌ای تغییر دهیم که به لحاظ فنی و اقتصادی بهینه باشد، هدف‌های فنی و اقتصادی گوناگونی جهت بازآرایی شبکه‌های هوشمند توزیع مطرح گردید [4, 5]. از جمله هدف‌های اساسی بازآرایی، کاهش تلفات خطوط می‌باشد. باتوجه به تنوع و نیز کمبود ولتاژ در شبکه‌های توزیع، تلفات انرژی قابل‌توجهی در این شبکه‌ها وجود دارد. بازآرایی امکان دارد جهت متوازن‌کردن بارگذاری روی فیدرها انجام گردد. با وجود اینکه یک اغتشاش دائم بوجود آید، بازآرایی شبکه جهت بازگردانی خدمات‌دهی مشترکین و به حداقل‌سازی ناحیه‌های بی‌برق استفاده می‌شود، بهبود پروفیل ولتاژ، متعادلسازی بار، کاهش خاموشی‌های مشترکین و افزایش قابلیت اعتماد شبکه از دیگر هدف‌های آن هستند و تا کنون جهت بازآرایی شبکه‌های

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.3.3.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 3- Autumn 2022

توزیع موردتوجه قرار گرفته‌اند [8-6]. در سیستم‌های توزیع مرسوم، بازآرایی بصورت فصلی انجام می‌گیرد. جهت تغییر ساختار این شبکه‌ها از کلیدها و جداسازهای دستی و خودکار استفاده می‌شود. اما تا به حال باتوجه به گرایش روزافزون به اتوماسیون شبکه‌های توزیع، کنترل‌کردن و تغییر ساختار این شبکه‌ها آسانتر می‌شود و بنابراین بازآرایی امکان دارد بصورت روزانه یا ساعتی و با بهره‌مندی از کلیدهای خودکار و کنترل از راه دور انجام شود.

شبکه توزیع الکتریکی بارهای متنوعی نظیر بارهای تجاری، مسکونی، صنعتی و غیره را تأمین می‌کند که بطور معمول برای تغییرات بار روزانه در یک محدوده وسیع است. با ازدیاد بارگذاری و بهره‌برداری از ساختار حاضر، احتمال وقوع فروپاشی ولتاژ در شبکه توزیع بصورت قابل‌توجهی افزایش خواهد یافت. بازآرایی شبکه سیستم توزیع پروسه تغییر ساختار توسط کلیدزنی سویچ‌ها جهت پیدا کردن ساختار عملکرد شعاعی که تلفات را کمینه می‌کند و سبب بهبود پایداری ولتاژ با وجود برآورده‌سازی محدودیت‌های عملکردی می‌شود. باتوجه به اینکه تعدد ترکیب‌های کلیدزنی در شبکه توزیع، بازآرایی شبکه یک مسئله بهینه‌سازی مشکل و پیچیده می‌باشد. بعلاوه، قید شعاعی بودن بطور معمول پیچیدگی مسئله را تشدید می‌کند [9, 10].

شبکه‌های توزیع بطور معمول دارای ساختار شعاعی با کلیدهای جداساز بسته و کلیدهای ارتباطی باز برای اتصال فیدرها دارند که انتقال بار بین آنها را امکان‌پذیر می‌کند. با ازدیاد کلیدها در سیستمهای توزیع بزرگ، تعداد ترکیب‌های بسیار زیادی هستند که می‌توانند پاسخگوی تقاضا باشند و لذا هر ترکیبی به ساختار و تلفات توان مربوط به خود منجر می‌شود. بازآرایی در سیستم‌های توزیع جهت پیدا کردن ساختار بهینه کلیدها است، به طوریکه تلفات به حداقل شده و محدودیت‌های بهره‌برداری حفظ شوند[11, 12].

بازآرایی شبکه یک روش کارآمد جهت بهبود کارایی سیستم بدون هیچگونه سرمایه‌گذاری مالی می‌باشد. با این وجود بازآرایی امکان دارد که قادر نباشد تلفات را کاهش دهد و نیز محدودیت‌های کیفیت توان را رعایت کند. لذا بازآرایی شبکه با قرار دادن خازن یا منابع تولیدپراکنده برای جهت دستیابی به عملکرد بهتر استفاده می‌شود. اخیراً، استفاده از منابع تولیدپراکنده DG یک راه‌حل کارآمد جهت جبران چالش‌های مطرح‌شده توسط نیروگاه‌های مرسوم شده است [13, 14].

با افزایش هزینه‌های انتقال و توزیع، DG می‌تواند برق را با قیمت مناسب‌تری برای مصرف‌کنندگان تأمین کند. در این سیستم‌ها، توان تولید شده توسط منابع DG کنترل می‌شود که می‌تواند با کنترل مناسب سوئیچ‌های شبکه توزیع، مشخصات ولتاژ را بهبود بخشد و تلفات شبکه را کاهش دهد. این مسائل عمدتا در قالب یک مسئله بهینه‌سازی برای بهبود اهداف مورد نظر تجزیه و تحلیل می‌شوند. در این مقاله، مسئله بازآرایی در شبکه‌های توزیع با تعیین اندازه تولید توزیع شده برای به حداقل رساندن تلفات برق و بهبود مشخصات ولتاژ شبکه انجام می‌شود. از الگوریتم بهینه‌سازی چرخه آب برای حل مسأله بهینه‌سازی مورد نظر استفاده می‌شود. مطالعات بازآرایی تحت سیستم‌های ۳۳ و ۶۹ باسه انجام شده است.

۲- بازآرایی شبکه‌های توزیع

۲-۱- ماهیت و مفهوم بازآرایی

شبکه‌های توزیع عمدتاً بصورت رینگ باز طراحی شده و بصورت شعاعی مورد بهر ه‌برداری قرار می‌گیرند. شبکه‌های توزیع شعاعی دارای مزایای بارزی در مقایسه با شبکه‌های توزیع حلقوی دارند که پائین بودن جریان اتصال‌کوتاه و سادگی تجهیزات حفاظتی و کلیدزنی از جمله آنها هستند. منتهای مراتب این شبکه‌ها به نسبت قابلیت اطمینان پایین‌تری دارند. بنابراین جهت بهره‌مندی از مزایای شبکه‌های شعاعی و همچنین حذف مشکلات آن، عملیات شبکه توزیع بایستی بنحوی باشد که بهره‌برداری از آن مقرون‌به‌صرفه باشد. با درنظر گرفتن اینکه محدودیت‌های زیر نیز رعایت شود.

- شعاعی‌ماندن شبکه توزیع
- تأمین توان کلیه مشترکین
- ایجاد هماهنگی بین رله‌های جریانی
- عدم ایجاد اضافه بار در ترانسفورماتورها و خطوط
- رعایت محدوده مجاز افت ولتاژ

از مشکلات اساسی در شبکه‌های توزیع مسئله تلفات خطوط است که عمده آن در خطوط شبکه‌های توزیع رخ می‌دهد. کاهش تلفات توان، بهبود شروط بهره‌برداری و استمرار برقرسانی عمدتاً هدف‌های شرکت‌های توزیع به شمار می‌روند. تصحیح ساختار شعاعی فیدرهای توزیع بصورت گسسته باتغییر وضعیت کلیدها و انتقال بار از یک فیدر به دیگری بطور چشمگیری می‌تواند شروط بهره‌برداری را بهبود دهد.

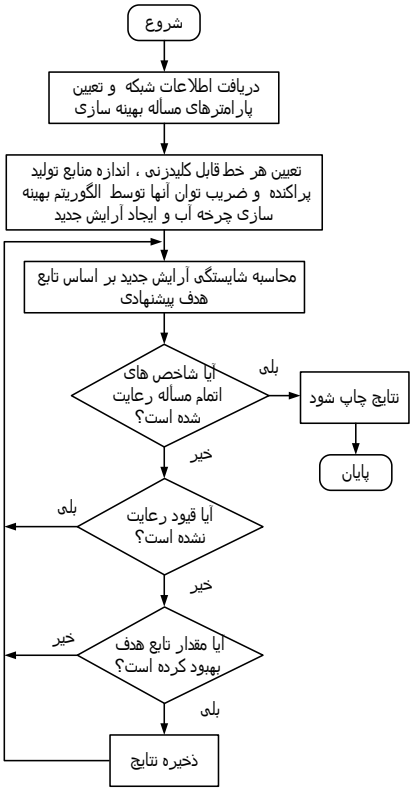
بازآرایی در شبکه‌های توزیع از کاربردهای اساسی و بسیار مؤثر سیستم اتوماسیون است. ورودی آنها وضعیت بارها و کلیدها از جمله خطوط ارتباطی و تقسیم‌کننده‌ها و خروجی آنها وضعیت جدید کلیدها است، بنحوی که دستیابی به هدف‌های مورد مطالعه حاصل شود. مسئله بازآرایی شبکه توزیع به انجام عملیات بهینه‌سازی پیچیده برای یافتن ترکیب شعاعی در یک شبکه توزیع با هدف کاهش تلفات و بهبود پروفیل بار شبکه اطلاق می‌شود بنحویکه رضایت هر دوی شرکت توزیع و مصرف‌کننده حاصل شود. به اینصورت هرچه تعداد کلیدها بیشتر شود امکان بازآرایی و بهبودی افزایش می‌یابد. باوجودیکه تلفات به حداقل رسانده می‌شود اما هزینه تجهیزات و بهره‌برداری در سیستم اتوماسیون بسیار افزایش می‌یابد.

۲-۲- اهداف و الزامات بازآرایی

تأمین تقاضای مشترکین با استفتده از یک روش صحیح و مقرون‌به‌صرفه، هدف مهم سیستم توان الکتریکی نوین می‌باشد. سیستم توزیع دارای بارهای متنوعی نظیر بارهای مسکونی، تجاری، صنعتی و غیره هستند

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.3.3.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 3- Autumn 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

که بطور معمول دارای تغییرات بار روزانه در یک محدوده وسیعی هستند. ازدیاد بار و بهره‌برداری از ساختارهای موجود، احتمال فروپاشی ولتاژ در سیستم توزیع را بصورت قابل‌توجهی افزایش می‌دهد. براساس شروط مرسوم، شرکت‌های توزیع جهت کاهش تلفات توان سیستم بایستی در ترانسفورماتورها و فیدرها بارگذاری متعادل برقرار شود. از دیگر منظر، بهبود کیفیت توان نیز اهمیت خاصی پیدا کرده است. بارهای حساس منحصراً در شروط خطا می‌توانند در معرض افت ولتاژ و وقفه کمتری قرار گیرند. حتی با وجود شروط خطا، شرکت‌های توزیع یا تأمین توان الکتریکی بایستی اطمینان لازم را جهت کیفیت توان ارائه شده به صنایع و بارهای حساس ضمانت نمایند. لذا مسئله بازآرایی فیدر با هدف‌های متنوع در هر دوی شروط نرمال و غیر نرمال بسیار پیچیده می‌گردد [15].



شکل(۱): فلوچارت مسأله بازآرایی مبتنی‌بر الگوریتم بهینه‌سازی چرخه آب

۳- مدل‌سازی مسئله بازآرایی بهینه

در اینجا مفاهیمی که در مسئله بازآرایی شبکه‌های توزیع بیان شد بصورت ریاضی ارائه می‌شود. در این خصوص فرمول‌بندی مسئله بهینه-سازی ضرورتاً انجام می‌شود. فلوچارت مسأله بازآرایی مبتنی‌بر الگوریتم بهینه‌سازی چرخه آب در شکل (۱) ارائه شده است.

لازم به ذکر است که روش پخش بار مبتنی‌بر جاروب پسرو-پیشرو انجام گرفته است. در این روش بطور تکراری جریان یا شار خطوط و ولتاژ شینه‌ها محاسبه می‌شود. در جاروب پسرو، تخمین‌های جریان یا شار از شین انتهایی به ابتدایی جمع می‌شوند و در جاروب پیشرو، نتایج جاروب پسرو جهت تخمین ولتاژ استفاده می‌شوند. این پروسه ادامه می‌یابد تا اینکه خطای هر مرحله نسبت به مرحله قبل به حداقل مقدار شود. این روش برای محاسبه پخش بار فیدرهای توزیع شعاعی متعادل و نامتعادل مناسب می‌باشد.

۳-۱- فرموله‌کردن مسئله بهینه‌سازی

در حل مسئله بازآرایی می‌توان چهار تابع هدف اساسی کاهش توان تلفاتی، بهبود پروفیل ولتاژ، متعادل‌سازی بار و کاهش هزینه را در پروسه بهینه‌سازی جای داد. این توابع را می‌توان به یک تابع هدف نهایی تبدیل کرده و از یک معیار چندهدفگی استفاده شود. متغیرهای طرح مسئله بهینه‌سازی معرفی می‌شوند و سپس، هر تابع هدف و همچنین معیار چندهدف‌بود به تفصیل تشریح می‌شود.

تمامی سیستم‌های مهندسی را می‌توان با مجموعه‌ای ازکمیت‌ها ارائه داد و بعضی از آن‌ها بصورت مجموعه متغیرها در فرآیند طراحی بعنوان متغیرهای طراحی ظاهر شوند. این متغیرها بصورت $x_i=(i=1,2,\cdots,n)$ ارائه شده و مجموعه متغیرهای طراحی نیز بصورت یک بردارطراحی $x=[x_1 \;\; x_2 \;\; \cdots \;\; x_n]^T$ نشان داده می‌شود. همچنین، بردار کنترلی X می‌تواند بصورت زیر ارائه شود.

$$x=\begin{bmatrix} Tie_1, Tie_1, \ldots, Tie_{N_{tie}}, Size_{G,1}, Size_{G,2}, \ldots \\ Size_{G,N_{DG}}, PF_{G,1}, PF_{G,2}, \ldots PF_{G,N_{DG}} \end{bmatrix} \qquad (۱)$$

در این رابطه $Tine_i$ وضعیت iامین کلیدرا نشان می‌دهد. یعنی: ۱=باز و ۰= بسته است. $Size_{G,i}$ اندازه iامین منبع تولیدپراکنده iام و $PF_{G,i}$ ضریب توان iامین منبع تولید پراکنده است N_{Tine} و N_{DG} بیانگر تعدادکلیدهای بسته و تعداد منابع تولیدپراکنده هستند.

۳-۲- تعیین توابع هدف

۳-۲-۱- کاهش توان تلفاتی

تابع هدف تلفات اکتیو توان به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$Min \;\; \mathrm{F}_1(X)=\sum_{k=1}^{N_{Br}} R_k \times |I_k|^2 \qquad (۲)$$

جایی‌که I_k و R_k بترتیب جریان و مقاومت حقیقی شاخه‌ها می‌باشند، و تعداد شاخه‌ها با N_{Br} نمایش داده شده است. متغیر کنترلی مسئله نیز با X نشان داده می‌شود.

۳-۲-۲- بهبود پروفیل ولتاژ

کمینه‌کردن این تابع هدف سبب نزدیک‌شدن مقادیر ولتاژ باس‌ها به مقدار مرجع یعنی ۱پریونیت می‌شوند که در واقع پروفیل ولتاژ بهبود داده می‌شود.

$$Min \;\; \mathrm{F}_2(X)=Max\left[|1-V_{\min}| \;\; and \;\; |1-V_{\max}|\right] \qquad (۳)$$

جایی‌که، N بیانگر تعداد باس‌های شبکه، V_i ولتاژ iامین باس هستند.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.3.3.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 3- Autumn 2022

۳-۲-۳- متعادل‌کردن بار خطوط

این تابع جهت متعادسازی بار خطوط ارائه شده است که میتوان به‌صورت زیر تعریف شود:

$$Min\ \mathrm{F}_3(X) = FBI(X) = \sum_{k=1}^{N_{Br}} \left(\frac{I_k}{I_{average}} \right)^2 \qquad (۴)$$

جاییکه I_k و $I_{average}$ بترتیب جریان عبوری و جریان متوسط هستند.

۴-۲-۳- کاهش هزینه

این تابع هدف نیز جهت تأمین هزینه توان می‌باشد که می‌توان به‌صورت زیر تعریف شود:

$$Min\ \mathrm{F}_4(X) = P_s \times \mathrm{Pr}ice_s + \sum_{i=1}^{N_{DG}} P_{G,i} \times \mathrm{Pr}ice_{G,i} \qquad (۵)$$

$P_{G,i}$ و P_s به‌ترتیب بیانگر توان اکتیو تولیدی iامین تولیدپراکنده و توان باس مبدأ هستند. $\mathrm{Pr}ice_s$ و $\mathrm{Pr}ice_{G,i}$ نیز بیانگر هزینه تأمین توان iامین تولیدپراکنده و هزینه تأمین توان باس مبدأ هستند.

۳-۳- شاخص چندهدفه‌بودن

می‌توان هر چهار تابع هدف را با تبدیل به یک تابع هدف نهایی بصورت همزمان کمینه‌کرد و بصورت زیر قابل ارائه است.

$$Min\ \mathrm{F}_\mathrm{T}(X) = \sum_{n=1}^{4} w_n \times \frac{F_n - F_n^{\min}}{F_n^{\max} - F_n^{\min}} \qquad (۶)$$

در این رابطه، $F_n^{\min}$ و $F_n^{\max}$ حداقل و حداکثر مقادیر تابع هدف هستند، و w_n بیانگر ضریب‌وزنی توابع هدف هستند.

۱-۳-۳- قیود مسئله

- ✓ **قید ولتاژ باس‌ها**

ولتاژ باس‌ها باید در محدوده مشخصی قرار گیرد که به‌طور معمول ۵٪ انحراف ازمقدار نامی مجاز می‌باشد.

$$V_{\min} < V_i < V_{\max} \qquad (۷)$$

- ✓ **قید توان عبوری**

توان عبوری خطوط از حد ماکزیمم خود نباید تجاوز کند.

$$\left| P_i^{line} \right| < P_{i,\max}^{line} \qquad (۸)$$

- ✓ **قید ساختار شبکه**

ساختار شبکه در هر شرایطی بایستی شعاعی‌بودن خود را حفظ کند.

۴-۳- الگوریتم‌های بهینه‌سازی

در راستای دستیابی به جواب‌های دقیق مسئله بهینه‌سازی، می‌توان از الگوریتم‌های بهینه‌سازی متفاوتی استفاده کرد. هدف این الگوریتم‌ها ارائه راه‌حلی در چارچوب یک زمان قابل قبول می‌باشد که می‌تواند جهت حل مسئله مناسب باشد.

۱-۴-۳- الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

در حقیقت این الگوریتم از رفتار اجتماعی حیوانات مثل حرکت دسته جمعی پرندگان و ماهی‌ها الهام گرفته است. پروسه اولیه این الگوریتم نیز با یک ماتریس جمعیت تصادفی اولیه آغاز شده و مشابه بسیاری از الگوریتم‌های تکاملی نظیر الگوریتم ژنتیک و رقابت استعماری می‌باشد. برعکس الگوریتم ژنتیک، این الگوریتم هیچ عملگر تکاملی مثل جهش و تقاطع ندارد. منتهای مراتب می‌توان گفت که این الگوریتم ازجهاتی مشابه الگوریتم رقابت استعماری است. در این الگوریتم هر عنصر این جمعیت با یک ذره مشخص می‌شود. درحقیقت الگوریتم ازدحام ذرات از تعداد معینی ذرات تشکیل شده است که مقدار اولیه آن بطور تصادفی انتخاب می‌شوند [16].

در این الگوریتم موقعیت هر ذره با s مشخص می‌شود و سرعت آن نیز با v نشان داده می‌شود. ازدحام ذرات، تابع هدفی خاص را بهینه کرده که هر ذره از بهترین مقدار خود تاکنون ($pbest$) و موقعیت خود s اطلاع دارد. این اطلاعات از تجربیات هر ذره که در هر مرحله کسب کرده حاصل می‌شود. بعلاوه، هر ذره از بهترین مقدار خود را که تاکنون در جمعیت بدست آورده ($gbest$) اطلاع دارد. این اطلاعات در مقایسه با نحوه عملکرد دیگر ذرات در این گروه در هر تکرار حاصل می‌شود. هر ذره در تلاش است تا موقعیت خود را با استفاده از اطلاعات زیر تنظیم کند:

موقعیت فعلی s، سرعت فعلی v، $pbest$، $gbest$.

این اصلاح می‌تواند بامفهوم سرعت ارائه شود. سرعت هر ذره را می‌توان از معادله زیر کسب کرد:

$$v_i^{k+1} = wv_i^k + c_1 rand_1 \times \left(pbest_i - s_i^k \right) + c_2 rand_2 \times \left(gbest - s_i^k \right) \qquad (۹)$$

جایی‌که، v_i^k سرعت ذره i در امین تکرار k، w تابع وزن و c_j ضریب وزنی می‌باشد. $rand$ یک عدد تصادفی بین ۰ و ۱ است و s_i^k موقعیت فعلی ذره i در امین تکرار k، $pbest_i$، $pbest$ نقطه i بوده و $gbest$، $gbest$ گروه می‌باشد.

موقعیت کنونی نقطه جستجو درفضای جواب را می‌توان با معادله زیر تنظیم کرد:

$$s_i^{k+1} = s_i^{k+1} + v_i^{k+1} \qquad (۱۰)$$

الگوریتم ازدحام ذرات از نقطات جستجوی متعددی استفاده می‌کند، و نقاط جستجو تدریجاً به نقطه بهینه توسط $pbest$ها و $gbest$ نزدیک خواهند شد.

۲-۴-۳- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک، روشی جستجو جهت یافتن راه‌حلی بهینه برای مسائل بهینه‌سازی است. این الگوریتم نوعی خاص از الگوریتم‌های تکاملی می‌باشد که از روش‌های زیست‌شناسی فرگشتی مثل وراثت و جهش الگوبرداری می‌کند. برای اولین بار الگوریتم ژنتیک یا GA توسط جان هنری‌هالند پیشنهاد گردید که از اصول انتخاب طبیعی داروین جهت

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.3.3.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 3- Autumn 2022

دستیابی به فرمول بهینه برای پیش‌بینی‌کردن یا انطباق الگو بهره‌مند می‌شود. در کل این الگوریتم مبتنی‌بر تکرار می‌باشد که اکثر قسمت‌های آن بصورت فرآیندهای تصادفی انتخاب می‌شوند. این پروسه با جمعیت اولیه‌ای از جواب‌ها یا کروموزوم‌ها کار خود را شروع کرده و با استفاده از اپراتورهای تقاطع و جهش جواب‌های جدید تولید می‌شود و از بین جواب‌های تولید شده و کنونی، بهترین‌ها توسط تابع برازندگی انتخاب شده و جمعیت جدیدی ایجاد می‌شود. از نسلی به نسلی دیگر این جواب-ها بهبود داده شده تا اینکه جواب نهایی بهینه حاصل شود [17]. دو عملگر اصلی برای این الگوریتم وجود دارد (تقاطع و جهش) که به شرح زیر توضیح داده می‌شوند:

۳-۴-۲-۱- تقاطع

این عملگر یک روش بازآفرینی است که با ترکیب دو کروموزوم والدین دو کروموزوم بچه ایجاد می‌کند. با توجه به انتخاب طبیعی، احتمال تقاطع معمولاً بیشتر از جهش است. این عملگر می‌تواند بطور موثری الگوریتم ژنتیک را که به‌صورت زیر فرموله شده است، بهبود دهد[18]:

$$a_{1,k} = \frac{\left[(1-\gamma_k)p_{1,k} + (1+\gamma_k)p_{2,k}\right]}{2} \quad (۱۱)$$

$$a_{2,k} = \frac{\left[(1+\gamma_k)p_{1,k} + (1-\gamma_k)p_{2,k}\right]}{2} \quad (۱۲)$$

که در آن $a_{i,k}$، نشان دهنده ith بچه با kthامین مولفه است، $p_{i,k}$ نشان-دهنده والد منصوب است، و همچنین γ_k نشان دهنده نمونه تولید شده تصادفی است که با نمونه تصادفی یکنواخت u بین (۰، ۱) حاصل می‌شود که در زیر فرمول‌بندی شده‌اند:

$$p(\gamma) = \frac{\left[(\varepsilon_c+1)\gamma^{\varepsilon_c}\right]}{2} \quad if \quad 0 \le \gamma \le 1 \quad (۱۳)$$

$$p(\gamma) = \frac{\left[(\varepsilon_c+1)\left(1/\gamma^{\varepsilon_c+2}\right)\right]}{2} \quad if \quad \gamma > 1 \quad (۱۴)$$

$$\gamma(u) = (2u)^{\frac{1}{\varepsilon_c+1}} \quad (۱۵)$$

$$\gamma(u) = \frac{1}{(2(1-u))^{\frac{1}{\varepsilon_c+1}}} \quad (۱۶)$$

در صورتی‌که، ε_c عامل توزیع تقاطع را نشان می‌دهد.

۳-۴-۲-۲- جهش

جهش معمولاً به عنوان یک عملگر پشتیبان شناخته می‌شود که تضمین می‌کند احتمال جستجو هرگز صفر نمی‌شود. از همگرایی با بهینه‌های محلی به جای بهینه اصلی جلوگیری می‌کند. جهش چند جمله ای را می‌توان به صورت زیر فرموله کرد:

$$c_k = p_k + \left(p_k^u - p_k^l\right)\Delta_k \quad (۱۷)$$

جاییکه c_k و p_k به ترتیب نشانگر بچه و والدین هستند و همچنین p_{ku} و p_{kl} به ترتیب کران‌های بالا و پایین والد را نشان می‌دهند.
Δk یک انحراف کوچک را نشان می‌دهد:

$$\Delta_k = (2r_n)^{\frac{1}{\varepsilon_m+1}} - 1 \quad if \quad r_n < 0.5 \quad (۱۸)$$

$$\Delta_k = 1-(2(1-r_n))^{\frac{1}{\varepsilon_m+1}} - 1 \quad if \quad r_n \ge 0.5 \quad (۱۹)$$

که در آن، r_n یک عدد تصادفی یکنواخت بین (۰، ۱) می‌باشد. همچنین، ε_m ضریب توزیع جهش می‌باشد.

۳-۴-۳- الگوریتم بهینه‌سازی چرخه آب

ساختار الگوریتم بهینه‌سازی چرخه‌آب از رفتار سیکلی آب در طبیعت الهام‌گیری شده است [19]. همانطوریکه می‌دانیم جوی‌ها و رودخانه‌ها از بلندی‌ها و کوه‌ها آب را به سمت دریاها روانه می‌کنند. در در مسیر حرکت این آب‌های روان، جوی‌ها و رودخانه‌ها آب را از باران جوی‌ها و رودخانه‌های دیگر جمع‌آوری می‌کنند. آب دریاچه‌ها و رودخانه‌ها وقتیکه گیاهان حین فرآیند تبخیر پس می‌دهند بخار می‌شود. بالا رفتن آب بخارشده در اتمسفر باعث تشکیل ابرها می‌شوند. ابرهای شکلیل‌یافته در اتمسفر سردتری تراکم یافته و آب را بصورت باران باز پس داده و جوی‌ها و رودخانه‌های جدید ایجاد می‌شوند [20].

۳-۴-۳-۱- پروسه بهینه‌سازی چرخه آب

مانند الگوریتم‌های دیگر فوق‌ابتکاری، این الگوریتم پروسه بهینه‌سازی خود را با یک جمعیت اولیه که همان قطرات باران هستند، آغاز می‌کند و به واسطه آن باران یا تگرگ ایجاد می‌شود. بهترین قطرات باران بصورت دریا درنظر گرفته می‌شوند. تعدادی از قطرات خوب باران بعنوان رودخانه انتخاب شده و بقیه آنها بصورت جوی‌هایی که به رودخانه‌ها ویا بطور مستقیم به دریا می‌ریزند انتخاب می‌شوند.

۳-۴-۳-۲- تولید جمعیت اولیه

در الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات عملگرهایی با نامهایی مثل مکان ذرات و کروموزوم وجود دارد که مقادیر متغیرهای مسئله را ایجاد می‌کنند. در الگوریتم بهینه‌سازی چرخه آب هر قطره باران با آرایه‌ای درنظر گرفته می‌شود. برای یک مسئله بهینه‌سازی N بعدی و برای یک راه‌حل بصورت زیر ارائه می‌شود:

$$\text{Raindrop} = \left[\chi_1, \chi_2, \ldots, \chi_N\right] \quad (۲۰)$$

با درنظر گرفتن N_{pop} قطره، ماتریس قطرات باران را می‌توان بصورت زیر تعریف کرد:

$$\text{Raindrops} = \begin{bmatrix} \chi_1^1 & \chi_2^1 & \chi_3^1 & \cdots & \chi_{N_{var}}^1 \\ \chi_1^2 & \chi_2^2 & \chi_3^2 & \cdots & \chi_{N_{var}}^2 \\ \chi_1^3 & \chi_2^3 & \chi_3^3 & \cdots & \chi_{N_{var}}^3 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \chi_1^{N_{pop}} & \chi_2^{N_{pop}} & \chi_3^{N_{pop}} & \cdots & \chi_{N_{var}}^{N_{pop}} \end{bmatrix} \quad (۲۱)$$

جاییکه N_{pop}و N_{var}به ترتیب بیانگر تعداد قطرات باران و متغیرها هستند. در یک ماتریس تشکیل‌شده بصورت تصادفی، هر کدام از مقادیر $\left[\chi_1, \chi_2, \ldots, \chi_N\right]$ می‌توانند بعنوان مقادیر واقعی یا بعنوان

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.3.3.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 3- Autumn 2022

گروهی که از قبل تعیین گردید بـترتیـب برای مسائل پیوسته یا گسسته درنظر گرفته شوند. ارزش هرسطر یـا برازنـدگی با استفاده از تابع هدف قابل ارائه می‌باشد:

$$F_i = F\left(x_1^i, x_2^i, \ldots, x_{N_{\text{var}}}^i\right), \qquad i = 1,2,\ldots N_{pop} \qquad (۲۲)$$

بعد از تشکیل Npopقطره باران، به تعـداد Nsr عدد از بهترین آنها به عنوان رودخانه و دریا درنظر گرفته می‌شوند. قطرهای با بهترین مقدار تابع بـعنـوان دریـا انتخاب شده و بقیه آنها بصورت جوی‌هایی که به رودخانه‌ها ویا بطور مستقیم به دریـا مـی‌ریزنـد انتخاب می‌شوند.

$$N_{sr} = Number\ of\ Rivers + 1(Sea) \qquad (۲۳)$$

$$N_{Streams} = N_{pop} - N_{sr} \qquad (۲۴)$$

جوی‌ها با توجه به شدت جریان آبی کـه با استفاده از معادلـه زیـر بدست می‌آید بعنـوان رودخانـه‌هـا و دریـاهـا درنظر گرفته می‌شوند.

$$N_{Sn} = round\left\{\left|\frac{F_n}{\sum_{i=1}^{N_{Sr}} F_i}\right| \times N_{Streams}\right\} \qquad (۲۵)$$

جایی‌که: N_{Sn}تعداد جوی‌های جاری‌شده بـه رودخانـه یـا دریـاهای مشخص

۳-۳-۴-۳- نحوه جاری‌شدن جوی‌ها به رودخانه یا دریا

حرکت یک جوی به طرف رودخانـه‌ای مشخص در راستای مسیر ارتباطی بین آنها، با استفاده از یک مسافت انتخـابی بصورت تصادفی اعمال می‌شود:

$$X \in (0, C \times d) \qquad (۲۶)$$

جاییکه C یک مقداری معین بـین ۱ و ۲ می‌باشد، و d مسافت مابـین جوی و رودخانـه می‌باشد. درصورتیکه C>1، جوی‌ها ایـن توانـایی را خواهند داشت که در جهت‌های مختلـفی بـه طرف رودخانـه‌هـا حرکت کنند. لذا، ۲ می‌تواند بهترین مقدار برای C باشد. همچنین، این مفهوم می‌تواند جهت حرکت رودخانـه‌هـا به طرف دریا درنظر گرفته شود. لذا، میتوان وضعیت جدیـد جوی‌ها و رودخانه‌ها را بصورت زیر ارائه داد:

$$X_{Stream}^{i+1} = X_{Stream}^{i} + rand \times C \times \left(X_{River}^{i} - X_{Stream}^{i}\right) \qquad (۲۷)$$

$$X_{River}^{i+1} = X_{River}^{i} + rand \times C \times \left(X_{Sea}^{i} - X_{River}^{i}\right) \qquad (۲۸)$$

جایی‌که rand عـددی است که بصورت تصـادفی بین صفر و یک انتخاب می‌شود. درصورتیکه مقدار پاسخ هرکدام از جوی‌ها بهتر از رودخانه اتصالی آن باشد، وضعیت آنها تغییر می‌یابد. بعبارتی، جوی تبدیل به رودخانه و رودخانـه به جوی تبدیل می‌شود. وضعیت دریا و رودخانه نیز درصورتیکه رودخانـه پاسخ بهتری از دریا داشته باشد، عوض می‌شوند.

۴-۳-۴-۳- شرایط تبخیر

نقـش این فرآیند جهت ممانعت از به تله افتادن آن در بهینـه محلی و همگرایی سریع بسیار مهم است. این فرآیند از روند تبخیر آب دریا و از تعرق گیاهان در هنگام فتوسنتز الهام گرفته شده است. از آب تبخیرشده ابرها ایجاد شده و این آب دوباره بصورت باران به زمین می‌بارد و رودخانه‌ها و جوی‌های جدیدی بوجود می‌آید که دوباره به دریا جریان می‌یابند. رابطه زیر مشخص می‌کند که فرآیند تبخیر و تشکیل باران اتفاق می‌افتند یا نه:

$$\left|\chi_{Sea}^{i} - \chi_{River}^{i}\right| < d_{\max}, \qquad i = 1,2,\ldots(N_{sr} - 1) \qquad (۲۹)$$

d_{max} یک مقدار کوچک نزدیک بـه صفر می‌باشد وعمق جستجو نزدیک دریا راکنترل می‌کند. هنگامیکـه مقداری بزرگ از d_{max} درنظر گرفته می‌شود، شدت جستجو کم می‌شود، اما مقدار کوچک آن، باعث تقویـت آن می‌شود. درصورتیکه مسافت بین دریا و رودخانه کمتر از dmaxشود، رودخانه به دریا اتصال می‌یابد. لذا، فرآیند تبخیـر صورت گرفته و فرآیند بارش اتفاق می‌افتد. طبق رابطه زیر، در پایان هر تکرار ازمقدار d کاسته می‌شود:

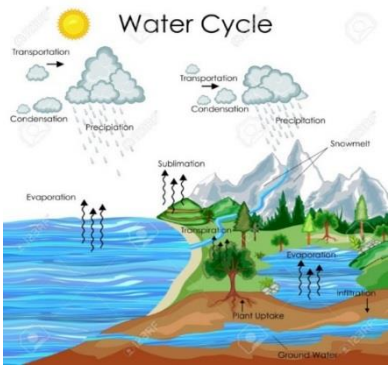
$$d_{\max}^{i+1} = d_{\max}^{i} - \frac{d_{\max}^{i}}{Max\ \ iteration} \qquad (۳۰)$$

۵-۳-۴-۳- فرآیند بارش

فرآیند بارش شبیه به اپراتور جهـش در الگـوریتم ژنتیـک عمل می‌کند. قطره‌های جدید باران تشکیل‌شده بصورت تصادفی، جوی‌های جدیدی را در نقاط مختلف بوجود می‌آورند. بهترین قطرات مجدداً درمیان دیگر قطرات جدید به عنوان رودخانه‌ای که به دریا میریزد، انتخاب می‌شود. مابقی جوی‌های جدیدی هستند که به رودخانه یا بطور مستقیم به دریا جاری می‌شوند. برای جوی‌هایی که بطور مستقیم به دریا جاری می‌شوند، از رابطه جدیدی استفاده می‌شود که جستجوی در نزدیکی دریـا را افزایش می‌دهد و نرخ همگرایی و محاسبات مربوط به این الگوریتم بهتر می‌شود:

$$\chi_{Stream}^{new} = \chi_{Sea} + \sqrt{U} \times rand(1, N_{\text{var}}) \qquad (۳۱)$$

جاییکه U انحراف استاندارد است وبیانگر مفهوم واریانس می‌باشد. مقدار U در واقع، رنج ناحیه جستجوی نزدیک دریا و randn عددی تصادفی باتوزیع نرمال می‌باشد. بهترین مقدار ۰٫۱بـرای U می‌باشد. درحالیکه برای مقادیر بزرگ، احتمال خروج از ناحیه امکان‌پذیر را افزایش می‌دهد و مقادیر کـوچک، فضای جستجو واکتشاف نزدیک دریا راکاهش می‌دهد. در شکل (۲) شماتیک کلی از عملکرد این الگوریتم به صورت تصویری شده است.



شکل (۲) : شماتیک کلی از عملکرد الگوریتم چرخه آب

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.3.3.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 3- Autumn 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

۵-۳- مسئله بازآرایی شبکه‌های توزیع مبتنی‌بر الگوریتم بهینه‌سازی چرخه آب

پروسه بهینه‌سازی مسئله بازآرایی شبکه توزیع و تعیین مقدار منابع تولیدپراکنده را بصورت زیر می‌توان ارائه داد.

مرحله ۱: داده‌های ورودی که شامل اطلاعات شبکه و پارامترهای الگوریتم می‌باشند دریافت می‌شوند.

مرحله ۲: جمعیت اولیه با توجه به اطلاعات مرحله قبل ایجاد می‌شوند.

مرحله ۳: پخش‌بار بر اساس متغیرهای تصمیم‌گیری محاسبه می‌شوند.

مرحله ۴: توابع هدف جهت تولید جمعیت محاسبه می‌شوند.

مرحله ۵: قیود مسئله باتوجه به نتایج بدست آمده از پخش‌بار بررسی می‌شوند. با برآورده شدن قیود مسئله مرحله بعد انجام می‌شود، درغیر اینصورت ضریب جریمه برای توابع هدف درنظر گرفته می‌شود.

مرحله ۶: اعضای جمعیت بطور نزولی مرتب می‌شوند.

مرحله ۷: جمعیت به q زیرگروه تقسیم شده که هر زیرگروه F/q عضو را شامل می‌شود.

جاییکه، q و F بترتیب بیانگر تعداد زیرگروه‌ها و تعداد کل جمعیت هستند.

مرحله ۸: تعیین بهترین پاسخ iامین عضو، بهترین پاسخ برای jامین زیر گروه و بهترین پاسخ در کل جمعیت هستند.

مرحله ۹: دریافت مقدار جدید iامین عضو از jامین زیرگروه براساس الگوریتم بهینه‌سازی چرخه آب

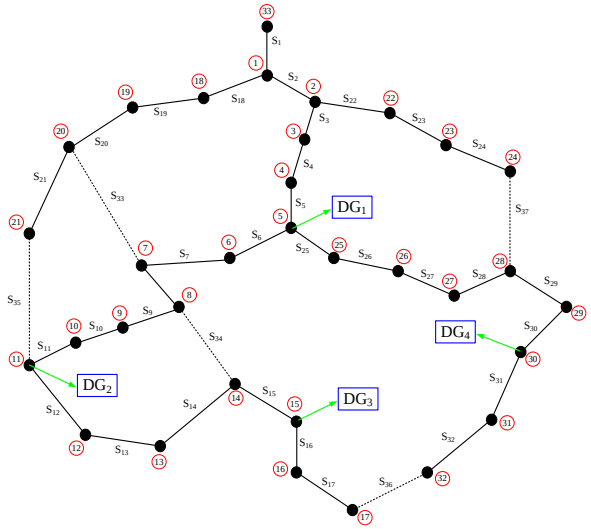
مرحله ۱۰: اعضای همه زیرگروه‌ها باهم ترکیب شده و مجدداً مرتب-سازی صورت می‌پذیرد.

مرحله ۱۱: پروسه بهینه‌سازی بعد از تکراری معین به پایان می‌رسد.

۴- نتایج شبیه‌سازی

۴-۱- معرفی شبکه‌های تحت مطالعه

اولین شبکه توزیع موردمطالعه یک سیستم ۳۳ باسه با ۵ حلقه می‌باشد و ولتاژ نامی آن ۱۲/۶۶ کیلو ولت است. دیاگرام تک‌خطی این شبکه با حضور منابع تولیدپراکنده در شکل (۳) ارائه شده است. برای اولین وضعیت، کلیدهای خطوط ۳۷، ۳۶، ۳۵، ۳۴، ۳۳ باز درنظر گرفته می-شود که بصورت نقطه چین نشان داده شده‌اند. مشخصات مربوط به منابع تولیدپراکنده‌ای که در این شبکه نصب شده‌اند در جدول (۱) داده شده-اند.



شکل ۳: دیاگرام تک‌خطی شبکه توزیع ۳۳ باسه در حضور تولیدات پراکنده

جدول(۱): اطلاعات منابع تولید پراکنده نصب شده در شبکه ۳۳باسه

جدول ۵-۱: اطلاعات منابع تولیدپراکنده نصب‌شده درشبکه ۳۳ باسه

	ظرفیت (KW)	نوع DG	مکان	ضریب توان
DG_1	۵۰۰	پیل سوختی	۵	۰٫۹پسفاز تا ۰٫۹پیشفاز
DG_2	۳۰۰	میکرو توربین	۱۱	۰٫۹پسفاز تا ۰٫۹پیشفاز
DG_3	۳۰۰	دیزلی	۱۵	۰٫۹پسفاز تا ۰٫۹پیشفاز
DG_4	۳۰۰	دیزلی	۳۰	۰٫۹پسفاز تا ۰٫۹پیشفاز

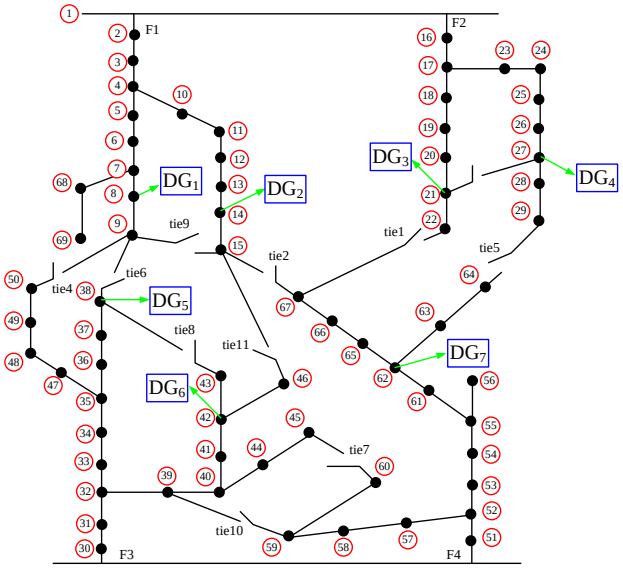
دومین شبکه توزیع موردمطالعه نیز یک سیستم ۶۹ باسه و ۱۱ حلقه می‌باشد و ولتاژ نامی آن ۱۱ kV است. دیاگرام تک‌خطی این شبکه با حضور منابع تولیدپراکنده در شکل (۳) ارائه شده است. کلیدهای باز در این شبکه مشخص می‌باشند. مشخصات مربوط به منابع تولیدپراکنده‌ای که در این شبکه نصب شده‌اند در جدول (۲) داده شده‌اند.

جدول(۲): مشخصات تولیدات نصب شده در شبکه ۶۹ باسه

جدول ۵-۲: مشخصات تولیدات نصب شده در شبکه ۶۹ باسه

	ظرفیت(KW)	نوع DG	مکان		ضریب توان	قیمت($/KWh)
DG_1	۵۰۰	پیل سوختی	۸	تا	۰٫۹پسفاز ۰٫۹پیشفاز	۰٫۰۸۲
DG_2	۵۰۰	پیل سوختی	۱۴	تا	۰٫۹پسفاز ۰٫۹پیشفاز	۰٫۰۸۲
DG_3	۵۰۰	دیزلی	۲۱	تا	۰٫۹پسفاز ۰٫۹پیشفاز	۰٫۰۱۰
DG_4	۵۰۰	دیزلی	۲۷	تا	۰٫۹پسفاز ۰٫۹پیشفاز	۰٫۰۱۰
DG_5	۵۰۰	میکرو توربین	۳۸	تا	۰٫۹پسفاز ۰٫۹پیشفاز	۰٫۰۱۳
DG_6	۵۰۰	پیل سوختی	۴۲	تا	۰٫۹پسفاز ۰٫۹پیشفاز	۰٫۰۸۲
DG_7	۵۰۰	احتراقی	۶۲	تا	۰٫۹پسفاز ۰٫۹پیشفاز	۰٫۰۱۵

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.3.3.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 3- Autumn 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]



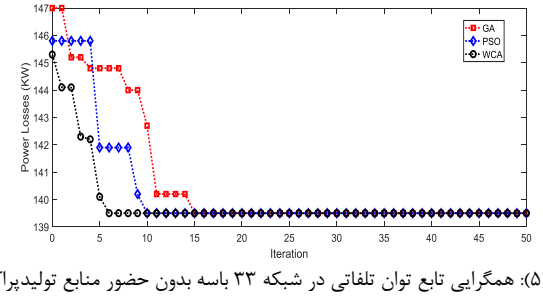
شکل (۴): دیاگرام تک‌خطی شبکه توزیع ۶۹ باسه در حضور تولیدات پراکنده

مجموعه اول ازمتغیرهای تصمیم‌گیری، مربوط است به که از شبکه بایدجدا شوند تااینکه شبکه کماکان شعاعی بودن خود را حفظ کند. مجموعه دوم و سوم از متغیرهای تصمیم‌گیری، مقدار منابع تولیدپراکنده و ضریب توان آنهاست.

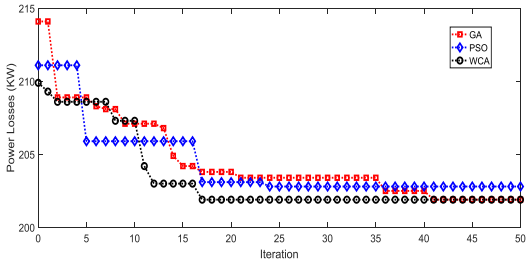
۲-۴- مقایسه نتایج الگوریتم‌ها

۱-۲-۴- کاهش تلفات توان

برای ارزیابی الگوریتم‌های GA، PSO و WCA، نتایج بدست آمده آنها جهت بهینه‌سازی تلفات توان برای هردو شبکه با حضور وبدون حضور منابع تولیدپراکنده مقایسه می‌شوند. در شکل‌های زیر همگرایی هر سه الگوریتم برای دو شبکه تحت‌مطالعه جهت کاهش تلفات توان ارائه شده است. درحالت بدون حضور منابع تولیدپراکنده، شبکه ۳۳ باسه و ۶۹باسه بترتیب پنج و ده متغیر تصادفی مربوط‌به کلیدها است.



شکل(۵): همگرایی تابع توان تلفاتی در شبکه ۳۳ باسه بدون حضور منابع تولیدپراکنده

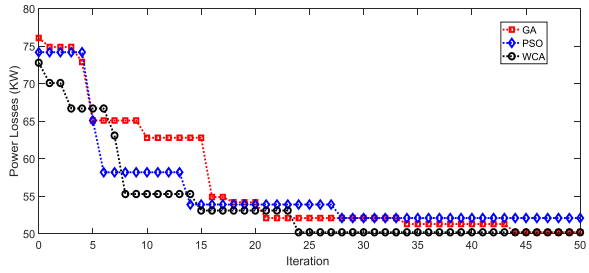


شکل (۶): همگرایی تابع توان تلفاتی در شبکه ۶۹ باسه بدون حضور منابع تولیدپراکنده

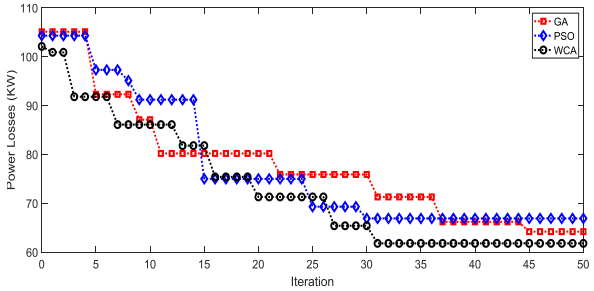
در شکل‌ها واضح است که، هر سه الگوریتم توانسته اند که نقطه بهینه را استخراج کنند. منتها الگوریتم بهینه‌سازی چرخه آب به دلیل اپراتورهای منحصربه‌فرد آن نقطه بهینه را با سرعت بیشتری استخراج کند و همگرایی سریع‌تری نسبت به الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات داشته باشد.

در این مرحله عملکرد این سه الگوریتم باحضور منابع تولیدپراکنده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این حالت در شبکه ۳۳ باسه، علاوه‌بر ۵ متغیر مربوط‌به خطوط، ۸ متغیر دیگر که مربوط به مقدار منابع تولیدپراکنده و ضریب توان آن‌ها می‌باشد به فضای جستجوگر بهینه‌سازی اضافه می‌شود. همانطوریکه از شکل (۷) مشاهده می‌شود، در این حالت الگوریتم ژنتیک نسبت به دیگر الگوریتم‌ها دیرتر به پاسخ بهینه رسیده است. منتها بوضوح به اثبات رسیده است که قابلیت الگوریتم چرخه آب در استخراج جواب بهینه و همگرایی سریع بسیار چشمگیر می‌باشد.

در شبکه ۶۹ باسه، تعداد متغیرهای مسئله و پیچیدگی آن افزایش می‌یابد و بهتر می‌توان قابلیت این سه الگوریتم را محک زد. منحنی همگرایی همگرایی این سه الگوریتم تحت مطالعه با حضور منابع تولیدپراکنده در شکل (۸) ارائه شده است. مشابه حالت قبل کارائی الگوریتم بهینه‌سازی چرخه آب بنحو مطلوبی به اثبات رسیده است. هیچکدام از دو الگوریتم ازدحام ذرات و ژنتیک نتوانسته‌اند همگرایی سریع و جواب‌های بهینه‌ای را استخراج کنند. ضمن اینکه الگوریتم ازدحام ذرات نسبت به الگوریتم ژنتیک همگرایی سریعتری داشته است ولی جواب بدتری را استخراج کرده است.



شکل(۷): همگرایی تابع توان تلفاتی در شبکه ۳۳ باسه با حضور منابع تولیدپراکنده



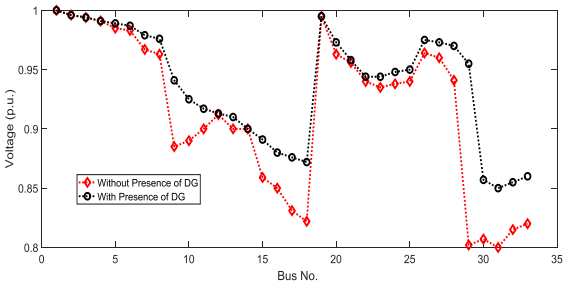
شکل (۸): همگرایی تابع توان تلفاتی در شبکه ۶۹ باسه بدون حضور منابع تولید پراکنده

۲-۲-۴- بهبود پروفیل ولتاژ

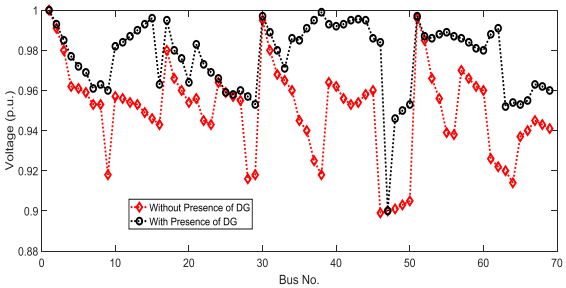
در این قسمت فرآیند بهینه‌سازی چرخه آب با حضور منابع تولید پراکنده و بدون حضور آنها در سیستم‌های ۳۳باسه و ۶۹باسه انجام می‌شود.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.3.3.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 3- Autumn 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

همانطوریکه که به وضوح قابل مشاهده است، پروفیل ولتاژ باس‌ها بصورت قابل توجهی با حضور منابع تولید پراکنده بهبود داده شده است.



شکل (۹): پروفیل ولتاژ شبکه ۳۳ باسه با و بدون حضور منابع تولیدپراکنده



شکل (۱۰): پروفیل ولتاژ شبکه ۶۹ باسه با و بدون حضور منابع تولیدپراکنده

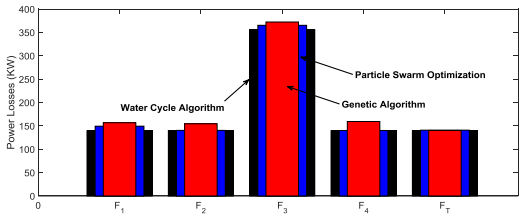
۳-۲-۴- مقایسه نتایج بهینه‌سازی با درنظرگرفتن تمام توابع هدف

در این مرحله مسئله بازآرایی شبکه هوشمند توزیع ۳۳ باسه با درنظر گرفتن توابع هدف تعریف شده و مورد مطالعه یعنی: تلفات توان، پروفیل ولتاژ، تعادل ولتاژ و هزینه تأمین توان و مجموع آنها مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. ضمن اینکه این مسئله بهینه‌سازی برای الگوریتم‌های بهینه-سازی چرخه آب، ازدحام ذرات و ژنتیک انجام می‌شود. نتایج شبیه‌سازی در شکل‌های (۱۱) تا (۱۴) آورده شده است. از این شکل‌ها بسیار بوضح می‌توان مطالب زیر را نتیجه گرفت:

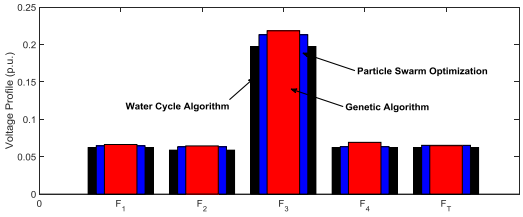
۱-تأثیر کلیدزنی بهینه در بازآرایی شبکه هوشمند توزیع

۲-افزایش قابلیت شبکه توزیع با حضور منابع تولیدپراکنده در بهبود شاخص‌های تلفات توان، پروفیل ولتاژ، تعادل ولتاژ و هزینه تأمین توان

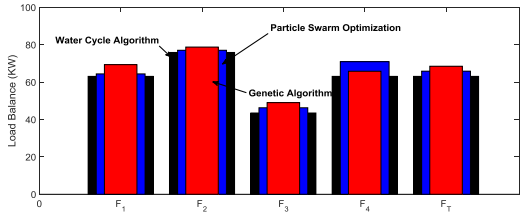
۳-انجام بهینه‌سازی دقیق و سریع و رسیدن به جواب بهینه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چرخه آب در مقایسه با الگوریتم‌های ازدحام ذرات و ژنتیک



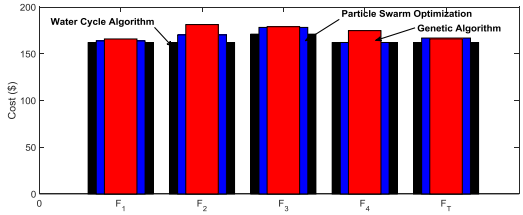
شکل (۱۱): بهینه‌سازی تلفات توان شبکه ۳۳ باسه به ازای توابع هدف متفاوت



شکل(۱۲): بهینه‌سازی پروفیل ولتاژ شبکه ۳۳ باسه به ازای توابع هدف متفاوت

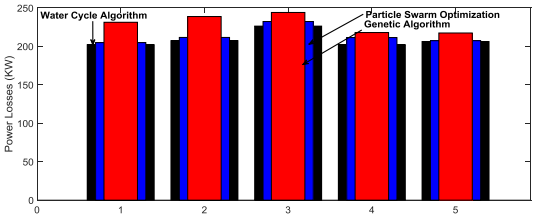


شکل(۱۳): بهینه‌سازی تعادل ولتاژ شبکه ۳۳ باسه به ازای توابع هدف متفاوت

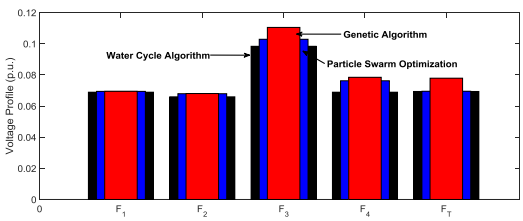


شکل (۱۴): بهینه‌سازی هزینه تأمین توان شبکه ۳۳ باسه به ازای توابع هدف متفاوت

در این بخش مطالعات انجام شده در شبکه ۳۳باسه برای شبکه ۶۹باسه تکرار می‌شود. نتایج شبیه‌سازی حاصل از این شبکه در شکل‌های (۱۵) تا (۱۸) آورده شده است. پیداست که با کلیدزنی و بکارگیری بهینه منابع تولیدپراکنده بنحو مطلوبی به اهداف موردنظر یعنی: کاهش تلفات توان، بهبود پروفیل ولتاژ، متعادلسازی ولتاژ و کاهش هزینه تأمین توان دست یافته‌ایم. ضمن اینکه با مقایسه‌ای که بین الگوریتم‌های بهینه-سازی چرخه آب، ازدحام ذرات و ژنتیک نیز انجام شد، به این نتیجه رسیدیم که الگوریتم بهینه‌سازی چرخه آب عملیات بهینه‌سازی بسیار بهتری به نسبت الگوریتم‌های ازدحام ذرات و ژنتیک داشته است.

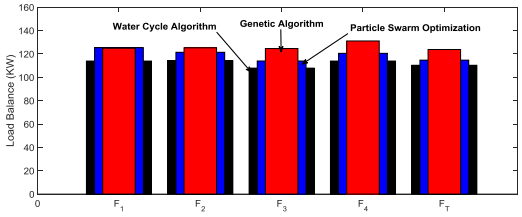


شکل(۱۵): بهینه‌سازی تلفات توان شبکه ۶۹ باسه به‌ازای توابع هدف متفاوت

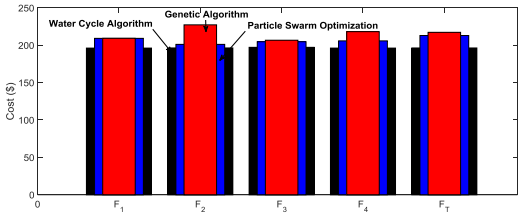


شکل (۱۶): بهینه‌سازی پروفیل ولتاژ شبکه ۶۹ باسه به ازای توابع هدف متفاوت

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.3.3.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 3- Autumn 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]



شکل(۱۷): بهینه‌سازی تعادل ولتاژ شبکه ۶۹ باسه به ازای توابع هدف متفاوت



شکل (۱۸): بهینه‌سازی هزینه تأمین توان شبکه ۶۹ باسه به ازای توابع هدف متفاوت

۵- نتیجه‌گیری

به‌کارگیری منابع انرژی بازآرایی در شبکه‌های توزیع که بعنوان منابع تولیدپراکنده درنظر گرفته می‌شوند می‌تواند راهکار مناسبی جهت کاهش هزینه‌های تأمین توان، کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و افزایش بهره‌وری از انرژی باشد. در این پایان‌نامه درابتدا به دنبال ارائه یک شبکه بازآرایی‌شده هوشمند توزیع بودیم که نقش تولیدات‌پراکنده در جهت رسیدن به این هدف بسیار پر رنگ بوده است. هدف کلی و اساسی این تحقیق کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ بوده است. ضمن اینکه در ادامه نیز توابع هدف دیگری همچون متعادلسازی ولتاژ و کاهش هزینه‌های تأمین توان نیز درنظر گرفته شد. در این راستا، مسئله بهینه-سازی تعریف شده است که با استفاده از الگوریتم جدید و کارآمد چرخه آب حل شده است. جهت اثبات کارایی این الگوریتم، مسئله مورد مطالعه با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی ازدحام ذرات و ژنتیک حل شد. ضمن اینکه مسئله بهینه بازآرایی‌شده هوشمند توزیع تحت دو شبکه متفاوت ۳۳باسه و ۶۹باشه انجام شده است. بعد از انجام شبیه‌سازی‌های مربوطه و استخراج نتایج به این نتیجه رسیدیم که ابتداً با یک طرح کلیدزنی و بکارگیری بهینه منابع تولید پراکنده می‌توان بنحو مطلوبی تلفات توان را کاهش داده و همچنین پروفیل ولتاژ را بهبود دهیم ضمن اینکه متعادلسازی ولتاژ و کاهش هزینه‌ها نیز حاصل می‌شود. بعلاوه، تأثیر الگوریتم‌های کارآمد و جدید مثل الگوریتم چرخه آب در حل دقیق این مسئله بسیار چشمگیر است.

مراجع

[1] M. Babaei, R. Jafari-Marandi, S. Abdelwahed and J. Kluss, "A novel approach for real-time implementation of MVDC shipboard power system reconfiguration", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 100, pp. 240-252, 2018.

[2] H. S. Ramadan, A. M. Helmi, "Optimal reconfiguration for vulnerable radial smart grids under uncertain operating conditions", Computers & Electrical Engineering, Vol. 93, pp. 107310, 2021.

[3] P. Rossoni, E. A. Belati, R. da S. Benedito, "A hybrid approach for optimization of electric power distributed networks with photovoltaic sources", Electric Power Systems Research, Vol. 211, pp. 108183, 2022.

[4] E.J. de Oliveira, G.J. Rosseti, L.W. de Oliveira, F.V. Gomes and W. Peres, "New algorithm for reconfiguration and operating procedures in electric distribution systems", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 57, pp. 129–134, 2014.

[5] A. Srinivasan, S. Devakirubakaran and B. Meenakshi Sundaram, "Mitigation of mismatch losses in solar PV system-Two-step reconfiguration approach", Solar Energy, Vol. 206, pp. 640-654, 2020.

[6] Pérez Abril, "NSGA-II phase balancing of primary distribution circuits by the reconnection of their circuit laterals and distribution transformers", Electric Power Systems Research, Vol. 109, pp. 1–7, 2014.

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

[8] U. Raut and S. Mishra, "An improved Elitist–Jaya algorithm for simultaneous network reconfiguration and DG allocation in power distribution systems", Renewable Energy Focus, Vol. 30, pp. 92-106, 2019.

[9] A. Naderipour, A. Abdullah, M. H. Marzbali, S. A. Nowdeh, "An improved corona-virus herd immunity optimizer algorithm for network reconfiguration based on fuzzy multi-criteria approach", Expert Systems with Applications, Vol. 187, pp. 115914, 2022.

[10] C. L. B. Silveira, A. Tabares, L. T. Faria, J. F. Franco, "Mathematical optimization versus Metaheuristic techniques: A performance comparison for reconfiguration of distribution systems", Electric Power Systems Research, Vol. 196, pp. 107272, 2021.

[11] E.M. Moghaddam, M.R. Narimani, M.H. Khooban, A. Azizivahed and M.J. Sharifi, "Multi-objective distribution feeder reconfiguration to improve transient stability, minimize power loss and operation cost using an enhanced evolutionary algorithm at the presence of distributed generations", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 76, pp. 35–43, 2016.

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

[13] Y. Qu, C. C. Liu, J. Xu, Y. Sun, S. Liao, D. Ke, "A global optimum flow pattern for feeder reconfiguration to minimize power losses of unbalanced distribution systems ", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 131, pp. 107071, 2021.

[14] R. Hooshmand and S.H. Soltani, "Simultaneous optimization of phase balancing and reconfiguration in distribution networks using BF–NM algorithm", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 41, pp. 76–86, 2012.

[15] S. Essallah, A. Khedher, "Optimization of distribution system operation by network reconfiguration and DG integration using MPSO algorithm", Renewable Energy Focus, Vol. 34, pp. 37-46, 2020.

[16] O. Hasançebi, S. Çarbas, E. Dogan, F. Erdal and M. P. Saka, "Performance evaluation of metaheuristic search

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.3.3.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 3- Autumn 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

techniques in the optimum design of real size pin jointed structures", Computers & Structures, Vol. 87, No. 5-6, pp. 284–302, 2009.
[17] T. Dede, S. Bekiroglu and Y. Ayvaz, "Weight minimization of trusses with genetic algorithm", Applied Soft Computing, Vol. 11, pp. 2565–2575, 2011.
[18] S. Panda, S. C. Swain, P. K. Rautray, R. K. Malik and G. Panda, "Design and analysis of SSSC-based supplementary damping controller", Simulation Modelling Practice and Theory, Vol. 18, pp. 1199-1213, 2010.
[19] M. R. Esmaili, A. Khodabakhshian, R. Hooshmand and P. Siano, "A new coordinated design of sectionalizing scheme and load restoration process considering reliability of transmission system", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 102, pp. 23-37, 2018.
[20] A. A. Heidari, R. A. Abbaspour, and A. R. Jordehi, "Gaussian bare-bones water cycle algorithm for optimal reactive power dispatch in electrical power systems", Applied Soft Computing, Vol. 57, pp. 657–671, 2017.

رزومه



ماشاالله طلاوری در رامهرمز متولد شده است. تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد شادگان سپری کرده است. هم اکنون دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت دانشگاه آزاد اسلامی واحد ایذه می‌باشد. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه کیفیت توان و بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت است و در حال حاضر مهندس ناظر شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی می‌باشد. ایشان همچنین فعالیت‌های صنعتی متعددی در سطح استان با شرکت‌های برق منطقه‌ای و توزیع برق داشته است.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.3.3.9]
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 3- Autumn 2022

Optimal distribution network configuration using water cycle optimization algorithm with presence of distributed generation power plants

Mashallah Talavari
Office of Sugarcane Development and By-Products Commercial Co, Ahvaz, Iran
mashalatalavari@gmail.com

Abstract: Providing the required resources to meet the energy demand of industry and minimizing the effects of these resources are the major current challenges of the electricity industry. One of the strategic solutions to this challenge is reconstruction of the smart distribution network, while not only increases the efficiency, but also reduces the costs. The advent of large power plants led to obsolescence of the small generators to generate electricity. However, the development of small-scale power generation technologies and the theory of reconstruction in the electricity industry, along with the environmental problems have led to the re-use of these generators in the electricity industry. By increasing the costs of transmitting and distributing, it is possible for DG to provide electricity for consumers with more affordable price. In these systems, the generated power by DG sources is controlled which can improve the voltage profile and reduce network losses with proper control of distribution network switches. These issues are mainly analyzed in the form of an optimization problem to improve the desired goals. In this paper, the problem of reconstruction in distribution networks is performed by determining the size of distributed generation to minimize the power losses and improve the network voltage profile. The desired optimization problem is solved by using the water cycle optimization algorithm. Reconstruction studies have been performed under the 33-bus and 69-bus systems. The simulations of this paper have been performed using MATLAB software.

Keywords: reconstruction, water cycle optimization algorithm, distributed generation resources, power loss reduction, voltage profile improvement.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.3.3.9]
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 3- Autumn 2022