

## ترکیب جدیدی از سیستم استنتاج فازی و الگوریتم علفهای هرز به منظور بازآرایی همزمان با جایابی و تعیین ظرفیت بهینه تولیدات پراکنده در شبکه‌های توزیع

هاجر باقری طولابی<sup>(۱)</sup> - محمودرضا شاکرمی<sup>(۲)</sup>

(۱) مربی - گروه برق، دانشکده مهندسی، واحد خرم آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم آباد، لرستان، ایران  
(۲) استادیار - گروه مهندسی برق قدرت، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، لرستان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۹/۱۳

**خلاصه:** در این مقاله یک روش بهینه‌سازی ترکیبی به منظور بازآرایی و تخصیص مناسب تولیدات پراکنده در فیدهای شبکه توزیع برق ارائه شده است. اهداف این بهینه‌سازی، کاهش تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ و افزایش تعادل بار در شبکه توزیع می‌باشند. از الگوریتم علفهای هرز جهت تعیین آرایش بهینه شبکه توزیع همراه با تعیین مکان و ظرفیت مناسب برای واحدهای تولید پراکنده استفاده شده است. به منظور بهبود توانایی این الگوریتم از تئوری فازی بهره گرفته شده تا مسئله بهینه‌سازی چند منظوره به مسئله بهینه‌سازی تک هدفه تبدیل شود. شبکه توزیع ۳۳ باسه جهت ارزیابی روش پیشنهادی در هر سه بار نامی، سبک و سنگین مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که روش پیشنهادی، در بهبود هر سه شاخص مورد آزمایش، عملکرد قابل قبولی داشته و نیز در مقایسه با الگوریتم‌های دیگر مانند الگوریتم بهینه‌سازی غذایابی و الگوریتم ژنتیک موفق‌تر عمل نموده است.

**کلمات کلیدی:** الگوریتم علفهای هرز، بازآرایی، تولید پراکنده، سیستم استنتاج فازی، شبکه توزیع.

## Novel Fuzzy-IWO Method for Reconfiguration Simultaneous Optimal DG Units Allocation

Hajar Bagheri<sup>(1)</sup> - Mahmood Reza Shakarami<sup>(2)</sup>

(1) Indicator - Department of Electrical Engineering, Khoramabad Branch, Islamic Azad University, Khoramabad, Lorestan, Iran  
hajarbagheri1@gmail.com

(2) Assistant Professor - Department of Electrical Engineering, Lorestan University, Lorestan, Khoramabad, Iran  
hajar.bagheri@live.com

This paper presents a new hybrid method for optimal multi-objective reconfiguration simultaneous determining the optimal size and location of Distributed Generation (DG) in a distribution feeder. The purposes of this research are reducing the losses, improving the voltage profile and equalizing the feeder load balancing in a distribution system. Invasive Weed Optimization (IWO) is used to simultaneously reconfigure and identify the optimal capacity and location for installation of DG units in the distribution network. In order to facilitate the algorithm for multi-objective search ability, the optimization problem is formulated for minimizing fuzzy performance indices. The multi-objective optimization problem is transformed into a fuzzy inference system (FIS), where each objective function is quantified into a set of fuzzy objectives selected by fuzzy membership functions. The proposed method is validated using the IEEE 33 bus test system at nominal load. The obtained results prove this combined technique is more accurate and has an efficient convergence property compared to other intelligent search algorithms. Also, the obtained results lead to the conclusion that multi-objective reconfiguration along with placement of DGs can be more beneficial than separate single-objective optimization.

**Index Terms:** Fuzzy inference system, multi objective reconfiguration, distributed generation, invasive weed optimization.

نویسنده مسئول: هاجر باقری طولابی، واحد خرم آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، hajarbagheri1@gmail.com

## ۱- مقدمه

اخیراً محققین دیدگاه جدیدی با عنوان بازآرایی همزمان با تخصیص بهینه واحدهای تولیدات پراکنده را در شبکه توزیع مطرح کرده‌اند که سعی می‌شود با روشهای بهینه‌سازی قوی به حل این مسئله پیچیده و غیرخطی پرداخته شود.

در این راستا در این مقاله، از ترکیب الگوریتم علف‌های هرز<sup>۳</sup> و سیستم استنتاج فازی به منظور بازآرایی چند منظوره همراه با تخصیص بهینه واحدهای تولیدات پراکنده در شبکه توزیع استفاده شده است. واحدهای تولیدات پراکنده انتخاب شده، قابلیت تزریق هر دو نوع توان‌های اکتیو و راکتیو را دارند و کاهش تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ و بهبود تعادل بار فیدر، اهداف اصلی این مسئله بهینه‌سازی هستند.

## ۲- فرمول‌بندی مسئله

### ۲-۱- معادلات پخش بار

پخش بار در سیستم توزیع بر اساس مجموعه‌ای از معادلات ساده بازگشتی به صورت زیر محاسبه می‌شود [۸]:

$$P_{k+1} = P_k - P_{\text{loss},k} - P_{Lk+1}$$

$$= P_k - \frac{R_k}{|V_k|^2} \left\{ P_k^2 + (Q_k + Y_k |V_k|^2)^2 \right\} - P_{Lk+1}, \quad (1)$$

$$Q_{k+1} = Q_k - Q_{\text{loss},k} - Q_{Lk+1}$$

$$= Q_k - \frac{X_k}{|V_k|^2} \left\{ P_k^2 + (Q_k + Y_k |V_k|^2)^2 \right\} - Y_{k1} |V_k|^2 - Y_{k2} |V_{k+1}|^2 - Q_{Lk+1}$$

$$|V_{k+1}|^2 = |V_k|^2 + \frac{R_k^2 + X_k^2}{|V_k|^2} (P_k^2 + Q_k^2) - 2(R_k P_k + X_k Q_k) \quad (2)$$

$$= |V_k|^2 + \frac{R_k^2 + X_k^2}{|V_k|^2} (P_k^2 + (Q_k + Y_k |V_k|^2)^2) - 2(R_k P_k + X_k (Q_k + Y_k |V_k|^2)).$$

که:

$P_k$ : توان حقیقی در باس  $k$

$Q_k$ : توان راکتیو در باس  $k$

$P_{Lk+1}$ : توان حقیقی در باس  $k+1$

$Q_{Lk+1}$ : توان حقیقی در باس  $k+1$

$Q_{\text{loss},k}$ : تلفات توان راکتیو باس  $k$

$P_{\text{loss},k}$ : تلفات توان حقیقی باس  $k$

$X_k$ : راکتانس خط ارتباطی بین باس  $k$  و  $k+1$

$R_k$ : مقاومت خط ارتباطی بین باس  $k$  و  $k+1$

$Y_k$ : admittانس موازی باس  $k$  و

$V_k$ : دامنه ولتاژ باس  $k$  می‌باشند.

تلفات توان وقتی که یک منبع تولید پراکنده در محل دلخواه در شبکه نصب شود (همانطور که در شکل (b) ۱ نشان داده شده است)، برابر است با:

شبکه‌های توزیع برق اکثراً به صورت شعاعی طراحی می‌شوند. این شبکه‌ها برای تامین افزایش توان مصرفی، اغلب به صورت نزدیک یا دورتر از محدوده حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرند و نسبت به افزایش توان ناگهانی، عکس‌العمل نشان می‌دهند. اگر این تغییرات توان کنترل نشود برخی از خطوط در مسیرهای خاص، ممکن است دچار اضافه بار شوند، همچنین بعضی تغییرات توان باعث می‌شوند امنیت شبکه به خطر بیفتد. استفاده از منابع تولیدات پراکنده و نیز بازآرایی<sup>۱</sup> مناسب شبکه، از جمله راهکارهایی هستند که می‌توانند این مشکلات را تا حدود زیادی بهبود دهند.

تای سوئیچ‌ها و سکشنلایزرها دو نوع سوئیچ مورد استفاده در سیستم‌های توزیع هستند. با تغییر وضعیت باز و بسته بودن این سوئیچ‌ها در زمان بهره برداری، ساختار شبکه توزیع نیز تغییر خواهد کرد. این تغییر در پیکربندی سیستم توزیع به عنوان بازآرایی شناخته می‌شود و با اهداف مختلفی مانند کاهش تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ، افزایش تعادل بار و ... انجام می‌شود [۱].

بازآرایی شبکه‌های توزیع به منظور کاهش تلفات، برای اولین بار توسط مرلین و بک [۲] ارائه شد. روش آن‌ها با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی شاخه و قید، به تعیین ساختاری از شبکه توزیع می‌پردازد که حداقل تلفات را داراست. تالسکی و راجیسیک [۳] یک تکنیک بهینه‌سازی برای تعیین ساختار سیستم توزیع با حداقل تلفات انرژی برای یک دوره معین ارائه دادند.

ژو و همکارانش [۴] برای حل مسئله بازآرایی، از ترکیب قوانین ابتکاری و سیستم استنتاج فازی<sup>۲</sup> با هدف بهینه‌سازی استفاده کردند.

نارا و همکارانش [۵] با بهره‌گیری از الگوریتم ژنتیک (GA) به حل مسئله بازآرایی شبکه توزیع پرداختند. کومار و جایپراتی از الگوریتم بهینه‌سازی غذاییابی باکتری جهت بازآرایی شبکه توزیع به منظور کاهش تلفات بهره‌برده‌اند [۶]. تولیدات پراکنده ژنراتورهای کوچکی هستند که معمولاً با بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر به سیستم قدرت متصل شده و برق محلی را برای مصرف‌کننده بار تأمین می‌نمایند.

تولیدات پراکنده از آخرین تکنولوژی‌های مدرن هستند که قابل اطمینان بوده و در برخی نواحی می‌توانند حتی با ژنراتورهای بزرگ رقابت نمایند. سیستم‌های تولیدات پراکنده از قبیل مولدهای بادی، فتوولتائیک‌ها، موتورهای احتراق، میکروتوربین‌ها و غیره، می‌توانند باعث کاهش تلفات، بهبود پایداری و همچنین کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری در سیستم‌های انتقال و گسترش شبکه‌های توزیع گردند. اندازه مناسب و همچنین مکان بهینه این تجهیزات، کلید اصلی برای رسیدن به این هدف می‌باشند [۷]. جابجایی بهینه تولیدات پراکنده در شبکه توزیع یک مسئله بهینه‌سازی با متغیرهای گسسته و پیوسته می‌باشد.

### ۳- مصالحه بین توابع هدف مختلف با کمک سیستم استنتاج

#### فازی

به منظور ایجاد مصالحه بین ترم‌های مختلف تابع هدف، از تئوری فازی استفاده شده است. در این روش با استفاده از دانش فرد خبره، سه تابع هدف در قالب یک سیستم استنتاج فازی با یکدیگر ترکیب و بدین وسیله مسئله بهینه‌سازی چند هدفه به یک مسئله بهینه‌سازی تک هدفه تبدیل می‌گردد.

برای این منظور با استفاده از قوانین مناسب، ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی یعنی تابع هدف نهایی که قرار است بهینه گردد تعیین می‌شود [۹].

توابع عضویت برای ورودی‌ها و خروجی سیستم فازی با رابطه (۹) داده شده است:

$$\mu_{f_i}(X) = \begin{cases} 1, & f_i(X) \leq f_i^{\min} \\ \frac{f_i^{\max} - f_i(X)}{f_i^{\max} - f_i^{\min}}, & f_i^{\min} < f_i(X) < f_i^{\max} \\ 0, & f_i^{\max} \leq f_i(X) \end{cases} \quad (9)$$

### ۴- الگوریتم علف‌های هرز

الگوریتم علف‌های هرز، یکی از الگوریتم‌های برجسته در حل مسائل بهینه‌سازی می‌باشد. الگوریتم علف‌های هرز در روش بهینه‌سازی از عملکرد رشد علف‌های هرز در طبیعت الهام گرفته است. این الگوریتم در سال ۲۰۰۶ توسط محرابیان و لوکاس ارائه گردید.

در طبیعت علف‌های هرز رشدی شدید دارند و این رشد شدید تهدید جدیدی برای گیاهان مفید می‌باشد. یکی از ویژگی‌های مهم علف‌های هرز، پایداری و تطابق پذیری بسیار بالای آن‌ها در طبیعت می‌باشد که این ویژگی مبنای بهینه‌سازی در الگوریتم علف‌های هرز قرار گرفته است.

مراحل الگوریتم فراباکتاری علف‌های هرز به صورت زیر می‌باشد:

- مقدار دهی اولیه جمعیت:
- در این مرحله تعداد محدودی از دانه‌های علف‌های هرز در محیط پراکنده می‌شوند.
- تولید مثل علف‌های هرز:
- هر دانه تا رسیدن به مرحله گل‌دهی رشد می‌نماید. هر عضو نیز می‌تواند بر مبنای میزان برازندگی‌اش بین دو مقدار تعیین‌شده مینیمم و ماکزیمم (به ترتیب به مقدار  $S_{\min}$  و  $S_{\max}$  دانه) به صورت خطی تولید دانه نماید.
- پراکندگی محیطی:
- دانه‌های تولید شده با استفاده از توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس‌های مختلف نزدیک به والدشان پراکنده می‌گردند و هر دانه منجر به ایجاد گیاهی جدید می‌شود. در این مرحله دانه‌های تولید شده به طور تصادفی در فضای چند بعدی مسأله پراکنده می‌شوند. تابع

$$P_{DG,loss} = \frac{R_k}{V_k^2} (P_k^2 + Q_k^2) \quad (3)$$

$$+ \frac{R_k}{V_k^2} (P_G^2 + Q_G^2 - 2P_k P_G - 2Q_k Q_G) \left(\frac{G}{L}\right)$$

که در آن:

- $P_G$ : توان حقیقی تزریقی توسط تولید پراکنده،
- $Q_G$ : توان راکتیو تزریقی توسط تولید پراکنده،
- $G$ : فاصله منبع تا محل تولید پراکنده به کیلومتر،
- $L$ : طول کل فیدر از منبع تا باس  $k$  می‌باشند.

### ۲-۲- تابع هدف و قیود مسئله

تابع هدف  $F(X)$  شامل سه هدف کاهش تلفات، افزایش توازن بار، و بهبود پروفیل ولتاژ است و در قالب یک رابطه ریاضی زیر به صورت زیر فرمول بندی شده است:

$$F(X) = [P_{loss}, LBI, VPI] \quad (4)$$

شاخص  $P_{loss}$  مربوط به کاهش تلفات است و با معادله (۵) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$P_{loss} = \sum_{k=1}^{n_f} R_k \frac{P_k^2 + Q_k^2}{V_k^2} \quad (5)$$

شاخص  $LBI$  نیز مربوط به افزایش تعادل بار فیدر بوده و با معادله (۶) ارائه می‌شود:

$$LBI = \sum_{F_j} \left( \frac{I_{F_j}}{I_{F_{avg}}} \right)^2 \quad (6)$$

که در آن،  $I_{F_j}$  جریان عبوری از خط  $j$  بوده و  $I_{F_{avg}}$  نیز به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$I_{F_{avg}} = \frac{1}{n_f} \sum_{j=1}^{n_f} I_{F_j} \quad (7)$$

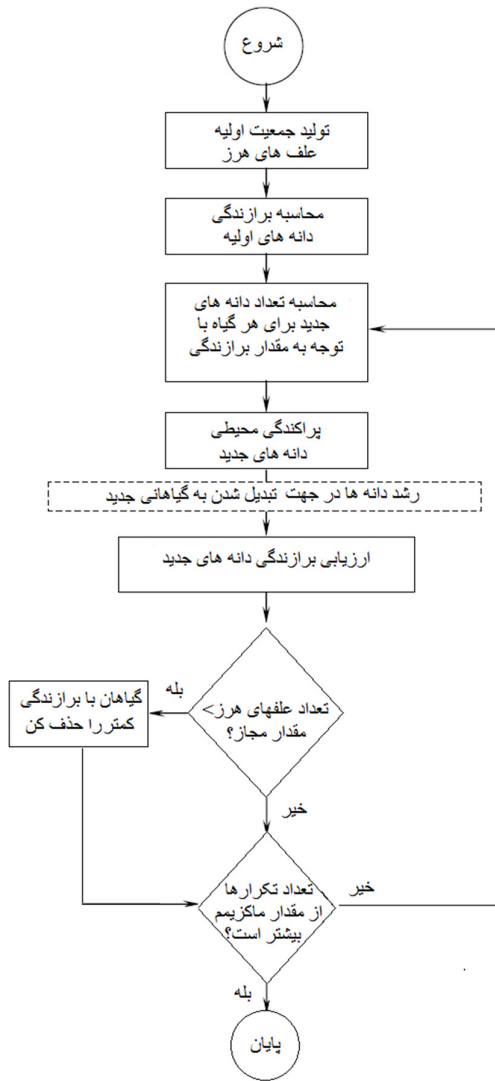
$VPI$  سومین ترم تابع هدف نیز مربوط به بهبود پروفیل ولتاژ است و به صورت رابطه زیر ارائه می‌گردد:

$$VPI = \sum_{k \in LB} |V_k - V_{ref,k}| \quad (8)$$

در معادله بالا،  $LB$  مجموعه بار باس‌ها و  $V_{ref,k}$  ولتاژ نامی باس  $k$  است.

کاهش هر سه ترم تابع هدف، با رعایت قیود ذکر شده منجر به بهبود وضعیت شبکه خواهد شد. قیود مسئله عبارتند از:

- ۱- حفظ محدوده حداقل و حداکثر ولتاژ باسها
- ۲- حفظ محدوده حداقل و حداکثر جریان شاخه‌ها
- ۳- حداکثر توان تولید پراکنده متصل به باس  $k$  ام برابر با مجموع توان حقیقی این باس و تلفات آن باشد.
- ۴- ساختار شعاعی شبکه حفظ شود.
- ۵- همه باس‌های موجود در شبکه تغذیه شوند.



شکل (۱): مراحل یافتن پاسخ بهینه توسط الگوریتم علف‌های هرز  
Fig. (1): The flowchart of the IWO algorithm

#### ۵- شبیه‌سازی و نتایج عددی

بر اساس روش ارائه شده، یک برنامه تحلیلی در محیط نرم‌افزار MATLAB توسعه داده شده است. به منظور بررسی تکنیک ارائه شده، برنامه مورد نظر بر روی یک سیستم نمونه، آزمایش شده است. حداکثر ظرفیت تعریف شده برای هر واحد تولید پراکنده بین ۰ تا ۲ مگا ولت آمپر است [۱۰-۱۱]. برای شبیه‌سازی شبکه و بررسی کارایی تکنیک پیشنهادی، چهار سناریوی مختلف به شرح زیر تجزیه و تحلیل شده‌اند: سناریوی ۱: شبکه تست بدون بازآرایی و نصب واحدهای تولید پراکنده. سناریوی ۲: شبکه تست، همراه با بازآرایی چند منظوره. سناریوی ۳: شبکه تست، همراه با تخصیص بهینه تولیدات پراکنده. سناریوی ۴: شبکه تست همراه با بازآرایی و نیز تخصیص بهینه تولیدات پراکنده.

توزیع تصادفی، تابعی نرمال بوده بدین معنی که مقدار متوسط آن برابر صفر و انحراف معیار آن در مراحل مختلف، متغیر می‌باشد. مقدار انحراف معیار ( $\sigma$ ) تابع توزیع نرمال در هر مرحله، از مقدار اولیه تعریف شده ( $\sigma_{initial}$ ) تا مقداری نهایی ( $\sigma_{final}$ ) کاهش می‌یابد. رابطه پارامترهای بالا و انحراف معیار را می‌توان به صورت رابطه زیر بیان کرد:

$$\sigma_{iter} = \frac{(\text{iter}_{max} - \text{iter})^n}{\text{iter}_{max}^n} (\sigma_{initial} - \sigma_{final}) + \sigma_{final} \quad (10)$$

در معادله (۱۰)،  $\text{iter}_{max}$ ، بیشترین تعداد دفعات تکرار می‌باشد.  $\sigma_{iter}$  مقدار انحراف معیار در انجام عملیات و  $n$  میزان غیر خطی بودن مدولاسیون را نشان می‌دهند.

#### • حذف رقابتی:

برای کنترل حداکثر تعداد علف‌های هرز نوعی فرآیند حذف رقابتی در بین آن‌ها انجام می‌گیرد. این فرآیند طوری است که علف‌های دارای میزان کم برازندگی باید از میان بقیه علف‌های هرز حذف شوند. تولید مثل علف‌های هرز تا رسیدن به حداکثر گیاهان ادامه می‌یابد و فقط گیاهان با مطلوبیت بیشتر می‌توانند باقی مانده و دانه بسازند و بقیه علف‌های هرز از بین می‌روند. بعد از چند مرحله از تکرار تعداد دانه‌ها در کلونی در اثر تولید مثل به بیشترین حد خود می‌رسند. با رسیدن به تعداد ماکزیمم دانه‌های مجاز ( $p_{max}$ ) باید مکانیزمی برای حذف دانه‌های ضعیف به کار گرفته شود. مکانیزم حذف دانه‌های ضعیف به صورت ذیل می‌باشد:

هنگامی که بیشترین دانه‌های مجاز تولید شدند هر دانه می‌تواند با توجه به روش گفته شده در قسمت تولید مثل دانه‌های جدیدی تولید کند. دانه‌های تولید شده می‌توانند در محیط مورد بحث طبق روش توضیح داده شده در بخش پراکندگی محیطی، توزیع و پراکنده شوند. هنگامی که کل دانه‌ها در محل توزیع شدند به هر دانه امتیازی داده می‌شود. در مرحله آخر دانه‌ها با امتیاز کمتر حذف می‌شوند به نحوی که جمعیت دانه‌ها همان حد ماکزیمم ( $p_{max}$ ) بماند.

#### • ادامه مراحل بالا تا رسیدن به شرط توقف تعیین شده.

مراحل تشریح شده بالا مربوط به بهینه‌سازی توسط الگوریتم علف‌های هرز به طور خلاصه در فلوجارت شکل (۱) نمایش داده شده است.

پارامترهای مناسب برای شبیه سازی با الگوریتم علفهای هرز به کمک آزمون و خطا به دست آمده و در جدول (۱) ارائه شده‌اند.

Table (1): The IWO selected parameters

جدول (۱): پارامترهای انتخاب شده برای الگوریتم علفهای هرز

NO میزان جمعیت اولیه	۲۰
$p_{max}$ ماکزیمم دانه‌هایی که مجازند در محیط باشند	۱۵
$S_{min}$ (حداقل تعداد دانه‌هایی که هر دانه می‌تواند تولید کند)	۱
$S_{max}$ (حداکثر تعداد دانه‌هایی که هر دانه می‌تواند تولید کند)	۵
n میزان غیر خطی بودن مدولاسیون	۳
$\sigma_{initial}$ مقدار اولیه انحراف معیار	۱۰
$\sigma_{initial}$ مقدار نهایی انحراف معیار	۰.۹
$iter_{max}$ حداکثر دفعات تکرار	۱۰۰

#### ۵-۱- سیستم تست نمونه

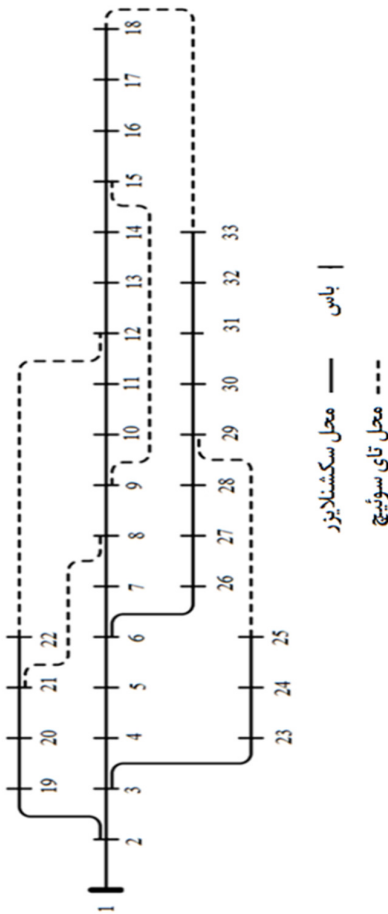
شبکه تست ۳۳ باسه، به عنوان فیدر نمونه برای ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی، انتخاب شده است.

دیاگرام تک خطی این فیدر در شکل (۲) نشان داده شده است. این شبکه توزیع، یک فیدر ۱۲/۶۶ کیلو ولت، ۳۳ باسه، با ۳۲ سکشنلایزر و ۵ تای سوئیچ می‌باشد. اطلاعات الکتریکی کامل هر سکشن در مرجع [۱] ارائه شده است.

باید به این نکته توجه کرد که نصب واحدهای تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع، مستلزم بررسی اقتصادی دقیق همه‌جانبه می‌باشد. مسائلی از قبیل هزینه اولیه و ماهانه واحد تولید پراکنده، هزینه تعمیر و نگهداری و نیز دوره بازگشت سرمایه از چالشهای مهم اقتصادی استفاده از این واحدهاست. اطلاعات بیشتر در زمینه آنالیز اقتصادی نصب منابع تولید پراکنده در [۱۳] موجود است.

#### ۵-۲- نتایج شبیه‌سازی

نتایج اعمال تکنیک پیشنهادی بر روی شبکه تست ۳۳ باسه، برای هر چهار سناریو در جدول (۲)، ارائه شده است. همان طور که در این جدول دیده می‌شود، تلفات توان حقیقی برای سیستم پایه ۲۰۲/۵ کیلووات است که برای سناریوهای ۲ تا ۴ به ترتیب به مقادیر ۱۳۶/۱، ۷۵/۳ و ۳۰/۱ کیلووات کاهش یافته است. شاخص LBI نیز که مربوط به برآورد میزان بهبود در تعادل بار فیدر می‌باشد، برای هر چهار سناریو، به ترتیب به صورت ۶۷/۷، ۴۹/۴، ۴۸/۴ و ۴۷/۳ به دست آمده است. شاخص بهبود پروفیل ولتاژ، VPI، نیز برای سناریوهای ۱ تا ۴ به ترتیب برابر ۱/۷، ۱/۴، ۱/۲ و ۱/۰۷ به دست آمده است. شماره تای سوئیچ‌های پیشنهادی برای بازآرایی شبکه، محل و ظرفیت تعیین شده برای تولیدات پراکنده نیز در جدول (۲) ارائه شده است.



شکل (۲): دیاگرام تک خطی فیدر نمونه

Fig. (2): Single line diagram of the 33 bus test system

شکل (۳) درصد بهبود هر سه شاخص را پس از اعمال تکنیک پیشنهادی در شبکه تست شده نسبت به حالت پایه، برای سناریوهای ۲ تا ۴ نشان می‌دهد. از شکل (۳) نتایج زیر استخراج می‌شود:

- هر سه سناریوی ۲ تا ۴ منجر به بهبود هر سه شاخص کاهش تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ، و تعادل بار فیدر نسبت به وضعیت پایه (سناریوی ۱) می‌شوند.

- سناریوی ۴ یعنی بازآرایی چندمنظوره همراه با تخصیص بهینه منابع تولید پراکنده، بیشترین بهبود را در هر سه شاخص کاهش تلفات، پروفیل ولتاژ، و تعادل بار فیدر در میان سناریوهای دیگر نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان گفت بازآرایی چند منظوره همزمان با تعیین مکان و ظرفیت بهینه تولیدات پراکنده می‌تواند مفیدتر از بازآرایی یا مکان‌یابی بهینه تولید پراکنده به تنهایی باشد.

هر سه شاخص VPI، LBI، و  $P_{loss}$  برای سناریوی ۳ بهبود بیشتری از سناریوی ۲ داشته‌اند. این یعنی تخصیص بهینه تولید پراکنده از بازآرایی در بهبود شرایط شبکه توزیع موثرتر است. گرچه باید در نظر داشت هزینه اقتصادی بازآرایی به مراتب از هزینه لازم جهت تهیه،

این جدول مشاهده می‌شود، هر سه نوع بار سبک، نامی، و سنگین سناریوی ۴، منجر به بهبود هر سه شاخص کاهش تلفات، پروفیل ولتاژ، و تعادل بار فیدر نسبت به حالت پایه (سناریوی ۱) می‌شود که نشان از عملکرد رضایت‌بخش تکنیک پیشنهادی در شرایط تغییر میزان تقاضای بار مصرفی دارد.

نگهداری، و بهره‌برداری از تولید پراکنده کمتر است. به منظور بررسی اثرات تغییر بار [۱۲] بر روی عملکرد روش پیشنهادی شبکه توزیع نمونه در سه بار سبک (۰/۵ پرینیت)، نامی (۱ پرینیت) و سنگین (۱/۶) پرینیت برای سناریوهای ۱ و ۴ مجدداً شبیه‌سازی شده است. نتایج به دست آمده در جدول (۳) خلاصه شده است. همانطور که از

Table (2): Obtained results for the 33 bus test system

جدول (۲): نتایج به دست آمده بر روی شبکه ۳۳ باسه

سناریو	تای سوئیچ‌های پیشنهادی	ظرفیت تولیدات پراکنده (MVA) @باسها	$P_{loss}$ (KW)	VPI	LBI
سناریوی ۱	33,34,35,36,37	-	202/5	1/7	67/71
سناریوی ۲	32,20,17,10,9	-	136/19	1/403	49/43
سناریوی ۳	33,34,35,36,37	0/72,0/519,0/249 6,10,33@	75/34	1/257	48/42
سناریوی ۴	7,14,27,32,37	1/1,1/11 6,30,140/78@	30/41	1/703	47/32

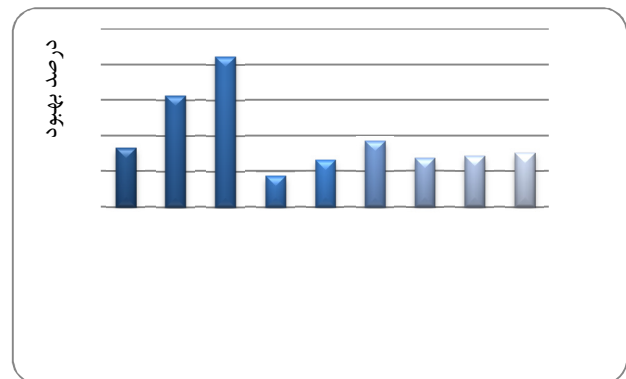
با اعمال این روش بر روی یک سیستم نمونه ۳۳ باسه مورد ارزیابی قرار گیرند.

نتایج به دست آمده نشان می‌دهند به منظور بهبود هر سه شاخص، یعنی کاهش تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ و افزایش تعادل بار، عملیات بازآرایی همزمان با تعیین تخصیص بهینه تولیدات پراکنده می‌تواند خیلی مفیدتر از بازآرایی یا مکان‌یابی بهینه تولید پراکنده به صورت جداگانه باشد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد جهت بهبود شرایط شبکه توزیع، تخصیص بهینه تولیدات پراکنده از بازآرایی شبکه به مراتب موثرتر است. شبکه نمونه در سه بار سبک، نامی و سنگین برای دو سناریوی شبکه پایه و سناریوی روش پیشنهادی ترکیبی شبیه‌سازی شده و نتایج به دست آمده نشان از عملکرد موفق تکنیک ترکیبی پیشنهادی در جهت بهبود هر سه شاخص مورد آزمایش شبکه برای هر سه نوع بار تست شده دارد.

همچنین نتایج روش ترکیبی پیشنهادی با نتایج حاصل از الگوریتم بهینه‌سازی غذایابی باکتری، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم علف‌های هرز (بدون هرگونه بهینه‌سازی با سیستم استنتاج فازی) مقایسه شده و نتایج حاصل از مقایسه تأیید می‌کند که روش ترکیبی پیشنهادی عملکرد بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌های هوشمند ذکر شده در بهبود شاخصهای مورد آزمایش داشته است.

پی‌نوشت:

1. Reconfiguration
2. Fuzzy Inference System
3. Invasive Weed Optimization



شکل (۳): درصد بهبود شاخصها برای سناریوهای ۲، ۳ و ۴.  
Fig. (3): The percent improvement of indexes for scenarios 2, 3 and 4

نتایج مقایسه روشهای مختلف شامل الگوریتم ژنتیک (GA)، الگوریتم بهینه‌سازی غذایابی باکتری، الگوریتم علف‌های هرز با نتایج الگوریتم ترکیبی پیشنهادی (ترکیب سیستم استنتاج فازی و الگوریتم علف‌های هرز) در بار نامی و برای شبکه ۳۳ باسه در جدول (۴) ارائه شده‌اند. همان طور که در این جدول مشاهده می‌شود، روش ترکیبی پیشنهادی عملکرد بهتری را در جهت بهبود شاخص‌های تست شده (بهبود تلفات، پروفیل ولتاژ و تعادل بار فیدر) در میان همه روشهای تست شده داشته است.

## ۶- نتیجه گیری

در این مقاله، ترکیب جدیدی از الگوریتم علف‌های هرز و منطق فازی برای بازآرایی شبکه توزیع همزمان با تخصیص بهینه تولیدات پراکنده ارائه شده است تا کاهش تلفات، بهبود پروفایل ولتاژ و تعادل بار شبکه

Table (3): Obtained results at different load levels for scenarios 1 and 4  
جدول (۳): نتایج شبکه ۳۳ باسه در شرایط تغییر بار، برای دو سناریوی ۱ و ۴.

سناریو		سطح بار		
		سبک 0/5	نامی 1	سنگین 1/6
سناریوی ۱	تای سوئیچ‌های پیشنهادی	33,34,35,36,37	33,34,35,36,37	33,34,35,36,37
	$P_{loss}$ (KW)	47	202/5	574/3
	VPI	1/1	1/7	1/8
	LBI	50/7	67/7	70/2
سناریوی ۴	تای سوئیچ‌های پیشنهادی	9,14,27,33,37	7,14,27,32,37	7,14,9,32,37
	$P_{loss}$ (KW)	14/6	30/4	153/7
	VPI	1/02	1/07	1/39
	LBI	54/4	47/3	57/1

Table (4): Comparison of the 33 bus test system results for scenario 4 at nominal load for different methods  
جدول (۴): مقایسه نتایج شبکه ۳۳ باسه در بار نامی با استفاده از روشهای مختلف برای سناریوی ۴

سناریوی ۴	آیتم	تکنیک مورد آزمایش
تای سوئیچ‌های پیشنهادی	7,10,28,32,34	الگوریتم ژنتیک (GA) [۵]
$P_{loss}$	76/23	
VPI	1/196	
LBI	50/44	
ظرفیت تولیدات پراکنده (MVA) @باسها	0/547,1/681,0/43 @10,34,36	الگوریتم بهینه‌سازی غذایی باکتری [۶]
Tie-switches	7,10,28,32,34	
$P_{loss}$	82/93	
VPI	1/534	
LBI	51/06	الگوریتم علف‌های هرز
ظرفیت تولیدات پراکنده (MVA) @باسها	0/104,0/549,1/216 @19,17,32	
Tie-switches	33,34,35,36,37	
$P_{loss}$	89/3	
VPI	1/07	الگوریتم پیشنهادی (ترکیب سیستم استنتاج فازی و الگوریتم علف‌های هرز)
LBI	49/4	
ظرفیت تولیدات پراکنده (MVA) @باسها	1/2,0/2,0/564 @12,32,33	
Tie-switches	7,14,27,32,37	
$P_{loss}$	30/41	الگوریتم پیشنهادی (ترکیب سیستم استنتاج فازی و الگوریتم علف‌های هرز)
VPI	1/073	
LBI	47/32	
ظرفیت تولیدات پراکنده (MVA) @باسها	1/1,1/11,0/78 @6,30,14	

### References

- [1] H.B. Tolabi, M.H. Moradi, "Multi-objective reconfiguration of distribution systems using imperialist competitive algorithm and graph theory", Technical Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 3, No. 6, pp. 505-514, 2013.
- [2] A. Merlin, H. Back, "Search for a minimal-loss operating spanning tree configuration in an urban power distribution system", In Proc. 5th Power System Computation Conf., Cambridge, U.K, pp. 1-18, 1975.
- [3] R. Taleski, D. Rajicic, "Distribution network reconfiguration for energy loss reduction", IEEE Trans. on Power System, Vol. 12, No. 1, pp. 398-406, 1997.

- [4] Q. Zhou, D. Shirmohammadi, W.H.E. Liu, "Distribution feeder reconfiguration for service restoration and load balancing", IEEE Trans. Power Systems, Vol. 12, No. 2, pp. 724–729, 1997.
- [5] K. Nara, A. Shiose, M. Kitagawa, T. Ishihara, "Implementation of genetic algorithm for distribution system loss minimum reconfiguration", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 7 No. 3, pp. 1044–1051, 1992.
- [6] K. Sathish Kumar, T. Jayabarathi, "Power system reconfiguration and loss minimization for a distribution systems using bacterial foraging optimization algorithm", Electrical Power and Energy Systems, Vol. 36, pp. 13–1, 2012.
- [7] C. Wang, M.H. Nehrir, "Analytical approaches for optimal placement of distributed generation sources in power systems", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 19, No. 4, pp. 2068–2076, 2004.
- [8] S. Ghosh, K.S. Sherpa, "An efficient method for load flow solution of radial distribution networks", International Journal Electrical Power Energy Systems Engineering, Vol. 1, No. 2, pp. 108–115, 2008.
- [9] R. Khorshidi, T. Niknam, M. Nayeripour, "Distribution feeder reconfiguration considering distributed generators", World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. 22, pp. 595-598, 2008.
- [10] H.B. Tolabi, M.H. Ali, S.B.M. Ayob, M. Rizwan, "Novel hybrid fuzzy-Bees algorithm for optimal feeder multi-objective reconfiguration by considering multiple-distributed generation", Energy, Vol. 71, pp. 507-515, July 2014.
- [11] A. Kavousi-Fard, T. Niknam, "Multi-objective stochastic distribution feeder reconfiguration from the reliability point of view ", Energy, Vol. 64, pp. 342-354, 2014.
- [12] R. Kollu, S.R. Rayapudi, V.L.N. Sadhu, "A novel method for optimal placement of distributed generation in distribution systems using HSDO ", International Trans. on Electrical Energy Systems, Vol. 24, pp. 547–561, April 2014.
- [13] R.J. Flores, B.P. Shaffer, J. Brouwer, "Economic and sensitivity analyses of dynamic distributed generation dispatch to reduce building energy cost", Energy and Buildings, Vol. 85, pp. 293-304, 2014.