بازآرایی چند هدفه شبکه‌های توزیع با ترکیب الگوریتم همزیستی موجودات زنده، منطق فازی و نظریه درخت پوشا جهت کاهش تلفات، نامتعادلی بار و بهبود پروفیل ولتاژ

هاجر باقری طولابی[1*]، افشین لشکرآرا [2]

*۱- گروه مهندسی برق، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم آباد، ایران، ha.btolabi@iau.ac.ir

۲- دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، گروه برق، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۱

چکیده: بازآرایی شبکه‌های توزیع برق، یکی از اقدامات دوره ای مهم در مرحله بهره‌برداری در شبکه‌های قدرت می‌باشد. با استفاده از بازآرایی مناسب می توان ابعاد مختلف کیفیت توان را با کمترین هزینه ارتقا بخشید. در این مقاله عملیات بازآرایی با استفاده از الگوریتم جدید همزیستی موجودات زنده و با بهره گیری از تابع هدفی چند منظوره جهت کاهش تلفات، نامتعادلی بار و بهبود پروفیل ولتاژ پیشنهاد شده است. از تئوری درخت پوشا جهت بررسی وضعیت درختی (شعاعی) سیستم توزیع و اتصال همه‌ی بارها به شبکه پس از بازآرایی استفاده شده است. با توجه به اینکه توابع هدف، واحدهای سنجش مشابه ندارند، از یک سیستم فازی همگن کننده اهداف نیز بهره گرفته شده است. برنامه مورد نظر بر روی یک شبکه تست نمونه واقعی ۱۱/۴ کیلو ولت ۱۱ فیدره ۹۵ باسه آزمایش شده است. نتیجه نهایی نشان دهنده عملکرد موفق الگوریتم پیشنهادی در ارائه توپولوژی جدیدی برای شبکه توزیع همراه با تلفات کمتر، بار متعادل‌تر و پروفیل ولتاژ بهتر برای سیستم تست مورد نظر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بازآرایی، شبکه توزیع، الگوریتم همزیستی موجودات زنده، منطق فازی، تئوری درخت پوشا

۱- مقدمه

مزایایی چون پیاده‌سازی آسان‌تر، جریان اتصال کوتاه کمتر و هماهنگی حفاظتی ساده‌تر باعث شده است شبکه‌های توزیع برق، اغلب با ساختار درختی (شعاعی) مورد بهره برداری قرار گیرند. تای سوئیچ‌ها و سکشنلایزرها دو نوع سوئیچ مورد استفاده در سیستم‌های توزیع شعاعی هستند. با تغییر وضعیت باز و بسته بودن این سوئیچ ها ساختار و پیکربندی شبکه توزیع نیز تغییر خواهد کرد. این تغییر در پیکربندی سیستم توزیع به عنوان بازآرایی شناخته می‌شود و با اهداف مختلفی مانند کاهش تلفات توان، بهبود پروفیل ولتاژ، افزایش تعادل بار، بهبود قابلیت اطمینان شبکه و ... انجام می‌شود. روش‌های متنوع بازآرایی با اهداف گوناگون توسط محققین بسیاری پیشنهاد شده است[1].

بازآرایی شبکه های توزیع برای اولین بار توسط مرلین و بک [2] در سال ۱۹۷۵ ارائه شد. روش آن ها بر مبنای بهینه سازی شاخه و قید، به تعیین ساختاری از شبکه توزیع شعاعی می پردازد که حداقل تلفات را داراست. گوسوامی و باسو [3] یک الگوریتم ابتکاری برای بازآرایی بر مبنای اجرای برنامه پخش بار ارائه کردند. لین و چاین [4] یک الگوریتم بازآرایی شبکه با استفاده از شاخص‌های ولتاژ، اهمی و تصمیم گیری توسط برای تعیین عملیات سوئیچینگ معرفی کردند. گومز و همکاران

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

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.4.6.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 4- Winter 2023

[5] نیز یک الگوریتم ابتکاری برای شبکه‌های توزیع بزرگ معرفی کردند که با یک ساختار مش گونه آغاز شده و سوئیچ ها یکی پس از دیگری برای رسیدن به سیستمی شعاعی با حداقل تلفات، باز می‌شوند. ژو و همکاران [6] دو الگوریتم بازآرایی را جهت تعادل بار و بازیابی مشترکین توسعه دادند و برای حل مسئله بازآرایی، از قوانین ابتکاری و منطق فازی استفاده کردند. اگلیر و همکاران [7] از تکنیک های هوش مصنوعی برای بازآرایی با حداقل تلفات استفاده کردند. نارا و همکاران [8] با بهره گیری از الگوریتم ژنتیک (GA[1]) به حل مسئله بازآرایی شبکه توزیع با هدف کاهش تلفات پرداختند. الگوریتم جستجوی هماهنگ(HSA[2]) نیز توسط رائو و همکاران [9] جهت بازآرایی بهینه مورد استفاده قرار گرفت. کاووسی فرد و نیکنام بازآرایی را به منظور بهبود قابیت اطمینان و با استفاده از الگوریتم خفاش انجام دادند [10]. باقری طولابی و همکاران استفاده از الگوریتم زنبور عسل را برای بازآرایی چند منظوره شبکه توزیع پیشنهاد دادند [1]. در پژوهشی دیگر از باقری و همکاران، الگوریتم مورچگان جهت بازآرایی و تخصیص بهینه DSTATCOM[3] و واحدهای فتوولتاییک به منظور بهبود شاخص‌های شبکه استفاده شده است [11]. در این مقاله، چندین نوآوری با هم تلفیق شده است. با ترکیب الگوریتم همزیستی موجودات زنده و سیستم‌های فازی به حل مسئله بازآرایی شبکه توزیع جهت کاهش تلفات، نامتعادلی توان در فیدر و بهبود پروفیل ولتاژ پرداخته شده است. از نظریه درخت پوشا نیز جهت بررسی وضعیت شعاعی شبکه و تغذیه بارها پس از بازآرایی بهره گرفته شده است. روش ترکیبی پیشنهادی بر روی یک سیستم توزیع نمونه واقعی اعمال شده و به منظور بررسی قابلیت روش پیشنهادی، نتایج بدست آمده با روش‌های متنوع بازآرایی در این حوزه مقایسه شده‌اند.

۲- تعریف مسئله

۲-۱- معادلات پخش بار

پخش بار در سیستم توزیع بر اساس مجموعه‌ای از معادلات بازگشتی به صورت زیر محاسبه می‌شود [1]:

$$\begin{aligned} P_{k+1} &= P_k - P_{loss,k} - P_{Lk+1} \\ &= P_k - \frac{R_k}{|V_k|^2}\left\{P_k^2 + (Q_k + Y_k|V_k|^2)^2\right\} - P_{Lk+1}, \\ Q_{k+1} &= Q_k - Q_{loss,k} - Q_{Lk+1} \\ &= Q_k - \frac{X_k}{|V_k|^2} \\ &\left\{P_k^2 + (Q_k + Y_{k1}|V_k|^2)^2\right\} - Y_{k1}|V_k|^2 - Y_{k2}|V_{k+1}|^2 - Q_{Lk+1} \end{aligned} \quad (۱)$$

$$\begin{aligned} |V_{k+1}|^2 &= |V_k|^2 + \frac{R_k^2 + X_k^2}{|V_k|^2}(P_k^2 + Q_k^2) - 2(R_k P_k + X_k Q_k) \\ &= |V_k|^2 + \frac{R_k^2 + X_k^2}{|V_k|^2} \\ &(P_k^2 + (Q_k^2 + Y_k|V_k|^2)^2) - 2(R_k P_k + X_k (Q_k + Y_k|V_k|^2)). \end{aligned} \quad (۲)$$

که در این معادلات:

P_k :توان حقیقی شین K

Q_k : توان راکتیو شین K

$P_{loss,k}$: تلفات توان حقیقی شین K

$Q_{loss,k}$: تلفات توان راکتیو شین K

P_{Lk+1} : توان حقیقی شین K+1

Q_{Lk+1} **:** توان حقیقی شین K+1

R_k : مقاومت خط ارتباطی بین شین K و K+1

X_k : راکتانس خط ارتباطی بین شین K و K+1

Y_k : ادمیتانس موازی شین K و

V_k : دامنه ولتاژ شین K می‌باشند.

۲-۲- اهداف بازآرایی

در این مقاله بازآرایی با هدف کاهش تلفات توان، نامتعادلی توان در فیدر و بهبود پروفیل ولتاژ شبکه توزیع انجام شده است که در ادامه نحوه فرمول بندی آنها تشریح خواهد شد.

۲-۲-۱- کاهش تلفات توان

کاهش تلفات توان، یکی از مهم‌ترین اهداف متداول بازآرایی بوده و معادل ریاضی آن به صورت رابطه زیر بیان می‌شود [12].

$$F_1 = \sum_{k=1}^{n}(R_k|I_k|^2) \quad , I_k \le I_{k\max} \quad (۳)$$

که در آن:

n : تعداد کل سکشن ها

R_k :مقدار مقاومت هادی سکشن K ام

I_k :جریان عبوری از سکشن K ام می‌باشند.

کاهش این شاخص از حالت تلفات زیاد نشان‌دهنده حرکت به سمت کاهش تلفات توان است.

۲-۲-۲- کاهش نامتعادلی بار

عوامل مختلفی وجود دارند که منجر به عدم تعادل توان در یک سیستم می شوند، مثل توزیع ناهمگون بار، رفتار تصادفی و پیش‌بینی نشده مشترکین و .... هدف اصلی این بخش، کاهش نامتعادلی توان در فیدرها می‌باشد، بنابراین معادل ریاضی آن در تابع هدف به صورت رابطه (۵) در نظر گرفته شده است [1]:

$$F_2 = \sum_{j=1}^{n_f}\sum_{k=1}^{n_s}\left(\frac{I_k}{\frac{1}{n_f}\sum_{k=1}^{n_f} I_k}\right)^2 \quad (۴)$$

که در آن:

n_f : تعداد کل فیدرها

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

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.4.6.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 4- Winter 2023

n_s: تعداد کل سکشن ها

کاهش این شاخص از حالت نامتعادلی نشان دهنده حرکت به سمت برقراری تعادل بار است.

۳-۲-۲- بهبود پروفیل ولتاژ

کاهش انحراف مقادیر ولتاژ شین ها نسبت به مقایر نامی آن ها یکی از قابلیت های بازآرایی شبکه می باشد وتابع هدف زیر برای آن در نظر گرفته شده است[1]:

$$F_3 = \sum_{k \in LB} \left| V_k - V_{ref,k} \right| \qquad (۵)$$

که V_k ولتاژ گره k ام، LB مجموعه متشکل از بار گره‌ها و $V_{ref,k}$ ولتاژ نامی شین k ام است.

کاهش این شاخص از حالت پروفیل کم ولتاژ، نشان دهنده حرکت به سمت بهبود پروفیل ولتاژ است.

۳-۲- قیود مسئله

برای مسئله بازآرایی شبکه‌های توزیع شعاعی، چهار قید مطرح است که در ساختار پیشنهادی جدید باید در نظر گرفته شوند، این قیود عبارتند از :

- رعایت حد مجازتعریف شده ولتاژ باس‌ها
- رعایت حد مجاز جریان تعیین شده مجاز شاخه‌ها
- حفظ پیکربندی شعاعی شبکه توزیع.
- تغذیه تمام گره های موجود در شبکه.

۳- منطق فازی همگن کننده اهداف

با توجه به اهداف ذکر شده در بخش ۲، تابع هدف زیر برای حل مسئله تعریف شده است:

$$OF = a_1 F_1 + a_2 F_2 + a_3 F_3 \qquad (۶)$$

که در آن a_1 ، a_2 و a_3 ضرایب وزنی توابع هدف هستند. باتوجه به اینکه در این پژوهش، برای هر سه هدف ارزش یکسانی در نظر گرفته شده است، مقدار این ضرایب برابر ۰/۳۳ لحاظ شده است.

از آنجا که توابع هدف دیمانسیون های برابر ندارند، از یک سیستم فازی برای همگن کردن همه‌ی اهداف استفاده می‌شود. به این صورت که برای هر هدف یک تابع عضویت (μ) که درجه تاثیر گذاری تابع هدف متناظر را نشان می‌دهد به شرح زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_{fij}(X) = \begin{cases} 1, & F_{ij}(X) \le F_i^{\min} \\ \dfrac{F_i^{\max} - F_{ij}(X)}{F_i^{\max} - F_i^{\min}}, & F_i^{\min} < F_{ij}(X) < F_i^{\max} \\ 0, & F_i^{\max} \le F_{ij}(X) \end{cases} \qquad (۷)$$

که در آن F_{ij} مقدار به دست آمده برای i امین تابع هدف در j امین پاسخ، $F_i^{\min}$ بهترین پاسخ بهینه برای تابع هدف i ام و $F_i^{\max}$ بدترین جواب یافته شده برای تابع هدف i ام است.

بر اساس روابط (۶) و (۷)، تابع هدف نهایی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$F(X) = \sum_{i=1}^{4} a_i . \mu_{F_{ij}}(X) \qquad (۸)$$

که در آن a_i ضریب وزنی موثر هدف i ام است.

۴- نظریه درخت پوشا (Spanning Tree)

پروتکل درخت پوشا، یک پروتکل لایه ۲ است که از ایجاد حلقه در شبکه جلوگیری می‌کند. یک درخت پوشا، درختی است که شامل تمام رئوس و حداقل برخی یال‌ها می‌باشد .به بیان ساده‌تر می‌توان گفت، درخت پوشای G درختی است که مجموعه‌ای از یال‌ها را شامل می‌شود در حالی که تمام رئوس را پوشش می‌دهد (شرط تغذیه همه‌ی گره‌ها در شبکه توزیع شعاعی). در واقع تمام رئوس G در درخت پوشا وجود دارند به شرطی که هیچ دوری ایجاد نشود و درخت همبند نیز باشد (شرط عدم تشکیل حلقه در شبکه توزیع شعاعی). در این پژوهش از تئوری درخت پوشا جهت تضمین رعایت دو قید تغذیه همه‌ی گره‌ها و جلوگیری از شکل گیری حلقه در شبکه استفاده شده است.

یک گراف بوسیله یک ماتریس G (N ، E) مشخص می‌شود که در آن بردارN نمایشگر گره‌ها و بردار E نشان‌دهنده رابطه بین گره‌های مختلف موجود در گراف است که به هر کدام از آن‌ها یال گفته می شود. درجه هر گره با تعداد یال‌های متصل به آن گره مشخص می‌شود. گراف همبند، گرافی است که بین هر دو رأس آن حداقل یک مسیر وجود داشته باشد. درخت یک گراف همبند است که هیچ دوری در آن وجود ندارد. در یک گراف درخت، اگر N تعداد رئوس و E تعداد کل یال ها باشد، معادله (۱) برقرار است [12]:

$$N = E + 1 \qquad (۹)$$

در نظریه درخت پوشا، یک فیدر توزیع شعاعی که تمام بارها را تغذیه می‌کند می‌تواند توسط یک گراف درخت شبیه‌سازی شود، زیرا درخت که یک گراف همبند است (یعنی هیچ بار جدا شده ای وجود ندارد) که هیچ حلقه‌ای (یعنی شبکه دارای ساختار شعاعی است) ندارد.

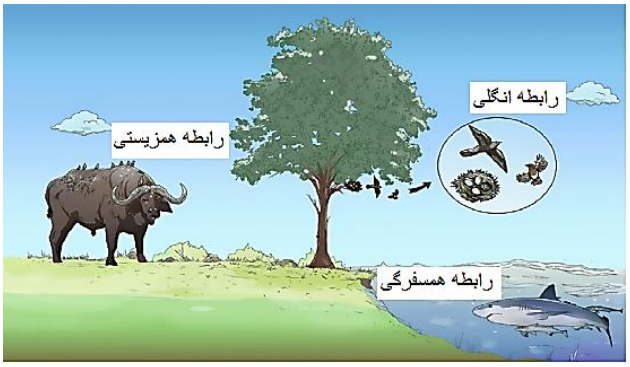
۵- الگوریتم همزیستی موجودات زنده (Symbiotic Organisms Search (SOS))

الگوریتم‌های فوق ابتکاری کنونی تقلید پدیده‌های طبیعی هستند. به عنوان مثال، کولونی زنبور عسل مصنوعی (ABC)، شبیه‌سازی رفتار تغذیه جمعیت زنبور عسل می‌باشد، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.4.6.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 4- Winter 2023
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

(PSO)، شبیه‌ساز رفتار هجومی حیوانات بوده و الگوریتم ژنتیک (GA) شبیه‌سازی فرایند توالد و تکامل طبیعی است.

الگوریتم SOS به شبیه سازی تعاملات همزیستی در رابطه ارگانیسم یک جفت می‌پردازد و برای جستجوی حالت ایده‌آل ارگانیسم استفاده می‌شود [13].



شکل (۱): همزیستی موجودات در یک اکوسیستم

مشابه به سایر الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت، SOS تکرار را با استفاده از یک جمعیت از راه‌حل‌های کاندیدا پیشنهاد می‌دهد به نحوی که در فرایند جستجو به دنبال راه‌حل بهینه جهانی (Global) است. این الگوریتم با جمعیت اولیه‌ای به نام زیست‌بوم (اکوسیستم) آغاز می‌شود. در اکوسیستم اولیه، گروهی از موجودات به طور تصادفی تولید می‌شوند و به فضای جستجو وارد می‌گردند. هر موجود زنده نشان‌دهنده یک راه‌حل کاندید برای مسئله مربوطه است. برای هر موجود زنده در اکوسیستم یک مقدار برازندگی تعریف می‌شود که نشان‌دهنده درجه انطباق با هدف مورد نظر است.

تقریباً تمام الگوریتم های فوق ابتکاری اعمال از یک سری عملیات در هر تکرار به منظور تولید راه حل های جدید استفاده می‌کنند. درSOS ، نسل راه حل جدید با تقلید از تعامل بیولوژیکی میان دو جاندار در اکوسیستم تولید می‌شود. سه مرحله که شبیه مدل تعامل بیولوژیکی در دنیای واقعی هستند معرفی شده است که عبارتند از: فاز همزیستی، فاز همسفرگی و فاز انگلی. در مورد سه فاز اساسی الگوریتم در بخش های بعدی جزئیات بیشتری ارائه شده است. فلوچارت شکل۲ نیز الگوریتم SOS را بصورت دقیق تشریح می‌کند.

۱-۵- فاز همزیستی[۴]

یک مثال از همزیستی، که به نفع هر دو شرکت‌کنندگان در ارگانیسم است، رابطه بین زنبور عسل و گل است. زنبورها در میان گل ها پرواز کرده و به جمع‌آوری شهد و به نوبه خود به عسل می پردازند که یک فعالیت به نفع زنبور عسل است. این فعالیت به نفع گل نیز هست زیرا در این روند گرده افشانی تسهیل می‌گردد.

در SOS، Xi یک ارگانیسم تطبیق شده با i-امین عضو از اکوسیستم است. دیگر ارگانیسم Xi به طور تصادفی از اکوسیستم انتخاب شده تا با Xj تعامل داشته باشد. هر دو ارگانیسم در یک رابطه ی دوطرفه، با هدف افزایش دوجانبه ی زنده ماندن در اکوسیستم با هم درگیر هستند. پاسخ های کاندیدِ جدید برای Xi و Xj بر اساسِ همزیستی دو جانبه میان ارگانیسم های Xi و Xj محاسبه شده‌اند که در معادلات ۱۰ و ۱۱ مدل‌سازی شده‌اند.

$$xi_{new}=xi+rand(0,1)*(xbest_Mutual_vector*BF1) \quad (۱۰)$$

$$xj_{new}=xj+rand(0,1)*(xbest_Mutual_vector*BF2) \quad (۱۱)$$

$$Mutual_vector=(xi+xj)/2 \quad (۱۲)$$

rand (0,1) در معادلات (۱۰) و (۱۱) یک بردار از اعداد تصادفی است. نقش BF1 و BF2 در ادامه توضیح داده می‌شود. در طبیعت، برخی روابط دوجانبه ممکن است یک مزیت سودمندتری را ارائه کنند، که برای فقط یک ارگانیسم بهتر از ارگانیسم‌های دیگر باشد. به عبارت دیگر، ارگانیسم A ممکن است در هنگام تعامل با B منفعت زیادی ببرد. در حالی که، ارگانیسم B ممکن است فقط منفعت کافی یا حتی ناکافی ای در تعامل با ارگانیسم A دریافت کند. در اینجا، ضریب‌های منفعت (BF1 و BF2) به طور تصادفی به صورت ۱ یا ۲ تعیین می‌شوند. این ضریب‌ها میزانِ منفعت را برای هر ارگانیسم معرفی می‌کند. به عبارت دقیق تر، نشان می دهد که آیا ارگانیسم منفعت جزئی ای را برده یا منفعت کاملی را دریافت کرده است.

معادله (۱۲) یک بردار به نام "بردار متقابل[۵]" را نشان می‌دهد که معرف مشخصه ی رابطه ی متقابل میان ارگانیسم xi و xj است. قسمتی از معادله xbest _ Mutual_vector_BF1، نشان دهنده ی تلاش دوجانبه برای رسیدن به هدفشان در افزایش مزیت زنده‌مانی‌شان است. بر طبق تئوری تکاملی داروین، "فقط بهترین ارگانیسم‌ها غالب خواهند بود"، تمام مخلوقات مجبور به افزایش درجه ی تطبیق اکوسیستم خودشان هستند. برخی از آن‌ها از رابطه‌ی همزیستی با دیگران استفاده می‌کنند تا تطبیقِ زنده‌مانی خود را افزایش دهند. در اینجا xbest مورد نیاز است، چرا که xbest معرف بالاترین درجه‌ی تطبیق است. بنابراین، ما از xbest/پاسخ سراسری[۶] استفاده می‌کنیم تا بالاترین درجه ی تطبیق را به عنوان نقطه‌ی هدف برای افزایش برازندگی هر دو ارگانیسم، مدل کنیم.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.4.6.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 4- Winter 2023
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

۲-۵- فاز همسفرگی[۷]

یک مثال از همسفرگی، رابطه ی میان ماهی‌های چسبنده و کوسه‌ها است. ماهی های چسبنده خود را به کوسه‌ها می چسبانند و باقی مانده ی غذاها را می‌خورند و منفعتی را نصیب خود می کنند. این کار برای کوسه بی‌تاثیر است و تقریبا می توان گفت مزیتی که نصیبش می‌شود بسیار اندک است.

شبیه به فاز همزیستی، یک ارگانیسم، xj، به طور تصادفی از اکوسیستم برای تعامل با xi انتخاب می‌شود. در این شرایط، ارگانیسم xi تلاش می‌کند تا از این تعامل بهره ببرد. هرچند، ارگانیسم xj از این تعامل نه ضرری می‌بیند و نه بهره ای می برد. پاسخ کاندیدِ جدید دیگرِ xi بر طبق همزیستیِ هم‌غذاییِ میان xi و xj محاسبه می شود، که در معادله‌ی ۱۳ مدل شده است. با توجه به قواعد، ارگانیسم xi فقط درصورتی به روز می شود که برازندگی جدیداش بهتر از برازندگی قبلی‌اش باشد.

$$xi_{new}=xi+rand(-1,1)*(xbest-xj) \qquad (۱۳)$$

قسمت (xbest _ xj) در معادله، بیانگر منفعت ایجاد شده توسط xj برای کمک به xi است که مزیت زنده‌مانی‌اش را تا بالاترین درجه در اکوسیستم حاضر (که با xbest معرفی شده است) افزایش می‌دهد.

۳-۵- فاز انگلی[۸]

یک نمونه از انگل، انگل پلاسمودیوم است که با استفاده از ارتباط خود با پشه آنوفل استفاده کرده و بین انسان‌های میزبان پخش می شود. در حالی که انگل در بدن انسان رشد و بازتولید می کند، میزبان انسانی خود را با بیماری مالاریا رنج می دهد و ممکن است نتیجه مرگ میزبان باشد.

در SOS، به ارگانیسم xi از طریق ایجاد یک انگل مصنوعی به نام Parasite_Vector نقشی مشابه پشه آنوفل داده شده است. "Parasite_Vector " با تکثیر ارگانیسم xi ، در فضای جستجو ایجاد شده، پس ازآن ابعاد انتخاب تصادفی را با استفاده از یک عدد تصادفی بهبود می‌دهد. ارگانیسم ام xj به طور تصادفی از اکوسیستم انتخاب شده و به عنوان یک میزبان در خدمت بردار انگل Parasite_Vector قرار می‌گیرد. Parasite_Vector سعی می‌کند خود را در اکوسیستم جایگزین xj کند. میزان برازندگی هر دو ارگانیسم مورد بررسی قرار می گیرد. اگر Parasite_Vector دارای برازندگی بالاتری باشد، ارگانیسم xj را خواهد کشت و جای او را در اکوسیستم تصاحب خواهد کرد. اگر مقدار برازندگیxj بهتر باشد، xj از مصونیت از انگل مصون خواهد ماند و Parasite_Vector دیگر قادر به زندگی در آن اکوسیستم نخواهد بود.

۶- شبیه سازی، نتایج و بحث

بر اساس مباحث ارائه شده ، یک برنامه تحلیلی در محیط نرم افزار MATLAB توسعه داده شده است. به منظور بررسی اثربخشی تکنیک ارائه شده ، برنامه مورد نظر بر روی یک سیستم نمونه واقعی (شبکه توزیع TPC تایوان)، آزمایش شده است. نمودار تک خطی این سیستم در شکل۳ نشان داده شده است. این شبکه، یک سیستم ۱۱/۴کیلو ولت، ۸۳ سکشنلایزر و ۱۳ تای سوئیچ می باشد. مقدار کل بار اکتیو پایه برابر ۲۸/۳۵ kW و مقدار کل بار راکتیو پایه نیز معادل ۲۰/۷ kVAR می باشد. اطلاعات ساختار الکتریکی این سیستم شامل مقاومت، راکتانس، توان اکتیو و راکتیو هر سکشن در [11] ارائه شده است. محاسبات پخش بار بر مبنای Sbase=۱۰۰MVA و Vbase= ۱۱/۴ kV انجام شده است.

به منظور لحاظ کردن اثرات بار, شبکه تست نمونه در سه بار سبک (۰,۵ پریونیت)، نامی (۱ پریونیت) و سنگین (۱,۶) پریونیت شبیه‌سازی شده است. نتایج به دست آمده در جدول ۱ خلاصه شده است.

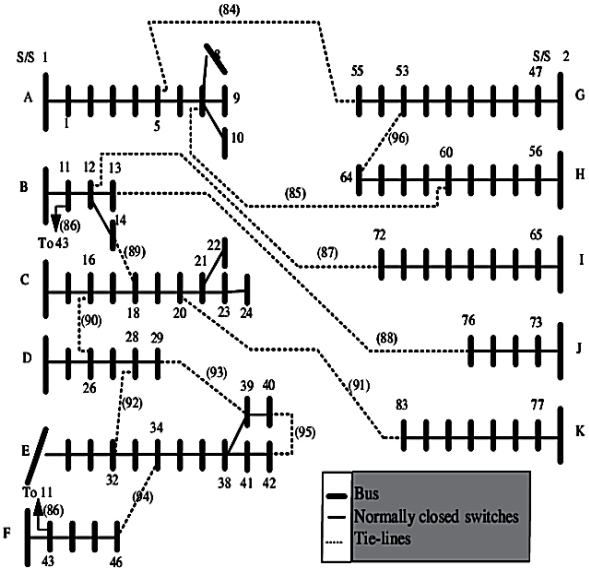
همانطور که از این جدول مشاهده می شود، برای هرسه نوع بار سبک، نامی و سنگین بازآرایی با کمک تکنیک پیشنهادی منجر به بهبود هر سه شاخص کاهش تلفات، پروفیل ولتاژ، و تعادل بار فیدر نسبت به حالت پایه می شود که نشان از عملکرد رضایت بخش تکنیک پیشنهادی در شرایط تغییر میزان تقاضای بار مصرفی دارد. تلفات توان حقیقی برای سیستم پایه در حالت بار نرمال ۵۳۱ کیلووات است که با بازآرایی با تکنیک پیشنهادی به میزان ۳۸۲/۹ کیلووات کاهش یافته است.

تلفات توان حقیقی برای سیستم پایه در حالت‌های بار سبک و بار سنگین به ترتیب برابر ۱۲۲/۷۶ و ۱۵۱۰/۳۴ کیلووات است که پس از بازآرایی این مقادیر به ترتیب به ۱۰۲/۶ و ۱۲۱۴ کیلووات کاهش یافته است. شاخص بهبود پروفیل ولتاژ نیز، برای سیستم پایه در سه حالت بار سبک، متوسط و سنگین به ترتیب برابر ۱/۷، ۲/۵ و ۲/۷۴ است که پس از بازآرایی به ترتیب به مقادیر ۱/۵۸، ۲/۳۳ و ۲/۶۱ بهبود یافته است.

شاخص بهبود تعادل بار نیز برای سیستم پایه در سه حالت بار سبک، متوسط و سنگین به ترتیب برابر ۱۰۸، ۱۴۰/۴ و ۱۸۵/۰۲ است که پس از بازآرایی به ترتیب به مقادیر ۱۰۴، ۱۰۹/۵ و ۱۷۱/۶۳ بهبود یافته است.

جدول ۲ نیز نتایج مقایسه تلفات بین روش پیشنهادی و الگوریتم های PSO[9]، ACS[10] و GA را در بار نرمال نشان می‌دهد. همان‌طور که از این جدول مشاهده می‌شود، تکنیک ترکیبی پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌ها عملکرد قابل قبولی داشته است و در بهبود شاخص تلفات بهتر از سه الگوریتم PSO، ACS و GA عمل کرده است.

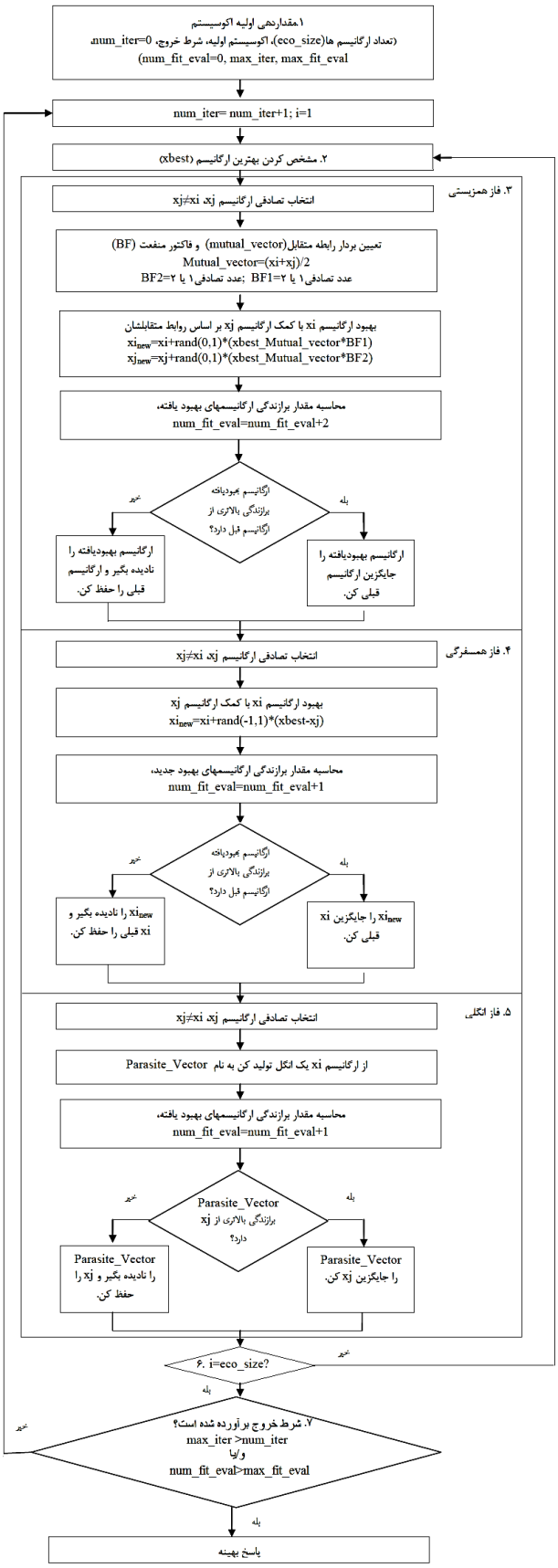
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.4.6.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 4- Winter 2023



شکل (۳): دیاگرام تک خط شبکه توزیع TPC

جدول (۱): نتایج بدست آمده از شبکه تست TPC

مورد		نوع بار		
		سبک (۰،۵ پریونیت)	نرمال (۱ پریونیت)	سنگین (۱،۶ پریونیت)
حالت پایه	شماره تای سوئیچ ها	84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96	84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96	84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96
	تلفات توان(kW)	122.76	531	1510.34
	شاخص پروفیل ولتاژ	1.7	2.5	2.74
	شاخص تعادل بار	108	140.4	185.02
پس از بازآرایی با تکنیک پیشنهادی Fuzzy-SOS	شماره تای سوئیچ ها	7, 13, 34, 39, 41, 61, 84, 86, 87, 89, 90, 91, 92	7, 13, 34, 39, 42, 55, 72, 86, 89, 90, 91, 92, 96	7, 13, 34, 39, 41, 61, 84, 86, 87, 89, 90, 91, 92
	تلفات توان(kW)	102.6	382.9	1214.0
	شاخص پروفیل ولتاژ	1.58	2.33	2.61
	شاخص تعادل بار	104	109.5	171.63



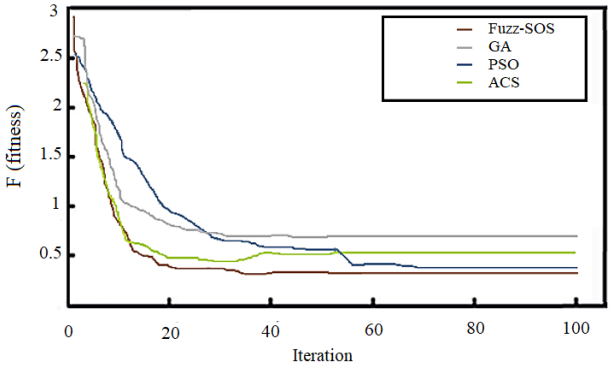
شکل (۲): فلوچارت الگوریتمSOS

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.4.6.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 4- Winter 2023
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

همچنین، شکل ۴ پروسه همگرایی تابع هدف را نشان می‌دهد. همان‌طور که از این شکل مشخص است الگوریتم پیشنهادی Fuzzy-SOS در مقایسه با سایر الگوریتم‌های مورد مقایسه سرعت و دقت همگرایی مناسبی دارد.

جدول (۲): مقایسه نتایج تلفات تکنیک پیشنهادی و سایر روش ها در بار نرمال

روش	سکشن مربوط به تای سوئیچ ها	تلفات توان (kW)
PSO [۱۱]	7, 13, 34, 39, 41, 61, 84, 86, 87, 89, 90, 91, 92	383.6
ACS* [۱۴]	7, 13, 34, 39, 41, 55, 62, 72, 83, 86, 89, 90, 92	471.07
GA [۱۴]	7, 33, 55, 61, 72, 83, 86, 88, 89, 90, 92, 93, 95	471.5
روش پیشنهادی Fuzzy-SOS	7, 13, 34, 39, 42, 55, 72, 86, 89, 90, 91, 92, 96	382.9



شکل (۴): پروسه همگرایی تابع هدف برای روش های مختلف

۷- نتیجه گیری

در این مقاله عملیات بازآرایی سیستم توزیع، با ترکیب جدیدی از الگوریتم همزیستی موجودات زنده، منطق فازی و تئوری درخت پوشا انجام شده است. از الگوریتم همزیستی موجودات زنده جهت عملیات بازآرایی، از منطق فازی جهت همگن کردن اهداف و از تئوری درخت پوشا به منظور حفظ ساختار شعاعی شبکه و تغذیه همه‌ی بارها در ضمن عملیات بازآرایی بهره گرفته شده است. یک تابع هدف چند منظوره نیز جهت کاهش تلفات، نامتعادلی بار و بهبود پروفیل ولتاژ در نظر گرفته شده است. به منظور ارزیابی عملکرد تکنیک پیشنهادی، برنامه مورد نظر بر روی یک سیستم تست واقعی (شبکه TPC)، در سه حالت بار سبک، نرمال و سنگین، آزمایش شده است. بررسی نتایج، نشان دهنده بهبود هر سه تابع هدف برای هر سه حالت باری شبکه است. در نهایت مقایسه‌ای بین نتایج تکنیک پیشنهادی و سایر روش‌ها جهت بازآرایی بر روی شبکه مورد نظر صورت گرفته است که مؤید عملکرد قابل قبول روش ترکیبی پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌ها به ازای بار نرمال است.

مراجع

[1] HB Tolabi, MH Ali, SBM Ayob, M Rizwan, "*Novel hybrid fuzzy-Bees algorithm for optimal feeder multi-objective reconfiguration by considering multiple-distributed generation*", Energy, V. 71, pp. 507-515, 2014.

[2] A. Merlin and 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] S. K. Goswami and S. K. Basu, "*A new algorithm for the reconfiguration of distribution feeders for loss minimization*", IEEE Trans. Power Del. Vol. 7, No. 3, pp. 1484 –1491, 1992.

[4] W. M. Lin and H. C. Chin., "*A New Approach for Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction and Service Restoration*", IEEE Transaction on Power Delivery. Vol.13, No.3, pp. 870–875, 1998.

[5] F. V. Gomes and S. Carneiro, Jr.,"*A new heuristic reconfiguration algorithm for large distribution systems*", IEEE Trans. Power Syst. Vol. 20, No. 3, pp. 1373 –1378, 2005.

[6] Q. Zhou, D. Shirmohammadi and W. H. E. Liu., "*Distribution Feeder Reconfiguration for Service Restoration and Load Balancing*", IEEE Trans. Power Syst. Vol.12, No.2, pp. 724–729, 1997.

[7] A. Augugliaro, L. Dusonchet, M. Ippolito, and E. R. Sanseverino. "*Minimum Losses Reconfiguration of MV Distribution Networks Through Local Control of Tie-Switches*", IEEE Transaction on Power Delivery. Vol. 18, No. 3, pp. 762–771, 2003.

[8] K. Nara, A. Shiose, M. Kitagawa, and T. Ishihara. "*Implementation Of Genetic Algorithm for Distribution System Loss Minimum Reconfiguration*" , IEEE Transaction on Power Delivery. Vol.7 No.3, pp. 1044–1051, 1992.

[9] R.S. Rao, S.V.L. Narasimham, M.R. Raju, and A.S. Rao.,"*Optimal Network Reconfiguration of Large-Scale Distribution System Using Harmony Search Algorithm*", IEEE Transactions on Power Systems Vol. 26, No. 3, pp. 1080-1088, 2011.

[10] A. Kavousi-Fard, and T. Niknam, "*Multi-objective stochastic Distribution Feeder Reconfiguration from the reliability point of view*", Energy, Vol. 64, pp. 342-354, 2014.

[11] HB Tolabi, MH Ali, M Rizwan, "*Simultaneous reconfiguration, optimal placement of DSTATCOM, and photovoltaic array in a distribution system based on fuzzy-ACO approach*", IEEE Transactions on sustainable Energy, Vol. 6, No. 1, pp. 210 – 218, 2015.

[12] H. Bagheri and M. Moradi. "*New technique for multi-objective reconfiguration of distribution system using Bees algorithm and Graph theory*", Vol. 15, No. 4, pp. 1-20, 2013.

[13] M. Y. Cheng, D. Prayogo, "*Symbiotic Organisms Search: A new metaheuristic optimization algorithm, Computers & Structures*", Vol. 139, pp. 98-112, 2014.

[14] Y. -K. Wu, C. -Y. Lee, L. -C. Liu and S. -H. Tsai, "*Study of Reconfiguration for the Distribution System With Distributed Generators*," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 25, no. 3, pp. 1678-1685, July 2010, doi: 10.1109/TPWRD.2010.2046339.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.4.6.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 4- Winter 2023
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

رزومه



هاجر باقری طولابی در خرم آباد متولد شده است (۱۳۶۱). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- قدرت از دانشگاه بوعلی سینا (۱۳۸۴) و دکتری مهندسی برق-قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول(۱۳۹۸) سپری کرده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه ادوات FACTS، کیفیت توان، و بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت است و در حال حاضر استادیار گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد می‌باشد.



افشین لشکرآرا در سال (۱۳۵۲) در تهران متولد شد. مدارک کارشناسی،کارشناسی ارشد و دکترای خود را در سالهای (۱۳۷۴)، (۱۳۸۰) و (۱۳۸۹) بترتیب از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دانشگاه مازندران و دانشگاه علم و صنعت ایران در رشته مهندسی برق- قدرت اخذ نموده است. ایشان هم اکنون عضو ارشد انجمن مهندسی برق و الکترونیک امریکا (IEEE Senior Member) و از سال (۱۳۸۰) تاکنون عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول می‌باشند. زمینه تحقیقاتی ایشان شبکه های هوشمند، بهینه سازی سیستمهای قدرت، مطالعات استاتیکی و دینامیکی سیستم‌های قدرت، پایداری و کنترل و ادوات FACTS می‌باشد.

زیرنویس‌ها

[1] Genetic Algorithm
[2] Harmony Search Algorithm
[3] Distributed Static Compensator
[4] Mutualism phase
[5] Mutual Vector
[6] global solution
[7] Commensalism phase
[8] Parasitism phase
[9] Particle Swarm Optimization
[10] Ant Colony Search

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.4.6.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 4- Winter 2023

Multi-Objective Reconfiguration of Distribution Networks by Combining Fuzzy Logic, Symbiotic Search Algorithm and Spanning Tree Theory to Reduce Power Losses, Load Imbalances and Improve Voltage Profile

Hajar Bagheri Tolabi[1], Afshin Lashkar Ara[2]

1- Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Khorramabad Branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran, ha.btolabi@iau.ac.ir
2- Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran

Abstract: The reconfiguration of electric distribution networks is one of the important periodical actions in the operation phase of power networks. By using proper reconfiguration, different aspects of power quality can be improved with the lowest cost. In this article, the reconfiguration is proposed using the combination of fuzzy logic, Symbiotic Organisms Search algorithm and using the multi-objective function to reduce losses, load imbalance and improve the voltage profile. In addition, Spanning Tree Theory has been used to check the radial condition of the distribution system and connecting all the loads after reconfiguration. Considering that the objective functions do not have the same measuring units, a fuzzy system has also been used for homogenizing the objectives. The designed program has been tested on a real test network with 11 feeders and 95 buses. The final result shows the successful performance of the proposed method in providing a new topology for the distribution network with lower losses, more balanced load and better voltage profile for the intended test system.

Keywords: Reconfiguration, Distribution network, Symbiotic search algorithm, Fuzzy logic, Spanning tree theory

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

[DOR: 20.1001.1.23222468.1401.11.4.6.4]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 11 -No. 4- Winter 2023