



تجدید آرایش بهینه سیستم‌های توزیع با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی فرا ابتکاری

علی محمدی^۱

گروه برق، مؤسسه آموزش عالی وحدت، تربت‌جام، ایران

چکیده

عدم تعادل بار، خاموشی‌های متعدد، افت ولتاژ شدید و تلفات بالا از جمله مشکلات اساسی در شبکه‌های توزیع می‌باشند. یکی از راه‌حلهایی که امروزه برای حل این مسائل مطرح شده، تجدید آرایش (بازآرایی) شبکه‌های توزیع می‌باشد. بازآرایی سیستم‌های توزیع اهداف مختلفی را می‌تواند دربر گیرد. اغلب محققین کاهش تلفات، متعادل کردن بار فیدرها و بهبود پروفیل ولتاژ را به‌عنوان اهداف اصلی بازآرایی مورد مطالعه قرار داده‌اند. در دهه اخیر روش‌های زیادی جهت بازآرایی استفاده شده است که بهره‌گیری از روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری چشمگیر بوده‌اند. در این مقاله با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات *PSO* الهام گرفته شده از حرکت دسته‌جمعی پرندگان، بازآرایی بهینه سیستم توزیع انجام شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در محیط *MATLAB* بیانگر اثربخشی رویکرد پیشنهادی در کاهش تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ و متعادل‌سازی بار می‌باشد.

کلمات کلیدی: بازآرایی، تلفات، پروفیل ولتاژ، تعادل بار، بهینه‌سازی ازدحام ذرات، سیستم توزیع

تاریخچه مقاله:

تاریخ ارسال: ۹۷/۱۱/۲۰

تاریخ اصلاحات: ۹۷/۱۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۱۵

تاریخ انتشار: ۹۷/۱۲/۲۰

Keywords:

Reassembly
Losses
Voltage profile
Load balance
Particle swarm-
optimization
Distributed system

The optimal Rearrangement of Distribution Systems by using Meta-heuristic Optimal Methods

Ali Mohammadi¹

Vahdat Institute of Higher Education, Torbat-e Jam, Iran

Abstract

Load imbalance, multiple outages, high voltage drop and high losses are one of the major problems in distribution networks. One of the solutions to solving these issues today is to rearrange the distribution networks. The rearrangement of distribution systems can have different goals. Most researchers have considered reducing losses, balancing the load of feeders, and improving the voltage profile as the main objectives of the rearrangement. In the last decade, many methods have been used for rearranging, which have been remarkably used the heuristic and meta-heuristic methods. In this paper, an optimal rearrangement of the distribution system is carried out using the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm, inspired by the collective movement of birds. The results of simulation in MATLAB indicate the effectiveness of the proposed approach to reduce losses, improves the voltage profile and load balancing.

ع. محمدی، تجدید آرایش بهینه سیستم‌های توزیع با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی فرا ابتکاری، دوفصلنامه محاسبات و سامانه‌های توزیع شده، سال اول، شماره دوم، شماره پیاپی ۲، سال ۱۳۹۷، ص ۳۲-۴۰

روش ارجاع به مقاله:

Email: mohammadi@vahdat.ac.ir



۱ - مقدمه

بهینه از امکانات موجود می‌گردد، بازآرایی شبکه‌های توزیع جهت کاهش تلفات در صورت امکان است. بازآرایی شبکه‌های توزیع یکی از روش‌های معمول در کاهش تلفات بوده که موجب بهره‌برداری مطلوب از شبکه‌های توزیع می‌گردد که در آن با جابه‌جایی بار از فیدری بر فیدر دیگر به واسطه متعادل شدن بار عبوری از فیدرها، تلفات کاهش یافته و بهبود پروفیل ولتاژ حاصل می‌شود [۳].

مسئله بازآرایی یک مسأله بهینه‌سازی پیچیده غیر خطی است. پاسخ دقیق این مسأله تنها با حجم وسیع محاسبات و بررسی تمام حالات کلیدها امکان پذیر است که این امر برای شبکه‌های حقیقی با تعداد کلیدهای زیاد بسیار زمان‌بر خواهد بود. از این رو الگوریتم‌های متعددی برای حل مسأله بازآرایی استفاده شده است. تاکنون تحقیقات زیادی در ارتباط با بازآرایی سیستم توزیع انجام شده است. در [۴] از روش بهینه‌سازی انفجار بزرگ و فروپاشی بزرگ ترکیبی در یک چارچوب فازی برای حل مسأله بازآرایی استفاده شده است. در [۵] با استفاده از الگوریتم انفجار بزرگ و فروپاشی بزرگ ترکیبی، تخصیص بهینه منابع تولید پراکنده و بازآرایی بهینه شبکه‌ی توزیع به صورت همزمان انجام شده است.

همچنین در [۶] با استفاده از برنامه‌ریزی عدد صحیح ترکیبی، بازآرایی بهینه با اهداف کمینه‌سازی تلفات و بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان صورت پذیرفت. در [۷] مسأله بازآرایی بهینه سیستم توزیع با استفاده از معادله حرکت کرم شبتاب حل شده است. در [۸] با استفاده از برنامه‌ریزی مخروطی مرتبه دوم عدد صحیح ترکیبی، مسأله بازآرایی بهینه سیستم توزیع با در نظر گرفتن تلفات سیستم و شاخص‌های

نقش انرژی الکتریکی در زندگی روزمره و رابطه تنگاتنگ این انرژی با تکنولوژی‌های گوناگون و صنایع مختلف که وابستگی زیادی با پیشرفت افراد بشر دارد بدیهی و غیر قابل انکار است. انرژی الکتریکی چه در مرحله تولید در نیروگاه‌ها و چه در انتقال این انرژی به مراکز مصرف و تجمع بار و نیز در مرحله توزیع آن از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است و هر یک از این بخش‌ها با مسائل و بهینه‌سازی در جهت رشد و بهبود روبرو است [۱].

می‌توان گفت که عدم تعادل بار، خاموشی‌های متعدد، آفت ولتاژ شدید و تلفات بالا از جمله مشکلات اساسی در شبکه‌های توزیع می‌باشند [۲]. یکی از راه حل‌هایی که امروزه برای حل این مسائل مطرح شده، بازآرایی شبکه‌های توزیع می‌باشد. بازآرایی سیستم‌های توزیع اهداف مختلفی را می‌تواند دربر گیرد. اغلب محققین کاهش تلفات، متعادل کردن بار فیدرها و بهبود پروفیل ولتاژ را به عنوان اهداف اصلی بازآرایی مورد مطالعه قرار داده‌اند. در دهه اخیر روش‌های زیادی جهت بازآرایی استفاده شده است. این روش‌ها بر مبنای روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری می‌باشند.

تاکنون روش‌های زیادی مانند تقویت فیدر، احداث فیدرهای جدید، خازن‌گذاری و احداث پست‌های فشار متوسط جدید برای رویارویی با مشکلاتی از قبیل تلفات، پروفیل ولتاژ باس‌ها و عدم تعادل بار فیدرها رایج شده است که با توجه به زمان‌بر و هزینه‌بر بودن این روش‌ها، اقتصادی‌ترین و سریع‌ترین راه‌حلی که امکان برطرف نمودن مشکلات مطرح شده را در اکثر موارد فراهم می‌آورد و نیز باعث استفاده حداکثر و



۲-۱- مدل سازی تلفات توان

تلفات توان حقیقی سیستم می‌تواند به صورت رابطه (۱) فرمول بندی شود:

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^{N_{br}} R_i \times |I_i|^2 \quad \text{رابطه (۱)}$$

که R_i و I_i به ترتیب مقاومت و جریان شاخه i ام هستند، و N_{br} تعداد کل شاخه‌ها در سیستم می‌باشد. هدف از این تابع عضویت انتخاب شبکه‌ای با کمترین تلفات توان حقیقی می‌باشد. این هدف یکی از اهداف اصلی بازآرایی سیستم‌های توزیع می‌باشد. شاخص a_i برای هدف کاهش تلفات به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود:

$$a_i = \frac{P_{loss_i}}{P_{loss_0}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که P_{loss_0} تلفات توان حقیقی قبل از بازآرایی شبکه و P_{loss_i} تلفات توان حقیقی مربوط به سیستم شعاعی i ام بعد از بازآرایی شبکه می‌باشد. تابع عضویت شاخص تلفات توان حقیقی با رابطه (۳) بیان می‌شود:

رابطه (۳)

$$\mu P_i = \begin{cases} 1 & a_i \leq a_{\min} \\ \frac{a_{\max} - a_i}{a_{\max} - a_{\min}} & a_{\min} < a_i < a_{\max} \\ 0 & a_i \geq a_{\max} \end{cases}$$

که a_{\min} و a_{\max} به ترتیب محدوده‌های پایین و بالای شاخص a_i هستند. برای تعیین a_{\min} و a_{\max} بهترین و بدترین آرایش سیستم برای تلفات توان حقیقی در نظر گرفته می‌شود. پارامتر P_{loss_i} برای بهترین آرایش سیستم، کمترین مقدار تلفات توان

قابلیت اطمینان حل شده است. در [۹] مسأله بازآرایی بهینه سیستم‌های توزیع هوشمند با استفاده از الگوریتم ژنتیک موازی مبتنی بر روش فازی-تطبیقی که مفهوم محاسبات موازی را به کار می‌برد، حل شده است. در [۱۰] یک روش دو مرحله‌ای که در آن از حساسیت تلفات توان حقیقی با توجه به امیدانس شاخه‌های کاندید استفاده شده است، برای حل مسأله بازآرایی بهینه استفاده شده است. در [۱۱] مسأله بازآرایی بهینه سیستم توزیع با در نظر گرفتن خروجی‌های تصادفی منابع تولید پراکنده موجود در سیستم، با استفاده از تئوری گراف و تحلیل سناریو حل شده است.

این مقاله روش جدیدی برای حل مسأله بازآرایی چند هدفه در چارچوب فازی ارائه می‌دهد که از الگوریتم بهینه‌سازی PSO استفاده می‌نماید. الگوریتم PSO روشی مؤثر و قدرتمند است که از دقت و سرعت همگرایی بالایی برخوردار است. در اینجا اهداف کاهش تلفات توان حقیقی، کاهش انحراف ولتاژ باس‌ها از مقدار نامی و متعادل‌سازی بار در بین فیدرها در نظر گرفته شده‌اند.

۲- تشریح مسأله مفروض

از آنجایی که توابع هدف ابعاد مختلفی دارند، برای مقایسه آسان‌تر، روش چند هدفه فازی به کار می‌رود. در قلمرو فازی، هر هدف با یک تابع عضویت مرتبط می‌شود. تابع عضویت درجه رضایت فازی هدف را مشخص می‌کند. مقدار عضویت هر هدف عددی حقیقی بین ۰ و ۱ می‌باشد که در اینجا با استفاده از تابع عضویت ذوزنقه‌ای تعیین می‌شود.



که I_i^{\max} ماکزیمم ظرفیت جریانی شاخه i ام سیستم است. بنابراین شاخص متعادل‌سازی بار (LBI) به صورت روابط (۷) و (۸) بیان می‌شود:

$$X = \left[\frac{I_1}{I_1^{\max}} \frac{I_2}{I_2^{\max}} \dots \frac{I_i}{I_i^{\max}} \frac{I_n}{I_n^{\max}} \right] \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$LBI = \text{Var}(X) \quad \text{رابطه (۸)}$$

در رابطه (۸)، برای تشکیل LBI از واریانس بردار X استفاده شده است. هر چه این مقدار کوچکتر باشد به این معنی است که متعادل‌سازی بهتری انجام شده است. شاخص c_i برای متعادل‌سازی بار سیستم با رابطه (۹) تعریف می‌شود.

$$c_i = \frac{LBI_i}{LBI_0} \quad \text{رابطه (۹)}$$

که LBI_0 متعادل‌سازی بار قبل از بازآرایی شبکه و LBI_i متعادل‌سازی بار سیستم شعاعی i ام بعد از بازآرایی شبکه می‌باشد. تابع عضویت برای شاخص متعادل‌سازی بار به فرم رابطه (۱۰) بیان می‌شود:

رابطه (۱۰)

$$\mu I_i = \begin{cases} 1 & c_i \leq c_{\min} \\ \frac{c_{\max} - c_i}{c_{\max} - c_{\min}} & c_{\min} < c_i < c_{\max} \\ 0 & c_i \geq c_{\max} \end{cases}$$

که در آن c_{\max} و c_{\min} به ترتیب محدوده‌های پایین و بالای c_i هستند. برای تعیین c_{\max} و c_{\min} بهترین و بدترین آرایش سیستم برای متعادل‌سازی بار در نظر گرفته می‌شود.

است و برای بدترین آرایش سیستم، معادل با تلفات توان آرایش اولیه فرض می‌شود.

۲-۲- مدل‌سازی پروفیل ولتاژ

هدف از این تابع عضویت انتخاب شبکه‌ای است که انحراف از قید ولتاژ باس را کمینه می‌کند. شاخص b_i برای هدف کمینه کردن انحراف ولتاژ باس با رابطه (۴) بیان می‌شود:

$$b_i = \max \left[|1 - V_{\min}| \text{ and } |1 - V_{\max}| \right] \quad \text{رابطه (۴)}$$

که V_{\max} و V_{\min} به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار ولتاژ باس هستند. تابع عضویت برای شاخص بیشینه انحراف ولتاژ باس به صورت رابطه (۵) تعریف می‌شود:

رابطه (۵)

$$\mu W_i = \begin{cases} 1 & b_i \leq b_{\min} \\ \frac{b_{\max} - b_i}{b_{\max} - b_{\min}} & b_{\min} < b_i < b_{\max} \\ 0 & b_i \geq b_{\max} \end{cases}$$

که b_{\max} و b_{\min} به ترتیب محدوده‌های پایین و بالای شاخص b_i هستند. برای تعیین b_{\max} و b_{\min} بهترین و بدترین آرایش سیستم برای بیشینه انحراف ولتاژ باس در نظر گرفته می‌شود.

۲-۳- مدل‌سازی تعادل بار روی فیدرها

برای در نظر گرفتن شاخص متعادل‌سازی بار برای کل سیستم، ابتدا پارامتر مناسبی به عنوان شاخص متعادل‌سازی بار برای شاخه i ام تعریف می‌شود و در رابطه (۶) مشخص می‌شود. این شاخص بیان می‌کند که چه مقدار از این شاخه بارگذاری شده است.

$$\text{رابطه (۶)} \quad \text{شاخص استفاده از خط} = \frac{I_i}{I_i^{\max}}$$



۲-۴- تابع شایستگی کلی

هدف از حل مسأله بازآرایی چند هدفه پیدا کردن بهترین شبکه توافقی می‌باشد، درحالی‌که قیود کاری را بدون ایزوله کردن هیچ باری برآورده می‌سازد. در این مقاله عملگر جدیدی به نام «حداکثر متوسط هندسی» برای تعیین درجه رضایت فازی کلی به کار می‌رود [۱۲]. درجه رضایت فازی کلی برای سیستم شعاعی i ام به صورت رابطه (۱۱) تعریف می‌شود:

$$\mu O_i = (\mu P_i \times \mu W_i \times \mu I_i)^{1/3} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

شبکه با ماکزیمم درجه رضایت فازی کلی μO_i بهترین راه حل توافقی را نتیجه می‌دهد. بنابراین به‌عنوان تابع شایستگی برای الگوریتم PSO در نظر گرفته شده و طی فرآیند بهینه‌سازی پیشینه می‌گردد.

۲-۵- قیود مسأله تجدید آرایش بهینه

در حل مسأله بازآرایی شبکه توزیع شرایط و قیودهای زیر باید برآورده شوند:

- قید شعاعی بودن شبکه

برای آنکه بتوان الگوریتمی برای تعیین شبکه شعاعی مشخص کرد، از قضایای گراف می‌توان استفاده نمود. اگر در یک درخت، رئوسی که درجه آنها ۱ است حذف شوند و این عمل تکرار پذیرد، در نهایت تمامی رئوس درخت حذف خواهند شد. شرط ایزوله نشدن بار به این صورت است که مجموعه متشکل از شماره‌های باس‌های ابتدا و انتهای خطوط، تمامی اعداد صحیح از صفر تا شماره آخرین باس را در بر بگیرد [۱۳].

- محدودیت ولتاژ باس‌ها

که مطابق رابطه (۱۲) تعریف می‌شود:

$$V_{\min} \leq |V_i| \leq V_{\max}, \quad \forall i, i \in N_b \quad (12)$$

V_i ولتاژ باس i و V_{\min} و V_{\max} به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار ولتاژ باس و N_b تعداد کل باس‌های شبکه هستند.

- محدودیت جریان خطوط

که مطابق رابطه (۱۳) تعیین می‌شود:

$$|I_i| \leq I_i^{\max} \quad i = 1, 2, \dots, N_{br} \quad (13)$$

که $|I_i|$ و I_i^{\max} به ترتیب دامنه جریان و ماکزیمم ظرفیت جریانی شاخه i ام هستند. پارامتر N_{br} نیز تعداد کل شاخه‌ها می‌باشد.

۳- نتایج شبیه‌سازی

شبکه توزیع استان خراسان سیستم مورد مطالعه در این مقاله است که فرض می‌شود در ابتدا و قبل از به‌کارگیری تجدید آرایش بهینه، کلیدهای در حالت عادی باز، s33 تا s37 هستند. پارامترهای در نظر گرفته‌شده برای الگوریتم PSO در جدول ۱ لیست شده‌اند.

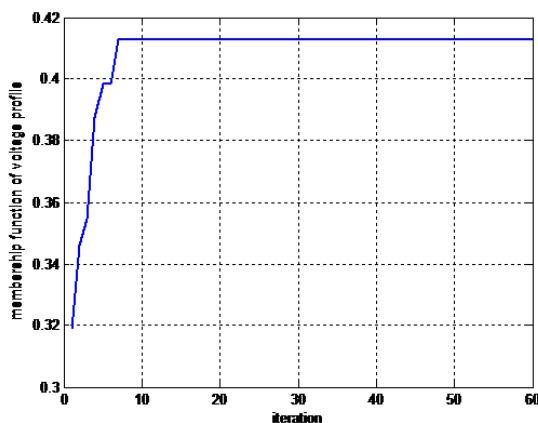
برای تابع هدف تلفات مقادیر a_{\min} و a_{\max} به ترتیب صفر و یک فرض می‌شوند. نتایج بهینه‌سازی با هدف کاهش تلفات در جدول ۲ نشان داده شده و با راه‌حل‌های به‌دست آمده توسط روش‌های دیگر مقایسه شده است. همان‌طور که از جدول مشاهده می‌شود روش پیشنهادی به راه‌حل بهینه سراسری همگرا می‌شود و زمان اجرای الگوریتم نیز به‌طور قابل‌توجهی کوتاه



مشخصه همگرایی الگوریتم پیشنهادی را برای این هدف نمایش می‌دهد.

(جدول-۳): نتایج بازآرایی با هدف کاهش انحراف ولتاژ باس‌ها

روش	زمان اجرا	کمترین ولتاژ	شماره کلیدهای باز
حالت اولیه	-	۰/۹۱۳۰ pu	۳۳-۳۴-۳۵-۳۶-۳۷
مرجع [۱۳]	۸sec	۰/۹۳۸۷ pu	۶-۹-۱۴-۳۲-۳۷
PSO	۶/۵۶sec	۰/۹۴۱۲ pu	۷-۹-۱۴-۲۸-۳۲



(شکل-۲): مشخصه همگرایی الگوریتم با تابع هدف کاهش انحراف ولتاژ باس

برای تابع هدف متعادل‌سازی بار روی فیدرها، مقادیر C_{min} و C_{max} به ترتیب صفر و یک در نظر گرفته می‌شوند. نتایج شبیه‌سازی برای هدف متعادل‌سازی بار در جدول ۴ نشان داده شده و با راه‌حل به‌دست آمده در [۱۴] با استفاده از روش Fuzzy-ACO مقایسه شده است. طبق نتایج آزمایش آرایش بهینه پیشنهادی از لحاظ بهبود متعادل‌سازی بار نسبت به روش Fuzzy-ACO شرایط بهتری دارد. به دلیل اینکه این تابع هدف پیچیده‌تر است اندازه جمعیت و بیشترین تعداد تکرار مقادیر بالاتری انتخاب شده اند و بنابراین زمان اجرای الگوریتم افزایش پیدا کرده است. مشخصه همگرایی الگوریتم PSO در شکل ۳ نشان داده شده است.

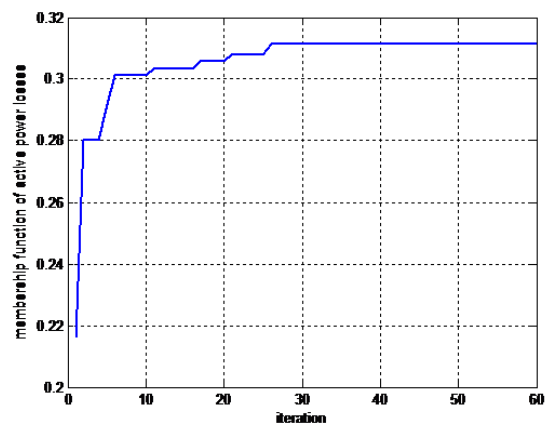
است. با توجه به جدول تلفات شبکه بعد از بازآرایی به اندازه ۶۳/۱۲۷ کیلووات کاهش می‌یابد. در شکل ۱ مشخصه همگرایی الگوریتم پیشنهادی به مقدار بهینه نشان داده شده است.

(جدول-۱): پارامترهای الگوریتم PSO

پارامتر	Iteration	N	wmax	wmax	c1	c2
مقدار	۶۰	۱۵	۰/۴	۰/۹	۲	۲

(جدول-۲): نتایج بازآرایی با هدف کاهش تلفات توان حقیقی

روش	زمان اجرا	تلفات توان	شماره کلیدهای باز
حالت اولیه	-	۲۰۲/۶۷Kw	۳۳-۳۴-۳۵-۳۶-۳۷
مرجع [۱۴]	۶/۱۳sec	۱۴۰/۲۷kw	۷-۱۰-۱۴-۳۲-۳۷
مرجع [۱۵]	۷/۲sec	۱۴۲/۶۷kw	۷-۱۰-۳۲۳۶۱۴
PSO	۵/۴۹Sec	۱۳۹/۵۵kw	۷-۹-۱۴-۳۲-۳۷



(شکل-۱): مشخصه همگرایی الگوریتم با تابع هدف کاهش تلفات حقیقی

برای تابع هدف بهبود پروفیل ولتاژ، مقادیر b_{min} و b_{max} به ترتیب صفر و ۰/۱ فرض می‌شوند. جدول ۳ نتایج بهینه‌سازی با هدف کاهش انحراف ولتاژ را ارائه می‌کند. روش پیشنهادی با روش ارائه شده در [۱۳] با استفاده از الگوریتم HBMO مقایسه شده است. با توجه به این نتایج روش پیشنهادی مقدار ولتاژ بالاتری را با زمان اجرای کمتر به‌دست می‌دهد. شکل ۲



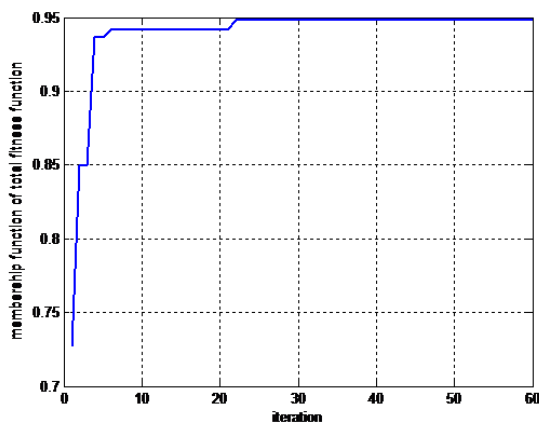
مقایسه نشده است. در اینجا اهداف به‌طور همزمان بهینه می‌شوند و جواب بهینه توافقی مسأله بدست می‌آید. مشخصه همگرایی الگوریتم برای این تابع شایستگی در شکل ۴ نمایش داده شده است.

(جدول-۵): محدوده‌ی پایین و بالای شاخص‌ها برای اهداف

مختلف		اهداف
حد بالا	حد پایین	
۱	۰/۶۸۸۵	کاهش تلفات
۰/۰۸۶۹	۰/۰۵۸۷	کاهش انحراف ولتاژ باس
۱	۰/۳۳۸۹۴۹	متعادل سازی بار

(جدول-۶): نتایج بازآرایی با تابع شایستگی چندهدفه

شاخص	روش	حالت اولیه	PSO
تلفات توان		۲۰۲/۶۷۷kw	۱۳۹/۹۷۸kw
کمترین ولتاژ		۰/۹۱۳۰۹۰۵pu	۰/۹۴۱۲۸۷۱pu
درصد بهبود LBI		-	۸۴/۲۹
زمان اجرا		-	۴/۶sec
شماره کلیدهای باز		۳۳-۳۴-۳۵-۳۶-۳۷	۷-۹-۱۴-۲۸-۳۲



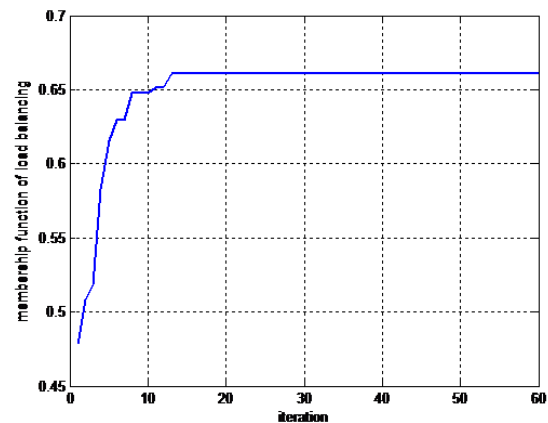
(شکل-۴): مشخصه همگرایی الگوریتم با تابع شایستگی چندهدفه

۴ - نتیجه‌گیری

در این مقاله روش مؤثری برای حل مسأله بازآرایی چند هدفه شبکه توزیع ارائه شده است که از الگوریتم PSO و بهینه‌سازی فازی استفاده می‌کند. اهداف مورد

(جدول-۴): نتایج بازآرایی با هدف کاهش متعادل سازی بار بین

فیدرها			
روش	زمان اجرا	درصد بهبود	شماره کلیدهای باز
LBI			
حالت اولیه	-	-	۳۳-۳۴-۳۵-۳۶-۳۷
مرجع [۱۴]	-	۶۱/۵۶	۶-۹-۱۴-۳۱-۳۷
PSO	۱۱/۳۹Sec	۶۶/۷۵	۱۱-۲۸-۳۱-۳۳-۳۴



(شکل-۳): مشخصه همگرایی الگوریتم با تابع هدف متعادل سازی بار

همانطور که بیان شد تابع شایستگی کلی μO_i رابطه (۱۱) به‌عنوان تابع شایستگی برای بهینه‌سازی چند هدفه در نظر گرفته می‌شود. محدوده‌های پایین و بالا برای شاخص‌های a_i و b_i و c_i که به ترتیب مربوط به اهداف کاهش تلفات، کاهش انحراف ولتاژ و متعادل سازی بار می‌باشند در جدول ۵ ارائه شده است. محدوده‌های پایین مربوط به بهترین آرایش سیستم است که با بهینه‌سازی هر یک از توابع هدف به‌طور جداگانه بدست آمده و محدوده‌های بالا مربوط به بدترین آرایش سیستم است که در اینجا همان آرایش اولیه سیستم قبل از بازآرایی در نظر گرفته شده است.

نتایج شبیه‌سازی برای بهینه‌سازی تابع شایستگی چند هدفه در جدول ۶ نشان داده شده است. از آنجایی که کار مشابهی در مقالات برای مقایسه وجود ندارد، الگوریتم پیشنهادی PSO با الگوریتم‌های دیگر



۴. در نظر گرفتن شماره کلیدهای باز به‌عنوان متغیر بهینه‌سازی که هر کلید از یک حلقه اصلی در شبکه انتخاب می‌شود. این کار موجب کاهش فضای جستجو و تعداد آرایش‌های غیر شعاعی شبکه و در نتیجه افزایش سرعت همگرایی الگوریتم می‌شود.

۵. استفاده از یک روش مستقیم برای محاسبه پخش بار که از دقت و سرعت بالایی برخوردار است. از آنجا که در حل مسأله بازآرایی به دفعات زیادی پخش بار شبکه برای به‌دست آوردن تلفات و دیگر پارامترها انجام می‌گیرد، زمان همگرایی پخش بار برای آن بسیار مهم است.

۶. بکارگیری الگوریتم بهینه‌سازی PSO برای یافتن آرایش بهینه که روشی مؤثر و قدرتمند است، از دقت و سرعت همگرایی بالایی برخوردار است و پیاده‌سازی آن آسان می‌باشد. علاوه بر این الگوریتم پیشنهادی پس از به‌روز رسانی موقعیت، برای اجتناب از بهینه محلی و کاوش نواحی جستجوی جدید از عملگر جهش استفاده می‌نماید.

Mohammad S. Payam. "Pareto dominance-based multiobjective optimization method for distribution network reconfiguration." *IEEE Transactions on Smart Grid* 7.3 (2016): 1401-1410.

[4] Mosbah, Mustafa, et al. "Optimal Algerian Distribution Network Reconfiguration Using Antlion Algorithm for Active Power Losses." 2018 3rd International Conference on Pattern Analysis and

نظر کاهش تلفات توان حقیقی، کاهش انحراف ولتاژ باس‌ها از مقدار نامی و متعادل‌سازی بار در بین فیدرها می‌باشد. هنگام تغییر آرایش همواره باید قیدهایی نظیر شعاعی بودن شبکه و در بر گرفتن تمامی باس‌ها و قیود ولتاژ و جریان شبکه رعایت شوند که این امر بازآرایی را تبدیل به یک مسأله بهینه‌سازی می‌کند. از جمله نتایج حاصل از این مقاله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. استفاده از روش فرمول‌بندی چندهدفه فازی؛ از آنجایی که توابع هدف ابعاد مختلفی دارند، برای مقایسه آسان‌تر روش چندهدفه فازی به‌کار رفته است.

۲. استفاده از عملگر «ماکزیمم متوسط هندسی» برای تشکیل تابع شایستگی چندهدفه؛ با استفاده از این عملگر در صورت صفر شدن مقدار هر یک از توابع هدف مقدار تابع شایستگی چندهدفه صفر می‌شود، بنابراین ارزش‌گذاری بهتری انجام می‌شود. از طرفی به-راحتی می‌توان مقادیر تابع شایستگی چندهدفه را با حالت ایده آل مقایسه نمود.

۳. فرمول‌بندی به‌کار رفته برای هدف متعادل-سازی بار که جریان‌های فیدر متعادل‌تری ایجاد می‌کند.

۵ - مراجع

- [1] El-Hawary, Mohamed E. *Electrical energy systems*. Crc Press, 2017.
- [2] Santos, Sérgio F., et al. "Impacts of optimal energy storage deployment and network reconfiguration on renewable integration level in distribution systems." *Applied energy* 185 (2017): 44-55.
- [3] Asrari, Arash, Saeed Lotfifard, and



Olamaei, and Mahmoud-Reza Haghifam. "Adaptive multi-objective distribution network reconfiguration using multi-objective discrete particles swarm optimisation algorithm and graph theory." *IET Generation, Transmission & Distribution* 7.12 (2013): 1367-1382.

- [13] Narimani, Mohammad Rasoul, et al. "Enhanced gravitational search algorithm for multi-objective distribution feeder reconfiguration considering reliability, loss and operational cost." *IET Generation, Transmission & Distribution* 8.1 (2014): 55-69.
- [14] Mirhoseini, Seyed Hasan, et al. "A new improved adaptive imperialist competitive algorithm to solve the reconfiguration problem of distribution systems for loss reduction and voltage profile improvement." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 55 (2014): 128-143.
- [15] Rao, R. Srinivasa, et al. "Power loss minimization in distribution system using network reconfiguration in the presence of distributed generation." *IEEE transactions on power systems* 28.1 (2013): 317-325.



علی محمدی مدرک
کارشناسی خود را در
رشته مهندسی مخابرات
در سال ۱۳۹۲ از دانشگاه
صنعتی قوچان دریافت
کرد و مدرک کارشناسی
ارشد و دکتری را به

ترتیب در سالهای ۱۳۹۴ و ۱۳۹۸ از دانشگاه بیرجند
در رشته مهندسی برق الکترونیک اخذ کرده است.
زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان عبارتند از:
محاسبات نرم، فیلتر تطبیقی، الکترونیک RF، هوش
مصنوعی، بهینه‌سازی بیولوژیکی و طبیعی، طراحی
VLSI و پردازش سیگنال و تصویر.

Intelligent Systems (PAIS). IEEE, 2018.

- [5] Nguyen, Thuan Thanh, and Anh Viet Truong. "Distribution network reconfiguration for power loss minimization and voltage profile improvement using cuckoo search algorithm." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 68 (2015): 233-242.
- [6] Paterakis, Nikolaos G., et al. "Multi-objective reconfiguration of radial distribution systems using reliability indices." *IEEE Transactions on Power Systems* 31.2 (2016): 1048-1062.
- [7] Gong, Zhiyun, Qing Chen, and Kongming Sun. "Novel methodology solving distribution network reconfiguration with DG placement." *The Journal of Engineering* (2018).
- [8] Rahmani-Andebili, Mehdi, and Mahmud Fotuhi-Firuzabad. "An adaptive approach for PEVs charging management and reconfiguration of electrical distribution system penetrated by renewables." *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 14.5 (2018): 2001-2010.
- [9] Gazijahani, Farhad Samadi, and Javad Salehi. "Integrated DR and reconfiguration scheduling for optimal operation of microgrids using Hong's point estimate method." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 99 (2018): 481-492.
- [10] Jabr, Rabih A., Ravindra Singh, and Bikash C. Pal. "Minimum loss network reconfiguration using mixed-integer convex programming." *IEEE Transactions on Power systems* 27.2 (2012): 1106-1115.
- [11] Hemdan, Nasser GA, et al. "Optimal reconfiguration of radial MV networks with load profiles in the presence of renewable energy based decentralized generation." *Electric Power Systems Research* 116 (2014): 355-366.
- [12] Andervazh, Mohammad-Reza, Javad