



بازآرایی و تخصیص بهینه تولیدات پراکنده در شبکه‌های توزیع با استفاده از الگوریتم ترکیبی فازی - مورچگان

هاجر باقری طولابی*^۱، محمودرضا شاکرمی^۲، اسماعیل رک رک^۲

۱- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی برق

۲- عضو هیئت علمی دانشگاه لرستان، دانشکده مهندسی، گروه برق

* ایمیل نویسنده مسئول: hajar.bagheri@hotmail.com

چکیده

این مقاله یک روش ترکیبی جهت بازآرایی و جایابی تولیدات پراکنده در فیدرهای شبکه توزیع برق ارائه می‌دهد. هدف این پژوهش بهبود پروفیل ولتاژ، کاهش تلفات و افزایش تعادل بار در شبکه‌های توزیع می‌باشد. از الگوریتم مورچگان جهت تعیین پیکربندی بهینه شبکه و نیز تعیین محل و ظرفیت مناسب نصب واحدهای تولید پراکنده در شبکه توزیع استفاده می‌شود. به منظور بهبود توانایی الگوریتم در ایجاد مصالحه بین ترم های مختلف تابع هدف، از تئوری فازی بهره گرفته شده و بر این اساس مسئله بهینه سازی چند منظوره به یک مسئله بهینه سازی تک هدفه تبدیل شده است. تکنیک مورد نظر با استفاده از سیستم تست ۳۳ بوس IEEE در بارهای نامی، سبک و سنگین مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که روش پیشنهادی، در بهبود هر سه شاخص تلفات، پروفیل ولتاژ و تعادل بار فیدر عملکرد موثری داشته و همچنین در مقایسه با الگوریتم‌های دیگر موفق تر عمل نموده است. همچنین، با مقایسه نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گیری کرد که بازآرایی همزمان با تعیین مکان و ظرفیت بهینه تولیدات پراکنده می‌تواند مفیدتر از بازآرایی یا مکان یابی بهینه تولیدات پراکنده به تنهایی باشد.

کلیدواژه‌ها: الگوریتم مورچگان، بازآرایی، تولید پراکنده، سیستم استنتاج فازی، شبکه توزیع

Combined Fuzzy-ACO Algorithm for Optimal Reconfiguration and Distributed Generation Allocation

Hajar Bagheri Tolabi^{1*}, M. R. Shakarami²

¹ Faculty of engineering, Khorramabad Branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran

² Lorestan University, Faculty of Engineering, Khorramabad, Iran

* Corresponding author e-mail: hajar.bagheri@hotmail.com

Abstract

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. Ant Colony Optimization (ACO) approach as a Swarm Intelligence (SI) based algorithm 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.

Keywords: Fuzzy Inference System, Multi objective reconfiguration, Distributed Generation, Ant Colony Optimization

شبکه‌های توزیع برق، واسطه بین سیستم انتقال و مصرف کنندگان هستند. این شبکه‌ها اکثراً بصورت شعاعی طراحی می‌شوند و در مقایسه با شبکه‌های انتقال دارای تلفات توان راکتیو و نیز افت ولتاژ بیشتری می‌باشند. خطوط این شبکه‌ها برای تأمین افزایش توان مصرفی، اغلب به صورت نزدیک یا دورتر از محدوده حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرند و نسبت به افزایش توان غیر منتظره واکنش 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. بر این اساس، در میان مشکلات موجود در سیستم توزیع، توجه به کاهش تلفات، بهبود میزان بارگذاری خطوط و افزایش پایداری ولتاژ الزامی می‌باشد. استفاده از منابع تولیدات پراکنده^۱ (DG) و نیز بازاریابی^۲ 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 بازاریابی شناخته می‌شود و با اهداف مختلفی مانند کاهش تلفات، بهبود توزیع ولتاژ، افزایش تعادل بار و ... انجام می‌شود. بازاریابی شبکه‌های توزیع برق، بویژه در حضور سیستم‌های اتوماسیون، یکی از اهداف بهره برداری در شبکه‌های قدرت محسوب می‌شود. تا کنون تحقیقات بسیاری در زمینه روش‌های مختلف بازاریابی با اهداف گوناگون برای سیستم‌های توزیع صورت پذیرفته است [۱-۶].

بازاریابی شبکه‌های توزیع به منظور کاهش تلفات، برای اولین بار توسط مرلین و بک [۲] در سال ۱۹۷۵ ارائه شد. روش آن‌ها با استفاده از تکنیک بهینه سازی شاخه و قید، به تعیین ساختاری از شبکه توزیع می‌پردازد که حداقل تلفات را داراست. پس از این تکنیک، الگوریتم‌های زیادی با اهداف متنوعی برای بازاریابی سیستم‌های توزیع ارائه شدند. گوسوامی و باسو [۳] یک الگوریتم ابتکاری برای بازاریابی ارائه کردند که با استفاده از یک برنامه پخش بار اجرا می‌شود. تالسکی و راجیسیک [۴] یک تکنیک بهینه سازی برای تعیین ساختار سیستم توزیع با حداقل تلفات انرژی برای یک دوره معین ارائه دادند. جنبه‌های کاربردی استفاده از بازاریابی بهینه سیستم‌های توزیع توسط بورازن و راجیکویچ [۵] معرفی شدند.

یک الگوریتم بازاریابی شبکه با استفاده از شاخص‌های ولتاژ، اهمی و تصمیم گیری توسط لین و چاین [۶] برای تعیین عملیات سوئیچینگ معرفی شد. گومز و همکاران [۷] نیز یک الگوریتم ابتکاری برای بازاریابی شبکه‌های توزیع خیلی بزرگ معرفی کردند. در سال ۲۰۰۵، روش جدیدی مبتنی بر تکنیک مسیر به گره به منظور مدل سازی بازاریابی توسط راموست و اکسپوزیت [۸] ارائه شد. اشमित و همکاران [۹] نیز به معرفی یک تکنیک بازاریابی بر اساس روش استاندارد نیوتن برای به حداقل رساندن تلفات پرداختند. ژو و همکاران [۱۰] برای حل مسئله بازاریابی، از ترکیب قوانین ابتکاری و منطق فازی با هدف بهینه سازی استفاده کردند. جان [۱۱]، اگلیر [۱۲] و همکاران از تکنیک‌های هوش مصنوعی برای بازاریابی استفاده کردند. داس [۱۳] یک قاعده فازی چند منظوره جهت

بهینه سازی شبکه توزیع را مدل سازی نمود. نارا و همکاران [۱۴] با بهره گیری از الگوریتم ژنتیک به حل مسئله بازاریابی شبکه توزیع پرداختند. در سال ۲۰۱۱، الگوریتم جستجوی هماهنگ توسط راتو و همکاران جهت بازاریابی بهینه شبکه‌های توزیع بزرگ، مورد استفاده قرار گرفت [۱۵]. کومار و جایاراتی از الگوریتم بهینه سازی غذایابی باکتری^۳ (BFOA) جهت بازاریابی شبکه توزیع به منظور کاهش تلفات بهره برده‌اند [۱۶]. سفر و همکاران نیز از الگوریتم کلونی مورچه و سیستم استنتاج فازی صرفاً^۴ به منظور بازاریابی شبکه توزیع و نه جایابی منابع تولید پراکنده استفاده کرده‌اند [۱۷].

بهره گیری از منابع انرژی تجدید پذیر در هر سال به طور متوسط ۱۰٫۷ درصد رشد می‌کند، و پیش بینی می‌شود، سهم این منابع از تولید انرژی در دنیا از ۱۳ درصد در سال ۲۰۱۱ به ۱۶ درصد در سال ۲۰۴۰ افزایش یابد. تولیدات پراکنده ژنراتورهای کوچکی هستند که معمولاً با بهره گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر به سیستم قدرت متصل شده و برق محلی را برای مصرف کننده بار تأمین می‌نمایند. این منابع می‌توانند یک راه حل برای مشکلات کاربردهای صنعتی، تجاری و خانگی باشند. DG ها از آخرین تکنولوژیهای مدرنکه مؤثر، قابل اطمینان و به اندازه کافی ساده هستند بگونه‌های استفاده می‌کنند که حتی در برخی نواحی می‌توانند با ژنراتورهای بزرگ رقابت نمایند. سیستم‌های DG (از قبیل‌هایمولد بادی، فتوولتائیک ها، موتورهای احتراق، میکروتوربین ها و ...) می‌توانند باعث کاهش تلفات، بهبود پایداری و همچنین کاهش هزینه‌های سرمایه گذاری در سیستم‌های انتقال و گسترش شبکه‌های توزیع گردند. اندازه مناسب و همچنین مکان بهینه این تجهیزات، کلید اصلی برای رسیدن به این هدف می‌باشند [۱۸]. جایابی بهینه DG ها در شبکه توزیع یک مسئله بهینه سازی با متغیرهای گسسته و پیوسته می‌باشد. برخی از تحقیقات از روش‌های هوشمند و تکاملی برای یافتن مکان بهینه DG ها استفاده کرده‌اند. به عنوان نمونه در مرجع [۱۹] از الگوریتم ترکیبی فازی-ژنتیک برای مکان یابی تولیدات پراکنده استفاده شده است.

با بررسی پژوهش‌ها در این زمینه متوجه دیدگاه جدیدی با عنوان ترکیب دو مسئله بازاریابی همزمان با تخصیص بهینه واحدهای DG می‌شویم که در پژوهش‌ها به این مسئله ترکیبی پیچیده کمتر پرداخته شده است. زیدان و السعدانی [۲۰] یک روش بازاریابی بر اساس احتمال را جهت تعیین ساختار فصلی مطلوب همراه با جایابی واحدهای DG پیشنهاد می‌دهد. در این مطالعه، محل نصب واحدهای DG از پیش تعیین شده و بازاریابی مجدد، به منظور به حداقل رساندن تلفات انرژی و کاهش هزینه انجام شده است.

در این مقاله، الگوریتم مورچگان^۴ (ACO) به منظور هر دو هدف بازاریابی و تخصیص بهینه واحدهای DG در شبکه توزیع استفاده می‌شود. فرض شده است که واحدهای DG قابلیت تزریق هر دو نوع توان‌های اکتیو و راکتیو را دارا هستند. کاهش تلفات، بهبود توزیع ولتاژ و بهبود تعادل بار فیدر، اهداف این مسئله بهینه سازی ترکیبی هستند. از منطق فازی نیز به منظور بهبود عملکرد الگوریتم ACO و جهت ایجاد مصالحه‌ای مناسب

^۳ Bacterial Foraging Optimization Algorithm
^۴ Ant Colony Optimization

^۱ Distributed Generation
^۲ Reconfiguration

که:

- P_k : توان حقیقی بآس k
- Q_k : توان راکتیو بآس k
- $P_{Loss,k}$: تلفات توان حقیقی بآس k
- $Q_{Loss,k}$: تلفات توان راکتیو بآس k
- P_{Lk+1} : توان حقیقی بآس $k+1$
- Q_{Lk+1} : توان حقیقی بآس $k+1$
- R_k : مقاومت خط ارتباطی بین بآس k و $k+1$
- X_k : راکتانس خط ارتباطی بین بآس k و $k+1$
- Y_k : ادمیتانس موازی بآس k و $k+1$
- V_k : دامنه ولتاژ بآس k می‌باشند.

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

$$P_{DG,loss} = \frac{R_k}{V_k^2} (P_k^2 + Q_k^2) + \frac{R_k}{V_k^2} (P_G^2 + Q_G^2 - 2P_k P_G - 2Q_k Q_G) \left(\frac{G}{L}\right) \quad (3)$$

که در آن:

- P_G : توان حقیقی تزریقی توسط DG
- Q_G : توان راکتیو تزریقی توسط DG
- G : فاصله منبع تا محل DG به کیلومتر و
- L : طول کل فیذر از منبع تا بآس k می‌باشند.

۲-۲ تابع هدف و قیود مسئله

تابع هدف، یک مسئله بهینه سازی مقید برای پیدا کردن ساختار بهینه سیستم توزیع و تخصیص مناسب مکان و ظرفیت DG است. تابع هدف F (متشکل از سه هدف کاهش تلفات، افزایش توازن بار و بهبود توزیع ولتاژی می‌شود و در قالب یک رابطه ریاضی زیر به صورت زیر فرمول بندی شده است:

$$\text{Min} F(X) = \min[P_{Loss}, LBI, VPI] \quad (4)$$

قیود مسئله عبارتند از:

$$V_{k\min} \leq V_k' \leq V_{k\max} - 1$$

$$|I'_{k,k+1}| \leq |I_{k,k+1\max}| - 2$$

$$\sum_{k=1}^{nf} P_{Gk} \leq \sum_{k=1}^{nf} (P_k + P_{Loss,k}) - 3$$

۴- ساختار شعاعی شبکه حفظ شود.

۵- همه بآس‌های موجود در شبکه تغذیه شوند.

که:

$$V_k': \text{ولتاژ بآس } k \text{ پس از بازآرایی}$$

$$V_{k\max}: \text{ماکزیمم ولتاژ بآس } k$$

$$V_{k\min}: \text{مینیمم ولتاژ بآس } k$$

$$I'_{k,k+1}: \text{جریان خط بین بآس } k \text{ و } k+1 \text{ پس از بازآرایی}$$

$$I_{k,k+1\max}: \text{ماکزیمم حد جریان خط بین بآس } k \text{ و } k+1$$

بین توابع هدف مختلف استفاده شده است و بر این اساس، مسئله بهینه سازی چند هدفه به یک مسئله بهینه سازی تک منظوره تبدیل شده است. جنبه‌های نوآوری مقاله شامل معرفی ترکیب جدیدی از الگوریتم مورچگان و سیستم بهینه سازی فازی چند هدفه به منظوره بازآرایی همزمان با تخصیص تولیدات پراکنده در شبکه‌های توزیع می‌باشند.

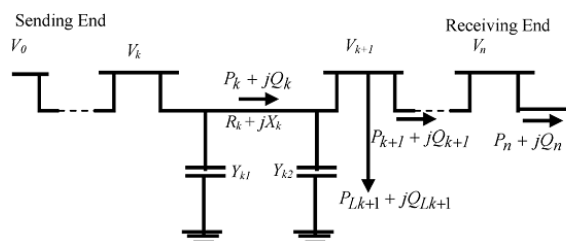
در ادامه، ساختار مقاله به شرح زیر است:

فرمول بندی مسئله در بخش ۲، سیستم فازی ارائه شده جهت مصالحه بین توابع هدف در بخش ۳ و شرح و نحوه عملکرد الگوریتم مورچگان در بخش ۴ ارائه می‌شوند. بخش ۵ به روش بهینه سازی با استفاده از روش پیشنهادی ترکیبی فازی- الگوریتم مورچگان می‌پردازد. در بخش ۶ نیز به شبیه سازی مسئله و ارائه نتایج عددی پرداخته خواهد شد.

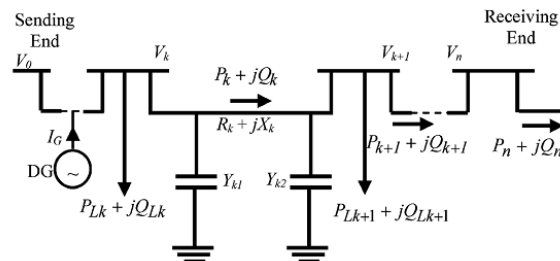
۲-۱ فرمول بندی مسئله

۱-۱-۲ معادلات پخش بار

پخش بار در سیستم توزیع بر اساس زیر مجموعه‌ای از معادلات ساده بازگشتی [۲۱] به دست آمده از دیاگرام تک خط نشان داده شده در شکل (۱)، (a) به صورت زیر محاسبه می‌شود:



(a)



(b)

شکل ۱: دیاگرام خط یک فیذر نمونه، (a) بدون DG، (b) با نصب DG در مکان دلخواه

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

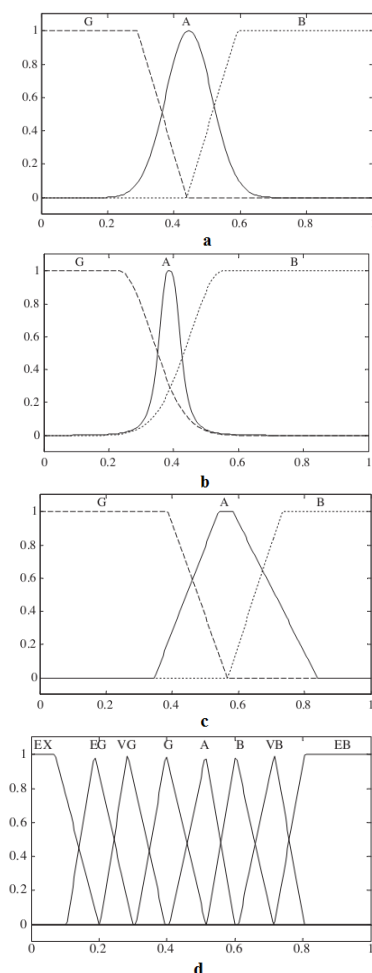
$$Q_{k+1} = Q_k - Q_{Loss,k} - Q_{Lk+1} = Q_k - \frac{X_k}{|V_k|^2} \{P_k^2 + (Q_k + Y_k |V_k|^2)^2\} - Y_{k1} |V_k|^2 - Y_{k2} |V_{k+1}|^2 - Q_{Lk+1}$$

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

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

مورچه‌ها می‌خواهند مسیر A تا B را در شکل (۳) برای دستیابی به غذا طی کنند. در ابتدا اگر هیچ مانعی وجود نداشته باشد، تمام مورچه‌ها، مسیر مستقیم را انتخاب می‌کنند (شکل (۳-ا)). اگر مانعی بر سر راه مورچه‌ها وجود داشته باشد (شکل (۳-ب)) در ابتدا گروهی از مورچه‌ها، به‌طور تصادفی، مسیر ADB و گروه دیگری مسیر ACB را انتخاب می‌کنند، اما از آنجایی که مسیر ADB نسبت به مسیر ACB کوتاه‌تر است، مورچه‌ها برای رسیدن به غذا، زمان کمتری را طی می‌کنند. بنابراین در زمان مشخص، مقدار ماده شیمیایی ترشح‌شده در مسیر ADB بیشتر و در نتیجه مورچه‌ها به سمت مسیر ADB سوق داده می‌شوند (شکل (۳-ج)).

از مطالب فوق می‌توان نتیجه گرفت که ترشح ماده شیمیایی و غلظت آن، از عوامل مهم پیدا کردن کوتاهترین مسیر توسط مورچه‌ها می‌باشد. به‌عبارتی مورچه‌ها براساس اینکه غلظت ماده شیمیایی در کدام مسیر بیشتر است به شدت ترافیک مورچه‌ها در آن مسیر پی برده و خود نیز به آن مسیر هدایت می‌شوند.



شکل ۲ متغیرهای فازی برای a. $\mu_{P_{loss}}$ ، b. μ_{LBI} ، c. μ_{VPI} ، d. تابع هدف خروجی فازی شده

n_f : مجموع خطوط سیستم می‌باشند.

اولین ترم تابع هدف مربوط به کاهش تلفات است و با معادله (۵) به صورت زیر تعریف می‌شود:

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

دومین ترم تابع هدف مربوط به افزایش تعادل بار فیدر است و با معادله (۶) ارائه می‌شود:

$$LBI = \sum_j \left(\frac{I_{Fj}}{I_{Favg}} \right)^2 \quad (6)$$

که در آن، I_{Fj} جریان عبوری از خط j بوده و I_{Favg} نیز به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$I_{Favg} = \frac{1}{n_f} \sum_{j=1}^{n_f} I_{Fj} \quad (7)$$

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

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

که LB مجموعه متشکل از بارها و ولتاژ نامی باس K است. کاهش هر سه ترم تابع هدف، با رعایت قیود ذکر شده منجر به بهبود وضعیت شبکه خواهد شد.

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 [۲۲].

توابع عضویت برای ورودیها و خروجی سیستم فازی با کمک رابطه (۹) و نیز با استفاده از شکل ۲ نشان داده شده است:

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

۴- الگوریتم مورچه‌ها

مورچه‌ها، حشراتی هستند که به‌طور گروهی و دسته‌جمعی زندگی می‌کنند و از آنجایی که این حشرات دارای قدرت بینایی نیستند، مسیر از لانه تا منبع غذا را براساس ترشح ماده شیمیایی بنام فرومون، پیدا می‌کنند. به‌عبارتی مورچه‌ها، براساس مقدار و غلظت این ماده شیمیایی کوتاهترین مسیر را پیدا می‌کنند. برای فهم بهتر، می‌توان فرض کرد

تعداد واحدهای DG است (در بخش دوم بردار، یک قسمت مربوط به مکان و قسمت دیگر در بردارنده ظرفیت بهینه DG ها می باشد).

با بروز شدن فرمون، و مسیر حرکت مورچه، بردار حل دوم، سوم، و ...
 ام با تای سوئیچ های پیشنهادی جدید، اندازه و مکان جدید برای DG ها به شرح زیر تولید می شود:

$$ACO^i = \{proposed\ tie\ switches^i, proposed\ DG(s)^i\}$$

برای هر یک از راه حل های i ام، برنامه پخش بار اجرا شده، مقدار تابع عضویت برای هر هدف و تابع هدف کلی فازی سنجیده شده و با راه حل قبلی مقایسه و بردار حل بهتر انتخاب و جایگزین می شود. این فرآیند تا زمانی که معیار توقف الگوریتم برآورده شود ادامه می یابد.

جزئیات تکنیک پیشنهادی، در قالب مراحل زیر به تفکیک ارائه شده است: مرحله (۱) دریافت داده های سیستم توزیع (باسها، بارها، امیدانس شاخه ها، تعداد سوئیچ ها و...) و مقداردهی اولیه پارامترهای ACO.

مرحله (۲) اجرای برنامه پخش بار [18] بر اساس معادلات (۳-۱)، تولید بردار راه حل ACO برای بازآرایی و تعیین مکان و اندازه DG ها در شبکه بدون نقض هیچکدام از قیود ارائه شده.

مرحله (۳) اجرای مجدد برنامه پخش بار، محاسبه سه ترم تابع هدف با استفاده از معادلات (۸-۵)، ارزیابی ارزش عضویت برای هر هدف، محاسبه μ_{LBI} , μ_{VPI} , $\mu_{P_{loss}}$ ، با استفاده از معادله (۹). محاسبه تابع هدف فازی کلی و ذخیره نتایج.

مرحله (۴) تولید بردار راه حل جدید با بروز شدن فرمون و مسیر حرکت مورچه ها. بر اساس راه حل های جدید مراحل ۲ و ۳ تکرار می شوند.

مرحله (۵) اگر راه حل جدید بهتر از راه حل ذخیره شده قبلی است، با بروز رسانی بردار ACO، راه حل جدید جایگزین بردار حل قبلی می شود.

مرحله (۶) اگر تعداد تکرارها به حد تعریف شده نهایی نرسیده است، الگوریتم به مرحله ۴ باز می گردد.

مرحله (۷) راه حل ذخیره شده = بهترین راه حل قرار می گیرد.

مرحله (۸) بهترین راه حل به صورت دفازی ترجمه شده و نتیجه نمایش داده می شود.

مرحله (۹) پایان الگوریتم.

۶- شبیه سازی و نتایج عددی

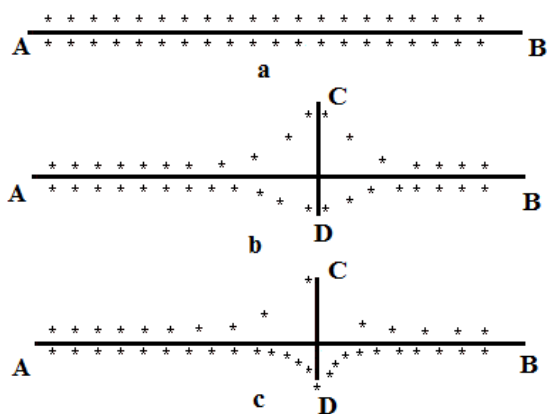
بر اساس روش ارائه شده، یک برنامه تحلیلی در محیط نرم افزار MATLAB توسعه داده شده است. به منظور بررسی اثربخشی تکنیک ارائه شده، برنامه مورد نظر بر روی یک سیستم نمونه، آزمایش شده است. DG های مورد مطالعه قابلیت تزریق هر دو نوع توان اکتیو و راکتیو را دارند و حداکثر ظرفیت تعریف شده برای هر واحد DG بین ۰ تا ۲ مگاوات آمپر می تواند باشد. برای شبیه سازی شبکه و بررسی کارایی تکنیک پیشنهادی، چهار سناریوی مختلف به شرح زیر تجزیه و تحلیل شده اند (برای هر سناریوی همراه با DG، سه واحد DG در شبکه تست جایابی می شود):

سناریوی ۱: سیستم پایه بدون بازآرایی و DG.

سناریوی ۲: سیستم پایه، فقط با بازآرایی چند منظوره.

سناریوی ۳: سیستم پایه، فقط با تخصیص بهینه DG ها.

سناریوی ۴: سیستم پایه با بازآرایی چند منظوره همزمان با تخصیص بهینه DG ها.



شکل ۳ نحوه پیدا کردن کوتاهترین مسیر توسط مورچه ها

از آنجایی که نمی توان به طور دقیق رفتار مورچه ها را شبیه سازی نمود، بنابراین انتخاب مسیر بعدی توسط مورچه ها به کمک دو فاکتور زیر که مبنای بیشتر مطالعات انجام گرفته در این زمینه است، انجام می گردد:

- غلظت ماده شیمیایی ترشح شده

- طول فاصله

باتوجه به دو فاکتور مهم فوق، می توان احتمال انتخاب مسیر بعدی توسط مورچه ها را به صورت زیر شبیه سازی یا پیاده سازی نمود:

$$P_{ij} = \frac{(\tau_{ij})^{\gamma_1} (1/L_{ij})^{\gamma_2}}{\sum (\tau_{ij})^{\gamma_1} (1/L_{ij})^{\gamma_2}}$$

(۱۰) در رابطه فوق τ_{ij} و L_{ij} به ترتیب غلظت ماده شیمیایی

ترشح شده و فاصله بین دو نقطه i و j می باشند و γ_1 و γ_2 نیز پارامترهای

کنترلی هستند که نسبت وزنی ماده شیمیایی و عکس طول فاصله را

تعیین می کنند.

بعد از انتخاب مسیر بعدی توسط مورچه ها، می بایست شدت ماده شیمیایی ترشح شده در آن مسیر به صورت رابطه (۱۱) به روز شود.

$$\tau_{ij}(k+1) = \rho \tau_{ij}(k) + \Delta \tau_{ij} \quad (11)$$

در این رابطه، نشان دهنده درصد باقیمانده ماده شیمیایی بعد از تبخیر و (۱-بیانگر شدت تبخیر ماده شیمیایی است).

۵- تکنیک پیشنهادی ترکیبی فازی-الگوریتم مورچگان به منظور حل مسئله بازآرایی چند منظوره و تعیین مکان و ظرفیت DG

این بخش، نحوه عملکرد تکنیک پیشنهادی فازی-ACO را در بازآرایی بهینه شبکه همزمان با تخصیص مناسب DG ها توصیف می کند. هدف از این بهینه سازی کاهش تلفات، بهبود توزیع ولتاژ و تعادل بار خطوط می باشد. بر این اساس، اولین بردار حل با استفاده از پیکر بندی دوباره و نصب DG بدون نقض قیود مسئله به شرح زیر تشکیل می شود:

$$ACO^1 = [proposed\ tie\ switches^1, proposed\ DG(s)^1]$$

که در آن طول بخش اول بردار برای حل مسئله بازآرایی، برابر با تعداد تای سوئیچ ها، و طول بخش دوم برای تعیین مکان و ظرفیت DG ها، دو برابر

بنابراین می‌توان گفت بازآرایی چند منظوره همزمان با تعیین مکان و ظرفیت بهینه تولیدات پراکنده می‌تواند مفیدتر از بازآرایی یا مکان یابی بهینه تولید پراکنده به تنهایی باشد. هر سه شاخص LBI ، VPI 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، نگهداری، و بهره برداری از تولید پراکنده کمتر است.

جدول ۲ نتایج به دست آمده بر روی شبکه ۳۳ باسه

سناریو	تای	DGها	P_{loss} (KW)	VPI	LBI
سناریوی ۱	۳۴, ۳۳	-	۲۰۲/۵	۱/۷	۶۷/۷۱
سناریوی ۲	۳۶, ۳۵	-	۱۳۶/۱۹	۱/۴۰۳	۴۹/۴۳
سناریوی ۳	۳۷	۰/۵۱۹	۷۵/۳۴	۱/۲۵۷	۴۸/۴۲
سناریوی ۴	۳۷	۰/۲۴۹	۳۰/۴۱	۱/۰۷۳	۴۷/۳۲

جدول ۳ درصد بهبود شاخص‌ها برای سناریوهای ۲، ۳، و ۴

شاخص	سناریوی ۲	سناریوی ۳	سناریوی ۴
کاهش تلفات (%)	۳۲/۷۴	۶۲/۷۹	۸۴/۹۸
بهبود شاخص VPI (%)	۱۷/۴۷	۲۶/۰۵	۳۶/۸۸
بهبود شاخص LBI (%)	۲۶/۹۹	۲۸/۴۸	۳۰/۱۱

به منظور بررسی اثرات تغییر بار 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 شبیه سازی شده است. نتایج به دست آمده در جدول ۴ خلاصه شده است. همانطور که از 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.

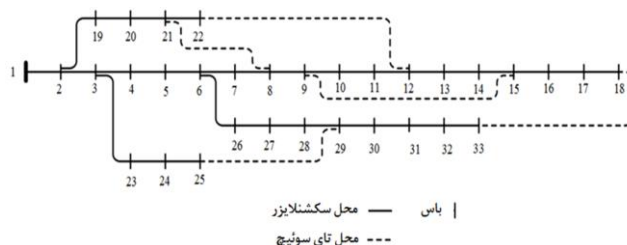
پارامترهای انتخاب شده برای ACO جهت شبیه سازی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱ پارامترهای انتخاب شده برای ACO

ثابت فرومون	2×10^{-4}
ضریب تبخیر	0.75
تعداد مورچه‌ها	40
حداکثر دفعات تکرار	500

۶-۱- سیستم تست نمونه

برای ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی، شبکه تست ۳۳ باسه IEEE، به عنوان فیدر نمونه توزیع انتخاب شده است. نمودار تک خطی این فیدر در شکل ۴ نشان داده شده است. همان طور که در این شکل مشاهده می‌شود برای همه سکشن‌ها، سوئیچ لحاظ شده است. این فیدر یک فیدر ۱۲،۶۶ کیلو ولت، با ۳۳ باس، ۳۲ سکشن‌لایزر و ۵ تای سوئیچ می‌باشد. اطلاعات الکتریکی ساختار اولیه این فیدر شامل مقاومت، راکتانس، توان اکتیو و راکتیو هر سکشن در [۱] ارائه شده است.



شکل ۴ دیاگرام تک خطی فیدر نمونه

۶-۲- نتایج شبیه سازی

نتایج اعمال تکنیک پیشنهادی بر روی شبکه تست ۳۳ باسه، برای هر چهار سناریو در جدول ۲، ارائه شده است. همان طور که در جدول دیده می‌شود، تلفات توان حقیقی برای سیستم پایه ۲۰۲،۵ کیلووات است که برای سناریوهای ۲ تا ۴ به ترتیب به مقادیر ۱۳۶،۱۹، ۷۵،۳۲ و ۳۰،۱۴ کیلووات کاهش یافته است. شاخص بهبود پروفیل ولتاژ (VPI)، نیز برای سناریوهای ۱ تا ۴ به ترتیب برابر ۱،۷، ۱،۴۰۳، ۱،۲۵۷ و ۱،۰۷۳ محاسبه شده است. شاخص LBI نیز که مربوط به برآورد میزان بهبود در تعادل بار فیدر می‌باشد، برای هر چهار سناریو، به ترتیب به صورت ۶۷،۷۱، ۴۹،۴۳، ۴۸،۴۲ و ۴۷،۳۲ به دست آمده است. علاوه بر این شماره تای سوئیچ‌های پیشنهادی، محل DGها و ظرفیت تعیین شده برای آنها نیز در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۳ نیز 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 جدول 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.

الگوریتم ترکیبی	VPI	۱/۰۷۳
پیشنهادی	LBI	۴۷/۳۲
(Fuzzy-ACO)	هاDG	, ۱/۱۱۲, ۱/۱۰۷
	ظرفیت	۰/۷۸۱
	(MVA)	۱۴, ۳۰, ۶@
	باسها	@

نتایج مقایسه روشهای مختلف شامل الگوریتم ژنتیک (GA)، الگوریتم بهینه سازی غذایی باکتری (BFOA)، الگوریتم مورچگان (ACO) با نتایج الگوریتم ترکیبی پیشنهادی (Fuzzy-ACO) در بار نامی و برای شبکه ۳۳ باسه در جدول ۵ ارائه شده‌اند. همانطور 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.

۷- نتیجه گیری

در این مقاله، ترکیب جدیدی از الگوریتم مورچگان و سیستم استنتاج فازی برای بازاریابی چندمنظوره فیدر توزیع همراه با تخصیص بهینه تولیدات پراکنده ارائه شده است. روش پیشنهادی با هدف کاهش تلفات، بهبود پروفایل ولتاژ و تعادل بار فیدر در سیستم‌های توزیع اعمال شده است. برای بررسی کارایی روش پیشنهادی، چهار سناریوی مختلف بر روی یک سیستم نمونه ۳۳ باسه همراه با جایگذاری سه واحد DG امتحان شده است. بررسی نتایج به دست آمده نشان می‌دهد، بازاریابی چند منظوره همراه با تعیین مکان و ظرفیت بهینه تولیدات پراکنده می‌تواند خیلی مفیدتر از بازاریابی یا مکان یابی بهینه تولید پراکنده به تنهایی باشد. همچنین، تخصیص بهینه تولید پراکنده از بازاریابی در بهبود شرایط شبکه توزیع موثرتر است. به علاوه شبکه توزیع نمونه در سه بار سبک، نامی و سنگین نیز برای دو سناریوی پایه و سناریوی ترکیبی پیشنهادی شبیه سازی شده و نتایج به دست آمده نشان از عملکرد رضایت بخش تکنیک پیشنهادی همراه با بهبود هر سه شاخص تابع هدف در شرایط بارهای مصرفی متفاوت دارد.

نتایج حاصل از مقایسه روش ترکیبی پیشنهادی با نتایج حاصل از الگوریتم‌های دیگر همچون الگوریتم ژنتیک، الگوریتم بهینه سازی غذایی باکتری و نیز الگوریتم مورچگان (بدون بهینه سازی با سیستم فازی) تأیید می‌کند که تکنیک پیشنهادی عملکرد موفق‌تری در زمینه بهبود هر سه شاخص تست شده نسبت به سایر الگوریتم‌های ذکر شده داشته است.

۸- مراجع

- [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* 3 (6), 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] S. K. Goswami, 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.

جدول ۴ نتایج شبکه ۳۳ باسه در شرایط تغییر بار، برای دو سناریوی ۱ و ۴.

سطح بار	سناریو		
	نامی (۱)	سبک (۰/۵)	تای
سنگین (۱/۶)	۳۵, ۳۴, ۳۳	۳۴, ۳۴, ۳۳	۳۵, ۳۴, ۳۳
	۳۷, ۳۶	۳۷, ۳۶	سوییچ‌های پیشنهادی
	۳۷		
	۵۷۴/۳۶	۲۰۲/۵۰	۴۷/۰۶
	۱/۸۹	۱/۷	۱/۱۵
	۷۰/۲۵	۶۷/۷۱	۵۰/۷۸
	۹, ۱۴, ۳۲	۱۴, ۷	۲۷, ۱۴, ۹
	۳۷	۳۲, ۲۷	۳۷, ۳۳
	۳۷		پیشنهادی
	۱۵۳/۰۸	۳۰/۱۴	۱۴/۷۶
	۱/۳۲۶	۱/۰۷۳	۱/۰۴
	۵۷/۴۷	۴۷/۳۲	۴۵/۷۶

جدول ۵ مقایسه نتایج شبکه ۳۳ باسه در بار نامی با استفاده از روشهای مختلف

تکنیک مورد آزمایش	برای سناریوی ۴	
	آیتم	سناریوی ۴
	تای	۳۴, ۳۲, ۲۸, ۱۰, ۷
	سوییچ‌های پیشنهادی	
الگوریتم ژنتیک (GA) [۱۴]	P _{loss}	۷۶/۲۳
	VPI	۱/۱۹۶
	LBI	۵۰/۴۴
	هاDG	, ۱/۶۸۱, ۰/۵۴۷
	ظرفیت (MVA)	۰/۴۳۰
	@	۳۶, ۱۰/۳۴@
	باسها	@
الگوریتم بهینه سازی غذایی باکتری (BFOA) [۱۶]	Tie-switches	۳۴, ۳۲, ۲۸, ۱۰, ۷
	P _{loss}	۸۲/۹۳
	VPI	۱/۵۲۴
	LBI	۵۱/۰۶
	هاDG	۱/۳۱۶, ۰/۵۴۹, ۰/۱۰۴
	ظرفیت (MVA)	۳, ۱۹@
	@	باسها
الگوریتم مورچگان (ACO)	Tie-switches	۳۷, ۳۶, ۳۵, ۳۴, ۳۳
	P _{loss}	۸۹/۳۶
	VPI	۱/۰۷
	LBI	۴۹/۴۳
	هاDG	۰/۵۶۴, ۰/۰۷۹, ۱/۴۳۶
	ظرفیت (MVA)	۳۳, ۳۲, ۱۲@
	@	باسها
	Tie-switches	۳۷, ۳۲, ۲۷, ۱۴, ۷
	P _{loss}	۳۰/۴۱

- [19] K. H. Kim, Y. J. Lee, S. B. Rhee, S. K. Lee, S. K. You, Dispersed Generation Placement Using Fuzzy- GA in Distribution System, *In International Journal of Engineering, Science and Technology*, Vol. 2, No. 3, pp. 119-131, 2002.
- [20] Z. Aboelsood, E. F. El-Saadany, Distribution system reconfiguration for energy loss reduction considering the variability of load and local renewable generation, *Energy*, Vol. 59, pp. 698-707, 2013.
- [21] S. Ghosh, K. S. Sherpa, An efficient method for load flow solution of radial distribution networks, *Int. J. Elect. Power Energy Syst. Eng.*, Vol. 1, No. 2, pp. 108-115, 2008.
- [22] 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.
- [24] D. Shirmohammadi, H. W. Hong, Reconfiguration of electric distribution networks for resistive line loss reduction, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 4, No. 1, pp. 1492-1498, 1989.
- [26] F. Vanderson Gomes, S. Carneiro, J. L. R. Pereira., M. Garcia, L. RamosAraujo, A new heuristic reconfiguration algorithm for large distribution systems, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 20, No. 3, pp. 1373-1378, 2005.
- [4] R. Taleski, D. Rajcic, Distribution Network Reconfiguration for Energy Loss Reduction, *IEEE Transaction on Power System*, Vol. 12, No. 1, pp. 398-406, 1997.
- [5] V. Borozan, N. Rajakovic, Application Assessments of Distribution Network Minimum Loss Reconfiguration, *IEEE Transaction on Power Delivery.*, Vol. 12, No. 4, pp. 1786-1792, 1997.
- [6] W. M. Lin, 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.
- [7] F. V. Gomes, S. J.r. Carneiro, J.L.R. Pereira, M.P. Vinagre, A new heuristic reconfiguration algorithm for large distribution systems, *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol. 20, No. 3, pp. 1373 -1378, 2005.
- [8] E. R. Ramos, A. G. Exposito, Path-based distribution network modeling: Application to reconfiguration for loss reduction, *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol. 20, No. 2, pp. 556 -564, 2005.
- [9] H. P. Schmidt, N. Kagan, Fast reconfiguration of distribution systems considering loss minimization, *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol. 20 No. 3, pp. 1311-1319, 2005.
- [10] Q. Zhou, D. Shirmohammadi, 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.
- [11] Y. J. Jeon, J. C. Kim, J. O. Kim, J. R. Shin, K. Y. Lee, An Efficient Simulated Annealing Algorithm for Network Reconfiguration in Large-Scale Distribution Systems, *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 17, No. 4, pp. 1070-1078, 2002.
- [12] A. Augugliaro, L. Dusonchet, M. Ippolito, 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.
- [13] D. Das. A Fuzzy Multi-Objective Approach for Network Reconfiguration of Distribution Systems, *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 21, No. 1, pp. 202-209, 2006.
- [14] K. Nara, A. Shiose, M. Kitagawa, 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.
- [15] R.S. Rao, S.V.L. Narasimham, M.R. Raju, A.S. Rao, Optimal Network Reconfiguration of Large-Scale Distribution System Using Harmony Search Algorithm, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 26, No. 3, pp. 1080-1088, 2011.
- [16] K. Sathish Kumar, T. Jayabarathi, Power system reconfiguration and loss minimization for an distribution systems using bacterial foraging optimization algorithm, *Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 36, pp. 13-1, 2012.
- [17] A. Saffar, R. Hooshmand, A. Khodabakhshian, A new fuzzy optimal reconfiguration of distribution systems for loss reduction and load balancing using ant colony search-based algorithm, *Applied Soft Computing*, Vol. 11, pp. 4021-4028, 2011
- [18] Caisheng Wang, M. Hashem Nehrir, Analytical Approaches for Optimal Placement of Distributed Generation sources in Power Systems, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 19, No. 4, pp. 2068-2076, 2004.