

## **Simultaneous Optimization of Rephasing, Reconfiguration and DG Placement using BF-SD Algorithm**

**Mohammad Reza Kaveh<sup>1</sup>, Rahmatollah Hooshmand<sup>2</sup>, Seyed Mohammad Madani<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Graduate Student, Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran

mreza.kave@gmail.com

<sup>2</sup>Professor, Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran, hooshmand\_r@eng.ui.ac.ir

<sup>3</sup>Assistant Professor, Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran

m.madani@eng.ui.ac.ir

### **Abstract**

Phase balancing and power losses are two significant problems in distribution networks. Rephasing technique is one solution for phase unbalancing. Reconfiguration is also used for power loss reduction and voltage profile improvement. While reconfiguration does not have a great effect on power loss reduction, in this paper a new method for simultaneous optimization of rephasing and reconfiguration problems in distribution networks are introduced to reduce phase unbalancing and power losses and improve the voltage profile. The greatest advantage of simultaneous optimization of rephasing and reconfiguration is a very low performing cost. Besides, optimal DG placement can reduce the power loss and improve voltage profile. As there are several objective functions, the objectives are fuzzified and integrated as the fuzzy multi-objective function. Eventually, by using the BF-SD algorithm, optimization of rephasing, reconfiguration and DG placement are simultaneously performed. At the end, the proposed method is applied to feeder No. 3062 in Ahwaz, Iran.

**Keywords:** Reconfiguration, Voltage Profile, Power loss, Rephasing, Neutral Current.

## بهینه‌سازی همزمان جابجایی فازها، بازآرایی و جابجایی DG در شبکه‌های

### توزیع با استفاده از الگوریتم BF-SD

محمدرضا کاوه<sup>۱</sup>، رحمت‌الله هوشمند<sup>۲</sup>، سید محمد مدنی<sup>۳</sup>

۱- کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه اصفهان - اصفهان - ایران

mreza.kave@gmail.com

۲- استاد، دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه اصفهان - اصفهان - ایران

hooshmand\_r@eng.ui.ac.ir

۳- دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه اصفهان - اصفهان - ایران

m.madani@eng.ui.ac.ir

**چکیده:** نامتعادلی بار و فاز و همچنین تلفات، دو مسئله بسیار مهم در شبکه‌های توزیع هستند. یکی از روش‌هایی که برای از بین بردن نامتعادلی در شبکه معرفی می‌شود، جابجایی فازها می‌باشد. همچنین یکی از راه‌حل‌های مؤثر در کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ، بازآرایی می‌باشد. این در حالی است که بازآرایی، تأثیر زیادی در متعادل کردن شبکه نخواهد داشت. بر این اساس در این مقاله، روش جدیدی در بهینه‌سازی همزمان متعادل‌سازی فاز به همراه بازآرایی در شبکه‌های توزیع ارائه می‌شود. در این حالت، علاوه بر از بین رفتن نامتعادلی در فازها، کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ نیز مهیا می‌گردد. بزرگترین مزیت استفاده از بازآرایی و جابجایی فاز نسبت به روش‌های دیگر، هزینه اجرای بسیار کم آنها می‌باشد. همچنین حضور DG در شبکه باعث کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ می‌شود. با توجه به اینکه چند هدف از جنس‌های مختلف وجود دارد، لذا با استفاده از مفهوم فازی، آنها را نرمالیزه کرده و در نهایت با استفاده از الگوریتم BF-SD<sup>۱</sup>، بهینه‌سازی بازآرایی و جابجایی فاز همزمان با نصب بهینه DG انجام می‌شود. مزیت استفاده از این الگوریتم، سرعت و دقت بالای آن نسبت به سایر روش‌های قبلی می‌باشد. در انتها الگوریتم پیشنهادی در شبکه ۳۰۶۲ اهواز بررسی خواهد شد.

**کلمات کلیدی:** بازآرایی، پروفیل ولتاژ، تلفات، جابجایی فاز، جریان زمین

#### ۱- مقدمه

شبکه است. در پی نامتعادلی در بارها و فازها، تلفات (در هادی‌ها و سیم نول و مصرف کننده‌ها) افزایش می‌یابد. همچنین این موضوع عملکرد رله‌های اضافه بار و اضافه جریان را دچار اختلال می‌کند و قابلیت اطمینان شبکه را کاهش می‌دهد. از جمله روش‌های کاهش این ناتعادلی، استفاده از ادوات FACTS و جابجایی فاز است [۱ و ۲]. جابجایی فاز نخستین بار در سال ۱۹۹۷ با تکنیک برنامه عدد مختلط بکار گرفته شد [۲]. زمان محاسبه زیاد آن باعث شد تا این برنامه فقط برای شبکه‌های کوچک کارایی داشته باشد. بنابراین محققان برای اجرای جابجایی فاز به

عدم تعادل بار<sup>۲</sup> و فاز<sup>۳</sup> یکی از مشکلات رایج سیستم‌های توزیع می‌باشد. عدم تعادل بار خود اصلی‌ترین علت نامتعادلی در فازها است. منشاء عدم تعادل بار، وجود تعداد زیادی بارهای تکفاز، دوفاز و سه فاز نامتقارن در

<sup>۱</sup> تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۱۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۰۸

نام نویسنده‌ی مسئول: رحمت‌الله هوشمند

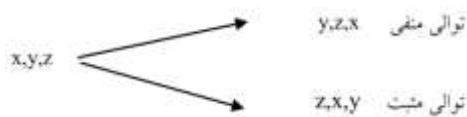
نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران- اصفهان - دانشگاه اصفهان -

دانشکده مهندسی - گروه برق

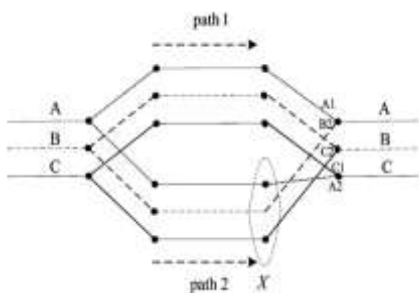
بازآرایی و نصب DG، با اهداف کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش جریان زمین فیدر اصلی انجام می‌شود. در این قسمت جابجایی فاز، بازآرایی و در نهایت تابع هدف مسئله توضیح داده خواهد شد.

## ۲-۱- جابجایی فاز<sup>۵</sup>

در جابجایی فاز، همانند شکل (۱) جای فازها از دیدگاه مصرف کننده عوض می‌شود تا جریان‌های سه فاز شبکه، متعادل‌تر شوند. بارها و خطوط در فیدرهای توزیع<sup>۶</sup> می‌تواند به صورت تک فاز، دو فاز و یا سه فاز باشد. هر بار سه فاز، به شش طریق ممکن می‌تواند به سه فاز وصل شود، ولی با توجه به اینکه موتورها، با معکوس شدن عملکرد ناشی از تعویض فاز آسیب می‌بینند، لذا باید در تعویض فازها به این مسئله توجه داشت. به همین منظور در تعویض فازها فقط دو استراتژی توالی مثبت و منفی مد نظر قرار می‌گیرد. یعنی از شش حالت موجود فقط دو حالت انتخاب می‌شود. به عبارت دیگر اگر فازها را به صورت  $x, y, z$  در نظر بگیریم، فقط دو حالت کلی برای تعویض فاز پیدا می‌کنیم:



که  $x, y, z$  هر کدام می‌تواند اتصال باز و یا اتصال بسته باشد. یعنی اگر ترانس تک فازی فقط به فاز A متصل باشد (AOO)، به دو حالت OAO و OOA می‌توان تعویض فاز را در آن گره انجام این موضوع برای گره‌های دو فاز و سه فاز نیز بیان می‌گردد. تعویض فاز بصورتی انجام می‌شود که بارها بین سه فاز، بطور نسبتاً متقارن تقسیم شوند تا با یک سیستم متعادل روبرو شویم



شکل (۱): نحوه انجام جابجایی فاز

الگوریتم‌های هوشمند رو آوردند. در مرجع [۵] الگوریتم سرد شدن تدریجی<sup>۷</sup> برای اجرای جابجایی فاز معرفی شد. در مرجع [۶] از الگوریتم ژنتیک برای این امر استفاده شده است. این الگوریتم نتایج قابل قبولی را در مدت زمان بسیار کمتری نسبت الگوریتم قبل بدست آورد. اشکال این مقاله، جابجایی فازهای زیاد و در نتیجه خاموشی و هزینه زیاد برای سیستم بود. در مراجع [۸،۷] هزینه انجام جابجایی نیز در نظر گرفته شده و با استفاده از الگوریتم‌های سیستم خبره و جستجوی ممنوعه به نتایج خوبی رسیده است. در مرجع [۲] جابجایی را با استفاده از الگوریتم ترکیبی BF-PSO انجام داد.

یکی از روش‌های اصلی در کاهش تلفات، بازآرایی می‌باشد. در بازآرایی مسیر تغذیه بارها عوض می‌شود و باید توجه داشت که پس از هر بازآرایی، ساختار شعاعی شبکه حفظ شود [۹ و ۱۰]. در [۱۱-۱۷] بازآرایی را با هدف کاهش تلفات انجام داده است. در [۱] دو روش بازآرایی و جابجایی فاز بطور همزمان انجام شده‌اند و برای اجرای آن از الگوریتم BF-NM استفاده شده است که در آن قابلیت بازآرایی نسبت به جابجایی فاز در کاهش تلفات مشخص شده است. در مراجع [۱۸-۲۳] بازآرایی را به همراه مکان یابی و نصب DG انجام داده و قابلیت DG در کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ مشخص شده است.

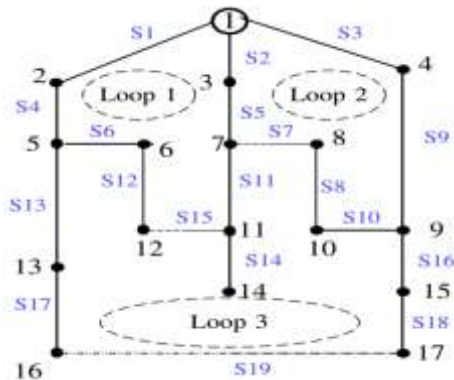
در این مقاله با استفاده از الگوریتم جستجوی باکتریایی ارتقاء یافته با الگوریتم پیچش دینامیک، بهینه‌سازی همزمان بازآرایی، جابجایی فاز و مکان‌یابی DG پیشنهاد شده است. دو ویژگی الگوریتم پیشنهادی، یکی دقت بالا و دیگری سرعت بالای همگرایی است. توابع هدف مسئله، شامل هزینه وقفه‌ها و کارگر، جریان زمین فیدر اصلی، پروفیل ولتاژ و تلفات توان در نظر گرفته شده است. چون که چند هدف از جنس‌های متفاوت وجود دارد، لذا با استفاده از مفهوم فازی، آنها را نرمالیزه کرده و با جمع ضریبی از آنها، تابع هدف کلی بدست می‌آید.

## ۲- اجزاء اصلی مسئله

در هنگام انجام عمل جابجایی فاز، برخی از بارها تغذیه نمی‌شوند. هزینه‌ای برای جریمه این قطعی برق در نظر گرفته می‌شود که باید به حداقل برسد. جابجایی فاز در کنار

## ۲-۲- بازآرایی

شبکه‌های توزیع به علت اینکه به صورت مستقیم با مصرف‌کننده در ارتباط هستند، تغییر در میزان مصرف‌کنندگان و اضافه شدن بارهای جدید، در عملکرد این بخش از سیستم تأثیر می‌گذارد. این تأثیرات، معضلاتی از جمله افزایش تلفات در کل سیستم توزیع، اضافه بار روی پست‌های فوق توزیع، افت ولتاژ در پست‌های توزیع و نقض محدودیت‌های موجود بر ولتاژ باس‌ها و جریان فیدرها را به وجود می‌آورد [۲۴]. از جمله راه‌های موثر در کاهش این تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ، انجام عمل بازآرایی در سیستم توزیع است. بازآرایی به نحوی انجام می‌شود که شبکه مورد نظر در بهترین ساختار مورد نظر به بهره‌برداری برسد (شکل (۲)). معمولاً عمل بازآرایی طوری انجام می‌شود که مسیر تغذیه بارها کوتاه‌تر شوند و بارها به گره مبنا نزدیک‌تر شوند تا در این صورت افت ولتاژ خطوط کاهش یافته و تلفات کمتر شود.



شکل (۲): پیش‌بینی کلیدها برای بازآرایی

## ۲-۳- نصب DG

استفاده گسترده از منابع DG در شبکه‌های هوشمند، می‌تواند علاوه بر بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات، در قابلیت اطمینان، ایمنی، بازده و کیفیت شبکه نقش داشته باشد. لذا برای اینکه بتوان از حداکثر مزایای DG استفاده کرد، باید بهترین مقدار و بهترین مکان را برای DG پیدا شود [۲۵].

## ۳- بیان مسئله پیشنهادی

با اجرای جابجایی فاز، شبکه متعادل خواهد شد و بالطبع، جریان زمین شاخه‌ها نیز کاهش خواهد یافت. ولی

برای کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ، از بازآرایی به عنوان یک روش اصلی استفاده می‌شود. نصب DG در کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ تأثیر مثبت دارد. با اجرای همزمان جابجایی فاز، بازآرایی و نصب DG، هر سه هدف کاهش تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ و تعادل شبکه بطور همزمان حاصل خواهد شد.

## ۳-۱- تابع هدف

برای ارزیابی مسائل جابجایی فاز، بازآرایی و نصب DG، اهداف مختلفی تحت عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است که در ادامه معرفی خواهند شد:

### ۳-۱-۱- جریان زمین فیدر اصلی

یکی از معیارهای مهمی که کاهش آن به معنی کاهش نامتعادلی فازها است، جریان زمین می‌باشد. اگر جریان زمین فیدر اصلی را مد نظر قرار دهیم، بالطبع، جریان زمین بقیه گره‌ها نیز کاهش می‌یابد، که به صورت زیر بدست می‌آید:

$$I_N = I_a + I_b + I_c \quad (1)$$

که  $I_N$  جریان زمین فیدر اصلی و  $I_a, I_b, I_c$  جریان سه فاز فیدر اصلی هستند.

### ۳-۱-۲- میانگین افت ولتاژ

دیگر مسئله مهم که در سیستم‌های توزیع مورد توجه قرار می‌گیرد، ثابت نگه داشتن ولتاژ در حین انتقال توان است. البته تلفات باعث می‌شود تا دسترسی به این هدف مشکل گردد. لذا تا جایی که ممکن است باید سعی شود، افت ولتاژ را به حداقل رساند. لذا داریم:

$$(V_d)_i = \frac{1}{3} \sum_{p=a}^c |(V_{rated} - (V_p)_i) / V_{rated}| \quad (2)$$

که  $(V_d)_i$  افت ولتاژ هر گره و  $(V_a)_i, (V_b)_i, (V_c)_i$  ولتاژ سه فاز هر گره است و همچنین  $V_{rated}$  ولتاژ فاز نامی در ابتدای فیدر است. در نتیجه میانگین افت ولتاژ  $(V_d)_{AV}$  از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$(V_d)_{AV} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (V_d)_i \quad (3)$$

می‌باشد. در این رابطه،  $n$  بیانگر تعداد کل گره‌های شبکه این اساس مقدار تلفات کل سیستم ( $P_{loss}$ ) بر اساس رابطه زیر بیان می‌گردد.

$$P_{loss} = \sum_{j=1}^n i_j^* \times R_j \times i_j \quad (۸)$$

که،  $R_j$  ماتریس  $۳ \times ۳$  مقاومت هر خط فیدر و  $i_j$  ماتریس  $۳ \times ۱$  جریان همان خط و  $n$  تعداد کل شاخه‌های فیدر است.

### ۳-۱-۵- تابع هدف پیشنهادی

از آنجایی که در مسئله بهینه‌سازی مورد نظر این مقاله، چهار هدف کاهش تلفات، جریان زمین فیدر اصلی، میانگین افت ولتاژ و هزینه تعویض فاز در شبکه توزیع به صورت همزمان دنبال می‌شود، لذا باید تابع هدفی تعریف شود که تمامی این اهداف را در خود داشته باشد. بنابراین در ادامه با استفاده از مفهوم فازی، تابع هدف مناسب تعریف خواهد شد.

### ۳-۲- قیود مسئله

در اجرای همزمان جابجایی فازها، بازآرایی و نصب DG، پس از هر اجرا باید قیود زیر رعایت شده باشند:

(أ) بعد از انجام هر بازآرایی، باید ساختار شعاعی شبکه حفظ شود.

(ب) پس از هر بازآرایی و جابجایی فاز، تمامی بارها باید تغذیه شوند.

(ج) مقدار ولتاژ گره‌ها باید در محدوده حداکثر و حداقل مجاز خود باقی بماند.

(د) مقدار جریان شاخه‌ها نباید از مقدار مجازشان بیشتر شوند.

### ۴- بیان فازی مسئله پیشنهادی

برای اینکه بتوان پارامترهای تلفات، جریان زمین فیدر اصلی، میانگین افت ولتاژ و هزینه تعویض فاز را به عنوان یک تابع هدف، در کنار هم داشته باشیم، از تابع هدف با متغیرهای فازی استفاده می‌شود. در حوزه فازی، هر متغیر با یک تابع عضویت همراه است. تابع عضویت، نشان دهنده

### ۳-۱-۳- هزینه تعویض فاز

برای انجام عمل تعویض فاز لازم است تا برای مدت زمانی، تغذیه انرژی یک سری از بارها قطع شود که با در نظر گرفتن اهمیت آن بارها، هزینه‌ای را در بر خواهد داشت. لذا باید تعویض فازها به گونه‌ای صورت گیرد که این هزینه حداقل گردد. اثر تعویض فاز در گره  $i$  برابر است با:

$$CIC_i = \sum_{j=1}^k c_j(t_i) \times L_j \quad (۴)$$

$$c_j(t_i) = ct_j \times t_i \quad (۵)$$

که در آن  $ct_j$  هزینه هر کیلووات ساعت، برق قطع شده است که بر اساس نوع آن (بار تجاری، کشاورزی، صنعتی، خانگی و ...) دارای هزینه‌های مختلفی می‌باشد.  $k$  تعداد کل بارهایی است که در اثر جابجایی فاز در بار  $i$ ام، برق آنها قطع می‌شود همچنین  $t_i$  مدت زمان قطع برق در اثر تعویض فاز در گره  $i$ ام است. بنابراین هزینه وقفه کل ( $CIC_i$ ) از رابطه (۶) بدست می‌آید [۲۶]:

$$CIC_i = \sum_{k=1}^p CIC_k \quad (۶)$$

که  $p$  تعداد گره‌هایی است که عمل تعویض فاز در آنها انجام می‌گیرد. علاوه بر هزینه وقفه، هزینه تعویض فاز شامل هزینه کارگر نیز خواهد بود. در نهایت تابع هزینه تعویض فاز کل به صورت زیر بیان می‌شود:

$$CR_i = CIC_i + CL_i \quad (۷)$$

که  $CL_i$  هزینه کارگر در کل گره‌هایی است که تعویض فاز در آنها انجام گرفته است. مدت زمان لازم برای اجرای هر جابجایی فاز و همچنین هزینه کارگر برای انجام این کار، در مرجع [۷] آورده شده‌اند.

### ۳-۱-۴- تلفات توان

با توجه به اهمیت کاهش تلفات در شبکه‌های توزیع، این موضوع در تابع هدف مسئله در نظر گرفته می‌شود. بر

فرض کنید محدوده افت ولتاژ شبکه را بین ۰/۰۵ و ۰/۱ در نظر گرفته شود. مقدار ۰/۰۵ به این معناست که در صورتیکه ولتاژ پست اصلی برابر با یک پریونیت باشد، آنگاه حداقل ولتاژ شبکه بایستی برابر با ۰/۹۵ پریونیت باشد. حداقل افت ولتاژ شبکه را نیز بین ۰/۰۰۵ و ۰/۰۱ در نظر می گیرند. اگر میان مقادیر حداکثر و حداقل مقادیر افت ولتاژ استاندارد، میانگین گرفته شود، مقادیر میانگین افت ولتاژ حداکثر و حداقل شبکه برابر خواهند بود با:

$$(V_d)_{AV_{max}} = 0.055 \quad (11)$$

$$(V_d)_{AV_{min}} = 0.028 \quad (12)$$

با توجه به شکل (۳)، در این حالت  $\mu_y$  برابر  $\mu_{V_d}$  و همچنین  $y_{max}$  و  $y_{min}$  به ترتیب برابر با  $V_{d_{max}}$  و  $V_{d_{min}}$  خواهند بود.

اگر میانگین افت ولتاژ کمتر از ۰/۰۲۸ شد در تابع هدف مقدار صفر به آن تعلق می گیرد و اگر بیشتر از ۰/۰۵۵ شد، مقدار یک به آن تعلق می گیرد.

#### ۴-۳- تابع عضویت هزینه تعویض فاز

برای بیان تابع عضویت هزینه تعویض فاز از رابطه زیر استفاده می شود:

$$\mu_{CR_t} = \begin{cases} 0 & CR_t \leq CR_{t_{min}} \\ \frac{CR_{t_{max}} - CR_t}{CR_{t_{max}} - CR_{t_{min}}} & CR_{t_{max}} > CR_t > CR_{t_{min}} \\ 1 & CR_t \geq CR_{t_{max}} \end{cases} \quad (13)$$

برای تعیین  $CR_{t_{max}}$  فرض می شود که جابجایی فاز در پنج سرشاخه از فیدر انجام شده است و هزینه آن محاسبه می شود.  $CR_{t_{min}}$  نیز برابر با صفر در نظر گرفته می شود. در این حالت،  $\mu_y$  برابر  $\mu_{CR_t}$  و همچنین  $y_{max}$  و  $y_{min}$  به ترتیب برابر با  $CR_{t_{max}}$  و  $CR_{t_{min}}$  خواهند بود.

#### ۴-۴- تابع عضویت تلفات توان

تابع عضویت تلفات به صورت زیر می باشد:

$$\mu_{P_{loss}} = \begin{cases} 0 & P_{loss} \leq P_{loss_{min}} \\ \frac{P_{loss_{max}} - P_{loss}}{P_{loss_{max}} - P_{loss_{min}}} & P_{loss_{max}} > P_{loss} > P_{loss_{min}} \\ 1 & P_{loss} \geq P_{loss_{max}} \end{cases} \quad (14)$$

در رابطه (۱۴) برای تعیین  $P_{loss_{min}}$  و  $P_{loss_{max}}$  به ترتیب، بهترین و بدترین حالت از آرایش فازها را در نظر گرفته و مقادیر  $P_{loss_{min}}$  و  $P_{loss_{max}}$  محاسبه می شوند. نمودار تابع

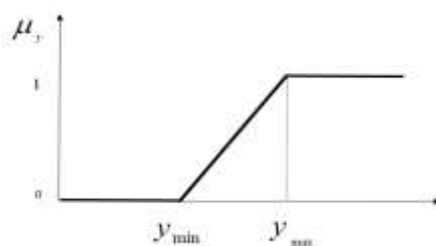
درجه عضویت هر متغیر است که می تواند مقداری بین صفر و یک داشته باشد. در این بخش با استفاده از تئوری مجموعه های فازی، درجه عضویتی ( $\mu$ ) به هر کدام از پارامترها اختصاص داده می شود. از آنجاییکه درجه عضویت پارامترها دارای مقادیری بین صفر و یک می باشد، لذا امکان مقایسه بین این پارامترها ایجاد می شود. به همین دلیل در تابع هدف، مقادیر فازی را جایگزین پارامترهای تلفات، جریان زمین فیدر اصلی، میانگین افت ولتاژ و هزینه تعویض فاز می کنیم.

#### ۴-۱- تابع عضویت جریان زمین فیدر اصلی:

تابع عضویت جریان زمین فیدر اصلی بصورت زیر تعریف می شود:

$$\mu_{I_N} = \begin{cases} 0 & I_N \leq I_{N_{min}} \\ \frac{I_N - I_{N_{min}}}{I_{N_{max}} - I_{N_{min}}} & I_{N_{max}} > I_N > I_{N_{min}} \\ 1 & I_N \geq I_{N_{max}} \end{cases} \quad (9)$$

تعیین مقدار  $I_{N_{max}}$  با توجه به رله های اضافه جریان خطوط انجام می شود. همچنین  $I_{N_{min}}$  نیز برابر با مقدار ایده آل آن، یعنی صفر در نظر گرفته می شود. نمودار تابع عضویت در شکل (۳) آمده است. در این حالت،  $\mu_y$  برابر  $\mu_{I_N}$  و همچنین  $y_{max}$  و  $y_{min}$  به ترتیب برابر با  $I_{N_{min}}$  و  $I_{N_{max}}$  خواهند بود.



شکل (۳): تابع عضویت توابع هدف

#### ۴-۲- تابع عضویت میانگین افت ولتاژ

تابع عضویت میانگین افت ولتاژ گره ها به این صورت تعریف می شود:

$$\mu_{V_d} = \begin{cases} 0 & V_d \leq V_{d_{min}} \\ \frac{V_d - V_{d_{min}}}{V_{d_{max}} - V_{d_{min}}} & V_{d_{max}} > V_{d_{AV}} > V_{d_{min}} \\ 1 & V_{d_{AV}} \geq V_{d_{max}} \end{cases} \quad (10)$$

موضوع منجر به سرعت همگرایی بالای این الگوریتم می‌شود [۲۸ و ۲۷ و ۱].

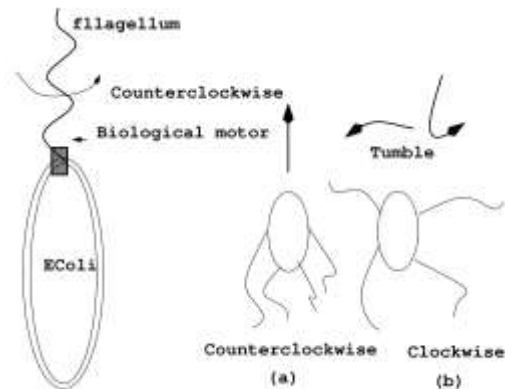
#### ۵-۱-۱- حرکت به سمت ماده غذایی

یک باکتری E.coli با توجه به محیط پیرامونش می‌تواند به دو روش متفاوت حرکت کند. چرخش تاژک‌ها نشان‌دهنده نوع حرکت کردن آنها می‌باشد. باکتری می‌تواند شنا کند یا جهش داشته باشد و حرکت آن، در طول مدت زندگی اش بین این دو روش متغیر است. شکل (۴) حرکت باکتری را نشان می‌دهد [۱].

در BF یک واحد حرکتی با جهات تصادفی، نشان‌دهنده پریدن است و یک واحد حرکتی با جهت مشابه نسبت به آخرین مرحله، معرف شنا کردن است. این حرکت بصورت زیر بیان می‌شود:

$$\theta^i(j+1, k, l) = \theta^i(j, k, l) + C(i) \frac{\Delta(i)}{\sqrt{\Delta^T(i)\Delta(i)}} \quad (16)$$

که  $\theta^i(j, k, l)$  بیانگر موقعیت باکتری نام در مرحله حرکت  $l$ ام و تولید مثل  $k$ ام و حذف و پراکندگی  $l$ ام است.  $C(i)$  طول گام و  $\Delta(i)$  یک بردار تصادفی را مشخص می‌کنند.



شکل (۴): نمایی از رفتارهای حرکتی باکتری E.Coli

#### ۵-۱-۲- حرکت دسته جمعی

بحث بخش‌های قبل برای مواردی بود که باکتری‌ها به صورت منفرد عمل می‌کنند (بدون ایجاد سیگنال برای سایر باکتری‌ها). ولی در اینجا بین باکتری‌ها تبادل سیگنال وجود دارد. لذا برای هر باکتری، حرکت دسته جمعی به صورت زیر تعریف می‌شود:

عضویت تلفات توان در شکل (۳) نشان داده شده است که در این حالت،  $\mu_y$  برابر  $\mu_{p_{loss}}$  و همچنین  $y_{min}$  و  $y_{max}$  به ترتیب برابر با  $P_{lossmin}$  و  $P_{lossmax}$  خواهند بود.

#### ۴-۵- تابع هدف فازی مسئله

از مجموع چهار تابع هدف توصیف شده در زیر بخش‌های قبل، یک تابع هدف فازی شده بصورت رابطه زیر تعریف می‌گردد:

$$OF = w_1 \times \mu_{p_{loss}} + w_2 \times \mu_{(v_i)_{AV}} + w_3 \times \mu_{I_N} + w_4 \times \mu_{CR} \quad (15)$$

ضرایب  $w_1, w_2, w_3, w_4$  ضرایب وزنی هستند که بنابر اهمیت آن فاکتور در تابع هدف از نظر طراح در آن ضرب می‌شوند. البته باید این ضرایب به گونه‌ای تعیین شوند که مجموع آنها برابر با واحد باشد. این تابع هدف توسط الگوریتم هوشمندی که در ادامه توضیح داده خواهد شد، باید به مقدار مینیمم خود برسد تا جواب بهینه قابل قبولی ارائه داده شود.

#### ۵- الگوریتم BF-SD کاربردی در مسئله

روش‌های متنوعی برای حل مسئله و پیدا کردن مقدار بهینه قابل قبولی از تابع هدف مطرح شده وجود دارد. یکی از این روش‌ها، استفاده از الگوریتم‌های هوشمند است. الگوریتم‌ها در مدت زمان بسیار کمتری نسبت به روش سعی و خطا به مقدار بهینه قابل قبولی می‌رسند. در این قسمت به معرفی الگوریتم BF-SD پرداخته می‌شود.

#### ۵-۱-۱- الگوریتم جستجوی باکتریایی

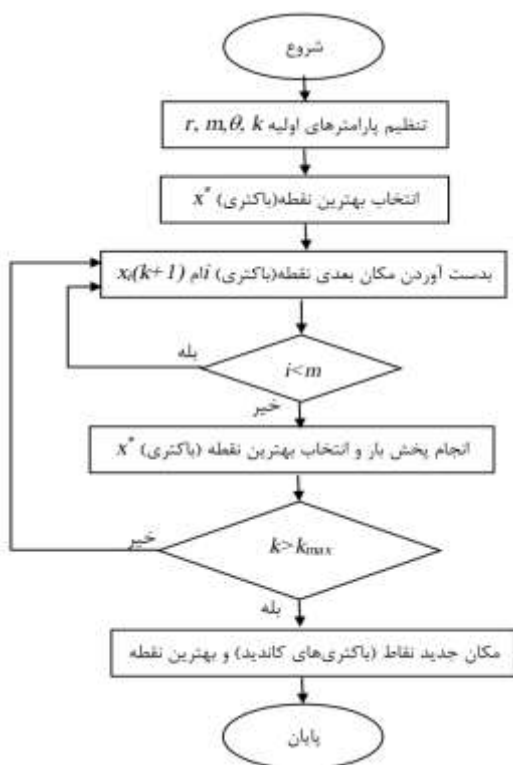
الگوریتم جستجوی باکتریایی نخستین بار در سال ۲۰۰۲ مطرح شد. این الگوریتم بر اساس جستجوی غذای باکتری E.coli که در روده انسان زندگی می‌کند، بنا شده است. رفتار این باکتری در چهار عملکرد حرکت به سمت ماده غذایی<sup>۷</sup>، حرکت دسته جمعی<sup>۸</sup>، تولید مثل<sup>۹</sup> و حذف و پراکندگی<sup>۱۰</sup> در حل مسائل بهینه‌سازی مدل می‌شود. باکتری‌ها تا زمانی که به سمت مکان‌های با مواد غذایی بیشتر حرکت می‌کنند، جهت حرکت خود را تغییر نمی‌دهند و این





در این مرحله به پایان رسید، الگوریتم جستجوی باکتریایی وارد مراحل بعدی خود، یعنی مراحل تولید مثل و حذف و پراکندگی می‌شود. الگوریتم جستجوی باکتریایی کار عادی خود را ادامه می‌دهد تا در مراحل بعدی دوباره به الگوریتم پیچش دینامیک برسیم [۳۱].

مهمترین ویژگی که می‌توان برای الگوریتم ارائه شده بیان نمود، سرعت و دقت بالای آن نسبت به الگوریتم‌های استفاده شده قبلی خود در این زمینه می‌باشد.



شکل (۵): فلوچارت الگوریتم پیچش دینامیک

## ۶- روش پیشنهادی در حل مسئله با استفاده

### از الگوریتم BF-SD

در این قسمت به نحوه استفاده از الگوریتم BF-SD در جابجایی فاز، بازآرایی و مکان یابی DG پرداخته می‌شود.

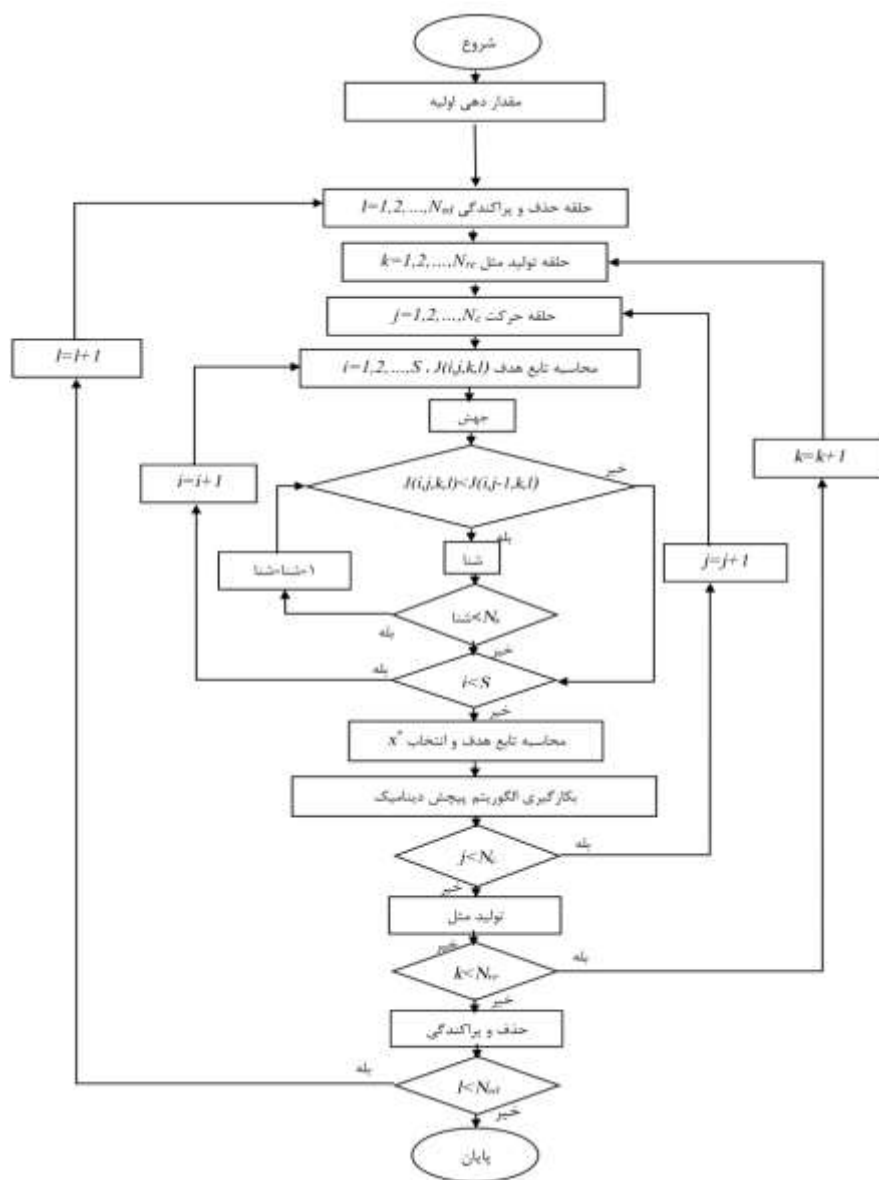
است.  $\theta_{ij}$  زاویه دوران بین بعد  $m$  و  $n$  است. برای سادگی کار، تمامی  $\theta$  ها را با هم برابر می‌گیرند. در هر مرحله  $x^*$  به روز رسانی می‌شود و الگوریتم آنقدر ادامه می‌یابد که یا به  $k_{max}$  برسیم و یا جواب‌ها به یک نقطه همگرا شده باشند و دیگر تغییر نکنند [۳۱].

## ۵-۳- بکارگیری الگوریتم پیچش دینامیک در

### الگوریتم جستجوی باکتریایی (BF-SD)

یکی از معایبی که برای الگوریتم باکتریایی می‌توان عنوان کرد، جهش باکتری به صورت تصادفی می‌باشد. این جهش تصادفی، بازده و کارایی الگوریتم را کاهش می‌دهد. از این رو، محققان و پژوهشگران برای رفع این مشکل از الگوریتم‌های دیگری در کنار الگوریتم باکتریایی استفاده کرده‌اند تا جهش باکتری به صورت هدفمند و به سمت نقطه بهینه باشد. در [۲] برای حل این موضوع از روش نلد-مید<sup>۱۱</sup> استفاده کرده است. در مرجع [۱] از الگوریتم بهینه‌سازی تجمع ذرات<sup>۱۲</sup>، برای این منظور استفاده کرده است.

روشی که در اینجا معرفی استفاده شده است، بکارگیری الگوریتم پیچش دینامیک در الگوریتم جستجوی باکتریایی است. همانگونه که در شکل (۶) نشان داده شده است، این الگوریتم به این صورت عمل می‌کند که پس از اینکه مراحل حرکت و شنای تمامی باکتری‌ها انجام شد،  $m$  باکتری بدترین مکان را دارند، انتخاب می‌شوند و به همراه بهترین باکتری (باکتری با کمترین مقدار تابع هدف  $(x^*)$ ) به عنوان ورودی، به الگوریتم پیچش دینامیک معرفی می‌شوند. الگوریتم پیچش دینامیک طی مراحل طی که قبلاً در مورد آن، توضیح داده شد (شکل (۵))، باکتری‌ها را به سمت باکتری که دارای تابع هدف بهینه‌تری است، حرکت می‌دهد. پس از اجرای مرحله  $k$ ام ( $k=1, 2, 3, \dots$ ) از الگوریتم پیچش دینامیک،  $x^*$  بروز رسانی شده و به مرحله  $k+1$  می‌رویم. این روند تا رسیدن به  $k_{max}$  ادامه می‌یابد. این عمل باعث می‌شود تا باکتری‌هایی که مکان بدتری دارند به سمت بهترین مکان  $(x^*)$  حرکت کنند. بعد از اینکه کار الگوریتم پیچش دینامیک



شکل (۶): فلوجارت الگوریتم BF-SD

### ۱-۶- الگوریتم BF-SD در جابجایی فاز

جابجایی فاز، به دو صورت توالی منفی و مثبت، انجام می‌شود. بنابراین سه حالت مختلف برای اتصال یک بار به شبکه در نظر گرفته می‌شود. اگر شبکه دارای  $n$  باس باشد و تمامی باس‌ها قابلیت جابجایی فاز را داشته باشند، طول هر باکتری نیز برابر با  $n$  خواهد بود (شکل (۷)). هر قسمت از این باکتری، می‌تواند سه حالت مختلف را با توجه به حالت‌های ممکن برای جابجایی فاز، دارا باشد. همچنین تعداد باکتری‌ها ( $S$ ) را دو تا سه برابر طول باکتری‌ها، یعنی عددی بین  $2n$  تا  $3n$  در نظر می‌گیرند.

### ۲-۶- الگوریتم BF-SD در بازآرایی

در برخی از شبکه‌های توزیع کلیدهایی برای بازآرایی در شبکه در نظر گرفته می‌شود. هر کلید، دو حالت قطع یا وصل دارد. اگر کلید در شبکه در نظر گرفته شود، طول هر باکتری نیز برابر با  $k$  خواهد بود و هر یک از قسمت‌های باکتری نیز حالت قطع یا وصل بودن کلید را نشان می‌دهد (شکل (۷)).

### ۳-۶- الگوریتم BF-SD در مکان‌یابی DG

کرد. در این مقاله علاوه بر مکان DGها، مقدار آنها نیز بصورت متغیر در نظر گرفته

در مکان یابی DGها، الگوریتم از بین نقاط از پیش تعیین شده‌ای، بهترین نقطه‌ها را برای نصب DG پیدا خواهد

الف) باکتری نمونه جابجایی	باس ۱	باس ۲	...	باس n-۱	باس n
ب) باکتری نمونه بازآرایی	کلید ۱	کلید ۲	...	کلید k-۱	کلید k
ج) باکتری نمونه جابجایی DG	مکان DG (م۱)	مکان DG (م۲)	مقدار DG (م۱)	...	مقدار DG (م۲)

شکل (۷): باکتری نمونه در جابجایی فاز، بازآرایی و جابجایی DG

کولر گازی در فصل تابستان، ناتعادلی زیادی در شبکه بوجود می‌آید. در شکل (۸) دیاگرام تک خطی شبکه نمایش داده شده است. در این شکل، علامت  $\otimes$  نشان دهنده مکان ترانس‌های توزیع ۱۱KV/۴۰۰V و علامت  $\bullet$  گره‌هایی را نشان می‌دهد که فیدر به چند شاخه تقسیم شده است و این گره‌ها بدون بار محسوب می‌شوند. در شبیه‌سازی، ولتاژ فیدر اصلی برابر با ۱/۰۵ پریونیت با زاویه صفر در نظر گرفته شده است. خط چین‌های نشان داده شده در شکل (۸)، جزء شبکه اصلی نیستند و برای این در نظر گرفته شده‌اند تا شبکه قابلیت بازآرایی را نیز داشته باشد. برای اینکه شبکه ساختار شعاعی خود را حفظ کند، کلیدهای بسته‌ای در گره‌های ۶۱ و ۷۰ و ۷۲ در نظر گرفته شده است تا در صورت لزوم این کلیدها باز شوند. برای این شبکه، چهار DG با حداکثر توان نامی ۵۰۰KVA در نظر گرفته شده است. این DGها می‌توانند بصورت مرحله‌ای و با پله‌های ۵۰KVA تغییر کنند (۵۰۰KVA و ... و ۲۰۰ و ۱۵۰ و ۱۰۰ و ۵۰). DGها بصورت سه فاز متقارن و با ضریب توان ۰/۸۵ در نظر گرفته شده‌اند. کل بار اکتیو شبکه برابر ۶/۶۱MVar و بار راکتیو شبکه برابر با ۶/۶۱MVar می‌باشد. اطلاعات کاملتر در مورد شبکه در مرجع [۱] آورده شده است. همچنین پارامترهای تنظیم الگوریتم BF-SD در جدول (۱) آورده شده‌اند.

شده است. حال اگر تعداد DGهایی که قرار است در شبکه قرار بگیرند برابر با g باشد، آنگاه طول هر باکتری برابر با 2g خواهد بود. در هر باکتری، g قسمت اول، مربوط به مکان DGها و g قسمت دوم هر باکتری مربوط به مقدار DGها می‌باشد (شکل (۷)).

### ۶-۶- الگوریتم BF-SD در عملکرد همزمان جابجایی فاز، بازآرایی و جابجایی DGها

در این بخش، الگوریتم BF-SD بکار گرفته می‌شود تا با استفاده از آن، جابجایی فاز، بازآرایی و جابجایی DG، صورت گیرد تا مشکلات تلفات توان و افت ولتاژ و نامتعادلی در شبکه بطور همزمان بهبود یابد. برای این منظور اگر تعداد باس‌های شبکه برابر با n و تعداد کلیدهایی که برای بازآرایی در نظر گرفته شده است برابر با k باشد و تعداد DGهایی که می‌خواهیم در شبکه جایگذاری کنیم، برابر با g باشد، آنگاه طول هر باکتری برابر با  $n+k+2g$  خواهد بود. همچنین تعداد باکتری‌ها نیز عددی بین  $2*(n+k+2g)$  تا  $3*(n+k+2g)$  می‌باشد. فلوچارت کامل الگوریتم مورد نظر در شکل (۶) آمده است.

### ۷- نتایج شبیه‌سازی

#### ۷-۱- اطلاعات اولیه

قابل ذکر است که در همه سناریوها،  $IN_{min}=0$ ،  $AV_{max} = 0/055$ ،  $AV_{min} = 0/028$ ،  $IN_{max}$  و  $CRT_{min} = 0$  و  $CRT_{max} = 4200$  می‌باشد. مقادیر  $P_{lossmin}$  و  $P_{lossmax}$  در هر چهار سناریو متفاوت هستند و برای

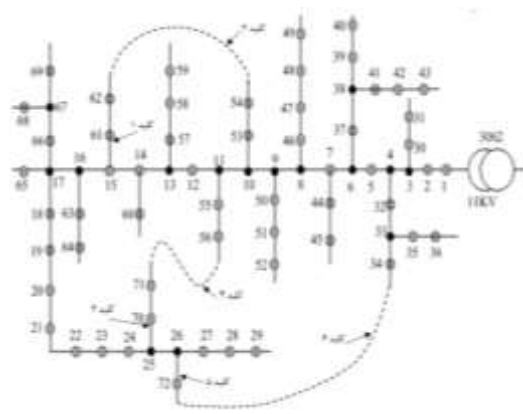
برای نشان دادن تاثیر الگوریتم پیشنهادی، الگوریتم روی فیدر ۳۰۶۲ اهواز اجرا شده است. در این شبکه بارهای مسکونی و تجاری وجود دارند. به دلیل وجود تعداد زیادی

بدست آوردن آنها باید بترتیب بهترین و بدترین ساختار شبکه را در نظر گرفت.

**سناریوی ۲:** جابجایی فاز و مکان یابی و اندازه یابی DG بطور همزمان انجام می شود.

**سناریوی ۳:** جابجایی فاز و بازآرایی بطور همزمان انجام می شود.

**سناریوی ۴:** جابجایی فاز و بازآرایی و مکان یابی و اندازه یابی DG بطور همزمان انجام می شود.



شکل (۸): دیاگرام تک خطی فیدر ۳۰۶۲ اهواز

جدول (۱): پارامترهای الگوریتم BF-SD برای شبکه ۷۲ باسه

مقدار	عنوان پارامتر
۲۰۰	تعداد باکتری ( $S$ )
۴	تعداد مرحله شنا ( $N_s$ )
۱۰	تعداد مرحله حرکت ( $N_c$ )
۴	تعداد مرحله تولید مثل ( $N_{re}$ )
۲	تعداد مرحله حذف و پراکندگی ( $N_{ed}$ )
۰/۲	احتمال حذف و پراکندگی در هر مرحله ( $P_{ed}$ )
۱۰۰	تعداد باکتری های کاندید برای پیش دینامیک ( $m$ )
۵۰	تعداد حداکثر بار، اجرای الگوریتم $SD(k_{max})$
$\pi/4$	زاویه پیش ( $\theta$ )

## ۷-۲- اجرای الگوریتم

برای اجرای الگوریتم بر روی شبکه مورد نظر، چهار سناریو مختلف بصورت زیر تعریف شده است:

**سناریوی ۱:** فقط جابجایی فاز انجام می شود.

نقاط معرفی شده جهت انجام جابجایی فاز و همچنین نوع جابجایی (توالی چپگرد و راستگرد) در هر چهار سناریو مشابه هم بوده که در جدول (۲) آمده است. مکان DG و اندازه آنها در سناریوهای ۲ و ۴ و همچنین کلیدهای باز و بسته برای انجام بازآرایی در سناریوهای ۳ و ۴ در جدول (۱) مشخص شده اند. نتایج بکارگیری چهار سناریوی معرفی شده نیز بصورت جدول (۳) بدست آمده است. در ستون مربوط به سناریوی ۱ شاهد کاهش شدید جریان زمین فیدر اصلی به میزان تقریباً ۳۳۱ آمپر هستیم. در این سناریو، کارایی جابجایی فاز در متعادل کردن شبکه مشخص شده است. میزان بار سه فاز قبل و بعد از اجرای سناریوی ۱ در جدول (۴) آمده است.

در این سناریو شاهد کاهش تلفات نیز هستیم. علت این کاهش تلفات را با استفاده از یک قضیه ریاضی می توان بیان کرد. "حاصل جمع توان دوم سه عدد (که مجموع آنها ثابت است)، زمانی حداقل می شود که آن سه عدد به هم نزدیک و در حالت ایده آل با هم برابر باشند". بنابراین با متعادل شدن جریان سه فاز، تلفات نیز کاهش می یابد. اگر به تلفات به دید یک بار متغیر نگاه کنیم، با کاهش تلفات، جریان خطوط کاهش یافته و بالطبع، افت ولتاژ روی خطوط کاهش یافته و در نهایت بهبود در پروفیل ولتاژ را خواهیم داشت.

جدول (۲): الف) نقاط کاندید برای جابجایی فاز ب) نقاط کاندید برای نصب DG و اندازه آنها ج) حالت های کلیدها برای بازآرایی

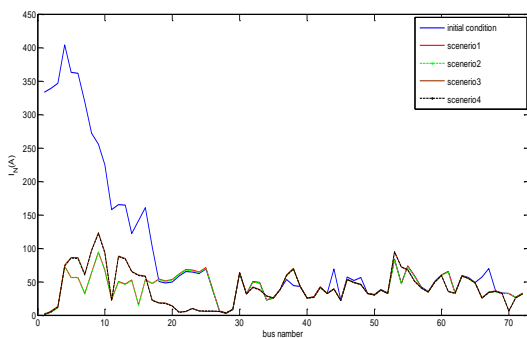
الف)	سناریوهای ۱ تا ۴	گره	۳۷	۳۸	۴۴	۴۸	۶۰	۶۵	۶۷
	توالی*	-۱	۱	-۱	۱	۱	۱	۱	-۱
ب)	سناریوهای ۲ و ۴	گره	۱۷	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۶۷
	اندازه (KVA)	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰
ج)	سناریوهای ۳ و ۴	کلیدها	کلید ۱	کلید ۲	کلید ۳	کلید ۴	کلید ۵	کلید ۶	حالت
		حالت	باز	بسته	باز	بسته	باز	بسته	بسته

\* عدد ۱- به معنای توالی چپگرد و عدد ۱ به معنای توالی راستگرد است

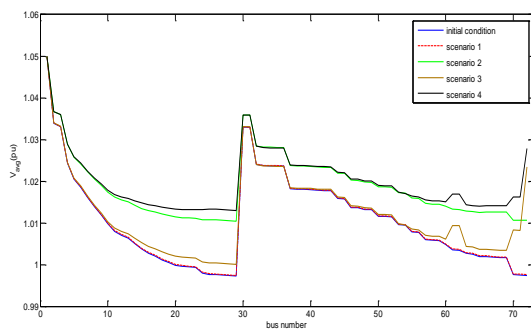
جریان زمین بارها، تقابل جریان‌های زمین فیدر اصلی طوری برهم بخورد که این جریان افزایش یابد. در سناریوی ۴ کاهش جریان زمین، ناشی از انجام جابجایی فاز است. دلیل اصلی بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات هم با همان تفاسیر سناریوهای ۱ تا ۳، بازآرایی و نصب DG می‌باشد.

در مورد مکان DG ها هم می‌توان گفت که DGها حتی الامکان به انتهای شاخه‌ها رانده می‌شوند. زیرا با این کار هم پروفیل ولتاژ بهتر می‌شود و هم تلفات کاهش می‌یابد. مقدار DG همیشه بیشترین مقدار انتخاب شده است زیرا اگر DG را یک بار با توان منفی در نظر بگیریم، در این صورت بار شبکه کاهش می‌یابد و با کاهش بار، تلفات کاهش و پروفیل ولتاژ بهبود می‌یابد.

همچنین نمودارهای میانگین افت ولتاژ و مجموع جریان سه فاز شاخه‌ها (جریان زمین) در شکل‌های (۹) و (۱۰) آمده است.



شکل (۹): جریان زمین شاخه‌ها در چهار سناریو



شکل (۱۰): میانگین افت ولتاژ گره‌ها در چهار سناریو

### ۷-۳- مقایسه نتایج با دیگر الگوریتم‌ها

برای نشان دادن عملکرد الگوریتم BF-SD، سناریوی ۱ را با روش‌های اشاره شده در مرجع [۱] مقایسه می‌کنیم.

جدول (۳): نتایج چهار سناریو

پارامتر	قبل از اجرای الگوریتم	سناریوی ۱	سناریوی ۲	سناریوی ۳	سناریوی ۴
جریان زمین شاخه اصلی (آمپر)	۳۳۳	۱/۹۸	۲/۲۷	۰/۶۸	۱/۲۱
متوسط افت ولتاژ (%)	۳/۷۷	۳/۷۵	۲/۹۹	۳/۶۰	۲/۸۷
تلفات (KW)	۳۰۷	۲۸۶/۵	۱۸۴/۷	۲۷۴/۳	۱۷۷/۶
هزینه جابجایی فازها (\$)	۰	۲۳۰۰	۲۳۰۰	۲۳۰۰	۲۳۰۰

جدول (۴): بارهای سه فاز قبل و بعد از اجرای سناریوی ۱

بار فاز	قبل از اجرای الگوریتم (وات)	بعد از سناریوی ۱ (وات)
بار فاز a	۴۵۷۹+۲۸۳۴/۵j	۳۵۹۴/۵+۲۲۲۷/۴j
بار فاز b	۳۶۲۱/۲+۲۲۴۹j	۳۵۷۱/۷+۲۲۱۹/۳j
بار فاز c	۲۵۸۰/۲+۱۵۸۲/۷j	۳۶۱۴/۲+۲۲۱۹/۶j

در سناریوی ۲ جریان زمین فیدر اصلی نسبت به سناریوی ۱ افزایش کمی داشته است. عمده تاثیر DG در شبکه، بهبود پروفیل ولتاژ است. لذا با افزایش ولتاژ بارها، جریان سه فاز آنها کاهش یافته و بالطبع جریان زمین نیز کاهش می‌یابد. بنابراین چون حضور DG تاثیرات متفاوتی را در ولتاژ گره‌های مختلف دارد، لذا در کاهش جریان زمین بارهای مختلف نیز تاثیرات متفاوت داشته و همین موضوع باعث شده تا تقابل جریان‌های زمین در شاخه اصلی، به هم خورده و این جریان در سناریوی ۲ افزایش یابد. وجود DG باعث کاهش بار شبکه از دید باس مینا می‌شود و در نتیجه، جریان شبکه و شاخه‌ها کاهش می‌یابد. این کاهش جریان، خود عامل اصلی کاهش تلفات در این سناریو می‌باشد.

در سناریوی ۳ شبکه دچار بازآرایی شده است. ساختار شبکه طوری تغییر یافته که بارها به باس مینا نزدیکتر شده و ولتاژ آنها افزایش یابد. با افزایش ولتاژ بارها، جریان آنها کاهش می‌یابد و بالطبع، تلفات و جریان زمین بارها کاهش نیز می‌یابد. البته لازم به ذکر است که بازآرایی همیشه جریان زمین فیدر اصلی را کاهش نمی‌دهد و ممکن است با کاهش

انرژی تلف شده قبل از اجرای الگوریتم =  
میزان کاهش تلفات انرژی - انرژی تلف شده بعد از اجرای الگوریتم  
(۲۱)

اگر هزینه هر کیلووات ساعت انرژی برابر با ۰/۰۷ دلار در نظر گرفته شود و فرض شود در طول سال فقط یکبار نتایج این الگوریتم روی شبکه پیاده سازی شود، میزان هزینه صرفه جویی شده در اثر اجرای الگوریتم، در طی یک سال برابر خواهد بود با:

= هزینه صرفه جویی شده سالانه  
هزینه اجرای الگوریتم پیشنهادی - ۰/۰۷ \* میزان کاهش تلفات انرژی  
(۲۲)

میزان هزینه صرفه جویی شده در هر سناریو را می توان در جدول (۶) مشاهده کرد.

جدول (۶): هزینه صرفه جویی شده در اثر اجرای الگوریتم

در چهار سناریو

سناریوی ۴	سناریوی ۳	سناریوی ۲	سناریوی ۱	
۷۹۳۴۸	۲۰۰۵۱	۷۴۹۹۴	۱۲۵۷۰	میزان هزینه ناشی از کاهش تلفات (دلار)
۲۳۰۰	۲۳۰۰	۲۳۰۰	۲۳۰۰	هزینه اجرای الگوریتم (دلار)
۷۷۰۴۸	۱۷۷۵۱	۷۲۶۹۴	۱۰۲۷۰	میزان هزینه صرفه جویی شده سالانه (دلار)

همانطور که مشخص است در سناریوهای ۲ و ۴ میزان سود حاصل از اجرای الگوریتم در شبکه بسیار بیشتر از دو سناریوی دیگر است. علت آن هم وجود DG می باشد که باعث کاهش قابل توجه تلفات شده است. چون در اینجا هزینه نصب DG در نظر گرفته نشده است، بنابراین هزینه صرفه جویی شده در این سناریوها زیادتر شده است.

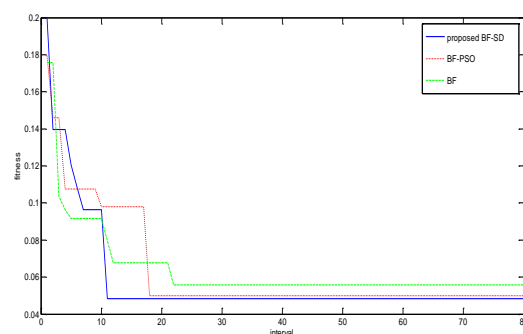
## ۹- نتیجه گیری

در این مقاله روش جدیدی در جابجایی فاز، بازآرایی و نصب DG بطور همزمان توسط الگوریتم BF-SD ارائه شد. با بررسی نتایج بدست آمده، مشخص شد که ابزار

نتایج مقایسه بصورت جدول (۵) آمده اند. با مقایسه ردیف مربوط به جریان زمین مشخص است که الگوریتم BF-SD نسبت به سایر الگوریتم ها بسیار بهتر عمل کرده است. همچنین این الگوریتم در کاهش تلفات و متوسط افت ولتاژ نیز نتایج بهتری را نسبت به سایر الگوریتم ها داشته است. همچنین نمودار شکل (۱۱)، بیانگر سرعت و دقت بالای این الگوریتم، در مقایسه با الگوریتم های BF و BF-PSO می باشد.

جدول (۵): نتایج حاصل از الگوریتم های متفاوت

الگوریتم ها	Proposed BF-SD	BF-PSO [۱]	BF[۱]	GA[۱]	IA[۱]
جریان شاخه اصلی (آمپر)	۱/۹۸	۱۱۳	۱۱۴	۱۳۰	۱۲۱
متوسط افت ولتاژ (در صد)	۳/۷۵۷۶	۳/۷۵۸۵	۳/۷۵۸۹	۳/۷۵۹۳	۳/۷۵۹۰
تلفات (کیلووات)	۲۸۶/۵	۲۸۹	۲۸۹/۷	۲۹۱	۲۸۹/۵



شکل (۱۱): نمودار همگرایی الگوریتم ها

## ۸- توجیه اقتصادی

الگوریتم و روشهای پیشنهادی در این مقاله علاوه بر اینکه در کیفیت بهره برداری شبکه تاثیر مثبت داشتند، بلکه از نظر اقتصادی نیز نتایج مثبتی را به همراه داشته است. تلفات انرژی سالیانه شبکه بصورت زیر تعریف می شود:

$$(h) * ۸۷۶۰ * (KW) \text{ توان تلف شده} = (KWh) \text{ انرژی تلف شده}$$

(۲۰)

بنابراین میزان کاهش تلفات انرژی از رابطه (۲۱) بدست

می آید:

- using Fireworks Algorithm,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, Vol. 62, pp. 312–322, 2014.
- [11] H. Fathabadi, “Power distribution network reconfiguration for power loss minimization using novel dynamic fuzzy c-means (dFCM) clustering based ANN approach,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, Vol. 78, pp. 96–107, Jun. 2016.
- [12] M. Kaur and S. Ghosh, “Network reconfiguration of unbalanced distribution networks using fuzzy-firefly algorithm,” *Appl. Soft Comput.*, Vol. 49, pp. 868–886, Dec. 2016.
- [13] E. J. de Oliveira, G. J. Rosseti, L. W. de Oliveira, F. V. Gomes, and W. Peres, “New algorithm for reconfiguration and operating procedures in electric distribution systems,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, Vol. 57, pp. 129–134, May 2014.
- [14] I. Pérez Abril, “NSGA-II phase balancing of primary distribution circuits by the reconnection of their circuit laterals and distribution transformers,” *Electr. Power Syst. Res.*, Vol. 109, pp. 1–7, Apr. 2014.
- [15] L. W. de Oliveira, E. J. de Oliveira, F. V. Gomes, I. C. Silva, A. L. M. Marcato, and P. V. C. Resende, “Artificial Immune Systems applied to the reconfiguration of electrical power distribution networks for energy loss minimization,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, Vol. 56, pp. 64–74, Mar. 2014.
- [16] S. Ghasemi and J. Moshtagh, “A novel codification and modified heuristic approaches for optimal reconfiguration of distribution networks considering losses cost and cost benefit from voltage profile improvement,” *Appl. Soft Comput.*, Vol. 25, pp. 360–368, Dec. 2014.
- [17] M. Honey, B. Mating, O. Algorithm, J. Olamaei, and T. Niknam, “Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Minimization Based on Modified Honey Bee Mating Optimization Algorithm,” *Energy Procedia*, Vol. 14, pp. 304–311, 2012.
- [18] N. G. a. Hemdan, B. Deppe, M. Pielke, M. Kurrat, T. Schmedes, and E. Wieben, “Optimal reconfiguration of radial MV networks with load profiles in the presence of renewable energy based decentralized generation,” *Electr. Power Syst. Res.*, Vol. 116, pp. 355–366, 2014.
- [19] R. Rajaram, K. Sathish Kumar, and N. Rajasekar, “Power system reconfiguration in a radial distribution network for reducing losses and to improve voltage profile using modified plant growth simulation algorithm with Distributed Generation (DG),” *Energy Reports*, Vol. 1, pp. 116–122, Dec. 2015.
- [20] M. Esmaili, M. Sedighzadeh, and M. Esmaili, “Multi-objective optimal reconfiguration and DG (Distributed Generation) power allocation in distribution networks using Big Bang-Big Crunch algorithm considering load uncertainty,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, Vol. 103, pp. 86–99, May 2016.
- [21] R. H. Fayek and R. a Sweif, “AI based Reconfiguration Technique for Improving performance and operation of Distribution Power اصلی برای متعادل کردن شبکه، جابجایی فازها می‌باشد. هرچند جابجایی فاز در کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ موثر است ولی این تاثیرات به اندازه ای نیست که از این روش به عنوان یک روش اصلی برای این منظور استفاده شود. در مقابل بازآرایی و نصب DG از ابزارهای مهم در کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ هستند. این موضوع را هم باید در نظر داشت که نصب DG دارای هزینه قابل توجهی می‌باشد. مزیت اصلی روش‌های بازآرایی و جابجایی فاز که در این مقاله مطرح شدند، هزینه بسیار کم اجرای آنها می‌باشد.
- ### مراجع
- [1] R. A. Hooshmand and S. Soltani, “Fuzzy optimal phase balancing of radial and meshed distribution networks using BF-PSO algorithm,” *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol. 27, No. 1, pp. 47–57, 2012.
- [2] R. Hooshmand and S. H. Soltani, “Simultaneous optimization of phase balancing and reconfiguration in distribution networks using BF – NM algorithm,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, Vol. 41, No. 1, pp. 76–86, 2012.
- [3] F. Shahnia, A. Ghosh, G. Ledwich, and F. Zare, “Voltage unbalance improvement in low voltage residential feeders with rooftop PVs using custom power devices,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, Vol. 55, pp. 362–377, Feb. 2014.
- [4] F. Zhang, “Phase Balancing using Mixed-Integer Programming,” *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol. 13, No. 4, pp. 1487–1492, 1998.
- [5] G. Bilbro and M. Chow, “Phase Balancing Using Simulated Annealing,” *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol. 14, No. 4, 1999.
- [6] T. Chen and J. Cherng, “Optimal Phase Arrangement of Distribution Transformers Connected to a Primary Feeder for System Unbalance Improvement and Loss Reduction Using a Genetic Algorithm,” *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol. 15, No. 3, pp. 994–1000, 2000.
- [7] C. Lin, C. Chen, and H. Chuang, “An Expert System for Three-Phase Balancing of Distribution Feeders,” *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol. 23, No. 3, pp. 1–9, 2008.
- [8] M. H. C. Chen, C. L. M. Kang, and H. C. C. Huang, “Three-phase balancing of distribution feeders using immune algorithm,” *IET Gen., Transm., Distrib.*, Vol. 2, No. 3, pp. 383–392, 2008.
- [9] H. Ahmadi and J. R. Martí, “Mathematical representation of radiality constraint in distribution system reconfiguration problem,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, Vol. 64, pp. 293–299, 2015.
- [10] A. M. Imran and M. Kowsalya, “A new power system reconfiguration scheme for power loss minimization and voltage profile enhancement

- Generation,” IEEE Trans. Power Syst., Vol. 20, No. 1, pp. 519–520, 2005.
- [27] K. M. Pasino and N. Ave, “Biomimicry Of Bacterial Foraging,” IEEE Control Systems Magazine, pp. 52–67, 2002.
- [28] A. Biswas, S. Dasgupta, S. Das, and A. Abraham, “Synergy of PSO and Bacterial Foraging Optimization,” Innovations in Hybrid Intelligent Systems, pp. 255–263, 2007.
- [29] A. N. K. Nasir, M. O. Tokhi, and N. M. A. Ghani, “A Novel Hybrid Spiral Dynamics Bacterial Chemotaxis Algorithm for Global Optimization with Application to Controller Design,” In UKACC International Conference on Control, pp. 3–5, 2012.
- [30] A. N. K. Nasir, M. O. Tokhi, “An Improved Spiral Dynamic Optimization Algorithm With Engineering Application”, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 45, pp. 943–954, 2015
- [31] A. N. K. Nasir, M. O. Tokhi, and N. M. A. Ghani, “Novel Hybrid Bacterial Foraging and Spiral Dynamics Algorithms,” In 13th UK Workshop on Computational Intelligence (UKCI), pp. 199–205, 2013.
- Systems with Distributed Generators,” in 4th Int. Conf. Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG), pp. 13–17, 2013.
- [22] S. A. Taher and M. H. Karimi, “Optimal reconfiguration and DG allocation in balanced and unbalanced distribution systems,” Ain Shams Eng. J., Vol. 5, No. 3, pp. 735–749, Sep. 2014.
- [23] H. Bagheri, M. Hasan, S. Bin, and M. Rizwan, “Novel hybrid fuzzy-Bees algorithm for optimal feeder multi-objective reconfiguration by considering multiple-distributed generation,” Energy, Vol. 71, pp. 507–515, 2014.
- [24] C. Lin, C. Chen, H. Chuang, and C. Ho, “Heuristic Rule-Based Phase Balancing of Distribution Systems by Considering Customer Load Patterns,” IEEE Trans. Power Syst., Vol. 20, No. 2, pp. 709–716, 2005.
- [25] P. Kayal and C. K. Chanda, “Placement of wind and solar based DGs in distribution system for power loss minimization and voltage stability improvement,” Int. J. Electr. Power Energy Syst., Vol. 53, pp. 795–809, Dec. 2013.
- [26] M. H. J. Bollen and A. Sannino, “Voltage Control With Inverter-Based Distributed

---

<sup>1</sup> Bacterial Foreign - Spiral Dynamic

<sup>2</sup> Load Unbalancing

<sup>3</sup> Phase Unbalancing

<sup>4</sup> Simulated Annealing

<sup>5</sup> Rephasing

<sup>6</sup> Distribution feeders

<sup>7</sup> Chemotactic

<sup>8</sup> Swarming

<sup>9</sup> Reproduction

<sup>10</sup> Elimination and Dispersal

<sup>11</sup> Nelder-Mead

<sup>12</sup> Particle Swarm Optimization (PSO)



