مقاله علمى-ترويجى

تعییـن موقعیـت و ظرفیت بهینـه منابع تولیـد پراکنده در سیسـتمهای توزیع بـا در نظـر گرفتـن حالتهـای کاری منابع مبتنی بـر الگوریتـم حرکت جمعی ذرات بهبـود یافتـه جهـت کاهش تلفات تـوان و بهبـود نمایه ولتاژ

■ ناصر طاهری\*، عضو هیات علمی، گروه مهندسی برق، دانشگاه فنی و حرفه ای، تهران–ایران علی صفایی، دانشگاه علوم تحقیقات واحد کرمانشاه، کرمانشاه، ایر ان سو مادق بهزادی، دانشگاه چمران اهواز، پردیس صنعتی شهدای هویزه، اهواز ، ایران فرامرز ابراهیمی، گروه مهندسی برق، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران \*نویسنده مسنول

### چکيده

با افزایت فنوذ منابع DG در سیستمهای توزیع، عملکرد این سیستمها از حالت غیرفعال به حالت فعال تغییر کرده و امکان تبادل دو طرف توان بین شبکه اصلی و شبکه توزیع فراهم شده است. بهرهبرداری از منابع DG در سیستم توزیع در صورتی دارای مزایای اقتصادی-تکنیکی است که موقعیت نصب و ظرفیت تولیدی آنها که تحت تاثیر حالت کاری (قابلیت DG در تبادل هر دو مولف توان فعال و واکنشی) و استراتژی کنترلی به کار گرفته شده در مبدلها است، بهصورت بهینه انتخاب شود. در این مقاله روشی برای حل مساله جایابی و تعیین ظرفیت بهدار گرفته شده در مبدلها است، بهصورت بهینه انتخاب شود. در که در آن از مدل تزریق جریان بار برای مدلسازی DG ها استفاده شده و حالت کاری منابع JC در تبادل تاثیر استراتژی کنترلی مبدل ها بر حل مساله بایابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع DG (OPSDG) در شبکههای توزیع ارائه خواهد شد تاثیر استراتژی کنترلی مبدل ها بر حل مساله را به کمترین مقدار ممکن می رساند. در روش مورد بحث این مقاله تابع هدف، ترکیبی وزندار از شاخصهای نمایه ولتاژ و کاه ش تلفات توان است. برای بهینهسازی تابع هدف، الگوریتم ترکیبی حرکت زرات تصحیح شده ارائه می شاید ولتاژ و کاه ش تلفات توان است. ممان در روش مورد بحث این مقاله تابع هدف، ذرات تصحیح شده ارائه می شود. تصحیح الگوریتم از طریق بکار گیری عملگرهای ترکیب و جه ش دینامیکی برای مجموعه ذرات انجام خواهد شد. نتایج شبیهسازی نشان می دهد که تحت استراتژی ارائه شده این مقاله، نمایه ولتاژ و تلفات توان اکتیو در حالت بهینه قرار خواهند داشت.

# **کلمات کلیدی:** جایابی و تعیین ظرفیت بهینه، تولید پراکنده، الگوریتم حرکت جمعی ذرات تصحیح شده

DG Optimal Allocation and Sizing in Distribution Systems Considering the Working Modes of the Resources Based on the Enhanced Particle Swarm Optimization Algorithm to Reduce Power Losses and Improve the Voltage Profile

Naser Taheri\*, Faculty Member, Department of Electrical Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran
 Ali Safaee,Department of Electrical Engineering, Kermanshah Research University of Sciences, Kermanshah, Iran
 Sadegh Behzadi,Department of Electrical Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Ahvaz, Iran.
 Faramarz Ebrahimi,Department of Electrical Engineering, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan
 °Corresponding Author



انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران-شاخه خراسان سال نهـم/شیماره۸۸/ زمستان ۱۴۰۱ ۲۹

### Abstract

With the increasing penetration of DG resources in distribution systems, the performance of these systems has changed from passive to active mode and the possibility of two-way power exchange between the main network and the distribution network has been provided. The use of DG resources in the distribution system has economic-technical advantages if their installation location and production capacity, which are influenced by the working mode (the ability of DG to exchange both active and reactive power components) and the control strategy used in the converters, be optimally selected. In this article, a method will be presented to solve the placement problem and determine the optimal capacity of DG resources (OPSDG) in distribution networks, in which the load flow injection model is used to model DGs and the working state of the resources is also considered. This model minimizes the influence of the control strategy of converters on solving the problem. In the method discussed in this article, the objective function is a weighted combination of voltage profile indicators and power loss reduction. To optimize the objective function, the enhanced algorithm of particel swarm optimization algorithm is presented. The enhancement of the algorithm will be done through the use of crossover and dynamic mutation operators for the set of particles. The simulation results show that under the strategy presented in this article, the voltage profile and active power losses will be in the optimal state.

Keywords: DG optimal allocation and sizing, Distributed generation, Enhanced particle swarm optimizations

#### ۱– مقدمه

رشد تصاعدی تقاضای انرژی در چند دهه اخیر باعث شده است تا تلفات توان الكتريكي و افت ولتاژ در سيستمهاي توزيع افزايش یابد. بیشتر شبکههای توزیع یا بهصورت شعاعی بوده و یا شبکهای ضعيف هستند [1-٣]. در نتيجه، تلفات خط و افت ولتا ثمر تبط با انتهای فیدرها، بهدلیال نسبت بالای R به X سیستمهای توزیع، قابل توجه است. علاوه بر این، شبکههای توزیع متمرکز بوده و بهصورت یکطرفه از طریق شبکه اصلی (که شامل نیروگاههای مبتنی بر سوختهای فسیلی هستند) تغذیه میشوند. بنابراین شبکههای توزیع بر گسیل آلایندههای زیست محیطی نیز موثر هستند[۶-۴]. بـا ظهـور فنـاوری شـبکه هوشـمند (Smart Grid) و منابع توليد پراکنده (Distributed Generation)، تغییرات گستردهای در شبکههای توزیع بهوجود آمده است. تولید پراکنده به معنای استفاده از نیروگاههایی با واحدهای تولیدی مقیاس کوچک و انعطاف یذیـ اسـت کـه بهطور معمـول در سـاختار خـود از انرژیهای تجديدپذير بهعنوان محرك اوليه ژنراتور استفاده ميكنند. ظرفیت پایین تولید در منابع DG و وابستگی آن به عدم قطعیت های متعدد باعث شده است تا بیشتر این نیروگاهها در محل مصرف کننده (بار) نصب شوند [۹-۷]. از جمله مهمترین

مزایای منابع DG می توان به جبران سازی سریع توان از دست رفته در سیستم، عدم نیاز به ایجاد پستهای جدید توان، کاهش تلفات توان، کاهش هزینه های سرمایه گذاری در احداث خطوط انتقال جدید، بهبود بازار برق در محیط تجدید ساختار یافته،

تغذیه بارهای محلی و دوردست و ... اشاره نمود [۲۴-۱۰]. استفاده از DG ها در شبکه توزیع باعث تغییر پیکربندی شعاعی سیستم خواهد شد. در صورت نفوذ منابع DG در شبکه توزیع، سیلان مولفه های توان (فعال و غیرفعال) دستخوش تغییر شده و نمایه ولتاژ نیز به همان نسبت تغییر خواهد کرد. همچنین شبکه از سیستم غیرفعال به سیستمی فعال تبدیل شده و این مهم بر جریان خطا، جریان بار و سیستم حفاظتی شبکه اثر گذار خواهد بود. لازم به ذکر است که عدم قطعیت موجود در محرکهای اولیه منابع DG تشدید کننده موارد بیان شده هستند [۱۰–۱۵].

> فصل نامه علمی انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران -شاخه غراسان ۲۲ سال فهم (شماره۸۸/ زمستان ۱۴۱

DG، جایابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع DG۳ در شبکههای توزیع غیر قابل اجتناب است، بهطوری که تحقیقات نشان می دهند اگر این فرایند مهم در نصب منابع تولید پراکنده در نظر گرفته نشود، نه تنها اهداف و ویژگی های مثبت مد نظر از نصب منابع تولید پراکنده حاصل نمی گردند، بلکه ممکن است وضعیت عملکرد

شبکه بدتر از حالت قبل از نصب (منابع) نیز شود[۲۰–۱۸]. در این مقاله روشی مبتنی بر به کار گیری الگوریتم حرکت جمعی ذرات به همراه راهکارهای افزایش قابلیت این الگوریتم در جهت حل مساله جایابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع DG ارائه می شود. همگرایی سریع به نقاط اکسترمم محلی و تاثیرپذیری از سرعت و موقعیت ذرات بهینه مطلق جهت حرکت جمعی ذرات از مهمترین چالش های الگوریتم PSO محسوب می شوند. در این مقاله با استفاده از عملگرهای پیشنهادی ترکیب و جهش دینامیکی ذرات چالش های بیان شده تعدیل خواهند شد.

## ۲ – مدلسازی سیستم قدرت ۲ –۱ –مدلسازی منابع انرژی تجدیدپذیر و بارها

بهطورکلی میتوان این منابع را به دو شکل زیر مدلسازی نمود:

- ۱-مدل PV که در این صورت ضروری است تا از طریق تصحیح
   توان راکتیو اندازه ولتاژ باسی که DG به آن متصل شده است،
   تنظیم شود.
  - ۲- مدل PQ و بهعنوان یک بار منفی که مورد نظر این مقاله است.

ساختار شعاعی شبکه توزیع، بالا بودن مقدار مقاومت سیستم و همچنین نسبت پایین X به R باعث می شوند که روش های معمول پخش بار نظیر نیوتن- رافسون، گوس- سایدل و تکنیکهای دکوپلهسازی سریع<sup>۲</sup> برای شبکه های توزیع شامل منابع انرژی DG مناسب نباشند. از اینرو پخش بار مبتنی بر تزریق جریان ^ برای این سیستم ها پیشنهاد می شود. یکی از مزیتهای CILF سازگار بودن آن با تجهیزات کنترلی در شبکه است. سه روش برای مدل سازی DG به صورت PQ در دسترس است:

۱- بار PQ منفی: در این حالت منبع DG بهعنوان یک منبع توان اکتیو در نظر گرفته می شود. توان اکتیو خروجی PDG منبع بهعنوان توان تزریقی لحاظ می گردد:

$$P_{\text{load},i} = P_{\text{load},i} - P_{\text{DG},i} \tag{1}$$

۲- ضریب توان ثابت: این مدل معمولترین مدلسازی برای منابع DG در شبکه توزیع است. توان اکتیو منبع DG و تزریق جریان معادل از رابطه های (۲) و (۳) محاسبه می شوند:

$$Q_{iDG} = P_{iDG} \tan(\cos^{-1}(PF_{iDG}))$$
(Y)

$$I_{iDG} = I_{iDG}^{r}(V_{iDG}) + jI_{iDG}^{i}(V_{iDG}) = (P_{iDG} + j\frac{Q_{iDG}}{V_{iDG}})^{*}$$
(7)

۳-تسوان راکتیسو متغیسر: ژنراتورهای القایسی در منابع DG بهعنوان ژنراتورهای توان راکتیسو متغیسر در نظر گرفته می شوند. به عنوان مشال برای توربین های بادی، توان اکتیسو را می توان از روی منحنی مشخصه توربیسن استخراج نمود و بر اساس رابطه زیر مقدار توان راکتیو تقاضا شده را محاسبه کرد:

$$Q'_{iDG} = -Q_0 - Q_1 P_{iDG} - Q_2 P_{iDG}^2$$
(f)

که در این رابط و Q'iDG توان راکتیو مصرفی توسط توربین بادی و مقادیر Q<sub>0</sub>,Q<sub>1</sub>,Q<sub>2</sub> از طریق تقریب بهدست می آیند. در این مقاله از روش های بالا برای مدل سازی منابع DG استفاده خواهد شد. برای مدل سازی بار نیز می توان از روابط زیر استفاده نمود:

$$P_{i} = P_{0i} \times V_{i}^{\alpha}, Q_{i} = Q_{0i} \times V_{i}^{\beta}$$

$$(\Delta)$$

که در ایـن رابطـه Pi و Qi توانهـای اکتیو و راکتیو در بـاس iام، وP و Q<sub>0i</sub> تـوان اکتیـو و راکتیـو در بـاس i· Vi ولتاژ در بـاسα i· و β ضرایب ثابـت هسـتند (بـرای حالـت تـوان ثابـت ایـن دو مولفـه صفـر در نظر گرفته میشـوند).

یکی از مهمترین اهداف از حل مساله جایابی و تعیین سایز بهینه منابع DG در شبکه قدرت کاهش تلفات کل توان در سیستم میباشد. این مهم را میتوان به صورت زیر تعریف نمود: (2)  $P^2 + \Omega^2$ 

Minimiza 
$$S_{loss} = \sqrt{P_{loss}^2 + Q_{loss}^2}$$
 (5)

توجه شود که هدف این مقاله کاهش تلفات توان اکتیو و همچنین بهبود پروفیل ولتاژ در فیدرهای شبکه است. از آنجا که ولتاژ سیستم مرتبط با مقدار جاری شدن توان راکتیو است بنابراین کاهش تلفات توان راکتیو میتواند بر تثبیت پروفیل ولتاژ بهطور کامل موثر باشد. کل تلفات توان اکتیو در سیستم توزیع با رابطه زیر داده می شود:

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^{n} I_i^2 R_i , Q_{loss} = \sum_{i=1}^{n} I_i^2 X_i$$
 (Y)

که در ایـن رابطـه n شـماره خطـوط در بـاس i I بریـان خـط در بـاس i، Ri مقاومـت خـط و Xi راکتانـس خـط هسـتند. تلفـات کل تـوان سیسـتم نیز بر اسـاس تلفـات توان اکتیـو و راکتیـو فرمول.بندی میشـوند. می تـوان مقـدار دقیق تلفـات توانهـای فعال و واکنشـی را بـا اسـتفاده از معـادلات (۹) و (۱۰) محاسـبه نمـود:

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} [a_{ij} (P_i P_j + Q_i Q_j) + b_{ij} (Q_i P_j - P_i Q_j)]$$
(A)

$$Q_{loss} = \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} [c_{ij} (P_i P_j + Q_i Q_j) + d_{ij} (Q_i P_j - P_i Q_j)]$$
(9)

که در رابطه بالا ضرایب به صورت زیر تعریف می شوند:  
$$i_{ij} = \frac{R_{ij}}{V_i V_j} \cos(\delta_i - \delta_j), b_{ij} = \frac{R_{ij}}{V_i V_j} \sin(\delta_i - \delta_j)$$
 (۱۰)

$$c_{ij} = \frac{x_{ij}}{V_i V_j} \cos(\delta_i - \delta_j) , d_{ij} = \frac{x_{ij}}{V_i V_j} \sin(\delta_i - \delta_j)$$
(11)

 $P_{i(j)}$ ، و الشماره باس،  $e_{ij}$ ،  $e_{ij}$ ,  $e_{ij}$ ,  $e_{ij}$ ,  $c_{ij}$ ,  $d_{ij}$  بس باس i و  $i_{(ij)}$  represented in the state of the matrix  $Q_{i(j)}$  (i) i سیلان توان حقیقی در باس  $Q_{i(j)}$  (j) i سیلان توان واکنشی در باس i (i), represented is  $Q_{i(j)}$  (j) i  $i_{(i)}$ , represented is  $Q_{i(j)}$  (j) i  $i_{(i)}$ , represented is  $V_{i(j)}$  i  $i_{(i)}$ , i  $i_{(i)}$  i  $i_{(i)}$ , i  $i_{(i)}$  i  $i_{(i)}$ , i  $i_{(i)}$  i  $i_{(i)}$ , i  $i_{$ 

Minimize 
$$f(x) = \{f_1(x), f_2(x), ..., f_k(x)\}$$
 (1)

که در آن $f_k(x), f_2(x), \dots, f_k(x)$  متغیرات در تابع هزینه هستند. این تابع هزینه باید در شرایط قیود تساوی و ناتساوی حل شود:

$$\begin{split} g(x) &= g_1(x), g_2(x), \dots, g_k(x) = 0 \\ h(x) &= h_1(x), h_2(x), \dots, h_k(x) \geq 0 \end{split} \tag{17}$$

استراتژی معمول برای جایابی و تعیین ظرفیت بهینه DG مبتنی بر به کمینه رساندن مقدار تلفات و بهبود نمایه ولتاژ است. فاکتور کاهش تلفات توان فعال در هر گره بهصورت نسبت درصد کاهش تلفات توان فعال به توان پایه در زمانی است که DG در باس *i* نصب گردد. در این مقاله شاخص کاهش تلفات توان فعال (PLRI) بهصورت زیر بیان می شود (که در آن(Lbase) تلفات توان فعال قبل از نصب DG می باشد.): عد مع P

$$f_1 = PLRI = \frac{\Gamma_{L(base)} - \Gamma_{L(dg)}}{P_{L(base)}}$$
(14)

در یک سیستم قدرت انتظار می ود تا ولتاژ در هر باس در محدوده مجاز قرار گیرد. شاخص بهبود نمایه ولتاژ (Profile Voltage) به تعیین سایز-موقعیت بهینه DG کمک می کند تا کمینه تغییرات ولتاژ از مقدار مرجع در باسهای مختلف سیستم را شاهد باشیم. این شاخص در این مقاله به صورت زیر تعریف می شود (یک مقدار عددی ثابت است):

$$f_2 = VPII = \frac{1}{\lambda + \max_{i=1}^{n} (|1 - V_{DG}|)}$$
(10)

می توان تابع هزینه چند هدف و برای تعیین موقعیت و ظرفیت بهینه DG را به صورت زیر تعریف نمود: (۱۶) MOF =  $w_1$ PLRI +  $w_2$ VPII که در این رابطه  $w_1 e_2 w_2$  وزنهای متناظر با هر شاخص است. لازم است تا جمع ضرایب وزنی برابر با یک باشد. یعنی: (۱۷)  $I = |w_2| + |w_2|$ این وزنها برای اهمیت دادن به هر یک از این شاخصها در تابع هزینه برآیند بوده و بر اساس نظر طراح می تواند متغیر باشد. همچنین، هنگام حل مساله بهینه سازی باید شرایط تعادل توان نیز برقرار باشد:

$$P_i = P_{DGi} - P_{Di}, Q_i = Q_{DGi} - Q_{Di}$$

 $(\lambda \Lambda)$ 

که در ایـن رابطـه Pi و Qi تـوان فعال و واکنشـی در بـاس i، PDGi و i، عـال و واکنشـی مبادلـه ای توسـط DG در بـاس i QDGi تقاضـای تـوان فعال و واکنشـی در باس i میباشـند. رابطه PDi را میتـوان بهصورت زیـر نیز نوشـت:

$$P_{i} = -\frac{1}{a_{ij}} \sum_{j=1}^{n} \sum_{j \neq 1} [a_{ij}P_{j} - b_{ij}Q_{j}]$$
(19)

معادله بالا را می توان برای مساله تعیین سایز-موقعیت بهینه DG



انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران-شاخه خراسان سال نهـم/شمار ۱۸۵ زمستان ۱۴۰۱ ۲۳۳

بەصورت زيرنوشت:

$$P_{DGi} = P_{Di} + \frac{1}{a_{ij}} \sum_{j=1}^{n} \sum_{j \neq 1} [a_{ij}P_j - b_{ij}Q_j]$$
(7.)

در نتیجه برای توان واکنشی:

$$Q_{DGi} = Q_{Di} + \frac{1}{c_{ij}} \sum_{j=1}^{n} \sum_{j \neq 1} [c_{ij}Q_j - b_{ij}P_j]$$
(71)

در حیـن نصـب واحدهـای تولیـد پراکنـده در باسهـای مختلـف باید عـدم تجـاوز انـدازه ولتـاژ از حـد مجـاز بهطور پیوسـته بررسـی گردد (قیـد ناتسـاوی). بـه عبـارت دیگـر برای هـر باس باید داشـته باشـیم:  $V_{i min} \leq V_i \leq V_{i max}$ (۲۲) کـه در ایـن رابطـه  $V_{i min}$  حـد پاییـن ولتـاژ و  $V_{i max}$  حد بـالای ولتاژ میباشـد. هـر یک از منابـع DG نیـز محدودیتی برای تولیـد توانهای فعال و واکنشـی دارنـد و بنایراین:

$$P_{DG \min} \le P_{DG i} \le P_{DG \max}$$

$$Q_{DG \min} \le Q_{DG i} \le Q_{DG \max}$$
(17)

#### ۳-الگوريتم تكاملي PSO تصحيح شده

- راهحلها به الزام راهحل بهينه نيستند.

ضروری است تا مصالحه ای بین فضای جستوجوی گسترده و سرعت همگرایی به پاسخهای بهینه فراهم شود. روش بهینهسازی حرکت دسته جمعی ذرات دارای ویژگیهایی نظیر سادگی، سرعت بالا و کدینگ راحت است. علاوه بر این جهت اجرا نیاز به فضای ذخیرهسازی ناچیزی دارد. مزیت دیگر این الگوریتم حفظ جمعیت اولیه است که باعث می شود تا نیاز به حافظه چندانی برای ذخیرهسازی کلیه عناصر نباشد. در ضمن ذرات در این الگوریتم با یکدیگر برای رسیدن به جواب بهینه همکاری میکنند. این عمل در مقابل روش هایی چون ژنتیک الگوریتم میباشد که ذرات برای جواب نهایی با یکدیگر در حال رقابت هستند. PSO با یک جمعیت اولیه (ذرات) در فضای D بعدی شروع به فعالیت میکند. ذره i ام با $X_i = (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{iD})$  با $X_i = (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{iD})$ بهترین حالت خود در فضای D بعدی را حفظ میکند. مقدار تابع هزینه برای هر ذره به صورت Pi=(Pil,Pi2,...,PiD) ذخیره می شود. در این الگوریتم بهترین جواب ممکن و موقعیت ذره مربوطه نیز ذخیره می گردد. PSO در هر گام بر اساس سرعت ذرات، موقعیت  $V_i = (V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{iD})$  ذرات را به روز می کند. سرعت ذره ilم به صورت نرا به روز می کند. نمایش داده میشود.

موقعیت ذره iام در تکرار kام با رابطه (۲۴) محاسبه خواهد شد.

$$V_{id}^{k+1} = w \times V_{id}^{k} + c_1 \times rand \times (P_{id} - X_{id}^{k}) + c_2 \times ran \times (P_{gd} - X_{id}^{k})$$
(Yf)

$$X_{id}^{k+1} = X_{id}^{k} + V_{id}^{k}$$

$$(7\Delta)$$

که در این رابطه Pgd و Pid به ترتیب موقعیتهای بهینه مطلبق و نسبی هستند. در الگوریتم PSO، هر نوع تغییر در ذرات بر مبنای سرعت و جهت ذرات موفق انجام می شود که لزوما این ذرات پاسخهای بهینه ممکن برای مساله محسوب نمی شوند. برای اجتناب از به دام افتادن الگوریتم در اکسترممهای محلی مساله، پیشنهاد می شود تا بعد از تغییرات صورت گرفته روی ذرات

نجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران-شاخه خراسان ۳۴ سیال ذهــم/شیمار ۱۸۵/ ز مسیقان ۱۴۰۱

(بهروزرسانی موقعیت و سـرعت ذرات) از عملگرهای الگوریتم ژنتیک اسـتفاده شـود تـا شـرایط بـرای گریـز از اکسـترممهای محلـی مهیـا گـردد. بـرای ایـن منظـور بـه صـورت زیـر عمل میشـود:

 ۱- عملگر ترکیب (Crossover): بر این اساس از جمعیت ذرات، ذرهای به تصادف انتخاب می شود. این ذره با Pgd ترکیب خواهد شد. ترکیب بر اساس رابطه زیر انجام خواهد شد (Xnewk اشاره به ذره جدید دارد که جایگزین ذره انتخابی Xrandk در مرحله k ام می شود و θ عدد تصادفی بین صفر و یک است):

$$\theta \times P_{gd}^{k} + (1 - \theta) X_{rand}^{k} = X_{new}^{k}$$
<sup>(Y9)</sup>

 ۲- جه-ش دینامیکی (Mutation Dynamic): میتواند ضمن گسترش فضای جست و جو باعث جلوگیری از گیر افتادن جمعیت ذرات در اکسترممهای محلی گردد. تعریف جهش دینامیکی بصورت زیر انجام می شود (Xmax و Xmin به بیشترین و کمترین مقدار ممکن اشاره دارند و μ پارامتری ثابت است):

$$=\begin{cases} X_{rand}^{k} + (X^{max} - X_{rand}^{k}) \times rand \times exp(\frac{1}{1-\mu}) & rand > 0.5\\ X_{rand}^{k} - (X_{rand}^{k} - X^{min}) \times rand \times exp(\frac{1}{1-\mu}) & rand < 0.5 \end{cases}$$
(YV)

ایـن رابطـه نوسـان ذرات حول مقادیـر بهینه احتمالـی را باعث خواهد شد.

به این ترتیب، مراحل بهینهسازی یک مساله بهینهسازی بر اساس الگوریتم PSO تصحیح شده بهصورت زیر میباشد: ۱- مقدار دهی اولیه موقعیت و سرعت ذرات ۲- محاسبه تابع هزینه برای هر یک ذرات و تعیین Pgd و Pid ۳- بروزرسانی موقعیت و سرعت ذرات بر اساس رابطه (۲۵) ۴- اعمال عملگرهای جهش و ترکیب (رابطه (۲۵) و (۲۶)) ۵- تکرار مراحل (۱) الی (۴) تا ارضای شرط توقف مورد نظر

### ۴-نتایج شبیهسازی

شبیهسازیها در نـرم افـزار MATLAB و بـا اسـتفاده از جعبـه ابـزار MATPOWER انجام خواهد شـد. سیسـتم نمونه ۳۳ باسـه استاندارد IEEE جهـت اعمـال روش مـورد بحـث ایـن مقالـه جهت حل مساله IEEG لحاظ شـده اسـت. سیسـتمهای تحت مطالعه در شـکل(۱) نمایش داده شـده اسـت.



شکل ۱: سیستم قدرت مورد مطالعه

#### ۴-۱-سناریوهای شبیهسازی

همچنان که اشاره شد، برای ارزیابی مدل ارائه شده در این مقاله برای حل مساله OPSDG سیستم استاندارد ۳۳ باسه و سناریوهای زیر در نظر گرفته می شوند:

۱- سناریوی ג: فقط شاخص تلفات توان فعال در تابع بهینهسازی لحاظ می شود.

- ۲- سناریوی λ2: فقط شاخص ولتاژ در تابع بهینهسازی لحاظ می گردد.
- ۳-سناریوی 3.3 هـ دو شاخص ولتاژ و توان در تابع بهینهسازی در نظر گرفته می شود و مساله OPSDG به صورت چند مساله بهینهسازی چند هدف تعریف می شود.
- ۴- سناریوی λ4: سناریوی λ3 با حضور چهار منبع DG تکرار می شود (جهت اهداف مقایسهای در سیستم ۳۳ باس) .

در سناریوهای بالا منابع DG با قابلیت تبادل مولفههای توان فعال و واکنشی و تحت شرایط مختلف به شرح زیر در مساله OPSDG وارد میشوند:

- **۱- حالت μ1:** منبع DG با ضريب توان واحد
- ۲- حالت μ2: منبع DG با ضریب توان ۸۵. که امکان تبادل توان فعال و واکنشی با شبکه را دارد.
- ۳- حالت 3 بدو منبع DG با ضرایب توان ۸۵ که امکان تبادل توان واکنشی با شبکه را دارد و همچنین ۱ منبع که فقط توان فعال به شبکه تزریق میکند.
  - ۲-۴ شبیه سازی سیستم ۳۳ باسه استاندارد IEEE
    - $(\lambda_1)$  -۲-۲ شبیه سازی سناریوی نخست (-۲-۴

مساله OPSDG بر اساس تابع هزینه مبتنی بر تلفات و با به کارگیری الگوریتم تصحیح شده PSO حل می شود. نتایج شبیه سازی در جدول (۱) آورده شده است. تغییرات تابع هزینه در سکل (۲) نمایش داده شده است. در شکل (۳) تغییرات ولتاژ مقدار تلفات برای حالت 4 حدود ۷۴/۳ درصد کاهش داشته است. همچنین در صورت استفاده از دو منبع DG نمایه ولتاژ (شکل (۲)) به طور قابل توجهی بهبود یافته است. در چنین شرایطی کمترین اندازه ولتاژ در باس شماره ۱۴ بوده و مقدار آن ۰۹۸۱ پریونیت است.

جدول۱: نتایج شبیهسازی سیستم ۳۳ باسه برای سناریوی λ۱

	μ1		μ2		μ3	
موقعيت نصب	٣.		٣٠		۳۰	١٢
ظرفیت (فعال-واکنشی)	١/٩٨	•	١/٨	٠/٩١	۲ ۱/۱۰۳	•/۲٨
تلفات (قبل نصب)	•/1747		•/1747		•/1744	
تلفات (بعد نصب)	•/•۶		۰/۰۳۵		•/•٣٢	
./کاهش تلفات	۵۱/۸		٧١/٩		۷۴/۳	
حداقل ولتاژ (قبل نصب)	•/9۵۳۷	٣٢	•/9۵۳۷	٣٢	•/9۵۳۷	٣٢
حداقل ولتاژ (بعد نصب)	•/٩٧٣	۱۷	•/٩٧٩	14	۰/۹۸۱	14



شکل ۲: تابع هزینه در سناریوی ۸۱ سیستم ۳۳ باس



شکل ۳: نمایه ولتاژ در سناریوی ۱۸ برای سیستم ۳۳ باس ۲–۲–۴–شبیه سازی سناریوی دوم (۸2)

در این سناریو تابع هدف بر مبنای شاخص ولتاژ تعریف خواهد شد. در شکل (۴) تغییرات تابع هزینه نمایش داده شده است. شکل(۵) مقدار ولتاژ برای حالتهای مختلف در نظر گرفته شده برای این سناریو را نمایش میدهد. بهعلت در نظر گرفتن شاخص ولتاژ و همچنین فرض تبادل توان راکتیو DG با شبکه، ملاحظه میشود که کمینه ولتاژ در کلیه باسهای سیستم قدرت بهبود پیدا کرده است (جدول (۲)). محدوده نوسان ولتاژ در باسها در کدود است که مقداری قابل قبول است. در مقایسه با سناریوی که مشخص است که تلفات توان اکتیو افزایش یافته است و منابع DG توان بیشتری به شبکه تزریق میکنند.

	$\mu_1$		μ <sub>2</sub>		μ <sub>3</sub>	
موقعيت نصب	۱۸		۳۱		٣٠	١٢
ظرفیت (فعال-واکنشی)	४/१४१	•	۲/۵۶	۱/۲۳	37/•D 180.•	۱/۴۸
تلفات (قبل نصب)	•/17471		•/17471		•/17471	
تلفات (بعد نصب)	•/١•٣		•/•۶۴		•/• 477	
./کاهش تلفات	۱۷/۴		۴۸/۶		88/8	
حداقل ولتاژ (قبل نصب)	•/9587	٣٢	•/9587	٣٢	•/9587	٣٢
حداقل ولتاژ (بعد نصب)	•/٩٨٧	٢۵	•/٩٩	۱۱	•/٩٨٩٢	١١

۳۲ باسه برای سناریوی ۸2	،سازی سیستم	جدول ۲: نتايج شبيه
-------------------------	-------------	--------------------



شکل ۴: تابع هزینه برای سناریوی ۸2 برای سیستم ۳۳ باسه



شکل۵: نمایه ولتاژ در سناریوی ۸2 برای سیستم ۳۳ باسه

## ۴–۲–۳–شبیهسازی سناریوی سوم (کُمْ)

تابـع هزينه براى حل مسـاله شـامل شـاخص ولتاژ و تلفـات توان فعال اسـت. بـا ايـن حـال وزن لحـاظ شـده بـراى هر يـک از شـاخصها در



انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران–شاخه خراسان سال **نهم/شماره/۱/ زمستان ۱۴۰۱** 

تابع هزینه مشخص نیست. جهت تعیین ضریب وزنی بهینه (۳ در رابط ۵ (۱۸))، ابت دا تابع هزینه بر اساس مقادیر متفاوت ۳ ترسیم می شود و سپس از نمودار حاصل مقدار تقریبی برای ۳ استخراج می شود. شکل (۶) تغییرات تابع هزینه به ازای ۳ را نشان می دهد. برای ادامه شبیه سازی ها ۳ برابر با ۰.۲ در نظر گرفته می شود. نتایج شبیه سازی این سناریو در جدول (۳) نشان داده شده است. همچنین تغییرات ولتاژ در باس های مختلف سیستم قدرت نیز در شکل (۸) مشاهده می شود. نتایج نشان می دهد که در سناریوی می شود. علاوه بر این نمایه ولتاژ نیز به طور قابل توجهی بهبود می یابد.



شکل ۶: تابع هزینه بر اساس شاخص وزن انتخاب شده



شکل ۷: تابع هزینه برای سناریوی 33 برای سیستم ۳۳ باسه

### DG سناریوی چهارم: به کارگیری چهار منبع - ۳-۴

بـرای نمایـش موثر بـودن اسـتراتژی مقاله نسـبت به سـایر روش.های پیشـنهادی در مقـالات بهویـژه مقالـه پایـه ایـن مقالـه از شبیهسـازی

سیستم ۳۳ باسه به همراه چهار منبع DG استفاده می شود. نتایج این شبیه سازی در جدول (۴) نشان داده شده است. ملاحظه می شود که در روش مورد بحث این مقاله حداقل ولتاژ مطلوب تر و تلفات کمتری حاصل شده است

ىناريوى 33	اسىە براى س	ىتم ۳۳ ب	ازی سیس	شبيەس	، ۳: نتايج	جدول

	μ1		μ2		μ3	
موقعيت نصب	۲۹		٣.		۲۹	۱.
ظرفيت (فعال-واكنشي)	۲/۴۵	•	۲/• ٩	١/۵٨	7/27 •/721	١/٢٧
تلفات (قبل نصب)	•/17471		•/17471		•/1741	
تلفات (بعد نصب)	۰/۰۵۹		•/• ٢٩		• ۲۸ ۱/•	
./کاهش تلفات	۵۲/۱		٧۶/٧		νν/۵	
حداقل ولتاژ (قبل نصب)	•/80878	٣٢	•/95878	٣٢	۰/۹۵۳۷۶	٣٢
حداقل ولتاژ (بعد نصب)	٩٨/٠	14	٩, ۴/۰	١٣	٩٨٨/٠	14



شکل۸: نمایه ولتاژ در سناریوی 33 برای سیستم ۳۳ باسه

#### ۵-نتیجهگیری

در این مقاله حل مساله OPSDG از طریق الگوریتم تکاملی بهبود یافته PSO و بر اساس تابع هزینه مبتنی بر شاخصهای تلفات توان اکتیو و نمایه ولتاژ انجام شد. از آنجا که مساله تحت مطالعه غیرخطی و چند متغیره است، برای حل آن الگوریتم تکاملی PSO تصحیح شده به کار گرفته شد. الگوریتم تصحیح شده مجهز به دو عملگر ترکیب و جهش دینامیکی است که ضمن افزایش سرعت و دقت دستیابی به پاسخهای بهینه، از به دام افتادن ذرات در اکسترمههای محلی نیز جلوگیری میکند. نتایج شبه سبوای

جدول۴: نتایج شبیهسازی سیستم ۳۳ باسه برای سناریوی ۸4								
روش	موقعيت و ظرفيت DG.1	كمترين ولتاژ	كمترين تلفات					
GA[40]	٢۴	۶	١٣	٣٠	101005	•/• ٢• ١		
UA[40]	• /AAY 1	•/8479	۰/۸۵۲۱	• /٧٣٨٢	•/٩٧٧۴			
DSO[40]	۲۵	۶	۱۵	٣١		•/•٧١٣		
130[40]	•/۵۴۱۳	۰/۸۳۰ ۱	۰/۸۳۳۰	۰/۶۴۷۸	•/٩۶٩۶			
GA/PSO [40]	۲۴	75	١۴	٣٢		•/•۶٨٢		
	۱/۰۲۳۲	۰/٨۶٢١	•/8871	• /8839	•/٩٧٠٣			
IMOUS [41]	۶	١۴	۲۴	٣١		•/•۶٧λ		
	•/٩٣۶٩	• /8847	١/• ١ ١٧	•/VT1T	•/٩٧٢٢			
MOSH [42]	١۴	٧	۲۴	٣٢		•/•\$8\$		
	• /٧٣۶	1/18.8	١/• ٧ • ٧	٠/٨۵٩۶	•/٩٨٣٣			
مقاله حاضر	۶	١٣	75	١۴	•/٩٩١	۰/۰۶۰۱		

معهد معرف من معرف المراجع معرف ال

نجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران-شاخه خراسان <mark>۳۶</mark> س**یال نه\_م/شیمار ۱۸۰ زمستان ۱۴۰۱** 

فصلنامه

نشان داد که جایابی و تعیین ظرفیت بهینه منابع DG با توجه به ¦ انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران – شاخه خراسان ضريب توان آنها و در نظر گرفتن هر دو شاخص ولتاژ و تلفات در تابع هزینه می تواند تلفات سیستم را بطور قابل توجهی کاهش داده و علاوه بر این نمایه ولتاژ را بهبود دهد.

- [1] Subbaramaiah K and P Sujatha "Optimal DG unit placement in distribution networks by multi-objective whale optimization algorithm & its techno-economic analysis." Electric Power Systems Research 214 (2023): 108869.
- [2] Gümüş, Talha Enes, Selcuk Emiroglu, and Mehmet Ali Yalcin. "Optimal DG allocation and sizing in distribution systems with Thevenin based impedance stability index." International Journal of Electrical Power & Energy Systems 144 (2023): 108555.
- [3] Rekha, Rekha, and Shankaralingappa Channappa Byalihal. "Optimal allocation of solar and wind distributed generation using particle swarm optimization technique." International Journal of Electrical and Computer Engineering 13, no. 1 (2023): 229.
- [4] Swaminathan, Dhivya, and Arul Rajagopalan. "Multi-Objective Golden Flower Optimization Algorithm for Sustainable Reconfiguration of Power Distribution Network with Decentralized Generation." Axioms 12, no. 1 (2023): 70.
- [5] Hamidan, Mohammad-Ali, and Farzaneh Borousan. "Optimal planning of distributed generation and battery energy storage systems simultaneously in distribution networks for loss reduction and reliability improvement." Journal of Energy Storage 46 (2022): 103844.
- [6] García Vera, Yimy E., Rodolfo Dufo-López, and José L. Bernal-Agustín. "Energy management in microgrids with renewable energy sources: A literature review." Applied Sciences 9, no. 18 (2019): 3854.
- [7] Suresh, M. C. V., and J. Belwin Edward. "A hybrid algorithm based optimal placement of DG units for loss reduction in the distribution system." Applied Soft Computing 91 (2020): 106191.
- [8] Dawoud, Samir M., Xiangning Lin, and Merfat I. Okba. "Optimal placement of different types of RDGs based on maximization of microgrid loadability." Journal of Cleaner Production (2017).
- [9] Ghadi, M. Jabbari, Sahand Ghavidel, Amin Rajabi, Ali Azizivahed, Li Li, and Jiangfeng Zhang. "A review on economic and technical operation of active distribution systems." Renewable and Sustainable Energy Reviews 104 (2019): 38-53.
- [10] Tanwar, Surender Singh, and D. K. Khatod. "Techno-economic and environmental approach for optimal placement and sizing of renewable DGs in distribution system." Energy 127 (2017): 52-67
- 1] Wong, JunYing, ChiaKwang Tan, N. A. Rahim, and Rodney HG Tan. "A Communication-less adaptive protection scheme for Self-Healing distribution systems." International Journal of Electrical Power & Energy Systems 148 (2023): 108992.
- 12] Nageswari, D., N. Kalaiarasi, and G. Geethamahalakshmi. "Optimal Placement and Sizing of Distributed Generation Using Metaheuristic Algorithm." Comput. Šyst. Sci. Eng. 41, no. 2 (2022): 493-509.
- [13] Swaminathan, Dhivya, and Arul Rajagopalan. "Multi-Objective Golden Flower Optimization Algorithm for Sustainable Reconfiguration of Power Distribution Network with Decentralized Generation." Axioms 12, no. 1 (2023): 70. [14] Imran, A. Mohamed, M. Kowsalya, and D. P. Kothari. "A novel inte-
- gration technique for optimal network reconfiguration and distributed generation placement in power distribution networks." International Journal of Electrical Power & Energy Systems 63 (2014): 461-472.
- 15] Qi, Qi, and Jianzhong Wu. "Increasing Distributed Generation Penetration Using Network Reconfiguration and Soft Open Points." Energy Procedia 105 (2017): 2169-2174. [16] Muthukumar, K., and S. Jayalalitha. "Integrated approach of net-
- work reconfiguration with distributed generation and shunt capacitors placement for power loss minimization in radial distribution networks.' Applied Soft Computing 52 (2017): 1262-1284.
- [17] Gallego Pareja, Luis A., Jesús M. López-Lezama, and Oscar Gó-mez Carmona. "Optimal Feeder Reconfiguration and Placement of Voltage Regulators in Electrical Distribution Networks Using a Linear Mathematical Model." Sustainability 15, no. 1 (2023): 854.
- [18] Fathi, Rahim, Behrouz Tousi, and Sadjad Galvani. "Allocation of renewable resources with radial distribution network reconfiguration using improved salp swarm algorithm." Applied Soft Computing 132 (2023): 109828.
- [19] Reddy, VC Veera, and T. Gowri Manohar. "Ant Lion optimization algorithm for optimal sizing of renewable energy resources for loss reduction in distribution systems." Journal of Electrical Systems and Information Technology (2017).
- [20] ChithraDevi, S. A., L. Lakshminarasimman, and R. Balamurugan. Stud Krill herd Algorithm for multiple DG placement and sizing in a radial distribution system." Engineering Science and Technology, an International Journal 20.2 (2017): 748-759.

Khorasan Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers

همکاری علمی استادان گرامی و فرهیختگان ارجمند در داوری مقالههای نشریه علمی ترویجی عصر برق در سال ۱۴۰۱ که ثمره آن در غنای علمی و فنی مطالب منتشر شده بسیار موثر بوده است باعث خوشحالی و شایسته تقدیر است. امید است افتخار همراهى صاحبنظران و انديشمندان گرامي باعث تداوم موفقیتها در ادامه راه باشد.

با احترام و امتنان شورای سردبیری

- ۱. دکتر حسین ابوترابی زارچی، دانشگاه فردوسی مشهد ۲. دکتر ایمان احدی اخلاقی، دانشگاه سجاد ۳. دکتر محمدرضا اکبرزاده توتونچی، دانشگاه فردوسی مشهد ۴. دکتر حمیدرضا بخشی، دانشگاه شاهد ۵. دکتر بهشید بهکمال، دانشگاه فردوسی مشهد ۶. دکتر محسن پارسا مقدم، دانشگاه تربیت مدرس تهران
  - ۷. دکتر ناصر پریز، دانشگاه فردوسی مشهد

    - ۸. دکتر مهدی توکلی افشار، دانشگاه آلبرتا
  - ۹. دکتر محمود جورابیان، دانشگاه شهید چمران اهواز
    - ۱۰.دکتر سمیه حسن یور دربان، دانشگاه سجاد
  - ۱۱.دکتر سید ابراهیم حسینی، دانشگاه فردوسی مشهد
  - ۱۲.مهندس سعید خادمی، شرکت سامان انرژی
- ۱۳.دکتر محمدعلی خلیل زاده، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد
- ۱۴.دکتر حبیب رجبی مشهدی، دانشگاه فردوسی مشهد
- ۱۵.دکتر مصطفی رجبی مشهدی، شرکت مدیریت شبکه برق ایران
  - ۱۶.دکتر احسان رحیمی نژاد، دانشگاه صنعتی قوچان
- ۱۷.مهندس زهره رضایی، دانشجوی دکتری دانشگاه فردوسی مث
  - ۱۸.دکتر حمید رضا رضایی دهسرخ، دانشگاه سجاد
  - ۱۹.دکتر سید مجتبی روحانی، دانشگاه فردوسی مشهد
    - ۲۰.دکتر مریم زارع، دانشگاه صنعتی قوچان
      - ۲۱.دکتر جواد ساده، دانشگاه فردوسی مشهد
  - ۲۲.مهندس تکتم شریفیان عطار، شرکت برق منطقه ای خراسان
    - ۲۳.دکتر سید حمید ظهیری ممقانی، دانشگاه بیر جند
    - ۲۴.دکتر غلامرضا عرب مارکده، دانشگاه فردوسی مشهد
    - ۲۵.دکتر مجید علومی بایگی، دانشگاه فردوسی مشهد
    - ۲۶.دکتر مصطفی عیدیانی، موسسه غیرانتفاعی خراسان
      - ۲۷.دکتر محسن قاینی، دانشگاه سجاد
      - ۲۸.دکتر عباس قائمی بافقی، دانشگاه فردوسی مشهد
        - ۲۹.دکتر علی کارساز، موسسه غیرانتفاعی خراسان
    - ۳۰.دکتر سید محمد سعید ماجدی، دانشگاه فردوسی مشهد
      - ۳۱.دکتر خلیل مافی نژاد، دانشگاه سجاد
      - ۳۲.دکتر هاشم مرتضوی، شرکت تولید نیروی برق خراسان
        - ۳۳.دکتر حامد ملا احمدیان، موسسه غیرانتفاعی خراسان
          - ۳۴.دکتر محمد منفرد، دانشگاه فردوسی مشهد
      - ٣۵.دكتر منيره هوشمند، دانشگاه بين المللي امام رضا (ع)
        - ۳۶.دکتر حمید یعقوبی، دانشگاه سمنان



فصلنامه