

## مکان یابی و پیشنهاد قیمت بهینه منابع تولید پراکنده با هدف افزایش سود با استفاده از الگوریتم بهینه سازی شیر مورچه

عباداله عموزاد مهدیرجی<sup>۱\*</sup>، سید محمد شریعتمدار<sup>۲</sup>

۱- گروه مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری، ساری، ایران

۲- گروه مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نراق، نراق، ایران

\*Ebad.amouzad@gmail.com

ارسال: اردیبهشت ماه ۹۸ پذیرش: خرداد ماه ۹۸

### چکیده

جایگذاری منابع تولید پراکنده در سیستم‌های توزیع دارای مزایای متعددی از جمله کاهش تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ، کاهش آلودگی و افزایش قابلیت اطمینان سیستم می‌باشد. با این حال یکی از نکات بسیار مهم در رابطه با جایگذاری این منابع در شبکه‌های توزیع، مباحث اقتصادی و بازگشت سرمایه و افزایش سود ناشی از قرارگیری این منابع می‌باشد. از طرف دیگر با توجه به خصوصی سازی سیستم‌های برق، دیگر شبکه‌های توزیع لزوماً خود مالک منابع تولید پراکنده نخواهند بود. بنابراین علی‌رغم انتخاب مکان منابع تولید پراکنده توسط مالکین منابع تولید پراکنده و قیمت‌دهی توان تولیدی توسط آن‌ها، انتخاب میزان خرید توان از هر یک از واحدهای تولید پراکنده و یا از سیستم سراسری برق توسط بهره‌بردار شبکه توزیع انجام می‌شود که به دنبال کاهش پرداختی‌های خود جهت تأمین بار خواهد بود. بدین ترتیب مالکین منابع تولید پراکنده باید انتخاب مکان و قیمت‌دهی توان تولیدی منابع خود را به صورتی انجام دهند که سود آن‌ها ماکزیمم شده و هم‌زمان میزان هزینه پرداختی توسط اپراتور شبکه توزیع مینیمم شود. بنابراین، در این مقاله مسئله مکان‌یابی و قیمت‌دهی بهینه تولیدات پراکنده به منظور افزایش سود مالک منابع تولید پراکنده با شرط مینیمم شدن هزینه پرداختی شرکت توزیع مورد توجه بوده و روش به کار گرفته شده جهت حل این مسئله الگوریتم بهینه‌سازی شیر مورچه خواهد بود که از ساز و کار شکار شیر مورچه الهام گرفته شده و یک الگوریتم بهینه‌سازی قدرتمند می‌باشد.

کلمات کلیدی: منابع تولید پراکنده، بهینه سازی شیر مورچه، مکان یابی بهینه، قیمت دهی بهینه.

### ۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر تجدید ساختار صنعت برق و همچنین خصوصی سازی این صنعت مطرح و در برخی کشورها اعمال گشته است. طی این مدت به خاطر بالا بردن بازده بهره‌برداری و تشویق سرمایه گذاران، صنعت برق دستخوش تغییرات اساسی از لحاظ مدیریت و مالکیت گردیده است به طوری که برای ایجاد فضای رقابتی مناسب، بخش‌های مختلف آن از جمله تولید انتقال و توزیع از هم مستقل گردیده‌اند. همچنین عواملی همچون آلودگی محیط زیست مشکلات احداث خطوط انتقال جدید و پیشرفت فناوری در زمینه اقتصادی نمودن ساخت واحدهای تولیدی در مقیاس کوچک در مقایسه با واحدهای تولیدی بزرگ از طرف دیگر باعث افزایش استفاده از واحدهای تولیدی کوچک تحت عنوان DG، که به طور عمده به شبکه‌های توزیع

متصل شده و نیازی به خطوط انتقال ندارند، گردیده است [۴-۱]. وجود DG دارای مزایای زیادی برای سیستم توزیع است که از جمله این موارد می‌توان به کاهش تلفات، کاهش پیک بار، کاهش تراکم خطوط، فراهم سازی خدمات جانبی، بهبود کیفیت توان و قابلیت اعتماد، کاهش انرژی تأمین نشده و تعویق هزینه‌های سرمایه‌گذاری در ارتقاء شبکه اشاره نمود [۵]. در [۶] جایابی انواع مختلف DG برای جبران توان اکتیو و راکتیو به منظور کاهش تلفات اکتیو در سیستم توزیع ثانویه با استفاده از الگوریتم PSO ارائه شده است. ضریب قدرت بهینه برای به حداقل رساندن اتلاف توان در نظر گرفته شده است. نتایج به دست آمده توسط PSO با استفاده از رویکرد تحلیلی تأیید شده است. رویکرد تحلیلی هر شین سیستم را برای یافتن حل بهینه ارزیابی می‌کند و از این رو مناسب برای پیدا کردن محل و اندازه DG در یک سیستم کوچک است. در این مقاله علاوه بر کاهش تلفات خط، اندازه DGها کاهش یافته و قیود ولتاژ رعایت می‌شود. در [۷] با استفاده از الگوریتم کرم شب تاب، اندازه و مکان بهینه تولید پراکنده تعیین می‌شود. در این پژوهش تابع هدف، حداکثر سود کردن سود است. در روش ارائه شده، ژنراتورهای DG از دو نوع فتوولتائیک و CHP است. CHP به عنوان گره کنترل ولتاژ مدل شده است و پنل‌های فتوولتائیک به عنوان ژنراتورهای توزیع شده در گره توان ثابت مدل شده‌اند. روش ارائه شده در این مقاله بر روی سیستم ۳۷ باس IEEE شبیه‌سازی شده است. نتایج به دست آمده حاکی از کارایی بالای الگوریتم ارائه شده در حل این مسئله است. در [۸] روشی برای جایابی واحدهای تولید پراکنده دیسپاچ نشدنی در سیستم توزیع برای بهبود اقتصادی قابلیت اطمینان ارائه داد. هزینه نصب و هزینه عملیاتی تولید پراکنده در برابر مقدار قابلیت اطمینان به عنوان "تمایل به پرداخت" به مشتریان برای جلوگیری از وقفه توان بهینه‌سازی می‌شود. بنابراین می‌توان گفت هدف اصلی این مقاله تعیین بهینه ترکیبی بین واحدهای تولید پراکنده برای نصب است. در این تحقیق از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی استفاده شده است و سیستم مورد مطالعه سیستم ۳۳ باس IEEE بوده است. در [۹] یک چارچوب برای یکپارچه سازی سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و بهینه‌سازی ریاضی برای به دست آوردن مکان و اندازه مطلوب واحد PV برای دو دهه آینده پیشنهاد شده است. یک ماژول GIS برای پیدا کردن پشت بام‌های مناسب و ظرفیت پنل‌شان با توجه به مقدار تابش خورشیدی، شیب و ارتفاع توسعه داده شده است. سپس، یک ماژول بهینه‌سازی برای به حداقل رساندن سود خالص دراز مدت تأسیسات PV با توجه به هزینه‌های مختلف سرمایه‌گذاری، جایگزینی اینورتر و عملیات نگهداری مورد استفاده قرار گرفت. در این مقاله حل مسأله مکان‌یابی و قیمت‌دهی بهینه تولیدات پراکنده به منظور افزایش سود مالک تولیدات پراکنده با شرط مینیمم شدن هزینه پرداختی شرکت توزیع انجام خواهد شد و روش به کار گرفته شده جهت حل این مسأله الگوریتم بهینه‌سازی شیرمورچه خواهد بود که از رفتار شیرمورچه الهام گرفته شده و یک الگوریتم بهینه‌سازی قدرتمند می‌باشد.

## ۲- الگوریتم بهینه‌سازی شیرمورچه (ALO)

الگوریتم بهینه‌سازی شیرمورچه (ALO) از مکانیزم شکار شیرمورچه در طبیعت تقلید می‌کند [۱۰-۱۱]. پنج گام اصلی شکار طعمه عبارتند از راه رفتن تصادفی مورچه‌ها، ساختن تله، به دام انداختن مورچه‌ها در تله، گرفتن طعمه و بازسازی تله. این الگوریتم قادر به یافتن نتایج بسیار رقابتی از نظر اجتناب از بهینه محلی و همگرایی است.

## ۳- اپراتورهای الگوریتم ALO

الگوریتم ALO از تعامل بین شیرمورچه و مورچه‌ها در دام تقلید می‌کند. برای مدل سازی چنین فعل و انفعالاتی، مورچه‌ها نیاز به حرکت در فضای جستجو دارند، و شیرمورچه اجازه دارد که آنها را با استفاده از تله شکار کند و متناسب‌تر شود. از آنجا که مورچه‌ها هنگام جستجوی مواد غذایی در طبیعت به طور تصادفی حرکت می‌کنند، یک شیوه راه رفتن تصادفی برای مدل سازی جنبش مورچه‌ها، به شرح زیر انتخاب شده است:

$$X(t) = [0, \text{cumsum}(2r(t_1) - 1), \text{cumsum}(2r(t_2) - 1), \dots, \text{cumsum}(2r(t_n) - 1)] \quad (1)$$

که در آن cumsum مجموع تجمعی را محاسبه می کند،  $n$  حداکثر تعداد تکرار است،  $t$  مرحله راه رفتن تصادفی نشان می دهد (تکرار در این تحقیق)، و  $r(t)$  یک تابع تصادفی به شرح زیر تعریف می شود:

$$r(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } rand > 0.5 \\ 0 & \text{if } rand \leq 0.5 \end{cases} \quad (2)$$

که  $t$  مرحله راه رفتن تصادفی نشان می دهد (تکرار در این روش) و  $rand$  یک عدد تصادفی تولید شده با توزیع یکنواخت در بازه  $[0,1]$  است. موقعیت مورچه ها در طول بهینه سازی در ماتریس زیر ذخیره شده و استفاده شده است:

$$M_{ant} = \begin{pmatrix} A_{1,1} & A_{1,2} & \cdots & \cdots & A_{1,d} \\ A_{2,1} & A_{2,2} & \cdots & \cdots & A_{2,d} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{n,1} & A_{n,2} & \cdots & \cdots & A_{n,d} \end{pmatrix} \quad (3)$$

لازم به ذکر است که مورچه ها مشابه ذرات در PSO یا افراد در GA هستند. موقعیت یک مورچه به پارامترها برای جواب خاص اشاره دارد. ماتریس  $M_{Ant}$  برای ذخیره موقعیت همه مورچه ها (متغیرهای همه جواب ها) در طول بهینه سازی در نظر گرفته شده است. برای ارزیابی هر مورچه، یک تابع برازندگی (هدف) در طول بهینه سازی استفاده شده است و ماتریس زیر تابع برازندگی همه مورچه ها ذخیره می کند.

$$M_{OA} = \begin{pmatrix} f(A_{1,1} & A_{1,2} & \cdots & \cdots & A_{1,d}) \\ f(A_{2,1} & A_{2,2} & \cdots & \cdots & A_{2,d}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(A_{n,1} & A_{n,2} & \cdots & \cdots & A_{n,d}) \end{pmatrix} \quad (4)$$

که  $M_{OA}$  ماتریس ذخیره برازندگی هر مورچه است،  $A_{i,j}$  مقدار متغیر  $j$ ام (بعد) مورچه  $i$ ام را نشان می دهد،  $n$  تعداد مورچه ها است، و  $f$  تابع هدف است. علاوه بر مورچه ها، فرض می شود که شیر مورچه ها هم در جاهایی از فضای جستجو پنهان شده است. به منظور ذخیره موقعیت و مقادیر برازندگی شان، ماتریس زیر استفاده شده است.

$$M_{ant} = \begin{pmatrix} AL_{1,1} & AL_{1,2} & \cdots & \cdots & AL_{1,d} \\ AL_{2,1} & AL_{2,2} & \cdots & \cdots & AL_{2,d} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ AL_{n,1} & AL_{n,2} & \cdots & \cdots & AL_{n,d} \end{pmatrix} \quad (5)$$

که  $M_{Antlion}$  ماتریس ذخیره برازندگی هر شیر مورچه است،  $AL_{i,j}$  مقدار متغیر  $j$ ام (بعد) شیر مورچه  $i$ ام را نشان می دهد،  $n$  تعداد شیر مورچه ها و  $d$  تعداد متغیر (بعد) است.

$$M_{ant} = \begin{pmatrix} f(AL_{1,1} & AL_{1,2} & \cdots & \cdots & AL_{1,d}) \\ f(AL_{2,1} & AL_{2,2} & \cdots & \cdots & AL_{2,d}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(AL_{n,1} & AL_{n,2} & \cdots & \cdots & AL_{n,d}) \end{pmatrix} \quad (6)$$

که  $M_{OAL}$  ماتریس ذخیره برازندگی هر شیر مورچه است،  $AL_{i,j}$  مقدار متغیر  $j$ ام (بعد) مورچه  $i$ ام را نشان می دهد،  $n$  تعداد مورچه ها است و  $f$  تابع هدف است.

#### ۴- فرضیات در مورد الگوریتم ALO

به صورت تئوری، با توجه به دلایل زیر، الگوریتم پیشنهادی ALO قادر به تخمین بهینه کلی مسائل بهینه سازی است [۱۲]:

- اکتشاف فضای جستجو با انتخاب تصادفی شیر مورچه و راه رفتن تصادفی مورچه‌ها حول آن تضمین شده است.
- بهره برداری از فضای جستجو توسط مرزهای کوچک شده تطبیقی تله‌های شیر مورچه تضمین شده است.
- با توجه به استفاده از راه رفتن تصادفی و چرخ رولت احتمال بالا برای حل فرار از بهینه محلی وجود دارد.
- ALO یک الگوریتم مبتنی بر جمعیت است، بنابراین احتمال اجتناب از بهینه محلی ذاتا بالا است.
- شدت جنبش مورچه‌ها به طور انطباقی در طی هر تکرار کاهش می‌یابد، که همگرایی الگوریتم ALO را تضمین می‌کند.
- محاسبه راه رفتن تصادفی برای هر بعد و هر مورچه تنوع را در جمعیت ارتقا می‌دهد.
- تغییر موقعیت شیر مورچه به موقعیت بهترین مورچه‌ها در طول بهینه‌سازی باعث می‌شود مناطق امیدوارکننده در فضای جستجو ذخیره شود.
- بهترین شیر مورچه در هر تکرار ذخیره می‌شود و با بهترین شیر مورچه‌ای که تا کنون به دست آمده (نخبه) مقایسه می‌شود.
- الگوریتم ALO دارای پارامترهای بسیار کمی برای تنظیم است.
- الگوریتم ALO یک الگوریتم با شیب آزاد است و مسئله را عنوان یک جعبه سیاه در نظر می‌گیرد.

### ۵- اعمال الگوریتم بهینه‌سازی شیر مورچه بر مسئله تعیین بهینه مکان و اندازه DG

دو متغیر مستقل برای DG بهینه که در این پروژه در نظر گرفته شده است عبارتند از مکان و اندازه DG. بنابراین با توجه به تعداد DGهایی که قرار است در شبکه قرار داده شود ( $N_g$ )، تعداد متغیرهای مستقل مسئله برابر  $2N_g$  خواهد بود. پس می‌توان گفت، در اعمال الگوریتم بهینه‌سازی شیر مورچه بر مسئله جایابی و اندازه‌یابی DG، هر راه‌حل، یک بردار  $1 \times 2N_g$  است که درایه‌های ۱ تا  $N_g$  شماره‌ی باس‌هایی است که قرار است در آن DGها را قرار داده شود و درایه‌های  $N_g+1$  تا  $2N_g$  ظرفیت DGهایی است که قرار است در باس‌های تعیین شده نصب شود. برای مثال اگر قرار باشد در یک سیستم ۳ واحد DG نصب شود، در این صورت هر راه‌حل به صورت  $X_i = [b_1 \ b_2 \ b_3 \ P_1 \ P_2 \ P_3]$  خواهد بود که به این معنا است که در باس  $b_1$  می‌بایست واحد DG با اندازه  $P_1$  نصب گردد و ... باید توجه داشت که در تولید جمعیت اولیه شماره باس‌ها باید عدد صحیح باشد و همچنین به صورت تصادفی تولید شود. همچنین ظرفیت DG باید عددی تصادفی در محدوده مجاز با توزیع یکنواخت باشد. همچنین باید توجه داشت که در تمام مراحل به روزرسانی الگوریتم شماره باس‌ها عدد صحیح باقی بماند. بنابراین جمعیت اولیه با توجه به نکات اخیر و همچنین با در نظر گرفتن قیود مسئله تولید می‌گردد. قیدهایی که در این مقاله در نظر گرفته شده است در روابط ۷ تا ۱۸ شرح داده شده است [۱۲]. پس از آن، گام‌های الگوریتم مطابق مراحل گفته شده با روابط ارائه شده پیاده‌سازی می‌شوند.

$$\sum_{n \in N} \sum_{j \in J} \mu_{nj} = N_{DG} \quad \mu_{nj} \in \{0,1\} \quad (7)$$

که  $N_{DG}$  واحد با ظرفیت از پیش تعیین شده است.  $\mu_{nj}$  متغیر تصمیم دودویی نشان دهنده تخصیص واحد  $j$  در باس  $n$  عدم وجود واحدهای یکسان در یک باس، که نباید در یک باس دو واحد DG از یک تکنولوژی وجود داشته باشد.

$$\sum_{n \in N} \mu_{nj} \leq 1 \quad (8)$$

توازن توان در پست:

$$P_{SE}(t) - P_{Dn}(t) - P_n(t) = 0 \quad \forall n \in N_{n=SE}, \forall t \in T \quad (9)$$

$$Q_{SE}(t) - Q_{Dn}(t) - Q_n(t) = 0 \quad \forall n \in N_{n=SE}, \forall t \in T \quad (10)$$

که  $P_{Dn}$  تقاضای توان اکتیو در باس  $n$  در دوره  $t$ ،  $P_n$  توان اکتیو تولید شده در باس  $n$  در دوره  $t$ ،  $N$  تعداد باس، که  $Q_{Dn}$  تقاضای توان راکتیو در باس  $n$  در دوره  $t$ ،  $Q_n$  توان راکتیو تولید شده در باس  $n$  در دوره  $t$  است.

موازنه توان در گره‌های مختلف از پست

$$\mu_{nj} P_{DGj}(t) - P_{Dn}(t) - P_n(t) = 0 \quad \forall n \in N_{n \neq SE}, \forall t \in T \quad (11)$$

$$\mu_{nj} Q_{DGj}(t) - Q_{Dn}(t) - Q_n(t) = 0 \quad \forall n \in N_{n \neq SE}, \forall t \in T \quad (12)$$

محدودیت توان اکتیو و راکتیو پست

$$P_{SE}^{\min}(t) \leq P_{SE}(t) \leq P_{SE}^{\max}(t) \quad \forall t \in T \quad (13)$$

$$Q_{SE}^{\min}(t) \leq Q_{SE}(t) \leq Q_{SE}^{\max}(t) \quad \forall t \in T \quad (14)$$

محدودیت توان اکتیو و راکتیو DG

$$P_{DGj}^{\min}(t) \leq P_{DGj}(t) \leq P_{DGj}^{\max}(t) \quad \forall j \in J, \forall t \in T \quad (15)$$

$$Q_{DGj}^{\min}(t) \leq Q_{DGj}(t) \leq Q_{DGj}^{\max}(t) \quad \forall j \in J, \forall t \in T \quad (16)$$

قید ولتاژ باس‌ها

$$V_n^{\min}(t) \leq V_n(t) \leq V_n^{\max}(t) \quad \forall n \in N, \forall t \in T \quad (17)$$

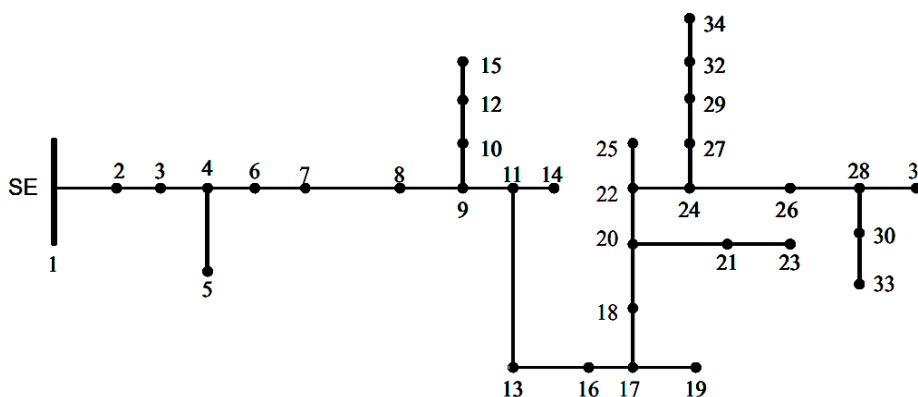
قید ظرفیت خطوط

$$S_{lmn}^{\min}(t) \leq S_{lmn}(t) \leq S_{lmn}^{\max}(t) \quad \forall lmn \in L, \forall t \in T \quad (18)$$

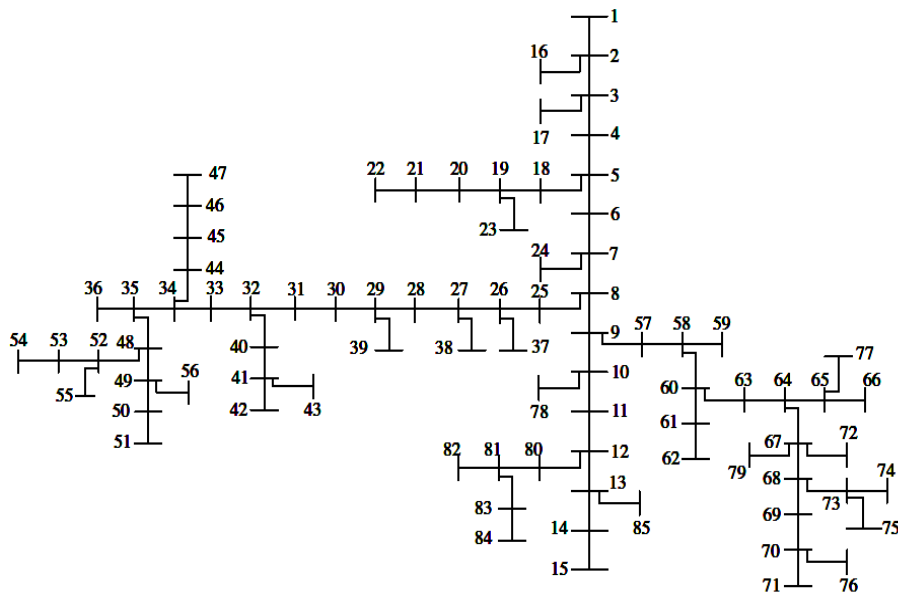
که  $L$  تعداد کل خطوط است.

### ۶- اطلاعات سیستم مورد شبیه سازی

برای نشان دادن اثربخشی روش پیشنهادی چند آزمون با دو سیستم توزیع ۳۴ و ۸۵ باس انجام شده است. شکل ۱ سیستم توزیع از ۳۴ به تصویر می‌کشد. این سیستم مشابه توپولوژی سیستم توزیع شعاعی ۳۴ باس IEEE است. اطلاعات خطوط و اطلاعات باس‌ها و بارها نیز در جداولی داده شده است [۱۳]. شکل ۲ پیکربندی سیستم ۸۵ باس را نشان می‌دهد. اطلاعات خطوط و اطلاعات باس‌ها و بارها نیز در جداولی داده شده است [۱۴].



شکل ۱- شمای سیستم شعاعی ۳۴ باس



شکل ۲- شمای سیستم شعاعی ۸۵ باس

### ۷- آنالیز نتایج حاصل از شبیه سازی

در جداول ۱ تا ۳ نتایج شبیه سازی برای سیستم شعاعی ۳۴ باس ارائه و با نتایج مقاله [۱۲] مقایسه شده است. همچنین مقایسه بین مجموع پرداخت DisCo برای سناریوهای مختلف به دست آمده توسط ALO و مقاله [۱۲] در جدول ۱ ارائه شده است. در جدول ۲ نیز میزان تلفات انرژی کل بر حسب درصد بیان شده است. در جدول ۴ نتایج شبیه سازی برای سیستم شعاعی ۸۵ باس ارائه و با نتایج مقاله [۱۲] مقایسه شده است. همچنین مقایسه بین مجموع پرداخت DisCo و میزان تلفات انرژی کل بر حسب درصد برای سناریوهای مختلف به دست آمده توسط ALO و مقاله [۱۲] در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۱- نتایج شبیه سازی برای سیستم شعاعی ۳۴ باس ۲ واحد DG

سود (€)	قیمت (€/MWh)	باسها	الگوریتم	
۱۴۵۲۵۴/۷	۷۱ و ۷۵/۳	۲۲ و ۲۹	ALO	سناریو A
۱۲۷۱۳۵/۹۹	۷۳/۲ و ۶۸/۷	۳۲ و ۲۹	[۱۲] GA	
۲۵۰۵۶۷	۷۲/۸ و ۸۱/۶	۲۹ و ۲۶	ALO	سناریو B
۲۱۳۶۳۴/۵۰	۷۸/۲ و ۷۳/۶	۲۹ و ۲۷	[۱۲] GA	
۴۳۵۶۶۳/۳	۸۷/۸ و ۸۶/۵	۲۹ و ۲۸	ALO	سناریو C
۳۶۷۴۸۲/۳۱	۸۲/۹ و ۸۱/۱	۲۹ و ۲۴	[۱۲] GA	

در جدول ۱ مشاهده می شود که برای هر سه سناریو نتایج به دست آمده توسط الگوریتم ALO بهتر بوده است؛ به طوری که برای سناریو A ۱۴٪/۲۵، برای سناریو B ۱۷٪/۲۸ و برای سناریو C ۱۸٪/۵۵ افزایش سود نسبت به مقاله [۱۲] کسب شده است.

جدول ۲- نتایج شبیه سازی برای سیستم شعاعی ۳۴ باس ۳ واحد DG

سود (€)	قیمت (€/MWh)	باسها	الگوریتم	
۱۹۵۲۳۰	۷۳/۲ و ۷۱ و ۷۲/۳	۲۹ و ۲۴ و ۱۳	ALO	سناریو A
۱۷۷۵۵۴/۲۵	۷۱/۷ و ۶۸/۷ و ۷۱/۸	۲۳ و ۲۷ و ۲۹	[۱۲] GA	
۳۴۱۱۳۲/۳	۷۲/۷ و ۸۱/۷ و ۸۳/۱	۲۲ و ۲۶ و ۲۹	ALO	سناریو B
۳۰۱۰۱۵/۵۰	۷۹/۷ و ۷۶/۴ و ۷۶/۶	۲۴ و ۲۳ و ۳۲	[۱۲] GA	
۶۰۰۶۴۵/۷	۸۴/۳ و ۸۲/۳ و ۷۸/۵	۲۶ و ۲۳ و ۲۹	ALO	سناریو C
۵۱۹۹۳۳/۸۰	۸۰/۶ و ۷۸/۹ و ۷۹/۱	۲۰ و ۲۸ و ۲۷	[۱۲] GA	

در جدول ۲ مشاهده می شود که برای هر سه سناریو نتایج به دست آمده توسط الگوریتم ALO بهتر بوده است؛ به طوری که برای سناریو A ۹۵٪/۹، برای سناریو B ۳۲٪/۱۳ و برای سناریو C ۵۲٪/۱۵ افزایش سود نسبت به مقاله [۱۲] کسب شده است.

جدول ۳- نتایج شبیه سازی برای سیستم شعاعی ۳۴ باس ۴ واحد DG

سود (€)	قیمت (€/MWh)	باسها	الگوریتم	
۲۳۹۸۱۸	۷۱ و ۷۰/۵ و ۷۰/۴ و ۷۳/۳	۱۸ و ۴ و ۱۵ و ۲۲	ALO	سناریو A
۲۲۲۰۶۶	۷۱/۱ و ۷۰/۳ و ۷۰/۸ و ۶۸/۶	۲۸ و ۳۰ و ۱۸ و ۲۹	[۱۲] GA	
۴۳۱۹۰۴/۳	۸۰/۵ و ۷۹/۲ و ۷۵ و ۷۱/۴	۱۶ و ۲۴ و ۲۹ و ۲۳	ALO	سناریو B
۳۷۹۹۶۹/۵۲	۷۶/۶ و ۶۸/۸ و ۷۰/۸ و ۷۲/۴	۲۴ و ۱۲ و ۱۳ و ۲۹	[۱۲] GA	
۷۴۴۲۰۶	۸۰/۷ و ۸۱/۹ و ۷۷/۸ و ۷۸/۴	۲۴ و ۱۱ و ۲۶ و ۲۷	ALO	سناریو C
۶۵۵۸۴۴/۰۱	۷۹/۱ و ۷۸/۶ و ۷۸/۴ و ۷۸/۱	۲۱ و ۲۴ و ۳۰ و ۲۷	[۱۲] GA	

در جدول ۳ ملاحظه می شود که برای هر سه سناریو، نتایج به دست آمده توسط الگوریتم ALO بهتر بوده است؛ به طوری که برای سناریو A ۹۹٪/۷، برای سناریو B ۶۶٪/۱۳ و برای سناریو C ۴۷٪/۱۳ افزایش سود نسبت به مقاله [۱۲] کسب شده است.

جدول ۴- نتایج شبیه سازی برای سیستم شعاعی ۸۵ باس ۳ واحد DG

سود (€)	قیمت (€/MWh)	باسها	ضریب توان DG	الگوریتم
۲۱۵۴۱۷/۶	۶۶/۹ و ۶۹/۲ و ۶۹/۸	۱۹ و ۸۵ و ۳۴	۰/۹۰ پیش فاز	ALO
۲۵۱۱۵۰/۲	۶۷/۶ و ۶۷/۹ و ۶۷/۹	۲۶ و ۳۲ و ۶۳	۱	
۲۶۴۴۸۱/۵	۶۶/۸ و ۶۵ و ۶۶/۸	۶۰ و ۲ و ۳۲	۰/۹۰ پس فاز	
۲۰۴۹۰۰/۹۵	۶۵/۶ و ۶۵/۷ و ۶۵/۶	۱۸ و ۴ و ۲۲	--	[۱۲] GA

در جدول ۴ ملاحظه می شود که وقتی ضریب توان DG ها ۰/۹۰ پس فاز می باشد (یعنی DG ها علاوه بر تولید توان اکتیو، توان راکتیو نیز تولید می کنند) سود بیشتر از زمانی است که با ضریب توان ۱ کار می کنند و وقتی که پیش فاز کار می کنند (یعنی DG ها برای تولید توان اکتیو، توان راکتیو مصرف می کنند) کم ترین سود را حاصل می کند. سود حاصل شده توسط ALO بهتر از GA بوده است.

در جدول ۵ ملاحظه می شود که برای هر سه ضریب توان نتایج به دست آمده توسط الگوریتم GA بهتر بوده است؛ به طوری که برای ضریب توان واحد ۰/۲/۶۳٪، برای ضریب توان پیش فاز ۳/۵۳٪ و برای ضریب توان پس فاز ۱/۶۳٪ کاهش پرداخت نسبت به الگوریتم ALO کسب شده است، همچنین تلفات برای الگوریتم GA نیز بهتر از الگوریتم ALO بود. هر چند که الگوریتم ALO بهتر از GA نبود، اما مجموع پرداخت و تلفات نسبت به وقتی که DG نصب نشده است بهبود یافت، به طوری که برای ضریب توان واحد ۰/۱/۷۰٪، برای ضریب توان پیش فاز ۱/۶٪ و برای ضریب توان پس فاز ۱/۰۵٪ کاهش پرداخت وجود داشت.

جدول ۵- تلفات انرژی کل DisCo برای سناریوهای مختلف

تلفات انرژی	مجموع پرداخت	الگوریتم	
۷/۷۸	۴۷۶۸۸۶۶/۹۶	-	DG بدون
۴/۰۴۶	۴۶۸۷۴۱۶/۱۵۳۲	ALO	۱
۲/۳۳	۴۵۶۷۲۸۳/۳۱	[۱۲] GA	
۳/۸۱۷۶	۴۶۹۲۶۲۸/۵۴۳۷	ALO	0/9 leading
۱/۶۶	۴۵۴۰۳۷۱/۰۰	[۱۲] GA	
۵/۴۷۱۳	۴۷۱۸۷۷۰/۶۵۲۶	ALO	0/9 lagging
۴/۰۲	۴۶۴۲۸۶۱/۱۶	[۱۲] GA	

## ۸- نتیجه گیری

وجود DG دارای مزایای زیادی برای سیستم توزیع است که از جمله این موارد می توان به کاهش تلفات، کاهش پیک بار، کاهش تراکم خطوط، فراهم سازی خدمات جانبی، بهبود کیفیت توان و قابلیت اعتماد، کاهش انرژی تأمین نشده و تعویق هزینه های سرمایه گذاری در ارتقاء شبکه اشاره نمود. افزایش تعداد DG در شبکه بیانگر افزایش هزینه های ناشی از نصب و نگهداری DG ها است. با تعیین تعداد بهینه DG ها می توان تعادلی بین هزینه و بهبود پارامترهای فنی از منظر فرآیند جایابی منابع تولید پراکنده ایجاد نمود؛ لذا از منظر شرکت توزیع مطلوب آن است که تولیدات پراکنده در محل هایی نصب شوند که بیشترین منافع را برای شبکه به همراه داشته و بیشترین کارایی را در حوزه فعالیت ها و مسئولیت های بهره بردار شبکه در اختیار او قرار دهد. در این مقاله حل مسأله مکان یابی و قیمت دهی بهینه تولیدات پراکنده به منظور افزایش سود با شرط مینیمم شدن هزینه پرداختی شرکت توزیع انجام شد و روش به کار گرفته شده جهت حل این مسأله الگوریتم بهینه سازی شیرمورچه خواهد بود که از رفتار شیرمورچه الهام گرفته شده و یک الگوریتم بهینه سازی قدرتمند می باشد. روش پیشنهادی برای تعیین بهینه مکان و اندازه DG بر روی دو سیستم توزیع شعاعی ۳۴ و ۸۵ باس اعمال شد. برای سیستم شعاعی ۳۴ باس سه سناریوی مختلف با بارهای کم، متوسط و زیاد در نظر گرفته شده است و برای هر سناریو تعداد واحدهای DG در سه حالت ۲ واحدی، ۳ واحدی و ۴ واحدی در نظر گرفته شد. با مقایسه نتایج به دست آمده معلوم شد که سود حاصل از نصب DG و قیمت دهی توان آن توسط الگوریتم ALO بیشتر از GA بود. همچنین افزایش تعداد DG ها همواره موجب افزایش سود شده است. در مورد پرداخت کل DisCO ها و تلفات انرژی نمی توان گفت که کدام الگوریتم عملکرد بهتری داشت. در شبیه سازی سیستم شعاعی ۸۵ باس، یک سناریو در نظر گرفته شد، ولی سه ضریب توان برای DG ها در سه شبیه سازی مختلف در نظر گرفته شد. در این شبیه سازی مشخص شد که با وجود اینکه با DG گذاری تلفات کاهش یافته و پرداخت کل DisCO ها کاهش می یابد اما در زمانی که ضریب توان پیش فاز است و DG علاوه بر توان اکتیو، توان راکتیو نیز تولید می کند، سود بیشتری حاصل می شود و زمانی که ضریب توان پس فاز است کم ترین سود حاصل می شود. در مقایسه دو الگوریتم GA و ALO نیز معلوم شد که ALO سود بیشتری حاصل می کند ولی GA تلفات کمتر و پرداخت کل DisCO کمتری را به دست می آورد. با این حال با توجه به حل این مسئله از طرف مالک DG، پاسخ ALO از پاسخ حاصل شده توسط GA مطلوب تر است.

## ۹- مراجع

1. Zareipour, H., et al, "Distributed Generation: Current Status and Challenges", in proc. 36th Annual North American Power Symposium (NAPS), University of Idaho, August 2004.
2. Griffin, T, et al, "Placement of Dispersed Generations Systems for Reduced Losses", Proceedings of the 33rd Hawaii Conference on System Sciences, 2000.
3. Hadjsaid, H., et al, "Distributed generation Increases the Complexity of Controlling, Protecting, and Maintaining the Distribution Systems", IEEE Computer Application in Power, PP. 23-28, April 1999.
4. Philipson, L., and Willis, H.L., "Understanding Electric Utilities and Deregulation", Marcel Dekker, 1988.
5. Sudipta Ghosh, S.P. Ghoshal and Saradindu Ghosh, "Optimal sizing and placement of distributed generation in a network system", Electrical Power and Energy Systems 32 (2010) 849-856
6. Sneha, J. Adeline, et al. "Optimal Placement of Different Types of Dg Sources in Distribution Networks Using Pso Algorithm and Differential Evolution." (2014).
7. Mohamed, Engy Adel, and Yasser Gamal-Eldin Hegazy. "Optimal Sizing and Placement of Distributed Generators for Profit Maximization Using Firefly Algorithm.", Int'l Conference on Artificial Intelligence, Energy and Manufacturing Engineering (ICAEME'2014), June 9-10, 2014 Kuala Lumpur (Malaysia).
8. Awad, Ahmed SA, Tarek HM El-Fouly, and Magdy MA Salama. "Optimal distributed generation allocation and load shedding for improving distribution system reliability." Electric Power Components and Systems 42.6 (2014): 576-584.



9. Kucuksari, Sadik, et al. "An Integrated GIS, optimization and simulation framework for optimal PV size and location in campus area environments." *Applied Energy* 113 (2014): 1601-1613.
10. Mirjalili S. The ant lion optimizer. *Advances in Engineering Software*. 2015 May 31;83:80-98.
11. Mirjalili S, Jangir P, Saremi S. Multi-objective ant lion optimizer: a multi-objective optimization algorithm for solving engineering problems. *Applied Intelligence*. 2017 Jan 1;46(1):79-95.
12. López-Lezama JM, Contreras J, Padilha-Feltrin A. Location and contract pricing of distributed generation using a genetic algorithm. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2012 Mar 31;36(1):117-26.
13. Kersting WH. Radial distribution test feeders. *IEEE Trans Power Syst* 1991;6(3):975–85.
14. Das D, Kothari DP, Kalam A. Simple and efficient method for load flow solution of radial distribution networks. *Elect Power Energy Syst* 1995;17(5):335–46.