

## بهینه سازی عملکرد واحدهای تولید پراکنده در یک بازار رقابتی با ترکیب

### تئوری بازی و الگوریتم تکاملی

شبنم روزبهی<sup>۱</sup>، دانشجوی کارشناسی ارشد، محمدحسن مرادی<sup>۲</sup>، دانشیار  
۱- دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان، همدان، ایران

Shabnam.ruzbehi@yahoo.com –

۲- دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان، همدان، ایران

Mh\_moradi@yahoo.co.uk –

**چکیده:** استفاده از منابع تولید پراکنده (DG) بعنوان یک عامل مهم در بهبود جنبه های فنی و اقتصادی سیستم های توزیع مطرح می شود. با این حال تحقیقات کمی در رابطه با بهینه سازی همزمان جایابی و عملکرد DGها وجود دارد. در این مقاله یک روش جدید در دو فاز برای پیدا کردن همزمان مکان و بهره برداری بهینه DGها پیشنهاد می گردد. در فاز ۱، مساله جایابی DG بصورت یک مسئله چند هدفه فرموله شده است که این اهداف شامل کاهش تلفات توان اکتیو، بهبود پروفیل ولتاژ و بهبود ولتاژ می باشد سپس این مساله چند هدفه با استفاده از الگوریتم بهینه سازی چندهدفه ازدحام ذرات (MPSO)، توسعه داده شده، حل می شود و محل بهینه DG تعیین می گردد. در فاز ۲ درآمد صاحبان DG به همراه کل پرداخت شرکت توزیع به کمک یک روش بهینه سازی دوسطحی محاسبه می شود. قیمت بهینه فروش واحد ها به کمک نظریه بازی محاسبه می گردد. روش پیشنهادی برای سیستم ۳۳ باسه در محیط نرم افزار MATLAB اجرا شده و نتایج آن با الگوریتم PSO و GA مقایسه می شود و نتایج کارایی روش پیشنهادی را نشان می دهد.

**واژه های کلیدی:** جایابی تولید پراکنده (DG)، نظریه بازی، بهینه سازی چند هدفه، بهینه سازی چندمنظوره ی ازدحام ذرات (MPSO)، قیمت قرارداد، شاخص پایداری ولتاژ (VSI)

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۴/۰۵/۲۴

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۵/۰۲/۱۳

نام نویسنده ی مسئول : شبنم روزبهی

نشانی نویسنده ی مسئول : ایران - همدان - چهارراه پژوهش - دانشگاه بوعلی سینا - دانشکده ی فنی و مهندسی - دپارتمان برق

فهرست علائم و اختصارات

$\delta_{min}$	مینیمم زاویه فاز باس	$i_j$	شاخص های باس
$\delta_{max}$	ماکزیمم زاویه فاز باس	$P_{loss}$	تلفات توان اکتیو حقیقی
$\theta_i$	باس (درجه) $\theta_i$ ام ماتریس ادمیتانس زاویه فاز عنصر $ij$	$P_{gi}$	توان اکتیو تولیدی تحویل داده شده به باس $i$
$P_{fDG}$	ضریب توان عملیاتی DG	$Q_{gi}$	توان راکتیو تولیدی تحویل داده شده به باس $i$
$P_{min}^{DG}$	کمینه مقدار مجاز ضریب توان عملیاتی DG	$P_{di}$	توان اکتیو تقاضایی باس $i$
$P_{max}^{DG}$	بیشینه مقدار مجاز ضریب توان عملیاتی DG	$Q_{di}$	توان راکتیو تقاضایی باس $i$
$ S_{ni} $	توان ظاهری باس $ni$	$Y_{ij}$	باس $ij$ ام ماتریس ادمیتانس مقدار عنصر $ij$
$d_{ij}$	فاصله واکنش بین دو عنصر	$V_{mi}$	مقدار ولتاژ مختلط باس $(pu) mi$
$\hat{C}_{share}$	بیشینه فاصله واکنش مجاز	$V_i$	مقدار ولتاژ مختلط باس $i (KV)$
$I_i$	جریان شاخه $i$	$V_{min}$	کمینه ولتاژ باس $(KV)$
$R_i$	مقاومت شاخه $i (\Omega)$	$V_{max}$	بیشینه ولتاژ باس $(KV)$
$X_i$	راکتانس شاخه $i (\Omega)$	$NB$	تعداد باس ها
$N_{DG}$	شماره باس DG	$\delta_i$	زاویه فاز ولتاژ باس $i$
$NB$	شماره باس	$VSI(ni)$	شاخص پایداری ولتاژ ولتاژ $(ni = 2,3, \dots, n)$
$C_T$	مجموع قیمت نگهداری و عملکرد $(\$/MWh) DGs$	$N_y$	شماره سال
$C_{ope\&min}$	هزینه عملکرد و نگهداری هر $DG (\$/MWh)$	$C_{sub\_DG}$	هزینه توان خریداری شده از پست $(\$/MWh)$
$\Delta_t$	طول فاصله زمانی $T$ در ساعت	$C_{sale\_DG}$	قیمت قرارداد فروش توان $DG (\$/MWh)$
$IntR, IntR$	نرخ تورم $(\%)$ و نرخ بهره $(\%)$	$C_{Inc}$	درآمد صاحبان $DG (\$)$

## ۱- مقدمه

فاز ۲ درآمد صاحبان DG به همراه کل پرداخت شرکت توزیع به کمک یک روش بهینه سازی دوسطحی محاسبه می شود. قیمت بهینه فروش واحد ها به کمک نظریه بازی محاسبه می گردد. محتوای این مقاله را می توان به شرح زیر خلاصه کرد: (۱) محل و عملکرد فنی و اقتصادی DG در سیستم های توزیع بطور همزمان بهینه شده است. (۲) یک تابع چند هدفه شامل: تلفات توان، پایداری ولتاژ و تغییرات ولتاژ برای شناسایی محل DGها پیشنهاد شده است. (۳) یک روش بهینه سازی چند هدفه، MPSO، برای حل مسئله نصب و راه اندازی DGها پیشنهاد گردیده است. (۴) سود واحدهای تولید پراکنده و هزینه پرداخت شرکت های توزیع به کمک نظریه بازی بهینه شده است.

ساختار مقاله بشرح زیر است، ابتدا فرمول بندی مساله مطرح می شود سپس راه حل مسئله پیشنهاد می گردد. در ادامه نتایج شبیه سازی ارائه و در انتها نتیجه گیری انجام می شود.

## ۲- فرموله کردن مساله

جنبه فنی و اقتصادی مساله در دو فاز مطرح شده است. مرحله اول نگرانی درباره ی محل بهینه DG ها در یک سیستم توزیع شعاعی (RDS)<sup>۵</sup> می باشد. یک تابع چند هدفه جهت پیدا کردن محل بهینه اتخاذ شده است. MPSO برای حل تابع هدف بکار گرفته می شود. مرحله دوم روی پیدا کردن سود بهینه بین طرفین درگیر در خرید و فروش توان به نام های شرکت توزیع و مالکان منابع DG ها تمرکز دارد. نتایج مرحله اول و همچنین قیمت بازار عمده فروشی بعنوان متغیرهای ورودی در مرحله هستند. نظریه بازی برای بدست آوردن قیمت بهینه قراردادهای استفاده شده است که توسط فروشندگان (صاحبان منابع تولید پراکنده) پیشنهاد شده اند. شرکت های توزیع نیز با انتخاب قیمت های فروش عمده بهینه پیشنهادی موجب به حداقل رساندن پرداخت نهایی خود می شوند. این دو فاز به شرح زیر دنبال می شود:

### الف. فاز ۱: جایابی بهینه DGها

جایابی بهینه منابع تولید پراکنده، شامل ۳ تابع هدف بشرح زیر می باشد.

- تلفات توان اکتیو: اولین تابع هدف تلفات توان اکتیو است که می تواند با جایابی بهینه DGها کاهش یابد. فرم ریاضی، پریونیت، تلفات توان اکتیو بصورت زیر مطرح می شود:

$$f_1 = \sum_{i=1}^{NBr} R_i I_i^2 \quad (1)$$

عوامل مختلف در طراحی سیستم های قدرت شامل DGها<sup>۱</sup> موثرند، از جمله نیازهای زیرساختی، سایز و تعداد منابع DG، جایابی DG و نوع اتصال به شبکه قدرت [۱] می توان نام برد. در سال های گذشته استفاده از تولید پراکنده، با توجه به اثرهای اقتصادی و فنی آن رو به افزایش بوده است و برای به حداکثر رساندن مزایای DG در سیستم توزیع، پیدا کردن همزمان اندازه و مکان DG حائز اهمیت است به طوری که از نظر مالکان DG اهداف اقتصادی که همان افزایش سود ناشی از فروش برق به شرکت های توزیع می باشد مدنظر است و از نظر شرکت ها علاوه بر اهداف اقتصادی که کاهش هزینه ناشی از خرید برق از شبکه و DG می باشد، اهداف تکنیکی نیز که کاهش تلفات توان، قابلیت اطمینان شبکه، بهبود پروفیل ولتاژ و... می باشد مورد توجه است. در مقالات مختلف این اهداف در نظر گرفته شده است به عنوان مثال در [۲] با توجه به مقاومت بالای خط در سیستم توزیع و افزایش تلفات توان در شبکه، DG برای حداقل کردن تلفات توان در سیستم توزیع پیشنهاد داده شده است. روش های عددی [۶-۳]، روش های فرا ابتکاری [۹-۷]، و ترکیبی از آن ها [۱۲-۱۰] در مراجع مختلفی برای حل مساله بهینه سازی سایز و جایابی DGها مورد استفاده قرار گرفته است. در [۹-۸] اصلاح پیک ولتاژ، اصلاح پروفیل ولتاژ و قابلیت اطمینان مزایای نصب DG در شبکه توزیع می باشد. مطالعه [۱۴-۱۳] استراتژی بهینه سازی برای میکروگریدهای (MGs)<sup>۲</sup> که شامل DGها و یک استراتژی مربوط به حداکثر رساندن مقدار ذخیره سازی شبکه می باشد با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA)<sup>۳</sup> و پخش توان بهینه<sup>۴</sup> (OPF) ارائه گردیده است. در [۱۶-۱۴] هدف استفاده از DG بهبود پایداری ولتاژ می باشد. در بیشتر مقالات سود ناشی از فروش برق برای مالکان DG نیز در نظر گرفته می شود اما در مقالات محدودی اهداف تکنیکی و اهداف اقتصادی ناشی از دیدگاه مالکان DG و شرکت های توزیع می باشد، با هم در نظر گرفته شده است. به عنوان مثال می توان به مقالات [۱۹-۱۷] اشاره کرد.

در این مقاله این کمبودها در دو مرحله بنام فاز ۱ و فاز ۲ مرتفع می گردد. در فاز ۱، مساله جایابی DG بصورت یک مسئله چند هدفه فرموله شده است که این اهداف شامل کاهش تلفات توان اکتیو، بهبود پروفیل ولتاژ و بهبود ولتاژ می باشد سپس این مساله چند هدفه با استفاده از الگوریتم بهینه سازی چندهدفه ازدحام ذرات (MPSO)، توسعه داده شده، حل می شود و محل بهینه DG تعیین می گردد. در

Distributed Generation<sup>۱</sup>  
Microgrid<sup>۲</sup>  
Genetics algorithm<sup>۳</sup>  
Optimal power flow<sup>۴</sup>

Radial Distribution System<sup>۵</sup>

$$C_{invs} = \sum_{m=1}^{NDG} P_{DGm} \times c_{inv} \quad (5)$$

هزينه بهره برداري و نگهداري: هزينه بهره برداري و نگهداري DG شامل هزينه سوخت، هزينه تعمير و نگهداري، هزينه بازرسي، هزينه نيروي كار و ... اند. هزينه اين قسمت از تابع زير حاصل مي شود:

$$C_{ope\&main} = \sum_{n=1}^{Nyr} \sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^{NDG} \Delta_t \times P_{DGm,t} \times C_T \times \left( \frac{1+InfR}{1+IntR} \right)^n \quad (6)$$

درآمد صاحبان DG: درآمد دريافتي صاحبان DG از فروش انرژي به شركت توزيع براساس قيمت قراردادي مي باشد. ارزش فعلي درآمد مالك طبق زير حساب مي شود:

$$C_{Inc} = \sum_{n=1}^{Nyr} \sum_{t=1}^T \sum_{m=1}^{NDG} \Delta_t \times P_{DGm,t} \times C_{Sale\_DGm} \times \left( \frac{1+InfR}{1+IntR} \right)^n \quad (7)$$

بايد توجه شود كه براي رقابت بين مالكان، نياز است تا مالك هر DG قيمت هاي خود را بر اساس قيمت بازار و قيمت هاي واحد هاي ديگر پيشنهاد دهد. قيمت پيشنهادهي مالك DG تا حدي بر تصميم شركت توزيع در توافق ميزان توان خريداري شده از آن ها تاثير دارد. اما عوامل ديگري همچون مكان نصب DG، ظرفيت آن، محدوديت عملياتي خطوط نيز بر روي قيمت توافقي تاثير خواهد گذاشت.

۱- قيمت برق خريداري شده از پست: مقدار توان خريداري شده از پست توسط شركت توزيع از زير بدست مي آيد:

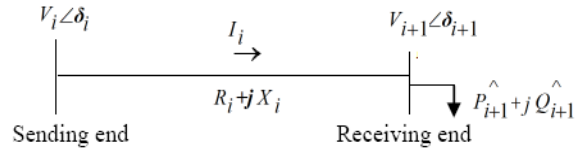
$$P_{sub,t} = \sum_{i=1}^{NB} P_{i,t} + \sum_{i=1}^{NB} R_i I_{i,t}^2 - \sum_{m=1}^{NDG} P_{DGm,t} \quad (8)$$

همچنين ارزش كنوني توان خريداري شده از پست طبق زير محاسبه مي گردد:

$$C_{sub} = \sum_{n=1}^{Nyr} \sum_{t=1}^T \Delta_t \times P_{sub,t} \times C_{sub\_DG,t} \times \left( \frac{1+InfR}{1+IntR} \right)^n \quad (9)$$

۲- قيمت قرارداد: يك برنامه نويسي دو سطحي با استفاده از فرموله كردن مساله قيمت قراردادي برق انجام مي شود. چنين تكنيكي شبیه تئوري بازی Stackelberg با دو نماينده به صورت رهبر<sup>۱</sup> و دنباله رو<sup>۲</sup> مي باشد. در اين مقاله ابتدا leader ها (صاحبان DG) قيمت پيشنهادهي خود را اعلام مي کنند. سپس کمپاني توزيع (follower) پيشنهادهي مطلوب خود را براي به حداقل رساندن پرداخت با درنظر گرفتن محدوديت هاي شبکه با استفاده از پخش بار بهينه اقتصادي انتخاب مي کنند. فرمول محاسبه قيمت قراردادي طبق زير محاسبه مي گردد:

۲) شاخص پايداري ولتاژ: شاخص پايداري ولتاژ (VSI) در تابع هدف دوم براي اندازه گيري پايداري يك خط RDS مي باشد كه در شكل ۱ نشان داده شده است. براي بهره برداري بهينه ي RDS، شاخص پايداري براي هر باس بايد مثبت باشد. بنا بر اين نصب و راه اندازي DG ها، روي باس با كمترين VSI كه ولتاژ آن باس احتمال افت زياد دارد مي تواند انتخاب شود.



شكل ۱. مدل تک خطي RDS

VSI مي تواند از تابع زير بدست آيد:

$$VSI(i+1) = V_i^4 - 4 [P_{i+1} X_i - Q_{i+1} R_i]^2 - \quad (2)$$

$$4 [P_{i+1} R_i + Q_{i+1} X_i]^2 V_i^2.$$

بنابراين تابع هدف دوم در ارتباط با VSI بصورت زير بيان مي شود:

$$f_2 = \frac{1}{VSI(i+1)} \quad i=1,2,\dots,NB \quad (3)$$

۳) تغييرات كل ولتاژ: مجموع تغييرات كل ولتاژ (TVV) بعنوان تابع هدف سوم استفاده مي شود. كه توسط رابطه رياضي زير بيان مي شود:

$$f_3 = \sum_{i=1}^{NB} |1-V_i| \quad (4)$$

با مينيمم سازي رابطه (۴)، پروفيل ولتاژ بدست آمده مي تواند منجر به کاهش تغيير ولتاژ در RDS گردد. مساله چند هدفه ارائه شده داراي يك سري قيود مي باشد. چنين محدوديت هايي همراه با حل مساله بهينه سازي توسط معادلات بهينه سازي شده ي (۱)، (۳) و (۴) در ادامه مورد بحث قرار مي گيرد. نتايج مساله بهينه سازي فاز ۱ محل بهينه ي DGها را تعيين مي کند كه بعنوان ورودی فاز ۲ مطرح مي شود.

### ب. فاز ۲: بهينه سازي قرارداد بين فروشنده و خريدار

صاحبان DG به دنبال حداكثر كردن بازده بدون درنظر گرفتن شرايط بهره برداري سيستم توزيع مي باشند. بازده مالك DG وابسته به درآمد و هزينه آن مي باشد كه در زير در نظر گرفته شده است. هزينه سرمايه گذاري: هزينه سرمايه گذاري شامل هزينه هاي نصب DGها (هزينه اوليه)، هزينه هاي ساخت و ساز، و هزينه هاي تجهيزات مي باشد. كه از رابطه زير بدست مي آيد:

leader<sup>۱</sup>  
follower<sup>۲</sup>

Voltage Stability Index<sup>۸</sup>  
Total voltage variation<sup>۹</sup>

اگر توان تولیدی توسط منابع تولید پراکنده از محدودیت تعیین شده تجاوز کند مقدار  $P_{Dgi}$  و  $Q_{Dgi}$  متناسب با مقدار ماکزیمم آن تنظیم می شود و از حالت افتی به یک باس PQ تبدیل می شود.

### ۳- راه حل پیشنهادی

مطابق فرمول مسئله، راه حل پیشنهادی شامل دو فاز طبق شکل دو می باشد. مرحله اول با جایابی بهینه DG و مرحله دوم با پیدا کردن قیمت قرارداد بهینه انجام می شود.

در این بخش ساختار الگوریتم بهینه سازی MPSO بیان می شود الگوریتم PSO ابتدا توسط ابراهام و کندی<sup>۱</sup> در سال ۱۹۹۵ مطرح گشته است [۲۴-۲۵]. در آن مجموعه ای از ذرات بکار گرفته شده است. هر ذره در PSO نشانگر یک راه حل بالقوه از مساله می باشد. هر ذره بهترین جواب از مسئله را در فضای جستجوی D بعدی با سرعت تصادفی جستجو می کند. هر ذره، سرعت و موقعیت خود را با توجه به معادله ی زیر به روزرسانی می کند:

$$v_1 = wv[t] + c_1r_1(c_2r_2(pbest_1[t] - x_1[t]) + gbest_1[t] - x_1[t]) \quad (17-18)$$

$$x_1[t+1] = x_1[t] + v_1[t+1]$$

موقعیت و سرعت ذرات جمعیت با توجه به ارتباط همزمان بین همه ذرات و تجربه ی خود ذره و موقعیت بهترین ذره در جمعیت تغییر می کند. موقعیت بهترین ذره بدست آمده را تحت عنوان  $(pbest_1[t])$  و موقعیت بهترین ذره بدست آمده در کل جمعیت را بعنوان  $(gbest_1[t])$  ذخیره می گردد.

#### الف. فاز ۱: بهینه سازی چند هدفه ازدحام ذرات (MPSO)

شکل چند هدفه الگوریتم PSO به صورت MPSO در این مقاله نام گذاری شده است. این الگوریتم برای جستجوی چند تابع هدف به صورت همزمان به کار گرفته می شود [۲۶].

$$\min F(X) = [f_1(X), \dots, f_N(X)] \quad (19)$$

$$X = [x_1, \dots, x_m]$$

نتایج بهینه سازی چند هدفه دربرگیرنده ی چند راه حل بهینه همزمان بجای یک راه حل بهینه می باشد که توسط آن چند تابع هدف را همزمان بهینه می کند. و در نتیجه در روش MPSO بطورکلی یک global بهینه وجود ندارد اما یک راه حل بنام پارتو بهینه وجود دارد. جواب غیرمغلوب شده در راه حل پارتو می توانند قرار داده شوند. (جواب غیر مغلوب توسط دیگر راه حل ها مغلوب نشده است). بردار تصمیم  $x_1$  توسط بردار تصمیم  $x_2$  مغلوب می شود اگر:

$$\forall_i \in \{1, 2, \dots, N_{obj}\}: f_i(x_1) \leq f_i(x_2) \quad (20)$$

$$\exists_i \in \{1, 2, \dots, N_{obj}\}: f_j(x_1) \leq f_j(x_2)$$

$$f_4 = \max(C_{Inc} - C_{Invs} - C_{ope\&main}) \quad (10)$$

$$f_5 = \min \left( \sum_{i=1}^N C_i + b \right) \quad (11)$$

در فرمول بالا،  $f_4$  سود صاحبان DG را نشان می دهد. به این ترتیب در این مقاله تئوری بازی استفاده شده قیمت پیشنهادی بهینه شده را محاسبه می کند. با داشتن قیمت پیشنهادی از صاحبان DG ها، قیمت عمده فروشی بازار و با در نظر گرفتن محدودیت های سیستم، شرکت توزیع تصمیم می گیرد چه مقدار انرژی از هر یک از فروشندگان ها به منظور مینیمم سازی پرداخت توان خریداری کند که با محاسبه می شود.

### ج. تلفیق مساله بهینه سازی جایابی و سایزینگ DG و بهینه سازی قرارداد بین فروشندگان و خریدار

در این قسمت مسائل برنامه ریزی اهداف اقتصادی و تکنیکی مالکان DG و دیسکو به طور همزمان می باشد. به دلیل وجود تعداد متغیرها که اندازه، مکان و قیمت قرارداد می باشد استفاده از روش های تحلیلی که سرعت همگرایی کمی دارند موثر نیست از این رو از روش های اکتشافی برای حل این مسئله استفاده می شود. به دلیل وجود بیش از یک هدف نمی توان از الگوریتم های اکتشافی تک هدفه استفاده کرد در نتیجه در این مقاله برای حل مسئله از الگوریتم اکتشافی MPSO استفاده شده است.

#### محدودیت ها

حل مسئله بهینه سازی، شامل سه محدودیت به شرح زیر می باشد:  
(۱) تعادل میان بار و تولید: توان اکتیو و راکتیو تولیدی باید با بار همه باسها برابر باشد؛ که در ادامه داده شده است:

$$P_{gni} = P_{dni} - V_{ni} \sum_{j=1}^N V_{nj} Y_{nj} \cos(\delta_{ni} - \delta_{nj} - \theta_{nj})$$

$$Q_{gni} = Q_{dni} - V_{ni} \sum_{j=1}^N V_{nj} Y_{nj} \sin(\delta_{ni} - \delta_{nj} - \theta_{nj})$$

(۲) ولتاژ: دامنه ولتاژ باس باید در بازه عملکردی مطلوب قرار بگیرد:  
 $V_{\min} \leq V_{ni} \leq V_{\max}$  (۱۳)

(۳) جریان: جریان در خطوط شبکه باید در حد مجاز داده شده باشد:  
 $I_i \leq I_i^{\max} \quad i = 1, \dots, N_{Br}$  (۱۴)

(۴) محدودیت تولید توان  
برای یک ریز شبکه واحدهای منابع تولید پراکنده، محدودیت تولید توان به صورت زیر تعریف می شود:

$$0 \leq S_{DGi}^{\max} - P_{DGi} \pm \frac{1}{k_{pi}} * (\omega_i^* - \omega) - P_{DGi} \geq 0 \quad (15)$$

$$0 \leq Q_{DGi}^{\max} - Q_{DGi} \pm \frac{1}{k_{qi}} * (|V_i^*| - |V_i|) - Q_{DGi} \geq 0 \quad (16)$$

Kennedy & Eberhart<sup>۱۲</sup>

گام ۱۰: اگر الگوریتم همگرا شود عملیات متوقف می شود در غیر اینصورت رفتن به مرحله ۵.  
گام ۱۱: اعضای ذخیره شده از مخزن را برای جواب های پارتو فراهم کن.

#### ب. فاز ۲: بهینه سازی قیمت قرارداد

برای پیدا کردن قیمت قراردادی بهینه یک روش بهینه سازی در دو سطح مانند بازی Stackelberg [۱۹]، در نظر می گیریم، بنابراین دو گروه نماینده (leaders و follower) فرض شده است. در این روش ابتدا همانطور که قبلا ذکر شد صاحبان DGها (leaders) براساس ساختار نظریه بازی قیمت قراردادی را پیشنهاد می دهند. سپس شرکت توزیع (follower) بهترین قیمت قرارداد را براساس مینیم سازی پرداخت با توجه به محدودیت های شبکه انتخاب می کنند. در عمل، درآمد هر DG بستگی به قیمت قرار دادی ارائه شده توسط صاحب آن و قیمت قراردادی دیگر DG ها و نیز قیمت بازار عمده فروشی دارد. نظریه بازی قابل استفاده در چنین موقعیتی که بازیکنان صاحبان DG ها و استراتژی های قیمت قراردادی می باشد بصورت استاتیکی است. بازیکنان تمایل دارند با در نظر گرفتن محدودیت های فنی تحمیلی سود خود را ماکزیمم نمایند در حالی که این بازیکنان باید با قیمت بازار عمده فروشی نیز رقابت نمایند. نتیجه اینکه صاحبان DG بوسیله پیدا کردن نقطه ای تحت عنوان نقطه تعادل (NE) توسط تئوری بازی قیمت های قراردادی خود را بدست می آورند [۳۴]. گام های فاز ۲ طبق زیر معرفی شده است :

گام ۱ : نتیجه مرحله ۱ با ساختار تئوری بازی ادغام می شود، که به وسیله ی بازیکنان (صاحبان DG) برای پیشنهاد استراتژیهایشان (قیمت قرارداد) استفاده می شود. گام ۲: سود  $k_{th}$  صاحبان DG با در نظر گرفتن استراتژی بازیکنان دیگر ،  $\pi_k(S_1, \dots, S_{np})$  ، بوسیله (۱۰) محاسبه می شود که در آن  $N_{DG} = 1$  است. گام ۳: نقطه NE، که بهترین پاسخ صاحبان DG نسبت به استراتژی های از دیگر صاحبان

DGها می باشد.  $S_{-k}$  بوسیله زیر محاسبه می شود:

$$\pi_k(S_k^*, S_{-k}^*) \geq \pi_k(S_k, S_{-k}^*) \quad \forall k \in np. \quad (23)$$

که  $S^* = (S_1^*, \dots, S_{np}^*)$  به نقطه NE اشاره دارد.

گام ۴: برای هر ترکیب از استراتژی ها کمترین پرداخت شرکت توزیع به وسیله حل (۱۱) می شود بررسی کردن محدودیت ها بر اساس پخش بار بهینه اقتصادی محاسبه می باشد. باید توجه شود که بازی ارائه شده دارای نقطه نش یکتا می باشد زیرا که تابع سود ما نسبت به  $S_k$  اکیدا مقعر می باشد [۱۹].

فاز ۱ شامل معادلات (۱)، (۲) و (۴) و محدودیت هایش هست. الگوریتم PSO معمولا برای بهینه سازی تک هدفه استفاده می شود که الگوریتم MPSO این کمبود را برطرف ساخته است. روش MPSO برای پیدا کردن حل بهینه محل DG به شرح زیر است :

گام ۱: ایجاد جمعیت اولیه: ذرات اولیه که نشان دهنده مکان نصب واحد های تولید پرآکنده می باشند با فرض ماکزیمم ظرفیت نصب به صورت تصادفی در بازه جستجو تعیین می شود

در نتیجه جمعیت اولیه برای هر بردار جواب بصورت زیر در می آید :

$$Xi = [ مکان\_DG_1 \quad مکان\_DG_2 \quad \dots \quad مکان\_DG_n ] \quad (21)$$

گام ۲: اجرای پخش بار برای هر جمعیت جهت محاسبه تلفات، پایداری ولتاژ و انحراف ولتاژ صورت میگیرد.

گام ۳: تعیین جواب های غیر مغلوب شده که با معادله ۲۰ تعیین می شوند.

گام ۴: جواب های غیر مغلوب شده را جدا کن و در یک مخزن ذخیره کن ( این مخزن نشان دهنده جواب های غیر مغلوب می باشد).

گام ۵: یک ذره را از مخزن به عنوان ذره راهنما انتخاب که نشاندهنده بهترین جمعیت و تمامی ذرات را با استفاده از (۲۰) به سوی ناحیه جواب حرکت می دهیم .

روش انتخاب ذره راهنما: هر ذره بوسیله معادله (۲۰) به روز می گردد. در حالت چند هدفه یک مجموعه جواب غیر مغلوب شده به جای جواب gbest وجود دارد ، به همین دلیل در میان آنها باید یک ذره راهنما به عنوان gbest برای بروز رسانی موقعیتشان انتخاب گردد. این مکانیزم نیاز به اطمینان از تنوع میان راه حل ها دارد. در مرحله اول جستجوی فضا باید به قسمت های مساوی تقسیم شوند. هر بخش از فضای جستجو که اعضای کمتر در مخزن دارند. احتمال بیشتر برای انتخاب ذره خواهد بود در مرحله دوم، یکی از اعضای انتخاب شده بخش بطور تصادفی بعنوان ذره راهنما برای به روز کردن ذرات در آن مجموعه استفاده می شود.

گام ۶: موقعیت بهترین ذره را بروز کن (pbest) : هر ذره نیاز است تا موقعیت خود را بروز کند. مقایسه بهترین موقعیت و بهترین موقعیت قبلی طبق معادله زیر بدست می آید: (۲۲)

$$pbest[t+1] = \begin{cases} pbest[t] & \text{if } pbest[t] \text{ dominate } xi[t+1] \\ xi[t+1] & \text{if } xi[t+1] \text{ dominate } pbest[t] \\ \text{select randomly among otherwise} & \text{if } xi[t+1] \& pbest[t] \end{cases}$$

گام ۷: افزودن راه حل غیر مغلوب شده به جمعیت حال ذخیره شده

گام ۸: حذف راه حل ذخیره شده مغلوب شده

گام ۹: اگر تعداد اعضای ذخیره از حد مجاز بیشتر شود اعضای اضافی حذف می گردد

#### ۴- شبیه سازی و نتایج

عملکرد روش پیشنهادی در نرم افزار متلب مطالعه شده است. در ادامه، نتایج شبکه توزیع (۳۳ باس) بوسیله پارامترهای گزارش شده از [۳۵] بحث شده است. جدول ۱ پارامترهای MPSO و مقدار تابع هدف را قبل از نصب و راه اندازی DGها را نشان می دهند. اطلاعات تجاری DGها براساس [۱۸] می باشد. فرض می شود که بار سیستم توزیع ۳ درصد افزایش سالانه داشته و زمان طراحی برای ۵ سال در نظر گرفته شده است. همچنین فرض می شود بیشترین ظرفیت هر DG معادل ۱ مگاوات می باشد.

جدول ۱. فاکتورهای MPSO

شرایط خاتمه	$C_2$	$C_1$	اندازه سائز
۴۰	۲	۲	۱۰

جدول ۲: تابع هدف قبل از نصب DG

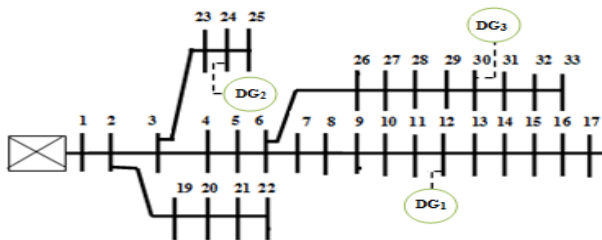
شبکه	$f_1$ (p.u.)	$f_2$ (p.u.)	$f_3$ (p.u.)
۳۳ باس	۰.۲۱۱	۰.۳۱۴	۱.۴۹

#### سیستم ۳۳ باس

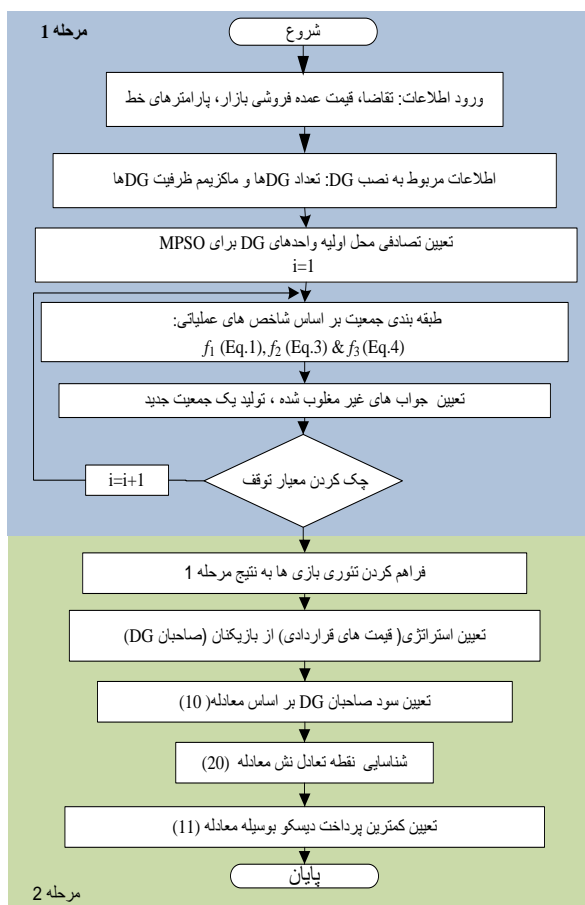
شبکه ۳۳ باس در شکل ۳ نشان داده شده است که دارای ۳۲ خط با ماکزیمم بار  $MW ۳.۷۲$ ،  $MVar ۲.۳$ ،  $Kv ۱۲.۶۶$ ، و با توان تلفاتی  $MW ۰.۲۱۱$  می باشد. جدول ۳ نشان دهنده ی جواب های غیرمغلوب شده بدست آمده با MPSO در فاز ۱ و همچنین نتایج حاصل از GA و PSO [۳۱] برای بهینه سازی جایابی DGها می باشد. شاخص TVV برای تعیین انحراف از مقدار نامی ولتاژ برای ولتاژ هر باس می باشد. زمانی که شاخص TVV صفر باشد نشان دهنده عملکرد مناسب شبکه می باشد. ازین رو این شاخص نیاز به مینیمم شدن برای بهبود سطح ولتاژ دارد. نتیجه روش پیشنهادی، PSO و GA در فاز ۱ در جدول ۳ نشان داده شده است. این جدول نشان دهنده جایابی واحد های DG، تلفات توان اکتیو، شاخص های پایداری و تنظیم ولتاژ بعد از نصب DGها می باشد. بهبود چشم گیری بعد نصب DGها در مقایسه با قبل از نصب آنها در شبکه دیده می شود (جدول ۲). بر اساس جدول ۳ بعد از استفاده از DGها، مقدار تلفات، شاخص های پایداری و تنظیم ولتاژ کمتر از حالت بدون وجود منابع DGها است. نتایج همچنین نشان می دهد که نصب DGها دور از پست در کاهش تلفات و بهبود ولتاژ بیشتر از DGهایی نصب شده در نزدیک موثر می باشند.

شکل ۴ محاسبات جواب های پرتو بوسیله ی MPSO را که شامل جواب غیر مغلوب شده است را نشان می دهد. این شکل همچنین نتایج را با PSO و GA براساس یک روش ارزیابی تک هدفه از طریق ضرایب وزنی مقایسه می کند. جواب های حاصل در مرجع [۱۰] و [۱۷] تنها یک جواب بهینه را ارائه می دهند. اولین جواب مسئله

MPSO، توسط MPSO(1) جهت بهبود جنبه های اقتصادی، نمایش داده شده است. این مسئله شامل سه DG است که در باس های ۱۲ و ۲۴ و ۳۰ همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده، نصب شده است.



شکل ۳. سیستم ۳۳ باسه [۱۰]



شکل ۲. روش پیشنهادی برای بهینه سازی مکان DGها و قیمت قرارداد

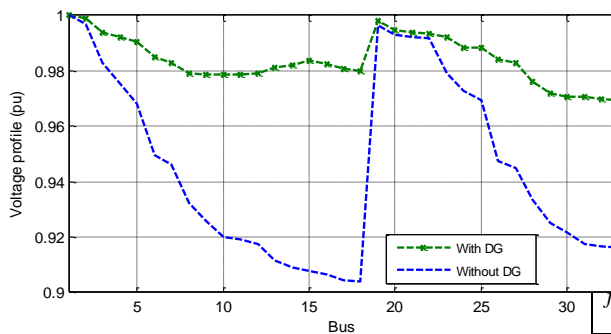
جدول ۴ انحراف استاندارد (SD)<sup>۱۱</sup>، بدترین مقدار (WV)<sup>۱۲</sup> و بهترین مقدار (BM)<sup>۱۳</sup> تابع هدف را با ۴۵ بار اجرا برای PSO و GA و

<sup>۱۲</sup> standard deviation  
<sup>۱۱</sup> best mean  
<sup>۱۳</sup> worst value

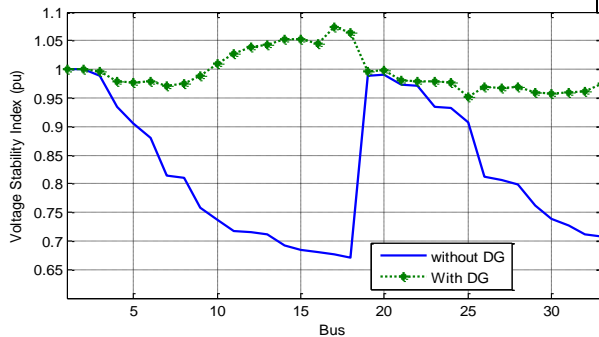
DG <sub>2</sub>	۱۲	۵۰	۴۸.۴	۴۶.۵	۴۵.۷	۴۴.۷
DG <sub>3</sub>	۳۰	۵۱.۱	۴۸.۸	۴۷.۵	۴۶.۷	۴۵.۳

جدول ۶: درآمد DGها و پرداخت کل شرکت توزیع (\$)

ظرفیت (MW)	DGs	باس	۰.۲	۰.۴	۰.۶	۰.۸	۱
			DG <sub>1</sub>	۲۴	۳۶۰۲۶۵.۱	۴۱۲۰۴۳.۴	۴۵۷۴۲۸.۳
DG <sub>2</sub>	۱۲	۳۳۹۰۱۱.۴	۳۷۰۳۵۱.۷	۴۱۳۱۶۹.۱	۴۵۰۳۲۶.۶	۴۹۴۰۲۵.۹	
DG <sub>3</sub>	۳۰	۳۵۹۰۳۴.۸	۳۸۸۵۱۸.۱	۴۱۹۵۲۸.۶	۴۵۰۴۷۱.۸	۵۰۱۶۸۳.۳	
DISCO	---	۴۰۲۸۸۰.۳	۴۰۱۷۲۰۰	۴۰۱۱۰۱۰	۴۰۰۶۲۱۱	۳۹۴۹۰۱۰	



شکل ۵. سطح ولتاژ با DG و بدون DG



شکل ۶. VSI برای DG و بدون DG

جدول ۷: درآمد هر DG و پرداخت کل (\$) از شبکه شرکت توزیع

واحدها	سود (\$)
DG <sub>1</sub>	۵۵۸۲۴۸.۵۱
DG <sub>2</sub>	۶۰۴۷۹۱.۳۷
DG <sub>3</sub>	۵۸۲۵۲۱.۶۴
شرکت توزیع	۴۵۴۴۹۳۱.۰۱

در مرحله ۲ بعد از پیدا کردن محل DG ها، قیمت قرارداد (استراتژی ها) بوسیله صاحبان DG ها (بازیکنان) پیشنهاد شده و تعیین می شود. فرض می شود که توان های تولید کننده DG تا یک

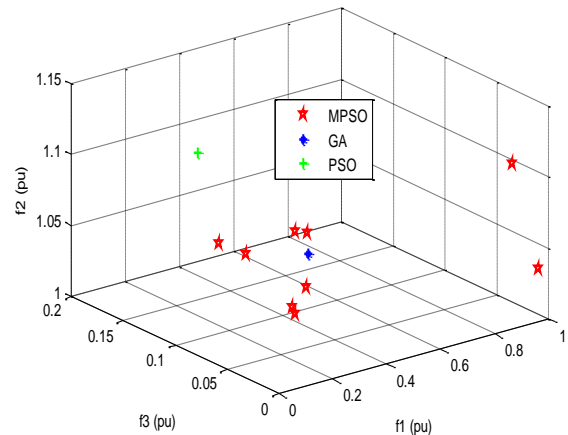
MPSO (۱) نمایش می دهد شاخص های ذکر شده براساس مرجع [۷] می باشند. BM توانایی همگرایی روش و SD پایداری روش را نشان می دهد. جدول ۵ نشان می دهد MPSO پایین ترین مقدار SD و BM را در مقایسه با PSO و GA دارد. این مقایسه توانایی MPSO را جهت پیدا کردن محل مناسب نصب DG ها بیان می کند.

جدول ۳: نتایج MPSO, GA and PSO

روش	شماره باس (شبهه) [باس ۱-باس ۲-باس ۳]	f <sub>1</sub> (p.u.)	f <sub>2</sub> (p.u.)	f <sub>3</sub> (p.u.)
MPSO (1)	[۳۰-۲۴-۱۲]	۰.۰۸۹۱	۰.۰۵۵۴	۱.۰۷۴۷
MPSO (2)	[۳۲-۱۶-۱۱]	۰.۰۹۶۵	۰.۰۱۲۴	۱.۰۵۱۹
MPSO (3)	[۳۰-۲۹-۱۶]	۰.۱۰۰۱	۰.۰۱۰۳	۱.۰۴۸۱
GA [10]	[۳۱-۱۳-۲۷]	۰.۱۳۴۲	۰.۰۰۶۷	۱.۰۸۹۳
PSO [17]	[۳۰-۱۶-۱۲]	۰.۰۸۳۸	۰.۱۰۰۴	۱.۱۳۱۳

جدول ۴: نتایج SD, BM و WV برای MPSO (1), PSO and GA

	GA			PSO			MPSO (1)		
	SD (%)	BM	WV	SD (%)	BM	WV	SD (%)	BM	WV
f <sub>1</sub>	۰.۲۰۲	۰.۱۵۴	۱.۵۱	۰.۱۰۴	۰.۰۹۳	۱.۴۸	۰.۱۰۲۳	۰.۰۹۱	۱.۱۲
f <sub>2</sub>	۱.۳۹۳	۱.۱۰۵	۲.۱۷	۱.۲۵۰۱	۱.۱۸۵	۱.۸۵	۱.۰۸۲	۱.۰۶۷	۱.۴۶
f <sub>3</sub>	۰.۰۷۲	۰.۰۵۱	۱.۲۵	۰.۱۶۷	۱.۱۲	۱.۰۱	۰.۰۶۷	۰.۰۴۹	۰.۹۳

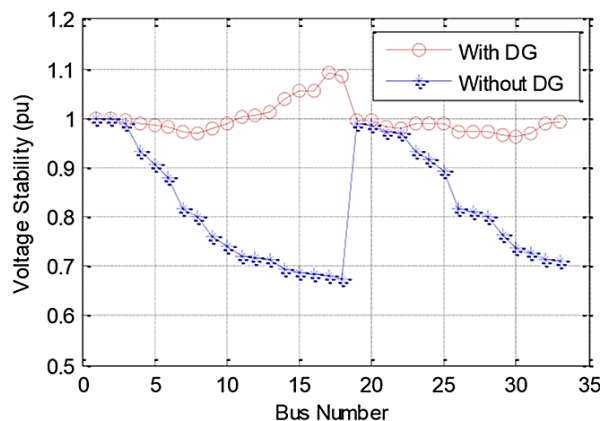


شکل ۴. نتایج پارتو بدست آمده از MPSO [17] و PSO و GA [10]

جدول ۵: قیمت معادل قرارداد از واحد DGها (\$/MWh)

ظرفیت (MW)	DGs	باس	۰.۲	۰.۴	۰.۶	۰.۸	۱
			DG <sub>1</sub>	۲۴	۵۱.۷	۴۹.۶	۴۸.۲

نشریه علمی - پژوهشی کیفیت و بهره وری صنعت برق ایران سال پنجم شماره ۹ بهار و تابستان ۱۳۹۵



شکل ۸. پایداری ولتاژ در حالت تاثیر همزمان هر دوفاز در مساله

در مرحله سوم با توجه به اینکه دنبال حداقل کردن توابع می باشیم اما تابع  $f_4$  نیاز به ماکزیمم شدن دارد آن را در ضریب منفی یک در مساله بهینه سازی لحاظ می کنیم. جهت پیدا کردن جواب نهایی از پرتو، جوابی که دارای انحراف کمتری در ولتاژ می باشد، در نظر گرفته می شود. اطلاعات بدست آمده مانند مکان و اندازه DG، شاخص های پروفیل ولتاژ، تلفات و پایداری ولتاژ در جدول ۸ آمده است. ملاحظه می شود شاخص های پروفیل ولتاژ کاهش یافته و پایداری ولتاژ افزایش یافته است. شکل های ۷ و ۸ جهت مشاهده تغییرات پروفیل ولتاژ و پایداری ولتاژ آورده شده است و بهبود این شاخص ها را نشان می دهد.

روش پیشنهاد داده شده نه تنها برای مالکان DG برای بدست آوردن سود مطلوب در کمک می کند، بلکه در کمک کردن شرکت توزیع برای بدست آوردن سود بهینه با افزایش ظرفیت از واحد های DG می تواند موثر می باشد که در جدول ۶ نمایش داده شده است. چنین مزیت های اقتصادی در کنار بهبود جنبه های تکنیکی شبکه می باشد، همچنان که شاخص های تنظیم ولتاژ و پایداری شبکه در کنار تلفات بهبود داشته است که نتایج در فاز ۱ از الگوریتم پیشنهادی بحث شده است.

به این نکته باید توجه داشت که کمترین قیمت قرارداد و سود متعلق به  $DG_2$  است همانطور که در جداول ۵ و ۶ نشان داده شده است. به دلیل اینکه مکان  $DG_2$  نزدیک پست می باشد، بنابراین  $DG_2$  اثری قابل مقایسه ای در مقابل واحد های دیگر بر روی کاهش تلفات شبکه ندارد. همچنین هیچ امتیازی برای شرکت توزیع جهت خرید انرژی از  $DG_2$  گران تر از قیمت عمده فروشی پیشنهاد داده شده در پست وجود ندارد. چنین جمله ای برای واحدهای تولید پراکنده در شرایطی که در محل های دور از بارهای سنگین نصب شده اند برقرار می باشد.

## ۵- نتیجه گیری

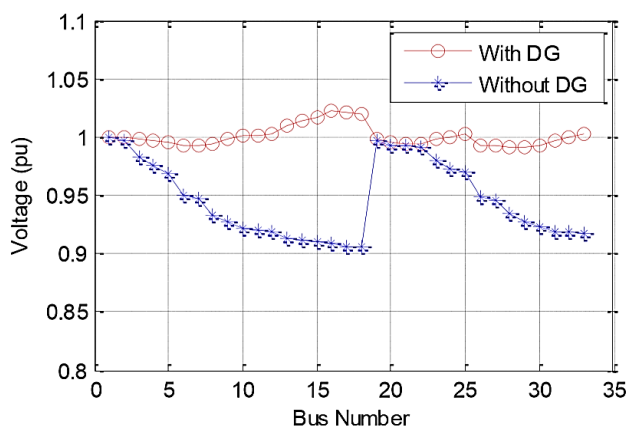
مگاوات می رسد و از مقدار ۰.۲ مگاوات در پله های ۰.۲ مگاوات افزایش می یابد. همچنین فرض می شود قیمت قراردادی پیشنهادی بوسیله صاحبان DG مقداری بین ۴۵ و ۵۵ (\$/MWh) دارد که در پله های ۰.۱ (\$/MWh) افزایش می یابد.

جدول ۵ نمایانگر قیمت قرارداد محاسبه شده توسط چارچوب نظریه بازی در مرحله ۲ از روش ارائه شده می باشد. درآمد مربوط به DG ها و کل پرداخت شرکت توزیع در جدول ۶ نشان داده شده است. نتایج ارائه شده در جداول ۵ و ۶ راه حل بهینه برای مسئله قیمت قراردادی را با روش پیشنهادی نمایش می دهد. جدول ۶ نشان می دهد چگونه پرداخت شرکت توزیع کاهش می یابد درحالی که درآمد DG ها بوسیله افزایش ظرفیت DG ها افزایش می یابد.

جدول ۸: اهداف اقتصادی و تکنیکی مالکان DG و دیسکو به طور

همزمان

مقادیر	اهداف
۰.۱۶۳۵۴۱	$f_1$ (p.u.)
۱.۱۹۵۱۶	$f_2$ (p.u.)
۰.۱۲۷۹۵	$f_3$ (p.u.)
[ ۳۳ ۲۵ ۱۶ ]	DG's location
[ ۰.۸ ۰.۷ ۰.۹ ]	DG's size (MW)



شکل ۷. پروفیل ولتاژ در حالت تاثیر همزمان هر دوفاز در مساله

سودشان پیشنهاد می دهند. سپس شرکت توزیع بر اساس شرایط بازار عمده فروشی و در نظر گرفتن محدودیت های شبکه سود هر واحد را تعیین و در عین حال پرداختی به آنها را منیم می کند. همچنین از تئوری بازی برای تعیین قیمت بهینه فروش انرژی برای تمامی واحد های تولید پرآکنده استفاده گردید. شبکه ۳۳ باس برای ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که کاهش قیمت قراردادی همراه با افزایش ظرفیت منابع DG ها ست. نتایج این مقاله همچنین نشان می دهد رقابت میان واحدهای DG، شرکت توزیع را قادر می سازد تا انرژی را در قیمت پایین تری از منابع DG خریداری نماید. علاوه بر این، نتایج این مقاله نشان می دهد که نصب DGها در نزدیک پست موثر نیستند، همچنین DGهای دور از پست در کاهش تلفات توان و بهبود پروفیل ولتاژ موثر تر می باشند. صاحبان DG نصب شده در فاصله دور تری از پست می توانند قیمت بالاتری را برای فروش توان به شبکه پیشنهاد دهند. که این امر حاکی از تاثیر پذیر بودن مکان منابع DG در یک بازار رقابتی در بهبود عملکرد و تامین بار شبکه دارد.

در این مقاله، یک روش جدید برای پیدا کردن مکان و عملکرد DGها از دید صاحبان DG و شرکت توزیع پیشنهاد شده است. روش پیشنهادی طی دو مرحله بسط داده شده است. در مرحله اول، یک مسئله بهینه سازی چند هدفه به صورت کاهش تلفات توان، پایداری ولتاژ، و بهبود پروفیل ولتاژ جهت پیدا کردن مکان بهینه ی DGها فرموله گردید. یک الگوریتم چند هدفه به نام MPSO برای پیدا کردن جواب بهینه برای مسئله جایابی توسعه داده شده است. مزیت MPSO در مقایسه با الگوریتم های بهینه سازی چند هدفه دیگر عبارتست از، پارامترهای کمی نیاز به تنظیم دارند، همچنین MPSO سرعت بالایی در پیدا کردن جواب های پارتو دارد به علاوه الگوریتم ارایه شده می تواند ارتباط میان متغیرهای تصمیم را بصورت موثری دنبال نماید. در فاز ۲، بهره برداری بهینه DGها بوسیله توسعه دادن یک تابع هدف دو سطحی بدست آمده است. چنین تابع هدفی درآمد صاحبان DG را حداکثر و پرداخت کل شرکت های توزیع را از طریق پیدا کردن قیمت های قراردادی بهینه حداقل می کند. در این روش ابتدا صاحبان DG قیمت های قراردادی خود را برای ماکزیمم سازی

## رفرنس

- [9] SH. Abdi, and K. Afshar, "Application of IPSO-Monte Carlo for optimal distributed generation allocation and sizing," *Int. J. Elect. Power Energy Syst.*, vol.44, no.1, pp.786, Feb.2013.
- [10] MH. Moradi, and M. Abedini, "A combination of genetic algorithm and particle swarm optimization for optimal DG location and sizing in distribution systems," *Int. J. Elect. Power Energy Syst.*, vol.34, no.1, pp. 66-74. Jan.2012.
- [11] W.S. Tan, M.Y. Hassan, and H.A. Rahman, M.P Abdullah "Multi-distributed generation planning using hybrid particle swarm optimization- gravitational search algorithm including voltage rise issue," *IET Gener., Transm., Distrib.*, vol. 7, no. 9, pp. 929 - 942, Jan.2013.
- [12] K. Zou, A. P. Agalgaonkar, K.M. Muttaqi, and S. Perera, "Distribution system planning with incorporating DG reactive capability and system uncertainties," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 3, no. 1, pp. 112-123, Jun. 2012.
- [13] M. L. Di Silvestre, G. Graditi, and E. R. Sanseverino, "A generalized framework for optimal sizing of distributed energy resources in micro-grids using an indicator-based swarm approach," *IEEE Trans. Ind. Informat.*, vol. 10, no. 1, pp. 1567-1575, Feb. 2014.
- [14] M. Mohammadi, S.H. Hosseinian, and G.B. Gharehpetian, "GA-based optimal sizing of microgrid and DG units under pool and hybrid electricity markets," *Int. J. Elect. Power Energy Syst.*, vol.35, no.1, pp. 83-92, Feb.2012.
- [15] Y. Tang, P. Ju, H. He, C. Qin, and F. Wu, "Optimized Control of DFIG-Based Wind Generation Using Sensitivity Analysis and Particle Swarm Optimization," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol.4, no.1, pp.509-520, Mar.2013.
- [16] Z. Wang, and L. Wang, "Adaptive Negotiation Agent for Facilitating Bi-Directional Energy Trading between Smart Building and Utility Grid," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol.4, no.2, pp.702-710, Jun.2013.
- [1] A. Naresh, P. Mahat, and N. Mithulananthan, "An analytical approach for DG allocation in a primary distribution network," *Int. J. Elect. Power Energy Sys.*, vol. 28, no.2, pp. 669-678, Nov.2006.
- [2] N. Khalesi, N. Rezaei, M. Haghifam "DG allocation with application of dynamic programming for loss reduction and reliability improvement," *Int. J. Elect. Power Energy Syst.*, vol. 33, no.1, pp. 288-295. Jan. 2011.
- [3] K. Nekooei, M.M. Farsangi, H.Nezamabai and K.Y. LEE, "An Improved Multi-Objective Harmony Search for Optimal Placement of DGs in Distribution Systems," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol.4, no.1, pp.557-567, Mar.2013.
- [4] A. Soroudi, and M. Afrasiab, "Binary PSO-based dynamic multi-objective model for distributed generation planning under uncertainty," *IET Gen., Transm. Distrib.*, vol. 6, no. 2, pp. 67-78, Jun.2012.
- [5] S. A. Arefifar, Y. A.-R. I. Mohamed, and T. H. M. EL-Fouly, "Optimum microgrid design for enhancing reliability and supply-security," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 4, no. 3, pp. 1567-1575, Sep. 2013.
- [6] M. L. Di Silvestre, G. Graditi, and E. R. Sanseverino, "A generalized framework for optimal sizing of distributed energy resources in micro-grids using an indicator-based swarm approach," *IEEE Trans. Ind. Informat.*, vol. 10, no. 1, pp. 1567-1575, Feb. 2014.
- [7] P. Faria, J. Soares, Z. Vale, H. Morais, and T. Sousa, "Modified Particle Swarm Optimization Applied to Integrated Demand Response and DG Resources Scheduling," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol.4, no.1, pp.606-616, Mar.2013.
- [8] S. Kahrobaee, S. Asgarpour, and W.Qiao, "Optimum Sizing of Distributed Generation and Storage Capacity in Smart Households," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol.4, no.4, pp.1791-1801, Dec. 2013.

[17] Moradi, Mohammad H., Mohamad Abedini, and S. Mahdi Hosseinian. "A Combination of Evolutionary Algorithm and Game Theory for Optimal Location and Operation of DG from DG Owner Standpoints." *IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID*, pp.1-6, 2015.

[18] M. Mohammadi, S.H. Hosseinian, and G.B. Gharehpetian, "GA-based optimal sizing of microgrid and DG units under pool and hybrid electricity markets," *Int. J. Elect. Power Energy Syst.*, vol.35, no.1, pp. 83-92, Feb.2012.

[19] S. Bahramirad, W. Reder, and A. Khodaei, "Reliability-constrained optimal sizing of energy storage system in a microgrid," *IEEE Trans. Smart Grid*, no.4, pp.2062, Dec. 2012.

