

# بھینه 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 ازاد اسلامی واحد همدان، همدان، ایران

Shabnam.ruzbehi@yahoo.com –

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

Mh\_moradi@yahoo.co.uk –

چکیده: استفاده از منابع تولید پراکنده (DG) بعنوان یک عامل مهم در بهبود جنبه‌های فنی و اقتصادی سیستم‌های توزیع مطرح می‌شود. با این حال تحقیقات کمی در رابطه با بھینه 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 بھینه DG‌ها پیشنهاد می‌گردد. 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 می‌باشد سپس این مساله چند هدفه با استفاده از الگوریتم بھینه سازی چندهدفه ازدحام ذرات (MPSO)، توسعه داده شده، حل می‌شود و محل بھینه DG تعیین می‌گردد. در فاز ۲ درامد صاحبان DG به همراه کل پرداخت شرکت توزیع به کمک یک روش بھینه سازی دوسری محاسبه می‌شود. قیمت بھینه فروش واحد ها به کمک نظریه بازی محاسبه می‌گردد. روش پیشنهادی برای سیستم ۳۳ باسه در محیط نرم افزار MATLAB اجرا شده و نتایج آن با الگوریتم PSO و GA مقایسه می‌شود و نتایج کارایی روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: جایابی تولید پراکنده (DG)، نظریه بازی، بھینه سازی چند هدفه، بھینه سازی چندمنظوره ازدحام ذرات (VSI)، قیمت قرارداد، شاخص پایداری ولتاژ (MPSO)

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۴/۰۵/۲۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۱۳

نام نویسنده‌ی مسئول: شبنم روزبه‌ی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران - همدان - چهارراه پژوهش - دانشگاه بولی سینا - دانشکده فنی و مهندسی - دپارتمان برق

فهرست علامت و اختصار	
شاخص‌های باس	$i,j$
تلفات توان اکتیو حقيقی	$P_{loss}$
تون اکتیو تولیدی تحويل داده شده به باس $i$	$P_{gi}$
تون راکتیو تولیدی تحويل داده شده به باس $i$	$Q_{gi}$
تون اکتیو تقاضایی باس $i$	$P_{di}$
تون راکتیو تقاضایی باس $i$	$Q_{di}$
باس $Y_{ij}$ ام ماتریس ادمیتانس مقدار عنصر $ij$	$Y_{ij}$
مقدار ولتاژ مختلط باس $i$ ( $pu$ ) $m_i$	$V_{ni}$
مقدار ولتاژ مختلط باس $i$ ( $KV$ )	$V_i$
کمینه ولتاژ باس $i$ ( $KV$ )	$V_{min}$
بیشینه ولتاژ باس $i$ ( $KV$ )	$V_{max}$
تعداد باس‌ها	$NB$
زاویه فاز ولتاژ باس $i$	$\delta_i$
شاخص پایداری ولتاژ باس $i$ ( $ni = 2,3,\dots,n$ )	$VSI(ni)$
شماره سال	$Ny$
هزینه توان خریداری شده از پست ( $$/MWh$ ) $DGs$	$C_{sub\_DG}$
هزینه عملکرد و نگهداری هر ( $$/MWh$ ) $DG$	$C_{ope\&main}$
طول فاصله زمانی $T$ در ساعت	$\Delta_t$
نرخ تورم ( $7.9\%$ ) و نرخ بهره ( $12.5\%$ )	$InfR, IntR$
درامد صاحبان $DG$	$C_{inc}$

فاز ۲ درامد صاحبان DG به همراه کل پرداخت شرکت توزیع به کمک یک روش بهینه سازی دوステحی 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) یکتابع 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. یکتابع 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 اوردن قیمت بهینه قراردادها استفاده شده است که توسط فروشندهان (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 ۳تابع هدف بشرح زیر می باشد.

(۱) 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:

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

## ۱- مقدمه

عوامل مختلف در طراحی سیستم های قدرت شامل DG ها<sup>۱</sup> موثرند، از جمله نیازهای زیرساختی، سایز و تعداد منابع DG، جایابی 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 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 ... می باشد مورد توجه است. در مقالات مختلف درنظر 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 [۷-۹]، و ترکیبی از آن ها [۱۰-۱۲] در مراجع مختلفی برای حل مساله بهینه سازی سایز و جایابی DGها مورد استفاده قرار گرفته است. در [۸-۹] اصلاح پیک ولتاژ، اصلاح پروفیل ولتاژ و قابلیت اطمینان مزایای نصب DG در شبکه توزیع می باشد. مطالعه [۱۳-۱۴] استراتژی بهینه سازی برای میکروگرددهای (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 [۱۴-۱۶] 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 [۱۷-۱۹]<sup>۵</sup> اشاره کرد.

در این مقاله این کمودها در دو مرحله بنام فاز ۱ و فاز ۲ مرتضع می گردند. 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 چنددهدفه ازدحام ذرات (MPSO)، توسعه داده شده، حل می شود و محل بهینه DG تعیین می گردد. در

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

هزینه بهره برداری و نگهداری: هزینه بهره برداری و نگهداری DG شامل هزینه ساخت، هزینه تعمیر و نگهداری، هزینه بازرگانی، هزینه نیروی کار و ... اند. هزینه این قسمت از تابع زیر حاصل می شود:

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

درامد صاحبان DG: درامد دریافتی صاحبان DG از فروش انرژی به شرکت توزیع براساس قیمت قراردادی می باشد. ارزش فعلی درآمد مالک طبق زیر حساب می شود:

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

باید توجه شود که برای رقابت بین مالکان، نیاز است تا مالک هر DG قیمت های خود را بر اساس قیمت بازار و قیمت های واحد های دیگر پیشنهاد دهد. قیمت پیشنهادی مالک DG تا حدی بر تصمیم شرکت توزیع در توافق میزان توان خریداری شده از آن ها تاثیر دارد. اما عوامل دیگری همچون مکان نصب DG، ظرفیت آن، محدودیت عملیاتی خطوط نیز بر روی قیمت توافقی تاثیر خواهد گذاشت.

۱- قیمت برق خریداری شده از پست: مقدار توان خریداری شده از پست توسط شرکت توزیع از زیر بدست می آید:

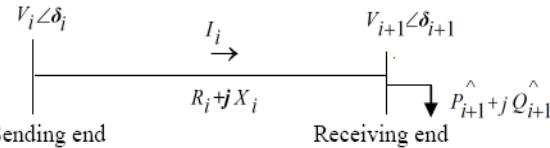
$$P_{sub,t} = \sum_{i=1}^{NB} P_{i,t} + \sum_{i=1}^{NBr} R_i I_{i,t}^2 - \sum_{m=1}^{NDG} P_{DG_m,t}. \quad (8)$$

همچنین ارزش کنونی توان خریداری شده از پست طبق زیر محاسبه می 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- قیمت قرارداد: یک برنامه نویسی دو سطحی با استفاده از فرموله کردن مساله قیمت قراردادی برق انجام می شود. چنین تکنیکی شبیه تئوری بازی Stackelberg با دو نماینده به صورت رهبر<sup>۱</sup> و دنباله رهبر<sup>۲</sup> می باشد. در این مقاله ابتدا leader ها (صاحبان DG) قیمت پیشنهادی خود را اعلام می کنند. سپس کمپانی توزیع(follower) پیشنهاد مطلوب خود را برای به حداقل رساندن پرداخت با درنظر گرفتن محدودیت های شبکه با استفاده از پخش بر بهینه اقتصادی انتخاب می کنند. فرمول محاسبه قیمت قراردادی طبق زیر محاسبه می گردد:

۲) شاخص پایداری ولتاژ: شاخص پایداری ولتاژ (VSI)<sup>۳</sup> درتابع هدف دوم برای اندازه گیری پایداری یک خط RDS می باشد که در شکل ۱ نشان داده شده است. برای بهره برداری بهینه ی RDS، شاخص پایداری برای هر باس باید مثبت باشد. بنابراین نسب و راه اندازی DG ها، روی باس با کمترین VSI که ولتاژ آن باس احتمال افت زیاد دارد می تواند انتخاب شود.



شکل ۱. مدل تک خطی RDS

VSI می تواند از تابع زیر بدست آید:

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

بنابراین تابع هدف دوم در ارتباط با VSI بصورت زیر بیان می شود:

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

۳) تغییرات کل ولتاژ: مجموع تغییرات کل ولتاژ (TVV)<sup>۴</sup> بعنوان تابع هدف سوم استفاده می شود. که توسط رابطه ریاضی زیر بیان می شود:

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

با مینیمم سازی رابطه (۴)، پروفیل ولتاژ بدست آمده می تواند منجر به کاهش تغییر ولتاژ در RDS گردد. مساله چند هدفه ارائه شده دارای یک سری قیود می باشد. چنین محدودیت هایی همراه با حل مساله بهینه سازی توسط معادلات بهینه سازی شده ای (۱)، (۳) و (۴) درامده مورد بحث قرار می گیرد. نتایج مساله بهینه سازی فاز ۱ محل بهینه سازی DG ها را تعیین می کند که بعنوان ورودی فاز ۲ مطرح می شود.

ب. فاز ۲: بهینه سازی قرارداد بین فروشنده و خریدار صاحبان DG به دنبال حداکثر کردن بازده بدون درنظر گرفتن شرایط بهره برداری سیستم توزیع می باشدند. بازده مالک DG وابسته به درامد و هزینه آن می باشد که در زیر در نظر گرفته شده است. هزینه سرمایه گذاری: هزینه سرمایه گذاری شامل هزینه های نصب DG ها (هزینه اولیه)، هزینه های ساخت و ساز، و هزینه های تجهیزات می باشد. که از رابطه زیر بدست می آید:

leader <sup>۱</sup> follower <sup>۲</sup>	Voltage Stability Index <sup>۳</sup> Total voltage variation <sup>۴</sup>
--	--

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

### ۳- راه حل پیشنهادی

مطلوب 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 ابراهات و کنده<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 مسئله 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 زیر به روزرسانی می کند:

$$\begin{aligned} v_i &= wv_i[t] + c_1 r_1(c_2 r_2(pbest_i[t] - x_i[t]) + gbest_i[t] - x_i[t]) \\ x_i[t+1] &= x_i[t] + v_i[t+1] \end{aligned} \quad (18-17)$$

موقعیت و سرعت ذرات جمعیت با توجه به ارتباط همزمان بین همه ذرات و تجربه ای خود ذره و موقعیت بهترین ذره در جمعیت تغییر می کند. موقعیت بهترین ذره بدست امده را تحت عنوان (pbesti[t]) و موقعیت بهترین ذره بدست امده در کل جمعیت را عنوان (gbesti[t]) ذخیره می گردد.

**الف. فاز ۱: بهینه سازی چند هدفه از دحام 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 همزنمان به کار گرفته می شود [۲۶].

$$\begin{aligned} \min F(X) &= [f_1(X), \dots, f_N(X)] \\ X &= [x_1, \dots, x_m] \end{aligned} \quad (19)$$

نتایج بهینه سازی چند هدفه در برگیرنده ای چند راه حل بهینه همزنمان بجای یک راه حل بهینه می باشد که توسط آن چند تابع هدف را همزنمان بهینه می کند. و در نتیجه در روش MPSO بطورکلی یک global بهینه وجود ندارد اما یک راه حل بنام پارتولو پهینه وجود دارد. جواب غیرمغلوب شده در راه حل پارتولو 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:

$$\begin{aligned} \text{اگر: } & \\ \forall i \in \{1, 2, \dots, N_{obj}\}: f_i(x_1) &\leq f_i(x_2) \\ \exists i \in \{1, 2, \dots, N_{obj}\}: f_j(x_1) &\leq f_j(x_2) \end{aligned} \quad (20)$$

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

$$f_5 = m \cdot i \cdot \frac{C}{S} u^b + b \cdot C \quad (11)$$

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 درنظر گرفتن محدودیت های سیستم، شرکت توزیع تصمیم می گیرد چه مقدار انرژی از هر یک از فروشنده ها به منظور مینیمم سازی پرداخت توان خریداری کند که محاسبه می شود.

### ج. تلفیق مسئله بهینه سازی جایابی و سایزینگ DG و بهینه سازی قرارداد بین فروشنده 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:

(12)

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

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

(۲) ولتاژ: دامنه ولتاژ باس باید در بازه عملکردی مطلوب قرار بگیرد:

$$V_{min} \leq V_{ni} \leq V_{max} \quad (13)$$

(۳) جریان: جریان در خطوط شبکه باید در حد معجاز داده شده باشد:

$$I_i \leq I_i^{\max} \quad i = 1, \dots, N_{Br} \quad (14)$$

(۴) محدودیت تولید توان

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

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

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

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]، درنظر می گیریم، بنابراین دو گروه نماینده (leaders و follower) فرض شده است. در این روش ابتدا همانطور که قبل ذکر شد صاحبان DG (leaders) براساس ساختار نظریه بازی قیمت قراردادی را پیشنهاد می دهند. سپس شرکت توزیع (follower) بهترین قیمت قرارداد را براساس مینیمم سازی پرداخت با توجه به محدودیت های شبکه انتخاب می کنند. در عمل، درآمد هر DG بستگی به قیمت قراردادی ارائه شده توسط صاحب آن و قیمت قراردادی دیگر DG ها و نیز قیمت بازار عده فروشی دارد. نظریه بازی قابل استفاده در چنین موقعیتی که بازیکنان صاحبان DG ها و استراتژی ها قیمت قراردادی می باشد بصورت استاتیکی است. بازیکنان تمایل دارند با درنظر گرفتن محدودیت های فنی تحمیلی سود خود را ماکریم نمایند در حالی که این بازیکنان باید با قیمت بازار عده 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 استراتژیشن (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 DG ها 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 مقرر 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 ماکریم ظرفیت نصب به صورت تصادفی در بازه جستجو تعیین می شود

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

$$Xi = [Mکان_1, Mکان_2, \dots, Mکان_n] \quad (21)$$

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 راهنمای انتخاب که نشاندهنده بهترین جمعیت و تمامی ذرات را با استفاده از (۲۰) به سوی ناحیه جواب حرکت می دهدیم.

روش انتخاب ذره راهنمای: 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 راهنمای به عنوان gbest برای روز 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 راهنمای 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 اید:

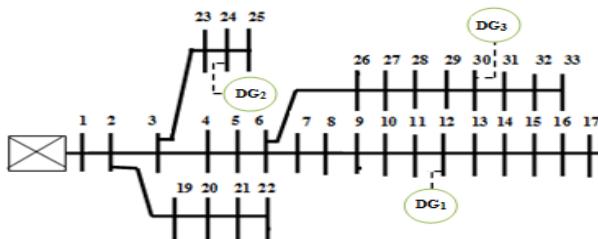
$$\begin{cases} pbest[t] \\ pbest[t+1] = xi[t+1] \\ select randomly among otherwise \\ xi[t+1] & \& pbest[t] \end{cases}$$

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

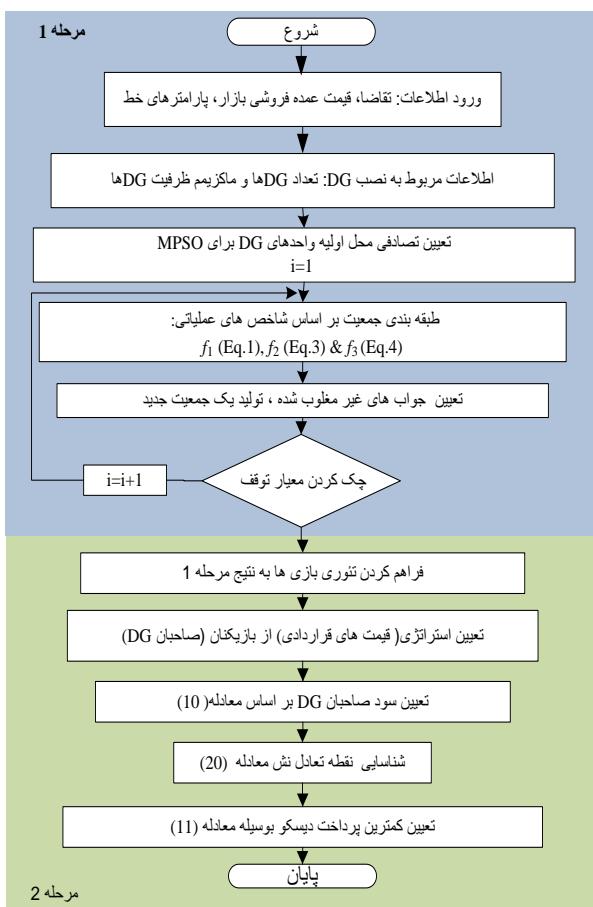
گام ۸: حذف راه حل ذخیره شده مغلوب شده

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

MPSO(1) جهت بهبود جنبه های اقتصادی، نمایش داده شده است. این مسئله شامل سه DG است که در بسیاری از مطالعات مذکور شده اند. در شکل ۳ نشان داده شده، نصب شده است.



شکل ۳. سیستم ۳۳ باس [۱۰]



شکل ۲. روش پیشنهادی برای بهینه سازی مکان DG ها 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

#### ۴- شبیه سازی و نتایج

عملکرد روشن 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 DG ها را نشان می دهد. اطلاعات تجاری DG ها براساس [۱۸] می باشد. فرض می شود که بار سیستم توزیع ۳ درصد افزایش سالیانه داشته و زمان طراحی برای ۵ سال درنظر گرفته شده است. همچنین فرض می شود بیشترین ظرفیت هر DG معادل ۱ مگاوات می باشد.

جدول ۱. فاکتورهای MPSO

اندازه سایز	$c_1$	$c_2$	شرایط خاتمه
۱۰	۲	۲	۴۰

جدول ۲: تابع هدف قبل از نصب DG

شبکه	$f_1$ (p.u.)	$f_2$ (p.u.)	$f_3$ (p.u.)
۳۳ باس	۰.۲۱	۰.۳۱۴	۱.۴۹

#### سیستم ۳۳ باس

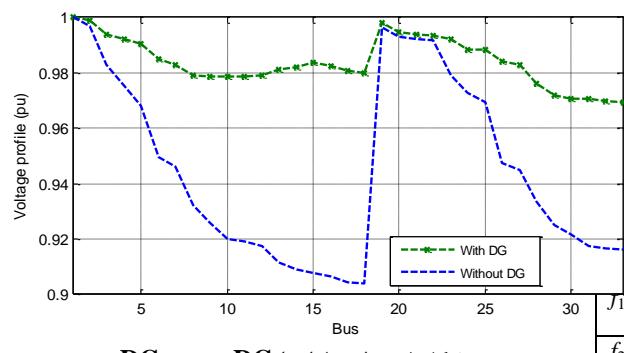
شبکه ۳۳ باس در شکل ۳ نشان داده شده است که دارای ۳۲ خط با ماکریم بار  $f_1$  (Eq.1),  $f_2$  (Eq.3) &  $f_3$  (Eq.4) می باشد. جدول ۳ نشان دهنده ای جواب های غیرمغلوب شده بدست آمده با MPSO در فاز ۱ و همچنین نتایج حاصل از GA و PSO [۳۱] برای بهینه سازی جایابی DG ها می باشد. شاخص TVV برای تعیین انحراف از مقدار 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 روشن 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 DG ها می باشد. بهبود چشم گیری بعد نصب DG ها در مقایسه با قبل از نصب آنها در شبکه دیده می شود (جدول ۲). بر اساس جدول ۳ بعد از استفاده از DG ها، مقدار تلفات، شاخص های پایداری و تنظیم ولتاژ کمتر از حالت بدون وجود منابع DG ها است. نتایج همچنین نشان می دهد که نصب DG هایی نصب شده در نزدیک موثر می باشند.

شکل ۴ محاسبات جواب های پرتو بوسیله 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

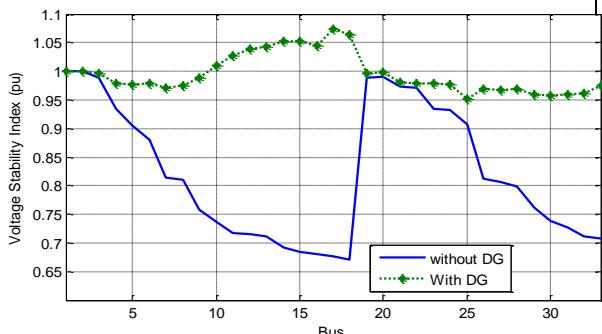
DG <sub>2</sub>	۱۲	۵۰	۴۸.۴	۴۶.۵	۴۵.۷	۴۴.۷
DG <sub>3</sub>	۳۰	۵۱.۱	۴۸.۸	۴۷.۵	۴۶.۷	۴۵.۳

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

(MW) ظرفیت		.۰.۲	.۰.۴	.۰.۶	.۰.۸	۱
DGs	باس					
DG <sub>1</sub>	۲۴	۳۶۰۲۶۵.۱	۴۱۲۰۴۳.۴	۴۵۷۴۲۸.۳	۴۸۹۴۸۸.۳	۵۳۰۵۱۹.
DG <sub>2</sub>	۱۲	۳۳۹۰۱۱.۴	۳۷۰۳۵۱.۷	۴۱۳۱۶۹.۱	۴۵۰۳۲۶۶	۴۹۴۰۲۵.
DG <sub>3</sub>	۳۰	۳۵۹۰۳۴۸	۳۸۸۵۱۸.۱	۴۱۹۵۲۸۶	۴۵۰۴۷۱۸	۵۰۱۶۸۳.
DISCO	---	۴۰۲۸۸۰۳	۴۰۱۷۲۰۰	۴۰۱۱۰۱۰	۴۰۰۶۲۱۱	۳۹۴۹۰۱۰



شکل ۵. سطح ولتاژ با DG و بدون DG



شکل ۶. برای با DG و بدون DG

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

واحدها	(\$)
DG <sub>1</sub>	۵۵۸۲۴۲۸.۵۱
DG <sub>2</sub>	۶۰۴۹۱۱.۳۷
DG <sub>3</sub>	۵۸۲۵۲۱.۶۴
شرکت توزیع	۴۵۶۴۹۳۱.۰۱

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

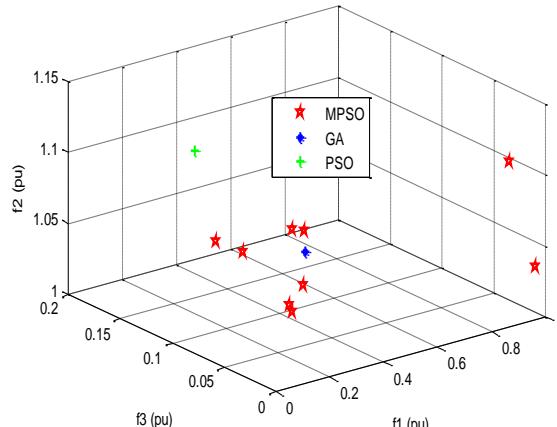
MPSO(۱) نمایش می دهد شاخص های ذکر شده براساس مرجع [۷] می باشد. BM توانایی همگرایی روش و SD پایداری روش را نشان می دهد. جدول ۵ نشان می دهد MPSO پایین ترین مقدار SD و BM را در مقایسه با PSO و GA دارد. این مقایسه توانایی MPSO را جهت پیدا کردن محل مناسب نصب DG ها بیان می کند.

جدول ۳: نتایج MPSO, GA and PSO

روش	شماره باس شبکه (۱) [باس ۱-باس ۲-باس ۳]	$f_1$ (p.u.)	$f_3$ (p.u.)	$f_2$ (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 WV و SD, BM برای MPSO (1), PSO و GA

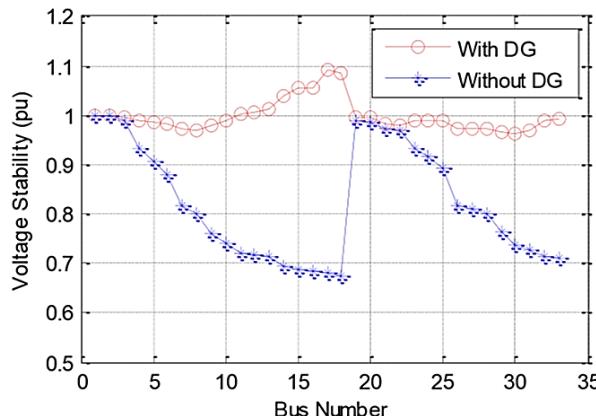
f <sub>3</sub>	GA SD (%)	PSO SD (%)	MPSO (1) SD (%)
	BM WV	BM WV	BM WV
0.۲۰۲	۰.۱۵۴ ۱.۵۱	۰.۱۰۴ ۰.۰۹۳ ۱.۴۸	۰.۱۰۲۳ ۰.۰۹۱ ۱.۱۲
۱.۳۹۳	۱.۱۰۵ ۲.۱۷	۱.۲۵۰۱ ۱.۱۸۵ ۱.۸۵	۱.۰۸۲ ۱.۰۶۷ ۱.۴۶
۰.۰۷۲	۰.۰۵۱ ۱.۲۵	۰.۱۶۷ ۱.۱۲ ۱.۰۱	۰.۰۶۷ ۰.۰۴۹ ۰.۹۳



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

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

(MW) ظرفیت		.۰.۲	.۰.۴	.۰.۶	.۰.۸	۱
DGs	باس					
DG <sub>1</sub>	۲۴	۵۱.۷	۴۹.۶	۴۸.۲	۴۷.۲	۴۶.۸



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 ماکریزم شدن دارد آن را در ضرب متفاوت یک در پرتو، جوابی که دارای انحراف کمتری در ولتاژ می باشد، در نظر گرفته می شود. اطلاعات بدست آمده مانند مکان و انداره DG، شاخص های پروفیل ولتاژ، تلفات و پایداری ولتاژ در جدول ۸ آمده استو ملاحظه می شود شاخص های پروفیل ولتاژ کاهش بافته 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  $DG_2$  اثرباره قابل مقایسه ای در مقابل واحد های دیگر بر روی کاهش تلفات شبکه ندارد. همچنان هیچ امتیازی برای شرکت توزیع جهت خرید انرژی از  $DG_2$  گران تر از قیمت عده 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.

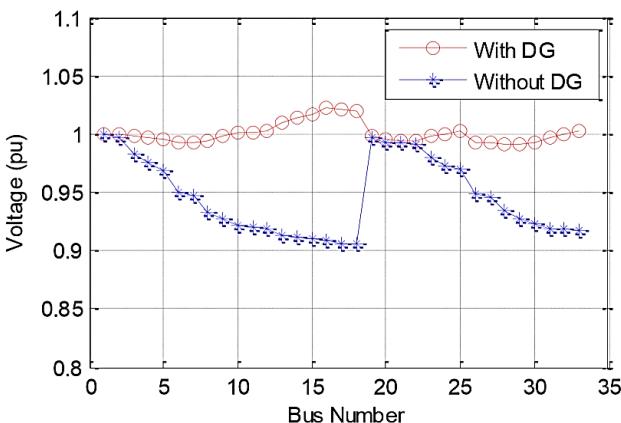
## ۵- نتیجه گیری

مگاوات می رسد و از مقدار ۰.۲ مگاوات در پله های ۰-۲ 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. درامد 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 در حالی که درامد DG ها بوسیله افزایش ظرفیت DG ها افزایش می یابد.

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

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



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

سودشان پیشنهاد می دهنند. 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 پرآنکنده 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 هاست. نتایج این مقاله همچنین نشان می دهد رقابت میان واحد های 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 DG ها در نزدیک پست موثر نیستند، همچنین DG های 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 DG ها 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 DG ها 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 داردند، 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 DG ها بوسیله توسعه دادن یک تابع هدف دو سطحی بدست آمده است. چنین تابع هدفی درامد 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 ماقریم 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. Hosseini, 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. Mithulanthan, "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. Asgarpoor, 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 Hosseiniyan. "A Combination of Evolutionary Algorithm and Game Theory for Optimal Location and Operation of DG from DG Owner Standpoints." *IEEE TRANSACTIONS ON MART GRID*, pp.1-6, 2015.

[18] M. Mohammadi, S.H. Hosseiniyan, and G.B. Gharehpetian, "GA-based optimal sizing of microgrid and DG units under pool and hybrid electricity markets," *Int. J Electr. 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.

