بهینه سازی عملکرد واحدهای تولید پراکنده در یک بازار رقابتی با ترکیب تئوری بازی و الگوریتم تکاملی

شبنم روزبهی[1]، دانشجوی کارشناسی ارشد ، محمدحسن مرادی[2]، 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 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 فاز۱، 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 فاز۲ درامد 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 نویسنده‌ی مسئول : شبنم روزبهی
نشانی نویسنده‌ی مسئول : ایران – همدان – چهارراه پژوهش - دانشگاه بوعلی سینا – دانشکده‌ی فنی و مهندسی – دپارتمان برق

فهرست علائم و اختصارات

i,j	شاخص های باس	δ_{min}	مینیمم زاویه فاز باس
P_{loss}	تلفات توان اکتیو حقیقی	δ_{max}	ماکزیمم زاویه فاز باس
P_{gi}	توان اکتیو تولیدی تحویل داده شده به باس i	θ_{ij}	باس(درجه)Y ام ماتریس ادمیتانس زاویه فاز عنصرij
Q_{gi}	توان راکتیو تولیدی تحویل داده شده به باس i	Pf_{DG}	ضریب توان عملیاتی DG
P_{di}	توان اکتیو تقاضایی باس i	pf^{DG}_{min}	کمینه مقدار مجاز ضریب توان عملیاتی DG
Q_{di}	توان راکتیو تقاضایی باس i	pf^{DG}_{max}	بیشینه مقدار مجاز ضریب توان عملیاتی DG
Y_{ij}	باسY ام ماتریس ادمیتانس مقدار عنصر ij	$\|S_{ni}\|$	توان ظاهری باس ni
Vm_i	مقدار ولتاژ مختلط باس mi (pu)	dij	فاصله واکنش بین دو عنصر
V_i	مقدار ولتاژ مختلط باسi (KV)	∂_{share}	بیشینه فاصله واکنش مجاز
V_{min}	کمینه ولتاژ باس (KV)	I_i	جریان شاخه i
V_{max}	بیشینه ولتاژ باس(KV)	R_i	مقاومت شاخه $(\Omega)i$
NB	تعداد باس ها	X_i	راکتانس شاخه $(\Omega)i$
δ_i	زاویه فاز ولتاژ باس i	N_{DG}	شماره باس DG
$VSI\ (ni)$	شاخص پایداری ولتاژ $(ni = 2,3,\dots,n)$	NB	شماره باس
Ny	شماره سال	C_T	مجموع قیمت نگهداری و عملکرد $DGs(\$/MWh)$
C_{sub_DG}	هزینه توان خریداری شده از پست $(\$/MWh)$	$C_{ope\&main}$	هزینه عملکرد و نگهداری هر DG $(\$)$
C_{Sale_DG}	قیمت قرارداد فروش توان DG $(\$/MWh)$	Δ_t	طول فاصله زمانی T در ساعت
C_{Inc}	درامد صاحبان$DG(\$)$	$InfR,\ IntR$	نرخ تورم (۹٪) و نرخ بهره (۱۲.۵٪)

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.1.10.0]

۱- مقدمه

عوامل مختلف در طراحی سیستم های قدرت شاملDG ها[۱] موثرند، ازجمله 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 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[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 اطمینانان مزایای نصب DG در شبکه توزیع می باشد. مطالعه [۱۴-۱۳] استراتژی بهینه سازی برای میکروگریدهای (MGs)[۲] که شامل DGها و یک استراتژی مربوط به حداکثر رساندن مقدار ذخیره سازی شبکه می باشد با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA)[۳] و پخش توان بهینه [۴](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 فاز۱ و فاز۲ مرتفع می گردد. در فاز۱، 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 فاز۲ درامد 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)[۵] 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 اوردن قیمت بهینه قراردادها 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. فاز۱ : جایابی بهینه DGها

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

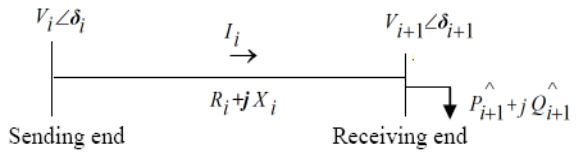
۱) تلفات توان اکتیو: اولین تابع هدف تلفات توان اکتیو است که می تواند با جایابی بهینه DGها کاهش یابد. فرم ریاضی ، پریونیت ، تلفات توان اکتیو بصورت زیر مطرح می شود:

$$f_1 = \sum_{i=1}^{N_{Br}} R_i I_i^2 . \qquad (۱)$$

[۱] Distributed Generation
[۲] Microgrid
[۳] Genetics algoritm
[۴] Optimal power flow
[۵] Radial Distribution System

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.1.10.0]

۲) شاخص پایداری ولتاژ: شاخص پایداری ولتاژ (VSI)[۶] در تابع 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 نصب 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:

$$VSI(i+1) = V_i^4 - 4\left[P_{i+1}X_i - Q_{i+1}R_i\right]^2 - 4\left[P_{i+1}R_i + Q_{i+1}X_i\right]^2 V_i^2. \quad (۲)$$

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

$$f_2 = \frac{1}{VSI(i+1)} \qquad i = 1, 2, ..., NB. \quad (۳)$$

۳) تغییرات کل ولتاژ: مجموع تغییرات کل ولتاژ (TVV)[۷] بعنوان تابع هدف سوم استفاده می شود. که توسط رابطه ریاضی زیر بیان می شود:

$$f_3 = \sum_{i=1}^{NB} |1 - V_i|. \quad (۴)$$

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 ی (۱)، (۳) و (۴) درادامه مورد بحث قرار می گیرد. نتایج مساله بهینه سازی فاز ۱ محل بهینه ی DGها را تعیین می کند که بعنوان ورودی فاز۲ مطرح می شود.

ب. فاز۲: بهینه سازی قرارداد بین فروشنده و خریدار

صاحبان DG به دنبال حداکثر کردن بازده بدون درنظر گرفتن شرایط بهره برداری سیستم توزیع می باشند. 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 DGها (هزینه اولیه)، هزینه های ساخت و ساز، و هزینه های تجهیزات می باشد. که از رابطه زیر بدست می آید:

$$C_{invs} = \sum_{m=1}^{N_{DG}} P_{DG_m} \times c_{inv}. \quad (۵)$$

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

$$C_{ope\&main} = \sum_{n=1}^{Nyr}\sum_{t=1}^{T}\sum_{m=1}^{N_{DG}} \Delta_t \times P_{DG_m,t} \times C_T \times \left(\frac{1+InfR}{1+IntR}\right)^n. \quad (۶)$$

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:

(۷)

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

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:

$$P_{sub,t} = \sum_{i=1}^{NB} P_{i,t} + \sum_{i=1}^{N_{Br}} R_i I_{i,t}^2 - \sum_{m=1}^{N_{DG}} P_{DG_m,t}. \quad (۸)$$

همچنین ارزش کنونی توان خریداری شده از پست طبق زیر محاسبه می گردد:

$$C_{sub} = \sum_{n=1}^{N_{yr}}\sum_{t=1}^{T} \Delta_t \times P_{sub,t} \times C_{sub\_DG,t} \times \left(\frac{1+InfR}{1+IntR}\right)^n. \quad (۹)$$

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[۸] و دنباله رو[۹] 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 بار بهینه اقتصادی انتخاب می کنند. فرمول محاسبه قیمت قراردادی طبق زیر محاسبه می گردد:

[۸] Voltage Stability Index
[۹] Total voltage variation
[۱۰] leader
[۱۱] follower

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.1.10.0]

$$\begin{cases} f_4 = \max(C_{Inc} - C_{invs} - C_{ope\&main}). & (۱۰) \\ f_5 = \min(C_{sub} + C_{b}) & (۱۱) \end{cases}$$

در فرمول بالا، f_4 سود صاحبان DG را نشان می دهد. به این ترتیب دراین مقاله تئوری بازی استفاده شده قیمت پیشنهادی بهینه شده را محاسبه می کند. با داشتن قیمت پیشنهادی از صاحبان DGها ، 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 با f_5محاسبه می شود.

ج. تلفیق مساله 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 متغییرها 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:

(۱۲)

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

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

$$V_{\min} \le V_{ni} \le V_{\max} \qquad (۱۳)$$

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

$$I_i \le I_i^{\max} \qquad i = 1,\dots,N_{Br} \qquad (۱۴)$$

۴) محدودیت تولید توان

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

$$0 \le S_{DGi}^{\max} - P_{DGi} \perp \frac{1}{k_{pi}} * \left(\omega_i^* - \omega\right) - P_{DGi} \ge 0 \qquad (۱۵)$$

(۱۶)

$$0 \le Q_{DGi}^{\max} - Q_{DGi} \perp \frac{1}{k_{qi}} * \left(\left|V_i^*\right| - \left|V_i\right|\right) - Q_{DGi} \ge 0$$

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.

دراین بخش ساختار الگوریتم بهینه سازی MPSO بیان می شود الگوریتم PSO ابتدا توسط ابراهات و کندی[۱۰] در سال ۱۹۹۵ مطرح گشته است [۲۵-۲۴]. 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:

$$v_1 = wv[t] + c_1r_1(c_2r_2(pbest_1[t] - x_1[t]) + gbest_1[t] - x_1[t]) \qquad (۱۸-۱۷)$$
$$x_1[t+1] = x_1[t] + v_1[t+1]$$

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 امده را تحت عنوان (pbesti[t]) و موقعیت بهترین ذره بدست امده در کل جمعیت را بعنوان (gbesti[t]) ذخیره می گردد.

الف. فاز۱: 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].

$$\min F(X) = [f_1(X),\dots,f_N(X)] \qquad (۱۹)$$
$$X = [x_1,\dots,x_m]$$

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 x1 توسط بردار تصمیم x2 مغلوب می شود اگر:

$$\forall_i \in \{1,2,\dots,N_{obj}\}:\ f_i(x_1) \le f_i(x_2) \qquad (۲۰)$$
$$\exists_i \in \{1,2,\dots,N_{obj}\}:\ f_j(x_1) \le f_j(x_2)$$

[۱۲] Kennedy& Eberhart

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.1.10.0]

فاز۱ 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 :

گام۱: 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 :

$$Xi= [\ مکان\_DG_1 \quad مکان\_DG_2 \ ... \ مکان\_DG_n\ ] \qquad (۲۱)$$

گام۲: اجرای پخش بار برای هر جمعیت جهت محاسبه تلفات، پایداری ولتاژ و انحراف ولتاژ صورت میگیرد.

گام۳: تعیین جواب های غیر مغلوب شده که با معادله ۲۰ تعیین می شوند.

گام۴: جواب های غیرمغلوب شده را جدا کن و در یک مخزن ذخیره کن(این مخزن نشان دهنده جواب های غیرمغلوب می باشد.)

گام۵: یک ذره را از مخزن به عنوان ذره راهنما انتخاب کن 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.

گام۶: 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: *(۲۲)*

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

گام۷: افزودن راه حل غیر مغلوب شده به جمعیت حال ذخیره شده

گام۸: حذف راه حل ذخیره شده مغلوب شده

گام۹: اگر تعداد اعضای ذخیره از حد مجاز بیشتر شود اعضای اضافی حذف می گردد

گام۱۰: اگر الگوریتم همگرا شود عملیات متوقف می شود درغیر اینصورت رفتن به مرحله ۵.

گام۱۱: اعضای ذخیره شده از مخزن را برای جواب های پارتو فراهم کن.

ب. فاز۲ : 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 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 ها قیمت قراردادی می باشد بصورت استاتیکی است. بازیکنان تمایل دارند با درنظر 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 فاز۲ طبق زیر معرفی شده است :

گام۱ : نتیجه مرحله۱ با ساختار تئوری بازی ادغام می شود، که به وسیله ی بازیکنان (صاحبان DG) برای پیشنهاد استراتژیشان (قیمت قرارداد) استفاده می شود. گام۲ : سود k_{th} صاحبان DG با در نظر گرفتن استراتژی بازیکنان دیگر ، $\pi_k(S1,...,Snp)$ ، بوسیله (۱۰) محاسبه می شود که در آن $N_{DG}=1$ است. گام۳ : نقطه NE، که بهترین پاسخ صاحبان DG نسبت به استراتژی های از دیگر صاحبان DGها می باشد. S_{-k} بوسیله زیر محاسبه می شود:

$$\pi_k(S_k^*, S_{-k}^*) \geq \pi_k(S_k, S_{-k}^*)\ \forall\ k \in np. \qquad (۲۳)$$

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

گام۴ : 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] .

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.1.10.0]

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 ۳درصد افزایش سالیانه داشته و زمان طراحی برای ۵سال درنظر گرفته شده است. همچنین فرض می شود بیشترین ظرفیت هرDG معادل ۱مگاوات می باشد.

جدول۱. فاکتورهای MPSO

شرایط خاتمه	c_2	c_1	اندازه سایز
۴۰	۲	۲	۱۰

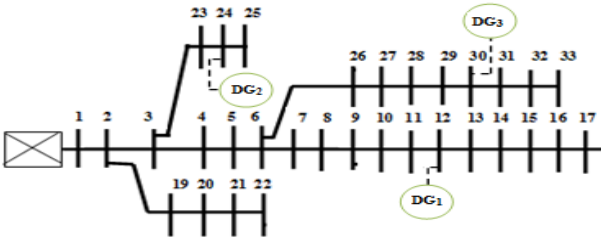
جدول۲: تابع هدف قبل از نصب DG

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

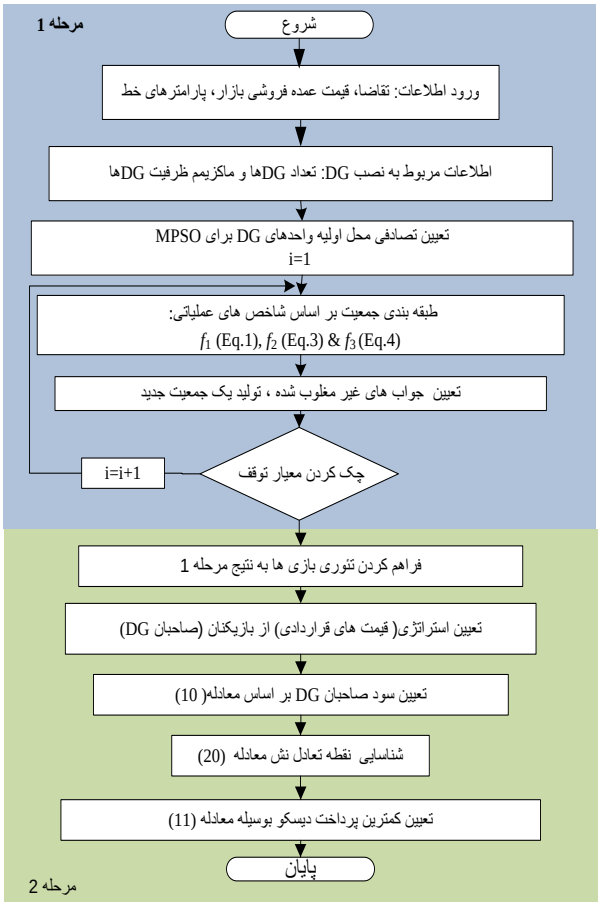
سیستم ۳۳ باس

شبکه ۳۳ باس در شکل ۳ نشان داده شده است که دارای ۳۲ خط با ماکزیمم بار MW۳.۷۲، MVar۲.۳، Kv۱۲.۶۶، و با توان تلفاتی MW۰.۲۱۱ [۳۵] می باشد. جدول ۳ نشان دهنده ی جواب های غیرمغلوب شده بدست آمده با MPSO در فاز۱و همچنین نتایج حاصل ازGA 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 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 ها 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 های۱۲ و ۲۴ و ۳۰ همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده، نصب شده است.



شکل۳. سیستم ۳۳باسه[۱۰]



شکل۲. روش پیشنهادی برای بهینه سازی مکان DGها و قیمت قرارداد

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

[۱۳] standard deviation
[۱۴] best mean
[۱۵] worst value

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.1.10.0]

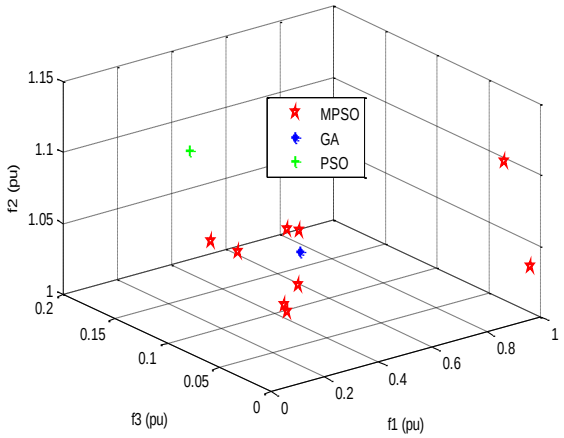
MPSO(۱) نمایش می دهد شاخص های ذکر شده براساس مرجع [۷] می باشند. BM توانایی همگرایی روش و SD پایداری روش را نشان می دهد. جدول۵ نشان می دهد MPSO پایین ترین مقدار SD و BM را در مقایسه با PSO و GA دارد. این مقایسه توانایی MPSO را جهت پیدا کردن محل مناسب نصب DG ها بیان می کند.

جدول۳: نتایج MPSO, GA and PSO

روش	شماره باس (شبکه۱) [باس۱-باس۲-باس۳]	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

جدول۴: 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_1	۰.۲۰۲	۰.۱۵۴	۱.۵۱	۰.۱۰۴	۰.۰۹۳	۱.۴۸	۰.۱۰۲۳	۰.۰۹۱	۱.۱۲
f_2	۱.۳۹۳	۱.۱۰۵	۲.۱۷	۱.۲۵۰۱	۱.۱۸۵	۱.۸۵	۱.۰۸۲	۱.۰۶۷	۱.۴۶
f_3	۰.۰۷۲	۰.۰۵۱	۱.۲۵	۰.۱۶۷	۱.۱۲	۱.۰۱	۰.۰۶۷	۰.۰۴۹	۰.۹۳



شکل۴. نتایج پارتو بدست امده از MPSO[17] و PSO و GA[10]

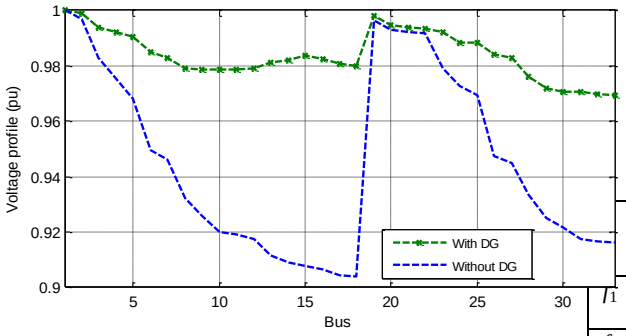
جدول۵: قیمت معادل قرارداد از واحد DGها ($/MWh)

ظرفیت(MW)		۰.۲	۰.۴	۰.۶	۰.۸	۱
DGs	باس					
DG_1	۲۴	۵۱.۷	۴۹.۶	۴۸.۲	۴۷.۲	۴۶.۸

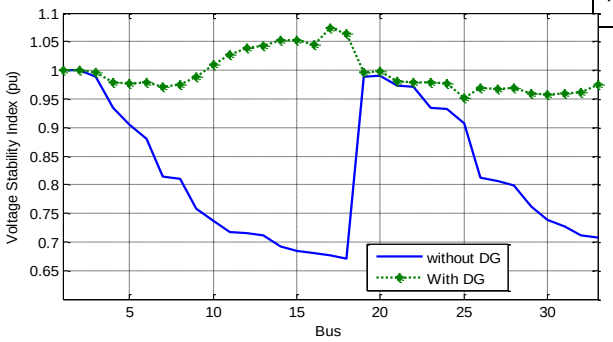
DG_2	۱۲	۵۰	۴۸.۴	۴۶.۵	۴۵.۷	۴۴.۷
DG_3	۳۰	۵۱.۱	۴۸.۸	۴۷.۵	۴۶.۷	۴۵.۳

جدول۶: درامد DGها و پرداخت کل شرکت توزیع($)

ظرفیت(MW)		۰.۲	۰.۴	۰.۶	۰.۸	۱
DGs	باس					
DG_1	۲۴	۳۶۰۲۶۵.۱	۴۱۲۰۴۳.۴	۴۵۷۴۲۸.۳	۴۸۹۴۸۸.۲	۵۳۰۵۱۹.۲
DG_2	۱۲	۳۳۹۰۱۱.۴	۳۷۰۳۵۱.۷	۴۱۳۱۶۹.۱	۴۵۰۳۲۶.۶	۴۹۴۰۲۵.۹
DG_3	۳۰	۳۵۹۰۳۴.۸	۳۸۸۵۱۸.۱	۴۱۹۵۲۸.۶	۴۵۰۴۷۱.۸	۵۰۱۶۸۳.۳
DISCO	---	۴۰۲۸۸۰۳	۴۰۱۷۲۰۰	۴۰۱۱۰۱۰	۴۰۰۶۲۱۱	۳۹۴۹۰۱۰



شکل۵. سطح ولتاژ با DG و بدون DG



شکل۶. VSI برای با DG و بدون DG

جدول۷: درامد هر DG وپرداخت کل ($) از شبکه شرکت توزیع

واحدها	سود($)
DG_1	۵۵۸۲۴۸.۵۱
DG_2	۶۰۴۷۹۱.۳۷
DG_3	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

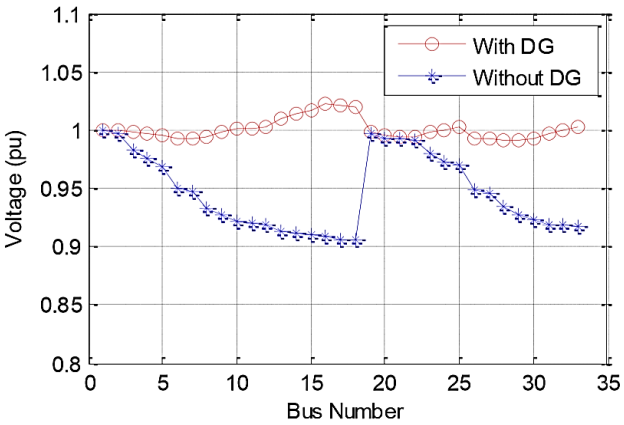
[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.1.10.0]

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 بیین ۴۵ و ۵۵ ($/ MWh) دارد که در پله های ۰.۱ ($/ MWh) افزایش می یابد.

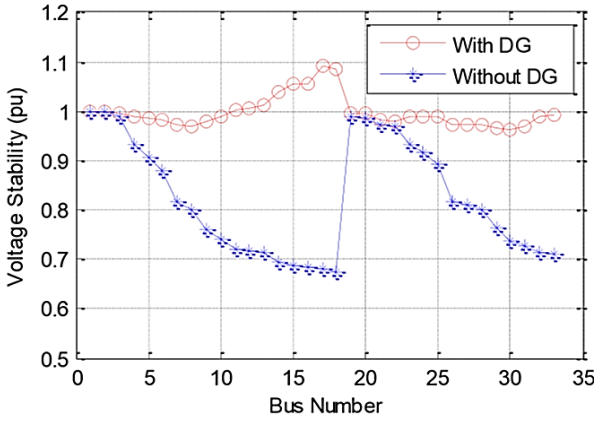
جدول ۵ نمایانگر قیمت قرارداد محاسبه شده توسط چارچوب نظریه بازی در مرحله۲ از روش ارائه شده می باشد. درامد مربوط به DGها و کل پرداخت شرکت توزیع در جدول ۶ نشان داده شده است. نتایج ارائه شده در جداول ۵ و ۶ راه حل بهینه برای مسئله قیمت قراردادی را با روش پیشنهادی نمایش می دهد. جدول ۶ نشان می دهد چگونه پرداخت شرکت توزیع کاهش می یابد درحالی که درامد DGها بوسیله افزایش ظرفیت DGها افزایش می یابد.

جدول۸: اهداف اقتصادی و تکنیکی مالکان DG و دیسکو به طور همزمان

اهداف	مقادیر
f_1 (p.u.)	۰.۱۶۳۵۴۱
f_1 (p.u.)	۱.۱۹۵۱۶
f_1 (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



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 پایاری 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 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

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.1.10.0]

دراین 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 داردند، همچنین MPSO سرعت بالایی در پیدا کردن جواب های پارتو دارد به علاوه الگوریتم ارایه شده می تواند ارتباط میان متغییرهای 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 درامد صاحبان DG را حداکثر و پرداخت کل شرکت های توزیع را از طریق پیدا کردن قیمت های قراردادی بهینه حداقل می کند. دراین روش ابتدا صاحبان DG قیمت های قراردادی خود را برای ماکزیمم سازی 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 منیمم 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.

رفرنس

[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. 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.

[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.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.1.10.0]

[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 MART 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.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.1.10.0]

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1395.5.1.10.0]