

برنامه ریزی استفاده از واحدهای تولید پراکنده (DG) در شبکه های توزیع به منظور حداکثر سازی رفاه اجتماعی

رضا قاضی*^(۱)

اسماعیل قدیریان^(۲)

(۱) استاد، گروه برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد

(۲) کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده به کارگیری تولید پراکنده (DG) در شبکه های توزیع، یکی از پیامدهای مقررات زدایی سیستم های قدرت جدید است. تغییر مقررات و همچنین پیشرفت در تکنولوژی (DG) زمینه را برای توسعه این تولید در برابر تولید متمرکز، مساعد نموده است. با توجه به مقررات اعمال شده در زمینه تعرفه ها و وجود رقابت، طراحی دقیق سیستم توزیع و اجتناب از سرمایه گذاری اضافی را ضروری نموده است. در تحقیقات گذشته در این زمینه، غالباً سرمایه گذاری با هدف حداکثرسازی سود دارنده شبکه، انجام گرفته است و از طرف دیگر، از بین تکنولوژی های مختلف تولید پراکنده، فقط یک نوع تکنولوژی مدنظر قرار گرفته است و اثر تکنولوژی های مختلف توأم با یکدیگر، در بهینه سازی در نظر گرفته نشده است. طرح جایابی DG از دیدگاه شرکت های توزیع، مشترکین و رگولاتور، قابل بررسی است. بدیهی است که مشترک یا شرکت توزیع در احداث تولید پراکنده هر یک حداکثر سود خود را مدنظر قرار می دهند؛ لیکن از دید رگولاتور طرحی که منافع هردو را تأمین نماید، مناسب تر است. در این مقاله به منظور سرمایه گذاری در نصب واحدهای تولید پراکنده (DG)، در شبکه توزیع، یک روش جدید ارائه شده است که در آن علاوه بر منافع مشترک، سود شرکت مدنظر قرار گرفته است. منافع مشترک از طریق تأمین تمام یا بخشی از مصرف مورد نیاز از DG به جای شبکه و منافع شرکت با کاهش تلفات حاصل خواهد شد. هردو تابع تحت عنوان رفاه اجتماعی، ماکزیمم شده است. لازم به ذکر است اثر تکنولوژی های مختلف بررسی شده و تکنولوژی های مناسب، انتخاب می شوند. روش بهینه سازی به کار برده شده در این مقاله، الگوریتم ژنتیک (GA) می باشد که با انعطاف پذیری بالا در مدلسازی قیود پیچیده، یک بهینه سراسری را در اختیار ما قرار می دهد.

واژه های کلیدی تولید پراکنده (DG)، رفاه اجتماعی، الگوریتم ژنتیک (GA)، شبکه های توزیع .

* عهده دار مکاتبات

نشانی: دانشگاه آزاد اسلامی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه برق

پست الکترونیکی: rghazi@um.ac.ir

تلفن: ۰۵۱۱-۶۶۴۱۸۱۶

۱- مقدمه

در محیط تجدید ساختار شده جدید، مصرف کننده‌ها، انرژی الکتریکی مورد نیاز خود را از منابع مختلف تهیه خواهند کرد؛ به همین خاطر برای عرضه توان توسط شرکت‌های توزیع، رقابتی به وجود خواهد آمد که باعث کاهش قیمت برق می‌شود. در بخش توزیع، صناعی وجود دارند که ارزش فوق‌العاده و کارایی بالا دارند. بنابراین صاحبان صنایع، نیاز به یک استاندارد بالا، برای نگهداری وسایلشان دارند و همچنین وجود بازار رقابتی برق، باعث شده است که یک فشار فوق‌العاده بر روی صاحبان شبکه‌های توزیع باشد که با استفاده از نوع آوری، بتوانند قیمت‌ها را کاهش داده و کیفیت توان را بالا ببرند تا بتوانند در بازار رقابتی شرکت نمایند [۱]. به هر حال در بازار برق به خاطر وجود تولید کننده‌های مستقل (IPP) (Independent Power Producer) و همچنین گسترش تکنولوژی‌های جدید، باعث شده است که ساختار بهره‌برداری از شبکه‌های الکتریکی تغییر کند. پیشرفت تکنولوژی در زمینه تولید کننده‌های پراکنده (DG's) حائز اهمیت فراوانی است.

برای تولید پراکنده، تعاریف مختلفی ارائه شده است از آن جمله، تولید پراکنده (DG) به صورت مجموعه واحدهای تولیدی با حداکثر ظرفیت تولید 50MW تا 100MW که معمولاً به شبکه توزیع متصل می‌شوند و برنامه‌ریزی توسعه آن‌ها متمرکز نمی‌باشد و تحت کنترل اپراتور شبکه انتقال، جهت دیسپاچینگ قرار ندارند، تعریف می‌شوند [۲]. پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۱۰ میلادی، بیش از ۲۵٪ همه تولیدات جدید را تولید پراکنده به عهده بگیرد. دلایل گسترش روزافزون DG می‌تواند شامل موارد زیر باشد [۳]:

۱- حذف و یا کاهش هزینه انتقال انرژی،

۲- به تعویق انداختن توسعه شبکه انتقال و توزیع،

۳- کاهش تلفات و آزادسازی ظرفیت خطوط،

۴- تأمین برق با کیفیت و قابلیت اطمینان بالاتر،

۵- بهبود پروفایل ولتاژ،

۶- استفاده بهینه از سیستم سوخت رسانی موجود و

برنامه ریزی توام برق و سوخت،

۷- کاهش و یا حذف اثرات سوء زیست محیطی،

۸- استفاده از منابع انرژی های هدر رفته.

در سیستم توزیع، به طور کلی، دو شرکت

فعالیت دارند. شرکت اول Disco و شرکت دوم Resco

ها هستند که مسئول خدمات خرده فروشی انرژی

می‌باشند. Disco (Distribution Company) ها مسئول

مالکیت سیستم توزیع می‌باشند، مدیریت و تحویل توان

به Resco (Retail Energy Services Company) ها

بدون فروش آن به مشترک به عهده Disco ها می‌باشد.

Disco ها برنامه ریزی سیستم توزیع را انجام می‌دهند

که هدف آن کاهش تلفات و بهره برداری مؤثر و کارآمد

از سیستم توزیع می‌باشد؛ لذا در جایابی DG و

تکنولوژی های مختلف آن، حداکثر سود خود را لحاظ

می‌کنند.

هدف Resco ها فروش توان به مشترک‌های بازار

در پی بیشترین سود می‌باشد. Resco ها در اصل

مشترکان Disco ها می‌باشند. آن‌ها خیلی علاقه‌مندند

مشترک‌ها را دسته بندی و آن مشترکانی را که می‌توانند

توسط آن‌ها سودشان را ماکزیم کنند، شناسایی کنند.

Disco ها باید نسبت به تمام Resco ها بی طرف باشند

[۴]؛ لذا طرح‌های مختلف برنامه ریزی DG و

تکنولوژی های متنوع آن از دیدگاه مختلف، قابل

ارزیابی است. از دیدگاه رگولاتور، آن برنامه ریزی‌ای

مطلوب است که هر دو بخش را مد نظر قرار دهد؛

یعنی علاوه بر سود مشترکین، منافع شرکت توزیع نیز

لحاظ گردد.

هدف از این مقاله، ارائه یک روش جدید جایابی

است که در آن مکان و ظرفیت DG و نوع تکنولوژی

آن طوری تعیین می‌شود که سود Disco و مشترکین؛ هر

دو، مد نظر قرار گیرد.

در اکثر تحقیقات انجام شده قبلی در این زمینه،

در تحقیقات انجام شده در زمینه جایابی بهینه تولید پراکنده ملاحظات مربوط به مشترکین که شامل صرفه جویی مصرف کننده می باشد و در محیط تجدید ساختار از اهمیت زیادی برخوردار است، در طراحی ها مد نظر قرار نگرفته است؛ زیرا طرح ها عموماً از دیدگاه شرکت های توزیع، مطرح بوده است؛ بنابراین در مقاله حاضر با دیدگاه رگولاتور و در تکمیل تحقیقات گذشته، مکان، ظرفیت و نوع تولیدکننده های پراکنده در شبکه با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA) طوری تعیین می شود که علاوه بر سود مشترکین، منافع تولید کننده که به صورت کاهش تلفات شبکه دیده شده است، در نظر گرفته شود و تلویحاً به نوعی رفاه اجتماعی ماکزیمم گردد. الگوریتم ژنتیک (GA)، به خوبی قادر است بهینه سراسری را محاسبه نموده و یا این که در یک زمان محدود به یک نقطه بهینه نسبی دست پیدا کند.

این مقاله با توجه به اهداف فوق به صورت زیر تنظیم شده است:

در بخش (۲)، فرمول بندی مسأله و تابع هدف، مشخص شده است. در بخش (۳)، قیود و محدودیت های مسأله توضیح داده شده است و در بخش (۴)، حل مسأله جایابی به کمک الگوریتم ژنتیک انجام شده است و نهایتاً در بخش آخر، الگوریتم پیشنهادی بر روی یک شبکه نمونه، اعمال شده و نتایج، نشان داده شده است.

۲- فرمول بندی مسأله - تابع هدف

قبل از بررسی تابع هدف لازم است بیان شود که در این مقاله دو مد بهره برداری برای تولید پراکنده در نظر گرفته شده است. یکی مد، اصلاح پیک و دیگری مد صادرات - واردات انرژی می باشد. در مد اول، با توجه به منحنی بار روزانه، بار پیک توسط DG و بار پایه از شبکه تأمین می شود. در مد کاری دوم، DG بار مشترک را تأمین می کند و کمبود انرژی از شبکه دریافت می شود. انرژی اضافی به شبکه صادر می شود. در هر دو مد، بهره

مکان نصب DG و ظرفیت آن، متناسب با ساختار اقتصادی در نظام تک قطبی فرمول بندی شده است، و همواره بهینه سازی به منظور حداقل نمودن هزینه های دارنده شبکه توزیع انجام گرفته است. از طرف دیگر، در این تحقیقات از بین تکنولوژی های مختلف تولید پراکنده، فقط یک نوع تکنولوژی مدنظر قرار گرفته است و اثر تکنولوژی های دیگر، در بهینه سازی مورد توجه قرار نگرفته است.

در زمینه اهداف و روش های بهینه سازی در جایابی بهینه تولید پراکنده، با تابع هدف حداقل کردن هزینه های دارنده شبکه می توان به مراجع [۱۰-۵] اشاره کرد.

مراجع [۷] مکان های نصب DG در شبکه حلقوی فوق توزیع را بر اساس الگوریتم ژنتیک اصلاح شده انجام داده است. در مرجع [۸] روشی برای شناسایی مکان و ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده در فیدرهای توزیع در قالب یک مدل فازی با معیارهای چندگانه ارائه شده است. در مرجع [۹]، ضمن بررسی تأثیر واحدهای تولید پراکنده روی تلفات شبکه و ظرفیت سیستم توزیع، الگوریتمی ابتکاری برای یافتن پاسخ تقریبی مکان واحدهای تولید پراکنده روی خطوط به جهت کاهش تلفات سیستم پیشنهاد شده است. در مرجع [۱۰] از روش سرد شدن فولاد (Simulated Annealing) (S.A) برای مکان یابی و اندازه بهینه واحدهای تولید پراکنده در شبکه های کوچک استفاده شده است. اساس بهینه سازی در این مرجع، افزایش قابلیت اطمینان شبکه توزیع می باشد. در [۱۱] مسأله تعیین مکان و ظرفیت واحدهای DG روی فیدرهای فشار متوسط در محیط تجدید ساختار شده مطرح و با به کارگیری یک الگوریتم جستجوی ابتکاری به حل مسأله پرداخته است. در این تحقیق، حداقل سازی سرمایه گذاری و هزینه های بهره برداری، شامل تلفات و تأمین انرژی مورد نیاز شبکه، به عنوان تابع هدف مورد توجه قرار گرفته است.

ب- در صورتی که مشترک، تمام مصرف خود را از شبکه تأمین نماید، هزینه آن برابر است با:

$$C_2 = C_E(E_u + E_{DGE}) + C_{du}(P_u^{CAP} + P_D^{CAP}) \quad (2)$$

لذا تفاوت دو هزینه فوق، برابر صرفه جویی مشترک است که برابر است با:

$$CS = P_{DG}^{CAP}(C_{du} - C_{DG}) + E_{DGE}(C_E - C_{DGE}) \quad (3)$$

۲-۲- سود شرکت توزیع

سود شرکت توزیع (UP) (Utility Profit) از تفاضل فروش برق و هزینه تحمیلی به شرکت از رابطه (۴) به دست می‌آید:

$$UP = [(C_{du} \cdot P_u^{CAP} + C_E \cdot E_u) - (R_{du} \cdot P_u^{CAP} + C_{PE} \cdot (E_u + E_{LOSS}))] \quad (4)$$

که در این رابطه پارامترها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

R_{du} : هزینه ثابت سالیانه تولید برق شبکه - دلار بر کیلو وات

C_{PE} : قیمت فروش انرژی - دلار بر کیلو وات ساعت
 E_{LOSS} : تلفات انرژی - کیلو وات ساعت

۲-۳- استفاده از تولید پراکنده در مد اصلاح پیک

با توجه به حضور تولید پراکنده صرفه جویی یا پس انداز مشترک، در مد اصلاح پیک از رابطه (۳) و سود شرکت از رابطه (۴) به دست می‌آید.

در این مطالعه برای حداکثر کردن سود شرکت، به مینیم کردن هزینه تلفات، اکتفا شده است؛ بنابراین برای طراحی شبکه توزیع بر مبنای افزایش رفاه اجتماعی در مد اصلاح پیک، باید تابع هدف زیر را ماکزیمم گردد:

برداری، صرفه جویی مشترک و سود شبکه در قالب تابع هدف با روابط ریاضی فرمول بندی شده است. بنابراین تابع هدف به کار برده شده در این مقاله، شامل دو قسمت به شرح زیر می‌باشد که باید ماکزیمم گردد.

۲-۱- صرفه جویی مشترک

برای محاسبه پس انداز یا صرفه جویی مشترک (CS) (Customer Saving) که قسمت اول تابع هدف را تشکیل می‌دهد، ابتدا باید هزینه‌های تحمیلی بر مشترک محاسبه شود.

الف- در صورتی که مشترک انرژی مصرفی خود را از منبع تولید پراکنده و شبکه توزیع دریافت کند، هزینه مشترک از روابط زیر به دست می‌آید که در حقیقت برابر جمع صورت حساب انرژی شبکه و هزینه تسهیلات تولید پراکنده می‌باشد [۱۲]:

$$C_1 = (C_{du} \cdot P_u^{CAP} + C_E \cdot E_u) + (C_{DG} \cdot P_{DG}^{CAP} + C_{DGE} \cdot E_{DGE}) \quad (1)$$

که در این رابطه، پارامترها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

C_{du} : هزینه ظرفیت - دلار بر کیلو وات
 P_u^{CAP} : توان مصرفی ثبت شده توسط پیک متر - کیلو وات

C_E : هزینه خرید انرژی از شبکه - دلار بر کیلو وات ساعت

E_u : انرژی خریداری شده از شبکه - کیلو وات ساعت
 C_{DG} : هزینه ثابت سالیانه تولید پراکنده - دلار بر کیلو وات

P_{DG}^{CAP} : حداکثر ظرفیت تولید پراکنده - کیلو وات
 C_{DGE} : هزینه خرید انرژی از تولید پراکنده - دلار بر کیلو وات ساعت

E_{DGE} : انرژی تولید شده توسط تولید پراکنده - کیلو وات

$$\begin{aligned} \text{MaxJ} = & \left(\sum_{i=1}^M P_{DG_i}^{CAP} \right) * \left(\sum_{k=1}^T C_{du_k} - \sum_{i=1}^M C_{DG_i} \right) + \\ & \left(\sum_{i=1}^M E_{DG_i} \right) * \left(\sum_{k=1}^T C_{E_k} - \sum_{i=1}^M C_{DG_iE} \right) + \\ & \left(\sum_{k=1}^T E_{ex_k} \right) * \left(\sum_{k=1}^T C_{sale_k} - \sum_{i=1}^M C_{DG_iE} \right) - \\ & \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M \left[\frac{(|V_i| - |V_j|)^2}{|Z_{ij}|} \right] . Pf . \rho \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{MaxJ} = & \left(\sum_{i=1}^M P_{DG_i}^{CAP} \right) * \left(\sum_{k=1}^T C_{du_k} - \sum_{i=1}^M C_{DG_i} \right) + \\ & \left(\sum_{i=1}^M E_{DG_i} \right) * \left(\sum_{k=1}^T C_{E_k} - \sum_{i=1}^M C_{DG_iE} \right) - \\ & \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M \left[\frac{(|V_i| - |V_j|)^2}{|Z_{ij}|} \right] . Pf . \rho \end{aligned} \quad (5)$$

۳- قیود و محدودیت‌های مسأله

قیودی که برای حل مسأله باید مد نظر قرار گیرد، به صورت زیر می‌باشد:

الف- جمع جبری همه توان‌های ورودی و خروجی روی فیدرهای توزیع و توان‌های تولیدی از DG باید برابر کل توان تقاضا شده باشد:

$$\sum_{i=1}^N \left\{ P_{ij} - \frac{(|V_i| - |V_j|)^2}{|Z_{ij}|} \right\} - \sum_{i=1}^M \{ P_{ji} \} + P_{DGj} = D_j \quad j \forall M \quad (8)$$

ب- توان جاری در فیدرها، باید از حد حرارتی فیدر تجاوز نکند:

$$P_{ij} \leq P_{ij}^{Max} \quad i \forall N \ \& \ j \forall M \quad (9)$$

پ- محدودیت افت ولتاژ: قیود افت ولتاژ، بستگی به قوانین تعیین شده توسط شرکت توزیع دارد:

$$\begin{aligned} P_{ij} & \approx |V_i| \cdot \frac{(|V_i| - |V_j|)}{|Z_{ij}|} \quad i \forall N, j \forall M \\ 0 & \leq |V_i - V_j| \leq \Delta V \end{aligned} \quad (10)$$

ت- توان تولید شده به وسیله DG باید کمتر از ظرفیت DG باشد:

$$P_{DGi} \leq P_{DG_i}^{CAP} \quad i \forall M \quad (9)$$

ث- محدودیت روی منابع سرمایه گذاری (بودجه BCL (Budget Capacity Limit)) : اغلب، شرکت توزیع مجبور است برنامه ریزی را براساس شروط و قیود مالی اش انجام دهد:

که در این رابطه، پارامترها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

N: تعداد کل باس‌های شبکه

M: تعداد باس‌های بار شبکه

T: تعداد پست‌های متمرکز

Pf: ضریب توان سیستم

ρ: قیمت بازار برق

۲-۴- بهره برداری از تولید پراکنده در مد صادرات و واردات انرژی

در این حالت، صرفه جویی مشترک علاوه بر موارد بیان شده در مد اصلاح پیک شامل سود حاصل از صادرات انرژی به شبکه متمرکز نیز می‌باشد که به صورت رابطه (۶) فرمول بندی می‌شود:

$$\begin{aligned} CS = & P_{DG}^{CAP} (C_{du} - C_{DG}) + E_{DGE} (C_E - C_{DGE}) + \\ & E_{ex} (C_{sale} - C_{DGE}) \end{aligned} \quad (6)$$

در این رابطه:

E_{ex} : میزان انرژی صادر شده به شبکه

C_{sale} : قیمت فروش انرژی به شبکه است.

بنابراین برای طراحی شبکه توزیع بر مبنای افزایش رفاه اجتماعی، در مد صادرات و واردات انرژی، باید تابع هدف زیر ماکزیمم گردد؛ البته در این حالت نیز سود شرکت در قالب کاهش تلفات، دیده شده است:

کل باس‌های سیستم را شماره بندی کنیم. شماره‌های اولیه را به باس‌هایی که تولید متمرکز روی آن‌ها قرار دارد اختصاص می‌دهیم و به ترتیب شماره‌های بعدی، متعلق به باس‌های بار می‌باشند. در خروجی برنامه نیز ما یک رشته از اعداد به تعداد باس‌های بار داریم که مقادیر آن یا عددی غیر صفر می‌باشد که نشانگر وجود DG، و ظرفیت DG در آن باس است و یا صفر می‌باشد که نشانگر عدم وجود DG در آن باس است. به ازای هر DG ای که در هر باس قرار می‌گیرد، شماره‌ای به آن اختصاص می‌یابد که بیانگر نوع DG است.

۵- مطالعات عددی

برای بررسی کارایی روش پیشنهادی، آزمایش‌های زیر طراحی، و بر روی شبکه نمونه و شبکه واقعی اجرا شده‌اند که در ادامه، تشریح و نتایج حاصل از آن‌ها ارائه می‌شود.

الف- بر اساس مدل در نظر گرفته شده برای بازار برق بر مبنای قرارداد دو جانبه.

ب- بررسی تأثیر تغییر قیمت خرید برق از شبکه.

برای بررسی آزمایش‌های فوق‌الذکر، منظور نمودن هزینه‌های مرتبط با احداث و بهره‌برداری از واحدهای تولیدی در انجام مطالعه، ضروری و اجتناب‌ناپذیر است.

بر اساس مدل در نظر گرفته شده برای بازار برق بر مبنای قرارداد دو جانبه، قیمت برق، ثابت و برابر با $p = 70\$/MWH$ لحاظ شده است.

معادل ارزش کنونی هزینه‌های مرتبط با نصب و بهره‌برداری از واحدهای تولید پراکنده، با توجه به نرخ تورم سالیانه و نرخ بهره سالیانه از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$NPV(C) = C * \sum_{t=1}^T \left(\frac{1 + InfR}{1 + IntR} \right)^t \quad (13)$$

که در این رابطه:

() NPV: تابع تبدیل هزینه‌ها و سودها به معادل ارزش کنونی می‌باشد.

$$\sum_{i=1}^M C_{DG_i} \cdot P_{DG_i}^{CAP} \leq BCL \quad (12)$$

۴- حل مسأله جایابی به کمک الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک روش بهینه‌سازی کارآمد بر اساس اصول اولیه تئوری تکامل است. این الگوریتم به سادگی قادر است از متغیرهای صحیح استفاده نماید. علاوه بر این، ابعاد مختلف مسأله و همچنین قیود مختلف مسأله را می‌توان در قالب این الگوریتم مدل‌سازی کرد. آنچه در طراحی الگوریتم ژنتیک برای حل یک مسأله ضروری است، تعیین تابع برازندگی و کدینگ مسأله می‌باشد.

ما در این جا تابع برازندگی را ماکزیمم‌سازی تابع هدف (J) و برآورده شدن قیود مسأله می‌گیریم. کدینگ مسأله به این صورت انجام می‌شود که یک رشته کروموزم برای هر باس بار در نظر می‌گیریم؛ به طوری که بیت اول این رشته کروموزم، بیانگر وجود و یا عدم وجود تولید پراکنده در آن باس می‌باشد. سه بیت بعد نوع تولید پراکنده ای که در آن باس بار قرار می‌گیرد را نشان می‌دهد و بیت‌های بعد به منظور تعیین اندازه تولید پراکنده به کار می‌روند.

الگوریتم ژنتیک (GA) جمعیتی به طور تصادفی برای در نظر گرفتن مکان و نوع DG انتخاب می‌کند. در ابتدای کار، ظرفیت DG‌ها مشخص نیست؛ اما پس از انتخاب یک جمعیت و برآورده شدن قیود الکتریکی، ظرفیت DG بر اساس یک ضریبی از مقدار توان تولیدی DG موجود در باس‌ها، انتخاب می‌شود و دوباره محاسبات برای به دست آوردن یک جواب دقیق‌تر در معادله (J) انجام می‌شود و تابع برازندگی محاسبه می‌شود. در مراحل بعد، الگوریتم ژنتیک با توجه به عملگرهای انتخاب و جهش و برش جمعیت بعدی را به طوری که این جمعیت بهتر از جمعیت نسل قبل برای ماکزیمم‌سازی تابع هدف باشد، انتخاب می‌کند و پس از چندین نسل تابع هدف ماکزیمم شده و مکان و ظرفیت و نوع تولیدات پراکنده (DG's) مشخص می‌شود. برای مشخص شدن خروجی برنامه، ابتدا باید

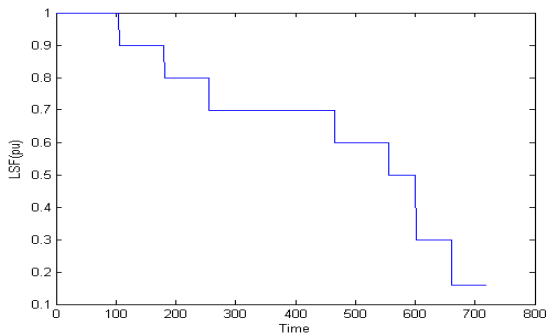
نمونه و 71.6 MW برای شبکه نمونه واقعی) نمایش داده شده است.

جدول ۱ اطلاعات اقتصادی مورد نیاز برای انجام مطالعه

نوع تولید پراکنده	هزینه ثابت تولید پراکنده \$/kW/month	هزینه خرید انرژی از تولید پراکنده \$ / kWh
نوع (۱): سوخت گاز طبیعی	۳۲.۳	۰.۰۶
نوع (۲): میکروتوربین	۳۷.۷	۰.۰۵۷۳
نوع (۳): سلول سوختی	۹۶.۸	۰.۱۴
نوع (۴): دیزل ژنراتور	۲۶.۸۹	۰.۰۴۷۲
نوع (۵): توربین	۲۹.۶	۰.۰۴۸
نوع (۶): موتور با سوخت گاز طبیعی	۳۵	۰.۰۶۴

جدول ۲ اطلاعات اقتصادی مورد نیاز برای انجام مطالعه

مقدار	پارا متر
هزینه شارژ ظرفیت پیک مصرف	1.66 \$ / kW / month
هزینه خرید انرژی از شبکه	70 \$ / MWh
قیمت صادرات انرژی به شبکه	62 \$ / MWh



نمودار ۲ منحنی بار مورد تقاضای برای یک دوره یک ماهه

InfR : نرخ تورم سالیانه است که در این تحقیق، ۹ درصد در نظر گرفته شده است.

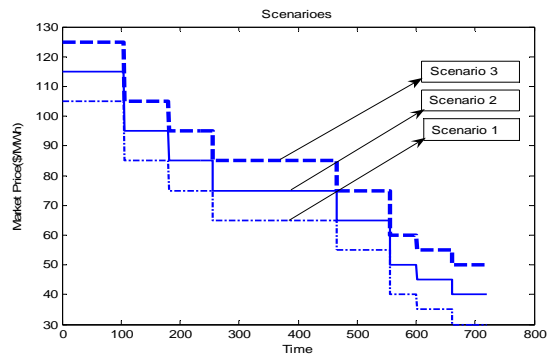
IntR : نرخ بهره سالیانه می باشد که در این تحقیق، ۱۴ درصد در نظر گرفته شده است.

T : افق برنامه ریزی می باشد که در این تحقیق، ۲۰ سال در نظر گرفته شده است.

به طور مثال، برای تولید پراکنده با سوخت گاز طبیعی که هزینه سرمایه گذاری آن $C=6 \text{ M\$}/\text{MVA}$ در نظر گرفته شده است، با توجه به نرخ تورم و نرخ بهره و افق برنامه ریزی، هزینه سرمایه گذاری برای نصب واحدهای گازی در هر ماه برابر $32.3\$/\text{kW}$ به دست می آید.

سایر هزینه های ضروری مورد نیاز برای انجام مطالعه، پس از محاسبه ارزش کنونی به روش فوق در محاسبات لحاظ شده اند.

برای بررسی آزمایش دوم یعنی تأثیر تغییر قیمت خرید برق از شبکه، سه سناریو برای قیمت در نظر گرفته شده است، که منحنی آن ها در نمودار (۱) نشان داده شده است:



نمودار ۱ منحنی های قیمت بازار برق برای سه سناریوی متفاوت برای یک دوره یک ماهه

منحنی بار ماهانه پیش بینی شده در دوره برنامه ریزی بلند مدت، برای تمام باس بارهای شبکه توزیع در نمودار (۲) نمایش داده شده است. این منحنی برای یک دوره یک ماهه و بر حسب ضریبی از مقدار حداکثر بار پیش بینی شده (51.1 MW) برای شبکه

نظر شود.

۶-۱- نتایج و بررسی مطالعه براساس مدل در نظر گرفته شده برای بازار برق بر مبنای قرارداد دو جانبه نتایج حاصل، یعنی مکان و ظرفیت بهینه تولید پراکنده در مد کاری اصلاح پیک در جدول و نمودار (۳) نشان داده شده است. چون در سیستم مورد مطالعه، یک پست متمرکز بیشتر نداریم، شماره ۱ متعلق به این پست است و باس های بار از شماره ۲ به بعد، شماره گذاری شده اند، بنابراین در جدول (۳) اعداد از شماره ۲ به بعد تنظیم شده اند؛ در ضمن، در هر جدول، نوع تکنولوژی DG ای که باید در هر باس قرار گیرد، با توجه به جدول شماره (۲) با یک شماره مشخص شده است.

همان گونه که در جدول شماره (۳) ملاحظه می شود، در مد اصلاح پیک، مقدار 12 MW تولید پراکنده (DG) به ظرفیت های 5 MW, 3 MW و 4 MW و از نوع تکنولوژی های دیزل ژنراتور و توربین، باید در باس های شماره 3, 5, 8 به منظور جبران کمبود توان 11.1 MW و تلفات شبکه مورد استفاده قرار گیرد.

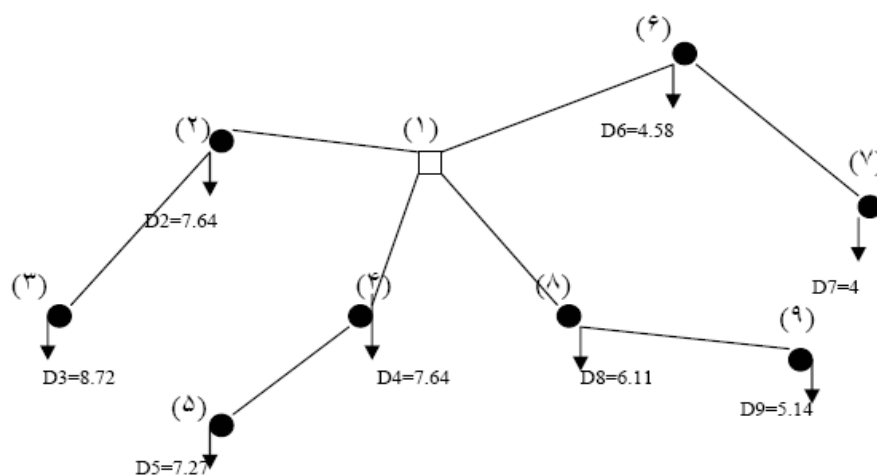
۶- اعمال روش پیشنهادی بر روی شبکه نمونه

سیستم مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است. این سیستم شامل یک پست فرعی متمرکز 40MW، 132kV/33kV می باشد که در آن بارها در هشت باس سرویس دهی می شوند [۱۱].

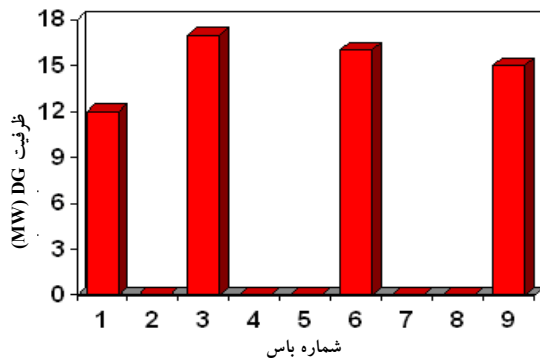
پیک بار پیش بینی شده در این سیستم، 51.1MW می باشد و با توجه به این که ظرفیت پست متمرکز موجود 40MW می باشد، توان تولید شده توسط واحدهای DG در مد اصلاح پیک، بایستی کمبود توان و همچنین تلفات سیستم را جبران نمایند. در مد صادرات انرژی از DG به عنوان منبع اصلی تأمین بار و در صورت کمبود انرژی از شبکه استفاده می شود و انرژی اضافی هم به شبکه صادر می گردد.

اطلاعات اقتصادی مورد نیاز برای انجام مطالعه در جدول (۱) و (۲) نشان داده شده است.

کوچک بودن واحدهای DG باید مورد توجه قرار گیرد؛ به دلیل این که این واحدهای کوچک می توانند در مدت کوتاهی با یک شیب سریع به تغییرات بار پاسخ دهند؛ بنابراین قیود در مدار قرار گرفتن نیروگاه ها می تواند برای ساده سازی مدل، صرف



شکل ۱ شبکه مورد مطالعه: □ نشانگر پست فرعی و ● نشانگر باس های بار می باشد



نمودار ۴ محل و ظرفیت DG در سیستم مورد مطالعه

در صورت یافتن مکان و ظرفیت بهینه تولید پراکنده در این مد، رفاه اجتماعی به $42.45 \times 10^3 \$ / \text{month}$ می‌رسد که به مقدار $38.5 \times 10^3 \$ / \text{month}$ بیشتر از مد اصلاح پیک می‌باشد.

جدول ۴ نتایج سیستم مورد مطالعه در مد صادرات انرژی

محل و ظرفیت DG در سیستم مورد مطالعه									
شماره باس	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ظرفیت DG (MW)	12	0	17	0	0	16	0	0	15
نوع DG	0	0	4	0	0	4	0	0	5

۶-۲- بررسی تأثیر تغییر قیمت بازار برق

۶-۲-۱- سناریوی شماره یک

نتایج حاصل از مطالعه برای استفاده از تولید پراکنده در مد اصلاح پیک، نشان می‌دهد که در صورت یافتن مکان و ظرفیت بهینه برای تولید پراکنده بر اساس سناریوی شماره یک، به دلیل قیمت پایین برق در بازار، از کل ظرفیت سیستم متمرکز (40MW) برای خرید برق از بازار، و برای جبران کمبود توان از تولید پراکنده استفاده شده است. در صورت یافتن مکان و ظرفیت بهینه و مناسب ترین نوع تکنولوژی برای تولید پراکنده، رفاه اجتماعی برابر $5.6 \times 10^3 \$ / \text{month}$ ، به دست می‌آید. نتایج در جدول و نمودار (۵) نشان داده شده است.

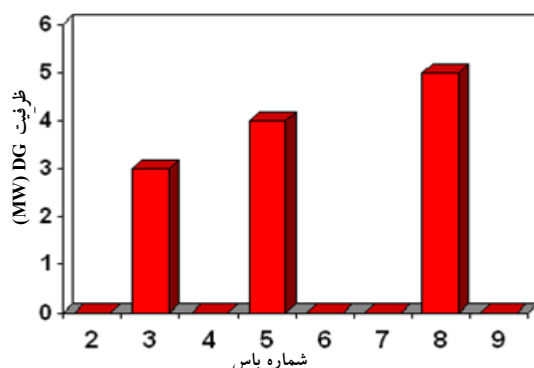
نتایج مطالعه نشان می‌دهد، در صورتی که تولید پراکنده در شبکه موجود نباشد و کل بار توسط شبکه تأمین شود، مقدار هزینه پرداختی، توسط مشترکین بابت 51.1MW توان مصرفی و تلفات شبکه برابر $3.93 \times 10^6 \$ / \text{month}$ می‌باشد. در صورت سرمایه گذاری بهینه بر روی تولید پراکنده در مد اصلاح پیک، این هزینه به $3.84 \times 10^6 \$ / \text{month}$ کاهش می‌یابد؛ بنابراین میزان رفاه اجتماعی حاصل، برابر تفاضل این دو هزینه، $90.82 \times 10^3 \$ / \text{month}$ می‌باشد.

جدول ۳ نتایج سیستم مورد مطالعه در مد اصلاح پیک

محل و ظرفیت DG در سیستم مورد مطالعه									
شماره باس	2	3	4	5	6	7	8	9	
ظرفیت DG (MW)	0	4	0	4	0	0	4	0	
نوع DG	0	4	0	5	0	0	5	0	

نتایج حاصل از مطالعه برای استفاده از تولید پراکنده در مد صادرات انرژی در جدول و نمودار (۴) نشان داده شده است.

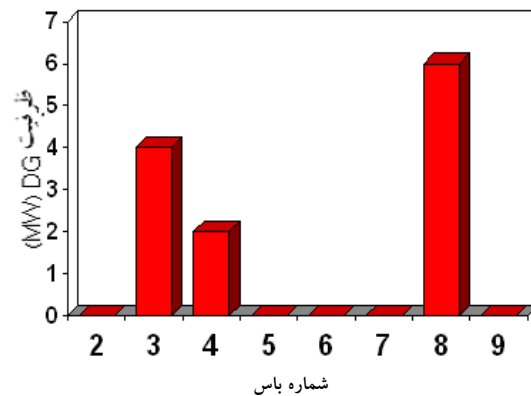
همان‌گونه که قبلاً ذکر شد، در این مد، تولید پراکنده به عنوان منبع اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرد و در صورت کمبود انرژی از شبکه استفاده می‌شود؛ انرژی اضافی هم به شبکه صادر می‌گردد. ما در این جا فرض را بر آن قرار داده ایم که علاوه بر تأمین توان مورد نیاز شبکه، به میزان 8MW صادرات انرژی به شبکه داشته باشیم.



نمودار ۳ محل و ظرفیت DG در سیستم مورد مطالعه

جدول ۵ نتایج سیستم مورد مطالعه بر اساس سناریوی شماره یک

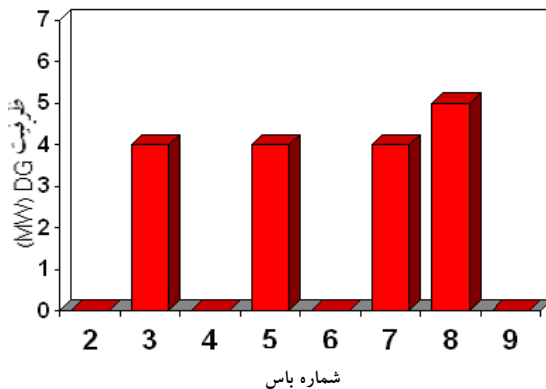
محل و ظرفیت DG در سیستم مورد مطالعه									
شماره باس	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ظرفیت DG (MW)	40	0	4	2	0	0	0	6	0
نوع DG	0	0	5	4	0	0	0	4	0



نمودار ۵ محل و ظرفیت DG در سیستم مورد مطالعه

جدول ۶ نتایج سیستم مورد مطالعه بر اساس سناریوی شماره دو

محل و ظرفیت DG در سیستم مورد مطالعه									
شماره باس	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ظرفیت DG (MW)	36	0	4	0	4	0	4	5	0
نوع DG	0	0	4	0	4	0	4	5	0



نمودار ۶ محل و ظرفیت DG در سیستم مورد مطالعه

۶-۲-۲- سناریوی شماره دو

در سناریوی شماره دو، همان گونه که از نمودار (۱) بر می آید، قیمت بازار برق افزایش داشته است؛ بنابراین انتظار داریم که استفاده از تولید پراکنده، مقرون به صرفه باشد. پس از برنامه ریزی و بررسی نتایج، مشاهده می شود که از تمام ظرفیت پست متمرکز برای خرید برق استفاده نشده و رویکرد برنامه ریزی به استفاده بیشتر از تولید پراکنده می باشد.

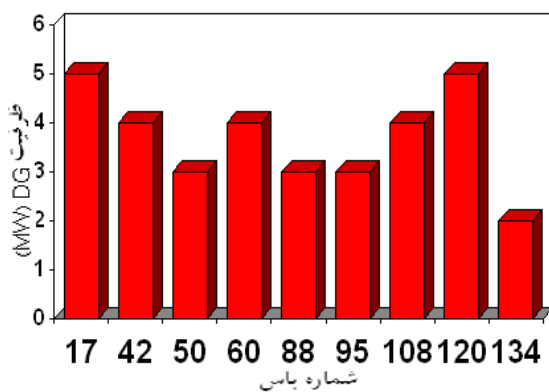
نتایج، نشان می دهد که حدود 36 MW از توان مورد نیاز از بازار برق، و بقیه از طریق تولید پراکنده تهیه شده است. در صورت یافتن مکان و ظرفیت بهینه و نوع تکنولوژی مناسب برای تولید پراکنده، رفاه اجتماعی برابر $148.6 \times 10^3 \$ / \text{month}$ ، به دست می آید. ظرفیت و مکان بهینه و نوع تکنولوژی استفاده شده در جدول و نمودار (۶) نشان داده شده است.

۶-۲-۳- سناریوی شماره سه

در سناریوی شماره سه، قیمت برق در بازار، مقدار قابل توجهی در نظر گرفته شده است؛ بنابراین انتظار می رود حداقل خرید برق از بازار را داشته باشیم، و تا جایی که محدودیت سرمایه گذاری بر روی DG اجازه می دهد از تولید پراکنده برای پاسخگویی به مشترکین استفاده کنیم. محدودیت سرمایه گذاری بر روی DG را طوری در نظر گرفته ایم که حداکثر تولید توسط DG در شبکه نمونه 18MW باشد. پس از برنامه ریزی و بررسی نتایج، مشاهده می شود که از حداکثر ظرفیت تولید DG استفاده شده است و کمبود توان از بازار برق، تهیه شده است. در صورت یافتن مکان و ظرفیت بهینه و نوع تکنولوژی مناسب برای تولید پراکنده در سناریوی شماره سه، رفاه اجتماعی برابر $330.3 \times 10^3 \$ / \text{month}$ به دست می آید. نتایج مطالعه در جدول و نمودار (۷) نشان داده شده است.

۷-۱- نتایج و بررسی مطالعه بر اساس مدل در نظر گرفته شده برای بازار برق بر مبنای قرارداد دو جانبه نتایج مطالعه در مد اصلاح پیک، در جدول و نمودار (۸) نشان داده شده است. همان‌گونه که در این جدول ملاحظه می‌شود، به منظور افزایش رفاه اجتماعی باید مقدار 33 MW تولید پراکنده (DG) در ظرفیت‌ها و تکنولوژی‌های مختلف نشان داده شده در این جدول به منظور جبران کمبود 21.6 MW و تلفات شبکه مورد استفاده قرار گیرد.

در صورتی که تولید پراکنده در شبکه موجود نباشد و کل بار توسط شبکه تأمین شود، مقدار هزینه پرداختی توسط مشترکین بابت 71.6 MW توان مصرفی و تلفات شبکه برابر 5.5×10^6 \$/month می‌باشد و در صورت سرمایه گذاری بهینه بر روی تولید پراکنده در مد اصلاح پیک، این هزینه به 5.33×10^6 \$/month کاهش می‌یابد؛ بنابراین میزان رفاه اجتماعی حاصل، برابر تفاضل این دو هزینه، 1.5×10^5 \$/month می‌باشد.



نمودار ۸ محل و ظرفیت DG در سیستم نمونه واقعی

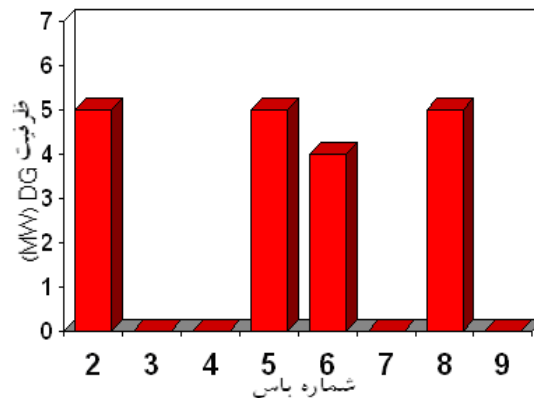
۷-۲- بررسی تاثیر تغییر قیمت بازار برق

۷-۲-۱- سناریوی شماره یک

در این قسمت به دلیل پایین بودن قیمت برق، از کل

جدول ۷ نتایج سیستم مورد مطالعه بر اساس سناریوی شماره سه

شماره باس	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ظرفیت DG (MW)	34	5	0	0	5	4	0	5	0
نوع DG	0	4	0	0	5	4	0	4	0



نمودار ۷ محل و ظرفیت DG در سیستم مورد مطالعه

۷- پیاده سازی روش مکان یابی پیشنهادی بر روی

شبکه نمونه واقعی

این الگوریتم بر روی شبکه واقعی ایران در محدوده شهر تربت حیدریه در استان خراسان پیاده سازی شده است. این شبکه شامل سه پست فوق توزیع 132kV/20kV می‌باشد. از آنجا که حجم شبکه توزیع مورد مطالعه زیاد و اطلاعات بار مصرفی در بلوک‌های جغرافیای گسترده شده است، ما دو پست با فیدرهای مرتبط با آنها را از این شبکه انتخاب کرده و روش پیشنهادی جایابی بهینه تولید پراکنده را بر روی آن اعمال کرده ایم. برای این دو پست 71.6 MW بار مصرفی در نظر گرفته ایم. ظرفیت پست‌ها حدود 50 MW می‌باشد. تولید پراکنده باید به گونه‌ای جایابی شود که علاوه بر جبران کمبود توان و تلفات شبکه، باعث افزایش رفاه اجتماعی شود.

بهینه و نوع تکنولوژی استفاده شده در جدول (۱۰) نشان داده شده است.

۷-۲-۳- سناریوی شماره سه

در این سناریو به دلیل افزایش قابل توجه قیمت بازار برق، تا جایی که محدودیت سرمایه گذاری بر روی DG اجازه می‌دهد، از تولید پراکنده برای پاسخگویی به مشترکین استفاده شده است. محدودیت سرمایه گذاری بر روی DG را طوری در نظر گرفته ایم که حداکثر تولید توسط DG در شبکه نمونه واقعی 40 MW باشد. پس از برنامه ریزی و بررسی نتایج، مشاهده می‌شود که از حداکثر ظرفیت تولید DG استفاده شده است و کمبود توان (37 MW) به وسیله خرید از بازار برق تأمین شده است. در صورت یافتن مکان و ظرفیت بهینه و نوع تکنولوژی مناسب برای تولید پراکنده در سناریوی شماره سه، رفاه اجتماعی برابر $764.6 \times 10^3 \$/\text{month}$ به دست می‌آید. نتایج مطالعه در جدول (۱۱) نشان داده شده است.

ظرفیت پست‌ها برای خرید برق از بازار استفاده شده است (50 MW) و کمبود توان مورد نیاز از واحدهای DG تأمین شده است. پس از انجام محاسبات و بررسی‌های لازم در صورت یافتن مکان و ظرفیت بهینه و نوع تکنولوژی مناسب برای تولید پراکنده در این سناریو، رفاه اجتماعی برابر $126.7 \times 10^3 \$/\text{month}$ به دست می‌آید. نتایج مطالعه در جدول (۹)، نشان داده شده است.

۷-۲-۲- سناریوی شماره دو

در این سناریو، نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که به دلیل افزایش قیمت برق در بازار، از تمام ظرفیت پست‌ها برای خرید توان از بازار استفاده نشده است، بلکه حدود 45 MW از توان مورد نیاز از بازار برق تهیه شده و بقیه از طریق تولید پراکنده تهیه شده است. در صورت یافتن مکان و ظرفیت بهینه و نوع تکنولوژی مناسب برای تولید پراکنده، رفاه اجتماعی برابر $311.5 \times 10^3 \$/\text{month}$ به دست می‌آید. ظرفیت و مکان

جدول ۸ نتایج سیستم مورد مطالعه در سیستم نمونه واقعی

محل و ظرفیت DG در سیستم مورد مطالعه									
شماره باس	17	42	50	60	88	95	108	120	134
ظرفیت DG (MW)	5	4	3	4	3	3	4	5	2
نوع DG	4	5	4	4	4	5	4	4	4

جدول ۹ نتایج شبکه نمونه واقعی بر اساس سناریوی شماره یک

محل و ظرفیت DG در سیستم مورد مطالعه									
شماره باس	19	38	60	77	95	110	118	125	135
ظرفیت DG (MW)	3	2	3	2	3	5	2	3	4
نوع DG	4	5	4	4	4	5	4	4	4

جدول ۱۰ نتایج شبکه نمونه واقعی بر اساس سناریوی شماره دو

محل و ظرفیت DG در سیستم مورد مطالعه										
شماره باس	21	35	48	59	68	82	101	109	120	132
ظرفیت DG (MW)	5	3	4	3	3	3	4	3	5	5
نوع DG	4	5	4	5	1	4	5	4	4	4

جدول ۱۱ نتایج شبکه نمونه واقعی بر اساس سناریوی شماره سه

محل و ظرفیت DG در سیستم مورد مطالعه										
باس	17	25	41	57	70	89	106	123	128	137
DG	5	3	5	4	7	5	4	3	5	4
نوع	4	5	4	5	4	4	4	4	5	4

۸ - نتیجه گیری

دو تابع به طور همزمان در نظر گرفته شده و بهینه سازی با وجود DG انجام شده است. در نتیجه در طرح انجام گرفته به نوعی رفاه اجتماعی که از نظر رگولاتور مهم است، لحاظ شده است. روش انتخابی برای حل بهینه مسئله، روش الگوریتم ژنتیک (GA) می باشد که با قابلیت انعطاف بالا، مکان و ظرفیت بهینه DG های مورد نیاز در شبکه را توأم با یکدیگر در اختیار ما قرار می دهد.

در تحقیقات انجام شده قبلی، طراحی عمدتاً از دیدگاه شرکت توزیع صورت گرفته است؛ بنابراین، سود شرکت را مد نظر قرار داده اند. در این مقاله، موضوع از دیدگاه رگولاتور مورد بررسی قرار گرفته است که در آن علاوه بر سود شرکت توزیع، منافع مشترک که یکی از عوامل مهم در بازار رقابتی و در محیط تجدید ساختار شده می باشد، مورد توجه قرار گرفته است. هر

مراجع

1. H.H. Zeineldin, K. Bhattacharya, E.F. El-Saadany and M.M.A. Salama "Impact of Intentional Islanding of Distributed Generation on Electricity Market Prices" IEE Proc.-Gener. Trans. Distrib., Vol. 153, No. 2, March, 2006.
2. R.W. Beck, and L. Coles, "Distributed Generation can provide an Appropriate Customer Price Response to Help Fix Wholesale Price Volatility," Power Engineering Society Winter Meeting IEEE, Vol.1, Feb. 2001.
3. Y.G. Hegazy, M.M.A. Salama, and Y. Chikhani "Adequacy Assessment of Distributed Generation

- System Using Montcarlo Simulation,” IEE Vol. 18, NO.1, Feb., 2003.
4. W. El-Khattam, and M.M.A. Salama, “Distribution System Planning Using Distributed Generation,” IEEE Canadian conference on electrical and Computer Engineering,” Vol. 1, pp. 579-582, May, 2003.
 5. A.N. Hadjsaid, J. F. Canard, and F. Dumas, “Dispersed Generation Impact on Distribution Networks,” IEEE Computer application in power, Vol. 12 , Issue:2 , April, 1999.
 6. C. Joon-Ho, and K. Jae-Chul, “Network Reconfiguration at the Power Distribution System with Dispersed Generation for Loss Reduction,” Power Engineering Society Winter Meeting, Vol. 4, 2000.
 7. J.O. Kim, S.K. Park, K.W. Park, and C. Singh “Dispersed Generation Planning Using Improved Hereford Ranch Algorithm,” Evolutionary computation Proceeding IEEE World Congress on Computational Intelligence, IEEE International Conference, 1998.
 8. K.H. Kim, Y.J. Lee, S.B. Rhee, and S.K. You, “Dispersed Generator Placement Using fuzzy-GA in Distribution System,” in Proc.2002 IEEE Power Engineering Soc., Vol. 3, July, 2002.
 9. T. Griffin, K. Tomsovic, D. Secrest, and A. Law, “Placement of Dispersed Generation Systems for Reduced Losses,” in proc. 33rd Annu. Hawaii Int. Conf. System Science, Maui, HI, 2000 .
 10. M. R. Vallem, J. Mitra, “Sitting and Sizing of Distributed Generation for Optimal Micro Grid Architecture,” IEEE, 2005.
 11. W. El-Khattam, K. Bhattacharya, Y. Hegazy, and M.M.A. Salama, “Optimal Investment Planning for Distributed Generation in a Competitive Electricity Market,” IEEE Vol. 19, NO. 3, August, 2004.
 12. M. Elsobki, E. Mansour, and M. Abdel-Rahman, “Distribution Network Planning for a Modern DE-Centralized Power System,” 39th International Universites Power Engineering Conference, Vol. 3, pp. 1298-1302, Sept, 2000.