



## تعیین محل و ظرفیت بهینه واحدهای تولید پراکنده به منظور کاهش تراکم و بهبود پروفایل ولتاژ

حبیب رجایی مشهدی  
دانشیار گروه برق  
h-mashhadi@um.ac.ir

احمد شریعتی  
دانشجوی کارشناسی ارشد  
shariati@ieee.org

گروه مهندسی برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوس مشهد، مشهد، ایران

واژه‌های کلیدی: جایابی و تعیین ظرفیت واحدهای تولید پراکنده، کاهش تراکم، الگوریتم ژنتیک

### چکیده

افزایش روز افزون تقاضای انرژی الکتریکی و در عین حال پیشرفت‌های اخیر در تکنولوژی واحدهای تولید پراکنده جذابیت ویژه‌ای در استفاده از این واحدها ایجاد کرده است. تعیین بهینه محل نصب و ظرفیت این واحدها می‌تواند با اهداف متفاوت و به منظور بهبود شاخص‌های مختلف در سیستم قدرت انجام می‌پذیرد. در مطالعات موجود در این زمینه، توانایی تولید پراکنده در جهت کاهش تراکم به ندرت مورد توجه قرار گرفته است و در عین حال بیشتر سیستم‌های مورد مطالعه ساده و از نوع شعاعی بوده‌اند. در این مقاله واحدهای تولید پراکنده به عنوان ابزاری برای کاهش تراکم در شبکه و با هدف حداقل کردن اختلاف بین شاخص LMP در باس‌های مختلف، مکان‌یابی و تعیین ظرفیت شده‌اند. بهبود پروفایل ولتاژ و حداقل کردن هزینه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری نیز از اهداف این مطالعه بوده‌اند. با توجه به گستردگی شبکه‌ها در سیستم قدرت و پیچیدگی مسائل بهینه‌سازی در آنها و نیز با توجه به توانایی فوق‌العاده الگوریتم ژنتیک در حل این گونه مسائل، در این مطالعه از این الگوریتم به منظور جایابی واحدهای تولید پراکنده استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که انتخاب اختلاف شاخص LMP در باس‌های مختلف به عنوان معیار تراکم مناسب بوده است. همچنین جایابی و تعیین ظرفیت بهینه واحدهای تولید پراکنده می‌تواند به خوبی تراکم را در شبکه کاهش داده و افت ولتاژ را بهبود بخشد.



## تعیین محل و ظرفیت بهینه واحدهای تولید پراکنده به منظور کاهش تراکم و بهبود پروفایل ولتاژ

حیب رجبی مشهدی

دانشیار گروه برق

[h-mashhadi@um.ac.ir](mailto:h-mashhadi@um.ac.ir)

احمد شریعتی

دانشجوی کارشناسی ارشد

[shariati@ieee.org](mailto:shariati@ieee.org)

گروه مهندسی برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

واژه‌های کلیدی: جایابی و تعیین ظرفیت واحدهای تولید پراکنده، کاهش تراکم، الگوریتم ژنتیک

### چکیده

افزایش روز افزون تقاضای انرژی الکتریکی و در عین حال پیشرفت‌های اخیر در تکنولوژی واحدهای تولید پراکنده جذابیت ویژه‌ای در استفاده از این واحدها ایجاد کرده است. تعیین بهینه محل نصب و ظرفیت این واحدها می‌تواند با اهداف متفاوت و به منظور بهبود شاخص‌های مختلف در سیستم قدرت انجام می‌پذیرد. در مطالعات موجود در این زمینه، توانایی تولید پراکنده در جهت کاهش تراکم به ندرت مورد توجه قرار گرفته است و در عین حال بیشتر سیستم‌های مورد مطالعه ساده و از نوع شعاعی بوده‌اند. در این مقاله واحدهای تولید پراکنده به عنوان ابزاری برای کاهش تراکم در شبکه و با هدف حداقل کردن اختلاف بین شاخص LMP در باس‌های مختلف، مکان‌یابی و تعیین ظرفیت شده‌اند. بهبود پروفایل ولتاژ و حداقل کردن هزینه سرمایه‌گذاری و بهره-

برداری نیز از اهداف این مطالعه بوده‌اند. با توجه به گستردگی شبکه‌ها در سیستم قدرت و پیچیدگی مسایل بهینه‌سازی در آن‌ها و نیز با توجه به توانایی فوق‌العاده الگوریتم ژنتیک در حل این گونه مسایل، در این مطالعه از این الگوریتم به منظور جایابی واحدهای تولید پراکنده استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که انتخاب اختلاف شاخص LMP در باس‌های مختلف به عنوان معیار تراکم مناسب بوده است. همچنین جایابی و تعیین ظرفیت بهینه واحدهای تولید پراکنده می‌تواند به خوبی تراکم را در شبکه کاهش داده و افت ولتاژ را بهبود بخشد.

### مقدمه

در سال‌های اخیر استفاده از واحدهای تولید پراکنده با اهداف مختلف و به منظور بهبود شاخص‌های متفاوت شبکه مورد

## بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

روش‌های بهینه‌سازی هوشمند مانند الگوریتم ژنتیک در این راستا بسیار کارآمد و راهگشا خواهد بود. بنابراین در این مقاله جایابی و تعیین ظرفیت بهینه واحدهای تولید پراکنده با هدف کاهش تراکم و نیز بهبود پروفایل ولتاژ و با در نظر گرفتن هزینه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری واحدها انجام پذیرفته است.

### بیان مسأله

در هر بهینه‌سازی در نظر گرفتن معیارهای مناسب از اهمیت بسزایی برخوردار است. از آنجا که هدف در این مقاله کاهش تراکم در شبکه انتقال، بهبود پروفایل ولتاژ و نیز کاهش هزینه می‌باشد، بنابراین در ادامه به ارائه معیارهایی جهت ارزیابی این موارد در شبکه پرداخته شده است.

### معیار ولتاژ

در مرجع [۱۰] برای تعیین محل و میزان تولید واحد تولید پراکنده معیاری از درجه دو معرفی شده است که با توجه به آن عبارت زیر را می‌توان در نظر گرفت:

$$M_i = \frac{(V_i - V_{min}) \times (V_{max} - V_i)}{(V_{nom} - V_{min}) \times (V_{max} - V_{nom})} \quad (1)$$

$V_{min}$  و  $V_{max}$  و  $V_{nom}$  به ترتیب مقدار نامی، حداکثر و حداقل ولتاژ می‌باشند. مشخص است که رابطه (۱) هنگامی که ولتاژ باس ( $V_i$ ) با مقدار نامی برابر باشد حداکثر مقدار یعنی یک را به خود اختصاص می‌دهد و هنگامی که ولتاژ باس از مقدار حداکثر یا حداقل خود خارج شود این عبارت منفی خواهد شد. همچنین این عبارت در ولتاژ حداقل و یا حداکثر برابر صفر خواهد بود. از این عبارت بصورت زیر برای تعریف معیار ولتاژ استفاده می‌شود:

$$V_{ind} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N M_i \quad (2)$$

که در آن  $N$  تعداد باس‌های سیستم می‌باشد. بدیهی است برای بهبود پروفایل ولتاژ باید شاخص تعریف شده ماکزیمم شود یا بعبارت دیگر مقدار آن به یک نزدیک شود.

توجه قرار گرفته است. افزایش نیاز به سیستمی انعطاف‌پذیر در مواجهه با تغییرات قیمت برق، ساختار شبکه و حتی تغییرات قوانین موجود و نیز طرح‌ریزی‌های اقتصادی بر اهمیت این واحدها افزوده است [۱]. همچنین این واحدها در شرایطی همچون پیک بار که سیستم انتقال در برخی از خطوط با تراکم مواجه است با ارائه ظرفیتی تکمیلی برای تولیدکننده‌های معمول شبکه، راهکاری مناسب می‌باشند [۲]. نقش اثرگذار این واحدها در بحران‌ها و همکاری در تأمین حداقل نیاز بارهای موجود به منظور بازیابی هرچه سریع‌تر شبکه سبب شده است از دیدگاه استراتژیک نیز در کانون توجهات قرار گیرند. واحدهای تولید پراکنده در بعضی موارد می‌توانند جایگزین برخی از طرح‌های توسعه شوند و یا آن‌ها را به تعویق بیندازند که در این حالت جستجوی بهترین طرح به منظور رفع مشکلات سیستم با توجه به قیود موجود، توسط بهره‌بردار شبکه انجام می‌پذیرد. یکی از مواردی که به هنگام تصمیم‌گیری حائز اهمیت می‌باشد، برآورد هزینه واحدهای تولید پراکنده است که آن را می‌توان به دو بخش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری تقسیم‌بندی نمود [۱]. علاوه بر عامل هزینه، نیازهای دیگر سیستم از جمله کاهش تراکم، بهبود پروفایل ولتاژ و ... نیز در تصمیم‌گیری برای نصب و در پی آن تعیین محل و ظرفیت مناسب واحد تولید پراکنده، نقش بازی می‌کنند. در این رابطه اهداف متعددی در مقالات مورد توجه قرار گرفته است.

افزایش رفاه اجتماعی [۲]، کاهش تلفات در شبکه [۱] و [۹-۳]، بهبود پروفایل ولتاژ [۱] و [۳-۴] و [۱۰-۱۳]، افزایش قابلیت اطمینان سیستم [۱] و [۱۴] و نیز بهبود اعوجاج هارمونیک کلی (THD) ولتاژ [۳-۴] از جمله اهدافی می‌باشند که به منظور بهینه‌سازی محل نصب و ظرفیت واحدهای تولید پراکنده مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با این وجود کاهش تراکم در شبکه با در نظر گرفتن یک فضای رقابتی از جمله مواردی بوده است که علیرغم نیاز به بررسی آن از کانون توجهات دور مانده است. با توجه به گستردگی شبکه‌های مورد مطالعه و نیز پیچیده شدن مسئله بهینه‌سازی، استفاده از

### بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

#### معیار تراکم در شبکه

از نشانه‌های وجود تراکم در یک شبکه می‌توان به مواردی همچون اختلاف شدید بین  $LMP^1$  در باس‌های مختلف و نیز پر شدن ظرفیت خطوط در بخشی از شبکه اشاره نمود. قیمت حدی محلی یا  $LMP$  را می‌توان با استفاده از رابطه‌های (۳) تا (۵) تعریف نمود [۲]:

$$LMP_i = \lambda + \lambda \frac{\partial P_L}{\partial P_i} + \sum_{j=1}^N \mu L_{ij} \frac{\partial P_{ij}}{\partial P} \quad (3)$$

$$LMP_i = \lambda + \lambda_{L_{i,i}} + \lambda_{C_{i,i}} \quad (4)$$

<sup>1</sup>. Locational Marginal Price (LMP)

$$\lambda_{L_{i,i}} = \lambda \frac{\partial P_L}{\partial P_i}, \quad \lambda_{C_{i,i}} = \mu L_{ij} \frac{\partial P_{ij}}{\partial P} \quad (5)$$

که در آن  $\lambda$  مؤلفه انرژی حدی در باس مرجع می‌باشد که برای تمامی باس‌ها یکسان است،  $\lambda_{L_{i,i}}$  مؤلفه تلفات حدی و  $\lambda_{C_{i,i}}$  مؤلفه مربوط به تراکم می‌باشد. در نتیجه قیمت در هر باس وابسته به محل باس و نیز تراکم و تلفات در آن باس می‌باشد. بنابراین اختلاف بین  $LMP$  در باس‌های مختلف را می‌توان به عنوان شاخصی به منظور بررسی تراکم در نظر گرفت. بدیهی است هنگامی که اختلاف بین  $LMP$  در باس‌های مختلف به حداقل برسد، میزان تراکم در شبکه نیز کمترین مقدار را خواهد داشت.

#### بررسی هزینه

هزینه‌ها نیز در تعیین ظرفیت واحد تولید پراکنده تأثیر بسزایی دارند. استفاده از انواع متفاوت واحدهای تولید پراکنده هزینه سرمایه‌گذاری، هزینه بهره‌برداری، ظرفیت و طول عمر متفاوتی به دنبال خواهد داشت. قابلیت و میزان تولید توان راکتیو نیز مشخصه‌ای است که وابسته به نوع و تکنولوژی واحد تولید پراکنده می‌باشد. تکنولوژی‌های مختلف واحدهای تولید پراکنده را می‌توان در انواع واحدهای گازسوز، واحدهای فوتوولتائیک، واحدهای پیل سوختی، واحدهای بادی و واحدهای CHP تقسیم‌بندی نمود.

هدفی که با توجه به آن واحد تولید پراکنده مورد استفاده قرار می‌گیرد نیز تعیین کننده ویژگی و نوع تکنولوژی آن می‌باشد. برای نمونه هنگامی که واحد تولید پراکنده با هدف بهبود پروفایل ولتاژ مورد استفاده قرار می‌گیرد، قابلیت تولید توان راکتیو جزء ویژگی‌های آن خواهد بود که از این دیدگاه واحدهای تولید پراکنده قادرند در یکی از حالت‌های تولید توان اکتیو، تولید توان اکتیو و مصرف توان راکتیو، تولید توان اکتیو و راکتیو و تولید توان راکتیو به تنهایی ایفای نقش کنند [۱۵]. واحدهای CHP بواسطه سیستم بازیابی حرارتی می‌توانند انرژی را با قیمتی بسیار پایین‌تر از واحدهای معمول تحویل دهند، این در حالیست که تکنولوژی‌هایی نظیر پیل سوختی هزینه بالایی دارند و واحدهای گازسوز از لحاظ هزینه تولید بین این دو تکنولوژی قرار می‌گیرند [۲]. جدول (۱) و شکل (۱) به منظور در نظر گرفتن تأثیر نوع و تکنولوژی واحد تولید پراکنده بر تابع هزینه آن‌ها ارائه شده است که در آن‌ها تابع هزینه بصورت زیر در نظر گرفته شده است [۲]:

$$C(p) = a_{ng} \cdot p^2 + b_{ng} \cdot p + c_{ng} \quad (6)$$

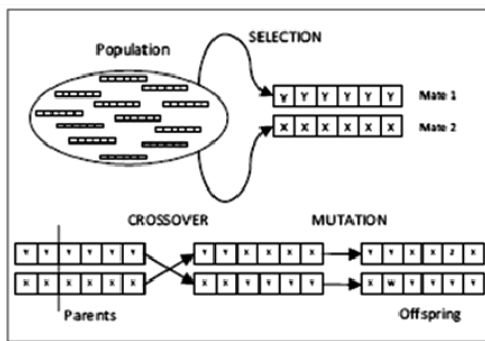
از آنجا که مؤلفه توان ۲ در تابع هزینه واحدهای  $DG_1$  و  $DG_2$  کوچک می‌باشد، بنابراین شیب منحنی هزینه حدی آن‌ها که در شکل ۲ نشان داده شده است، کم می‌باشد و تقریباً برای تمام بازه تولید ثابت است. واحدهای  $DG_6$  و  $DG_7$  نیز به همین منوال هستند، در حالیکه سایر واحدها هزینه حدی صعودی دارند.

جدول ۱: ضرایب توابع هزینه انواع مختلف DG [۲]

DG ID	$a_{DG}$ (\$/MW <sup>2</sup> hr)	$b_{DG}$ (\$/MWhr)	$c_{DG}$ (\$/hr)
DG <sub>1</sub>	0.002	15	0
DG <sub>2</sub>	0.004	19	0
DG <sub>3</sub>	0.043	20	0
DG <sub>4</sub>	0.25	20	0
DG <sub>5</sub>	0.1	30	0
DG <sub>6</sub>	0.01	40	0
DG <sub>7</sub>	0.003	43	0

### بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

استفاده از حل پخش بار بهینه با هدف حداقل کردن هزینه انرژی و با در نظر گرفتن توابع هزینه واحدهای تولید پراکنده و ژنراتورهای اصلی شبکه بدست می‌آید. سپس برازندگی هر کروموزوم را می‌توان با استفاده از تابع برازندگی که در ادامه تعریف می‌شود، بدست آورد.



شکل ۳: عملکرد الگوریتم ژنتیک [۱۲]

### تابع برازندگی

با توجه به معیارهای بیان شده در بخش ۲ به منظور تشکیل تابع برازندگی موارد زیر در نظر گرفته شده‌اند: حداقل کردن اختلاف بین LMP ها، بهبود پروفایل ولتاژ، حداقل کردن هزینه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری. بنابراین تابع برازندگی در این حالت برابر خواهد بود با:

$$F = [k_1 C_{\text{Total}}(P) + k_2 \times \text{Std}(LMP) + k_3 \times C] \times \exp(k_4 \times (1 - V_{\text{ind}})) + F_1 + F_2 \times (DG_{\text{gen}} - PL) \quad (7)$$

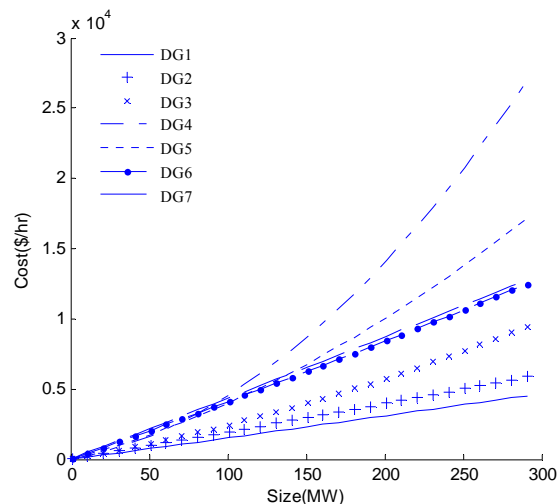
که در آن :

$$C_{\text{Total}}(P) = \sum_{i=1}^{n+ngg} c_i(P) \quad (8)$$

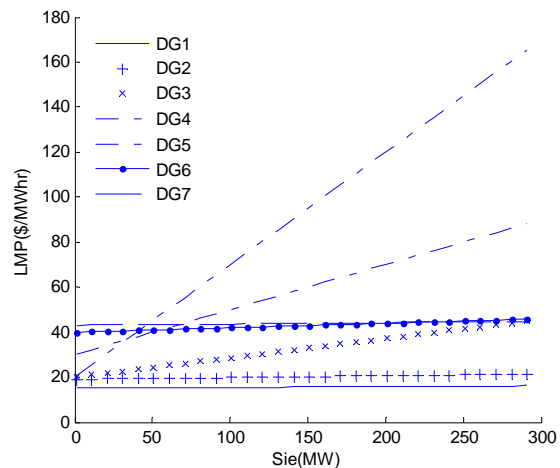
$$LMP = \begin{bmatrix} LMP_1 \\ \vdots \\ LMP_n \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$F_1 = \begin{cases} 0 & DG_{\text{gen}} \leq PL \\ cte & DG_{\text{gen}} > PL \end{cases} \quad (10)$$

در روابط بالا n و  $n_{DG}$  به ترتیب تعداد ژنراتورهای اصلی و واحدهای تولید پراکنده،  $c_i(P)$  هزینه تولید ژنراتورهای سیستم (شامل واحدهای معمول و واحدهای تولید پراکنده)،  $V_{\text{ind}}$  معیار ولتاژ،  $DG_{\text{gen}}$  مجموع تولید واحدهای



شکل ۱: مشخصه هزینه انواع مختلف DG



شکل ۲: مشخصه هزینه حدی انواع مختلف DG

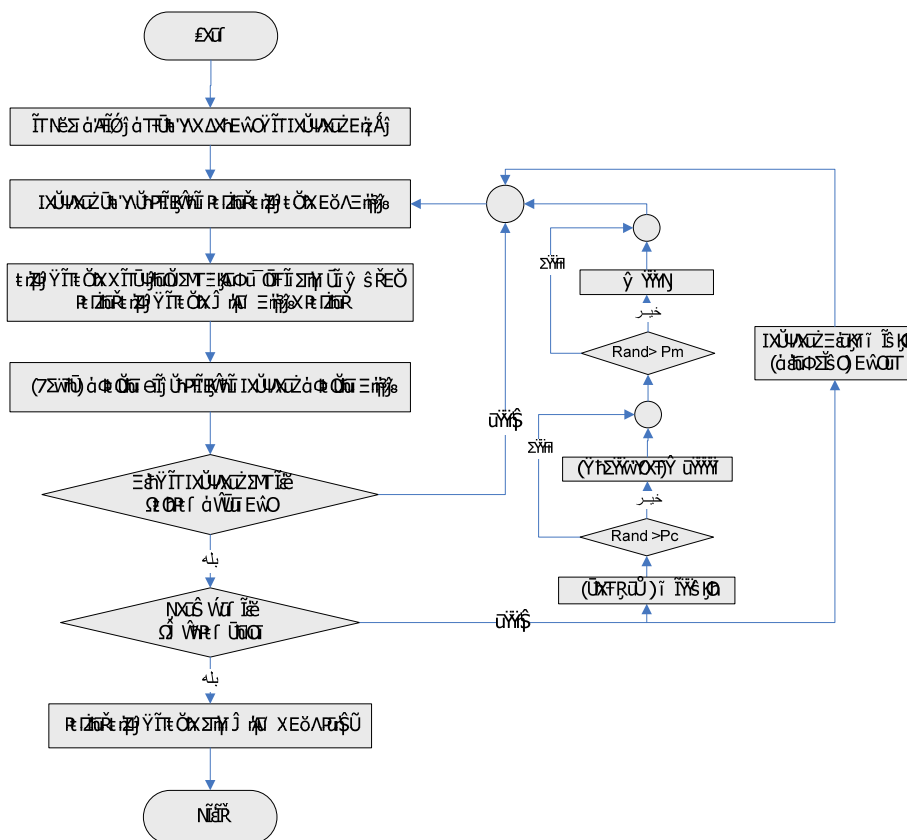
### تشریح روش

در این مطالعه به منظور تعیین محل و ظرفیت بهینه واحد تولید پراکنده از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است که نمایی از چگونگی عملکرد آن در شکل (۳) نمایش داده شده است. بدین منظور طول هر کروموزوم برابر با تعداد باس‌های شبکه در نظر گرفته شده است و هر بیت آن می‌تواند مقدار صفر یا یک را به خود اختصاص دهد که به ترتیب بیانگر عدم نصب و یا نصب واحد تولید پراکنده در آن باس خواهد بود. از آنجا که هزینه تولید انرژی نیز حائز اهمیت می‌باشد، پس از مشخص شدن محل نصب واحد تولید پراکنده، ظرفیت آن با

### بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

شود و ضریب جریمه  $P_2$  متناسب با میزان بیشتر بودن  $DG_{gen}$  از  $PL$ ، به آن‌ها افزوده می‌شود. همانطور که در رابطه (۷) مشاهده می‌شود تأثیر شاخص ولتاژ به صورت یک عبارت نمایی در مجموع هزینه بهره‌برداری، هزینه سرمایه‌گذاری و انحراف معیار  $LMP$  در باس‌های مختلف، ضرب شده است و بنابراین میزان اهمیت شاخص ولتاژ با استفاده از ضریب  $k_4$  به خوبی قابل تنظیم می‌باشد. با توجه به روابط (۱) و (۲) مقدار حداکثر شاخص ولتاژ  $V_{ind}$  برابر با یک می‌باشد، در نتیجه هر چه ولتاژ باس‌های شبکه از مقدار نامی فاصله بگیرد، مقدار عبارت نمایی و در پی آن مقدار تابع برازندگی بیشتر می‌شود. از آنجا که در این مسأله هدف مینیمم سازی می‌باشد، با افزایش مقدار تابع برازندگی احتمال انتخاب این عضو در نسل بعدی کاهش می‌یابد.

تولید پراکنده،  $k_1$  تا  $k_4$  ضرایب وزنی و  $P_1$  و  $P_2$  ضرایب جریمه می‌باشند. همچنین  $Std$  انحراف معیار و  $C$  هزینه سرمایه‌گذاری و نصب لازم برای  $DG$  می‌باشد که برابر با  $\$ / MW \cdot 10^6 * 0.9$  در نظر گرفته شده است [۱]. مجموع ظرفیت واحدهای تولید پراکنده در شبکه، ضریبی از کل بار موجود در شبکه می‌باشد که با عنوان ضریب نفوذ از آن یاد می‌شود که با توجه به آن در روابط (۷) و (۱۰)  $PL$  ضریب نفوذ مجاز برای واحدهای تولید پراکنده می‌باشد. در تابع برازندگی رابطه (۷) برای جداسازی کروموزوم‌هایی که مجموع تولید واحدهای تولید پراکنده در آن‌ها بیشتر از ضریب نفوذ مجاز می‌باشد، از دو ضریب جریمه استفاده شده است. ضریب جریمه  $P_1$  به عنوان یک مقدار ثابت به برازندگی کروموزوم‌هایی که مجموع تولید واحدهای تولید پراکنده در آن‌ها بیشتر از ضریب نفوذ مجاز است، اضافه می‌-



شکل ۴: فلوچارت روش پیشنهاد شده

### بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

#### شبیه‌سازی و نتایج

شکل (۴) فلوچارت روش ارائه شده را نشان می‌دهد که در آن  $P_m$  و  $P_e$  به ترتیب احتمال برش و جهش در الگوریتم ژنتیک می‌باشند که در این مطالعه برابر با ۰/۶۵ و ۰/۲۵ در نظر گرفته شده‌اند. شبکه مورد مطالعه که آرایش آن در شکل (۵) نشان داده شده است، نمونه اصلاح شده شبکه ۱۴ باسه IEEE می‌باشد که مشخصات آن در پیوست ارائه شده است. شبکه مورد نظر به طور کلی دارای دو تولید کننده اصلی Gen1 و Gen2 می‌باشد که به ترتیب به باس‌های ۱ و ۸ متصل شده‌اند. در صورتی که تابع هزینه مطابق رابطه (۶) در نظر گرفته شود، ضرایب آن برای دو ژنراتور Gen1 و Gen2 عبارت است از:

نام ژنراتور	$a_{DG}$ (\$/MW <sup>2</sup> hr)	$b_{DG}$ (\$/MWhr)	$c_{DG}$ (\$/hr)
Gen1	۰/۰۴۳	۲۰	۰
Gen2	۰/۱۸	۲۰	۰

همانطور که از ضرایب تابع هزینه مشخص می‌شود، ژنراتور متصل به باس شماره ۱ نسبت به ژنراتور متصل به باس شماره ۸ انرژی را با قیمت کمتری تحویل می‌دهد، بنابراین به صرفه است تا جایی که قیود سیستم اجازه می‌دهد انرژی را از ژنراتور شماره ۱ تأمین نمود. به هر حال، قبل از نصب واحدهای تولید پراکنده، میزان تولید هر یک از ژنراتورها با استفاده از پخش بار اقتصادی برابر است با:

نام ژنراتور	توان تولیدی	حداکثر توان مجاز
Gen1	۲۳۸/۸	۲۵۰
Gen2	۱۰۶/۸	۱۴۰

مقادیر LMP مربوط به این حالت در شکل (۶) با ستون‌های به رنگ تیره نشان داده شده است و در باس‌های شماره ۱ و ۸ برابر با قیمت حدی تولید توان می‌باشد که با استفاده از مشتق

تابع هزینه ژنراتورها و میزان تولید آنها بصورت زیر بدست می‌آید:

$$LMP_{Bus1} = 2 \times 0.043 \times 238.8 + 20 = 40.5$$

$$LMP_{Bus8} = 2 \times 0.18 \times 106.8 + 20 = 58.4$$

همانطور که پیشتر نیز اشاره شد مقادیر LMP در سایر باس‌ها علاوه بر هزینه تولید توان به تلفات نیز وابسته است. همچنین عامل تراکم نیز باعث می‌شود که بعضی باس‌های سیستم مجبور شوند توان مورد نیاز خود را از ژنراتورهایی که هزینه تولید آنها بالاتر است تأمین کنند که به نوبه خود سبب افزایش مقدار LMP می‌شود.

بنابراین تأمین توان مورد نیاز به طور محلی و در نتیجه کاهش تلفات و آزادسازی ظرفیت خطوط انتقال از جمله اثرات دیگر واحدهای تولید پراکنده می‌باشد.

پس از پیاده‌سازی روش ارائه شده بر روی شبکه شکل (۵) بهترین محل و ظرفیت واحدهای تولید پراکنده عبارتست از:

واحد تولید پراکنده	DG 1	DG 2
محل نصب	باس شماره ۳	باس شماره ۶
توان تولیدی (MW)	۱۴/۳	۱۳/۴

ضرایب تابع هزینه واحدهای تولید پراکنده با استفاده از مرجع [۲] به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$a_{DG} = 0.25 \quad b_{DG} = 40 \quad c_{DG} = 0$$

استفاده از واحدهای تولید پراکنده در باس‌های ۳ و ۶ باعث می‌شود که بخشی از توان به طور محلی تأمین شود، در نتیجه نیاز به انرژی ژنراتور Gen2 کاهش می‌یابد و می‌توان انرژی بیشتری را از Gen1 که ارزان‌تر است، تأمین نمود. در این حالت تولید ژنراتورهای اصلی سیستم و در نتیجه هزینه حدی آنها برابر است با:

$$P_{Gen1} = 243.8 \quad P_{Gen2} = 73.2$$

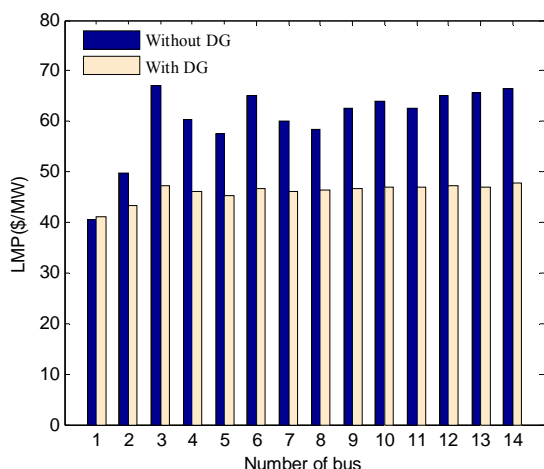
$$LMP_{Bus1} = 2 \times 0.043 \times 243.8 + 20 = 40.96$$

$$LMP_{Bus8} = 2 \times 0.18 \times 73.2 + 20 = 46.35$$

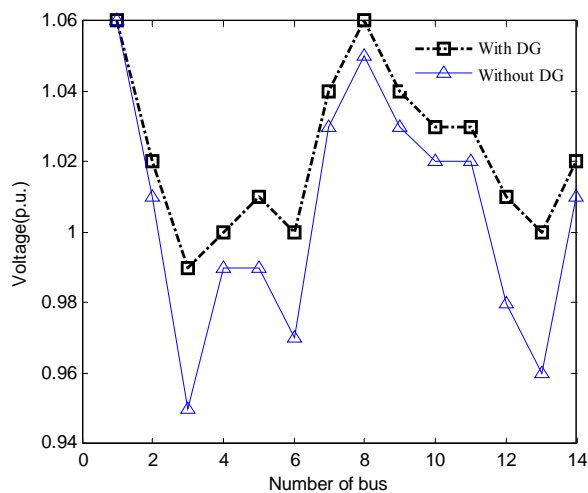
مشاهده می‌شود که مقدار LMP در باس شماره ۸ از ۵۸/۴ به ۴۶/۳۵ دلار بر مگا وات کاهش یافته است که در اثر کاهش توان تولیدی این واحد نیروگاهی از ۱۰۶/۸ به ۷۳/۲ مگا وات



### بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

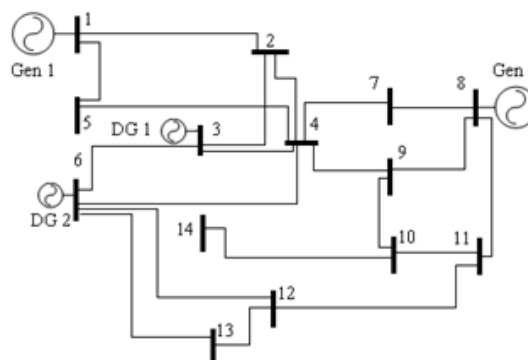


شکل ۶: مقادیر LMP قبل (تیره) و پس از نصب DG (روشن)



شکل ۷: ولتاژ باس‌ها قبل و پس از نصب DG

می‌باشد. در این حالت بقیه انرژی مورد نیاز سیستم از طریق واحدهای تولید پراکنده و نیز افزایش تولید ژنراتور Gen1 تأمین شده است. علاوه بر این، پخش واحدهای تولیدی در سطح شبکه و یا به عبارتی تأمین هر چه بیشتر بار به طور محلی باعث کاهش تلفات از ۱۵/۰۴ مگا وات به ۱۴/۱۴ مگا وات شده است.



شکل ۵: شبکه ۱۴ باسه مورد مطالعه به همراه واحدهای تولید پراکنده نصب شده در باس‌های (۳) و (۶)

نتایج مربوط به ولتاژ و LMP هر باس برای قبل و بعد از نصب واحد تولید پراکنده به ترتیب در شکل‌های (۶) و (۷) نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با نصب واحدهای تولید پراکنده افت ولتاژ در باس‌های ۳ و ۶ بهبود پیدا کرده است و همچنین اختلاف LMP در باس‌های مختلف کاهش یافته است.

بر خلاف بسیاری از مراجع از جمله [۴،۳]، [۱۰] و [۱۲،۱۱] که تعیین محل و ظرفیت واحدهای تولید پراکنده در شبکه‌های ساده شعاعی بررسی شده است، در این مقاله شبیه‌سازی مورد نظر بر روی یک شبکه حلقه‌ای به هم پیوسته که شامل دو ژنراتور می‌باشد، انجام شده است و این مطلب جزء ویژگی‌های عمده این مقاله می‌باشد.

هر چند در مرجع [۲] LMP معیاری برای رتبه‌بندی باس‌ها به منظور نصب DG در نظر گرفته شده است، اما پخش بار بهینه با هدف حداکثر کردن سود اجتماعی بوده است و بهبود شاخص‌های سیستم قدرت در نظر گرفته نشده‌اند. همچنین در نظر نگرفتن هزینه سرمایه‌گذاری و نصب جزء کاستی‌هایی است که در مراجع [۲] و [۱۰] به چشم می‌خورد.

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه محل و ظرفیت واحدهای تولید پراکنده با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی شده است. برای این منظور اختلاف بین LMP در باس‌های مختلف به عنوان شاخصی برای حداقل کردن تراکم در نظر گرفته شده است. بهبود پروفایل ولتاژ و حداقل کردن هزینه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری نیز به عنوان سایر اهداف در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که جایابی و تعیین ظرفیت بهینه واحدهای تولید پراکنده بوسیله الگوریتم ژنتیک، منحنی LMP را مسطح نموده و در نتیجه تراکم کاهش پیدا می‌کند. این در حالیست که سطح ولتاژ نیز بهبود یافته است.



### بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

9. A.D.T. Le, M.A. Kashem, M. Negnevitsky and G. Ledwich, "Optimal Distributed Generation Parameters for Reducing Losses with Economic Consideration", IEEE Power Engineering Society General Meeting, 24-28 June 2007, pp:1-8.
10. H. Iyer, S. Ray and R. Ramakumar, "Voltage Profile Improvement with Distributed Generation", IEEE Power Tech, 1-5 July 2007, pp. 443-448.
11. N.G.A. Hemdan and M. Kurrat, "Distributed Generation Location and Capacity Effect on Voltage Stability of Distribution Networks", Annual IEEE Conference, 15-26 Feb. 2008, pp. 1-5.
12. M.J. Jahromi, E. Farjah, M. Zolghadri, "Mitigating Voltage Sag by Optimal Allocation of Distributed Generation Using Genetic Algorithm", EPQU 2007, 9-11 Oct., pp. 1-6.
13. A.D.T. Le, M.A. Kashem, M. Negnevitsky and G. Ledwich, "Maximising Voltage Support in Distribution Systems by Distributed Generation", IEEE TENCON, 21-24 Nov. 2005, pp.1 – 6.
14. G. Celli and F. Pilo, "Optimal Distributed Generation Allocation in MV Distribution networks", PICA 2001, pp. 81-86
15. W. Prommee and W. Ongsakul, "Optimal Multi-Distributed Generation Placement by Adaptive Weight Particle Swarm Optimization", International Conference on Control, Automation and Systems, 14-17 Oct. 2008, Seoul, Korea.

#### پیوست

مشخصات بارهای سیستم مورد مطالعه:

بار راکتیو (مگا وار)	بار اکتیو (مگا وات)	شماره باس
0	0	1
12.7	21.7	2
19	94.2	3
-3.9	47.8	4
3.6	60	5
7.5	11.2	6
0	5.5	7
0	0	8
16.6	29.5	9
5.8	35	10
1.8	60	11
1.6	58	12
5.8	13.5	13
7.5	60	14

همچنین نتایج حاکی از آن است که واحدهای تولید پراکنده نیز می‌توانند به عنوان ابزاری بسیار کارآمد در کاهش تراکم شبکه مورد استفاده قرار بگیرند. مزایای جنبی استفاده از آن‌ها همچون کاهش تلفات و افزایش قابلیت اطمینان سیستم و نیز سادگی بهره‌برداری از آن‌ها نسبت به سایر راهکارهای کاهش تراکم همچون استفاده از ادوات FACTS می‌تواند این واحدها را به عنوان روشی کارا به منظور پایین آوردن تراکم شبکه معرفی نماید.

#### مراجع

1. X. Tang and G. Tang, "Multi-objective Planning for Distributed Generation in Distribution Network", DRPT Nanjing China, 6-9 April 2008.
2. D. Gautam and N. Mithulananthan, "Optimal DG placement in deregulated electricity market", Electric Power Systems Research 77 (2007) 1627-1636.
3. G. Carpinelli, G. Celli, S. Mocci, F. Pilo, D. Proto and A. Russo, "Multiobjective Programming for the Optimal Sizing and Siting of Power-Electronic Interfaced Dispersed Generators", IEEE Power Tech, 1-5 July 2007, pp. 443-448.
4. Y. Alinejad-Beromi, M. Sedighzadeh and M. Sadighi, "A Particle Swarm Optimization for Siting and Sizing of Distributed Generation in Distribution Network to Improve Voltage Profile and Reduce THD and Losses", UPEC 2008, 1-4 Sept., pp. 1-5.
5. V.H.M. Quezada, J.R. Abbad and T.G.S. Roman, "Assessment of Energy Distribution Losses for Increasing Penetration of Distributed Generation", IEEE Transactions on Power Systems, May 2006, Vol. 21, pp. 533-540.
6. L.F. Ochoa, A. Padilha-Feltrin and G.P. Harrison, "Evaluating Distributed Generation Impacts With a Multiobjective Index.", IEEE Transactions on Power Systems, July 2006, Vol. 21, pp. 1452-1458.
7. F. Sheidaei, M. Shadkam and M. Zarei, "Optimal Distributed Generation Allocation in Distribution Systems Employing Ant Colony to Reduce Losses", UPEC 2008, 1-4 Sept, pp:1-5.
8. K. Nara, Y. Hayashi, K. Ikeda and T. Ashizawa, "Application of tabu search to optimal placement of distributed generators," in Proc. 2001 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, pp. 918-923.