

## برنامه‌ریزی دینامیکی شبکه‌های توزیع با در نظر گرفتن منابع تولید پراکنده با استفاده از الگوریتم جستجوی هارمونی ترکیبی

بابک جدی، دانشجوی کارشناسی ارشد، پرویز رضانیپور، استادیار، وحید وحیدی‌نسب\*، استادیار

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه شهید بهشتی- پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور- تهران- ایران  
\*v\_vahidinasab@sbu.ac.ir

چکیده: در این مقاله مدلی جدید برای برنامه‌ریزی توسعه شبکه‌های توزیع با در نظر گرفتن منابع تولید پراکنده به‌عنوان گزینه‌ای جدید و اقتصادی با هدف بهینه‌سازی سود سرمایه‌گذار یا مالک شبکه ارائه می‌شود. جواب بهینه مدل پیشنهادی شامل مکان، ظرفیت و ضریب توان منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع است. همچنین بهترین زمان نصب این منابع، متغیر دیگر مدل پیشنهادی است که با استفاده از روش شبه‌دینامیکی به دست می‌آید. در مدل پیشنهادی بارهای شبکه توزیع به صورت واقعی در محاسبات بخش بار و قابلیت اطمینان در نظر گرفته می‌شوند. برای حل مدل پیشنهادی یک الگوریتم جستجوی هارمونی جدید با عنوان الگوریتم جستجوی هارمونی ترکیبی ارائه می‌شود. به منظور بررسی و تحلیل مدل ارائه شده و الگوریتم بهینه‌سازی پیشنهادی برای برنامه‌ریزی توسعه شبکه توزیع، از شبکه توزیع نمونه ۳۸ شینه استفاده و نتایج مربوط به آن گزارش شده است.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی توسعه شبکه‌های توزیع، منابع تولید پراکنده، الگوریتم جستجوی هارمونی، قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع.

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۲/۶/۱۳

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۲/۰۹/۰۵

نام نویسنده‌ی مسئول : وحید وحیدی‌نسب

نشانی نویسنده‌ی مسئول : تهران- تهرانپارس- دانشگاه شهید بهشتی- پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

## ۱- مقدمه

بارهای شبکه به صورت واقعی تأثیر قابل ملاحظه‌ای روی نتایج به دست آمده دارد. در واقع برای دستیابی به نتایج واقعی و البته دقیق‌تر باید مدل‌های واقعی بار را نیز در مطالعات در نظر گرفت.

در این مقاله مدلی جدید برای برنامه‌ریزی توسعه شبکه‌های توزیع در افق زمانی چند ساله با در نظر گرفتن منابع تولید پراکنده به عنوان گزینه‌ای جدید و اقتصادی برای تأمین بار ارائه می‌شود. هدف از مدل پیشنهادی پیشنهادی بیشینه کردن مقدار سود مالک شبکه با در نظر گرفتن مدل‌های واقعی بارهای شبکه در محاسبات پخش بار و قابلیت اطمینان است. جواب بهینه مسئله شامل مکان، ظرفیت، ضریب توان و نیز بهترین زمان ممکن برای نصب منابع تولید پراکنده در شبکه است. تمامی این جواب‌ها با استفاده از مدل پیشنهادی به دست می‌آیند به جز مورد آخر، یعنی بهترین زمان نصب این منابع که برای به دست آوردن آن از روش شبه‌دینامیکی<sup>۳</sup> [۷] استفاده می‌گردد.

برای حل مدل پیشنهادی از الگوریتم جستجوی هارمونی ترکیبی استفاده می‌شود. ویژگی بارز و حائز اهمیت الگوریتم جستجوی هارمونی ترکیبی پیشنهادی این است که مرحله تنظیم گام با استفاده از روش جابجایی و حرکت گرم‌های شب‌تاب<sup>۴</sup> در الگوریتم گرم شب‌تاب انجام می‌گیرد.

در ادامه این مقاله در بخش دوم مدل پیشنهادی تشریح می‌گردد. پس از آن در بخش سوم مدل سازی بار مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش چهارم الگوریتم جستجوی هارمونی ترکیبی ارائه می‌شود. بخش پنجم به پخش بار شبکه توزیع پرداخته و در بخش ششم برنامه‌ریزی دینامیکی شبکه‌های توزیع مطرح خواهد شد. نتایج اعمال مدل پیشنهادی روی شبکه نمونه در بخش هفتم آمده است. در نهایت و در بخش هشتم نیز نتیجه‌گیری مقاله ارائه شده است.

## ۲- تشریح مدل پیشنهادی

آنچه در این تحقیق برای برنامه‌ریزی منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع مدنظر قرار گرفته، بیشینه کردن مقدار سود مالک شبکه است. در اینجا فرض بر این است که شرکت‌های توزیع خود مالک و بهره‌بردار شبکه توزیع و نیز منابع تولید پراکنده هستند. بدین ترتیب، تابع هدف مسئله شامل دو بخش می‌باشد: درآمد مالک شبکه از فروش برق به مشترکین شبکه (*Revenue*) و هزینه‌های آن (*Cost*). بنابراین سود خالص مالک شبکه در طول دوره برنامه‌ریزی را می‌توان به صورت تابع هدف زیر مدل کرد:

$$\max Profit = (Revenue - Cost) \quad (1)$$

در ادامه هر یک از بخش‌های تابع هدف توضیح داده خواهند شد.

## ۲-۱- درآمد مالک شبکه

بخش نخست تابع هدف (یعنی *Revenue*)، درآمد مالک شبکه توزیع در طول دوره برنامه‌ریزی و به ازای فروش برق به مشترکین شبکه

با افزایش مصرف انرژی الکتریکی، شرکت‌های توزیع<sup>۱</sup> در پی توسعه شبکه خود برای تأمین این بار هستند. برای این منظور چندین راه حل وجود دارد. مثلاً ممکن است شرکت‌های توزیع مواردی از قبیل اضافه کردن یک فیدر جدید، اضافه کردن جبران‌ساز توان راکتیو و یا احداث یک پست جدید در منطقه را در دستور کار خود قرار دهند. انتخاب هر کدام از طرح‌های مذکور هزینه‌های سرمایه‌گذاری شبکه را افزایش داده و این امر منجر به افزایش بهای برق مصرفی مشتریان خواهد شد. برای شرکت‌های توزیع کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و تأمین برق مصرفی مشتریان در سطحی مطلوب از نظر قابلیت اطمینان اهمیت به‌سزایی دارد.

پیدایش منابع تولید کوچک موسوم به منابع تولید پراکنده<sup>۲</sup> در سیستم‌های توزیع، که می‌توان آن را نتیجه پیشرفت فناوری‌های تولید انرژی الکتریکی در صنعت برق دانست، گزینه جدیدی را پیش روی شرکت‌های توزیع برای توسعه شبکه خود قرار داده است. کاهش هزینه‌های شبکه یکی از مهم‌ترین مزایای استفاده از منابع تولید پراکنده است. سایر مزایای استفاده از این منابع عبارت از افزایش قابلیت اطمینان، کاهش تلفات، کاهش انتشار آلاینده‌های زیست محیطی و بهبود پروفیل ولتاژ است. همه این مزایا به شرطی قابل دسترسی است که یک برنامه‌ریزی صحیح و مناسب برای این منابع صورت گیرد.

منظور از برنامه‌ریزی دینامیکی منابع تولید پراکنده تعیین نوع، ظرفیت، مکان نصب بهینه و همچنین بهترین زمان ممکن برای نصب این منابع در شبکه توزیع با کم‌ترین هزینه ممکن است؛ به طوری که بار مورد نیاز شبکه تأمین شده و سایر محدودیت‌های فنی مربوط به آن نیز رعایت گردند [۱].

علاوه بر این در سیستم‌های قدرت تجدیدساختار یافته، شرکت‌های توزیع به عنوان مالک شبکه توزیع همواره به دنبال راهکارهایی برای برنامه‌ریزی شبکه تحت پوشش خود با هدف افزایش درآمد حاصل از فروش برق به مشترکین و کاهش هزینه‌ها می‌باشند؛ به گونه‌ای که بتوانند از یک طرف برق را با قیمتی ارزان و کیفیتی بالا در اختیار مشترکین خود قرار داده و از طرف دیگر همواره در صحنه رقابت بازار برق باقی بمانند. در مرجع [۲] نشان داده شده است که در مطالعات برنامه‌ریزی منابع تولید پراکنده، تعریف تابع هدف به صورت بیشینه کردن مقدار سود منجر به نتایج بهتر و مقرون به صرفه‌تری در مقایسه با کمینه کردن هزینه‌ها می‌شود. لذا در این مقاله نیز تابع هدف مسئله به صورت بیشینه کردن مقدار سود شرکت توزیع در نظر گرفته شده است.

در مطالعات مرسوم شبکه‌های توزیع مانند محاسبات پخش بار و قابلیت اطمینان، بارهای شبکه به صورت ثابت در نظر گرفته می‌شوند و این در حالی است که در عمل بارهای شبکه توزیع ثابت نبوده و وابسته به ولتاژ هستند. در مراجع [۳-۶] نشان داده شده است که مدل کردن

که  $C_u^{ENS}$  (\$/MWh) هزینه انرژی تأمین نشده<sup>۵</sup> در شین  $u$ ،  $ENS_u$  (MWh) مقدار انرژی تأمین نشده در شین  $u$  است. در این مقاله برای محاسبه انرژی تأمین نشده از روش ارائه شده در [۸] استفاده شده است.

### ۳-۲-۳- قیود مسئله

- مقدار ولتاژ شین‌ها بایستی در محدوده مجاز باشد. لذا داریم:

$$V_{\min} \leq V_i \leq V_{\max}, \quad \forall i \in N_T \quad (7)$$

که  $V_i$  ولتاژ شین  $i$ ،  $V_{\min}$  و  $V_{\max}$  به ترتیب بیشینه و کمینه ولتاژ مجاز شین‌ها برحسب پریونیت هستند.

- توانی عبوری از فیدهای شبکه نباید از حداکثر توان مجاز عبوری آن‌ها بیشتر شود:

$$S_l \leq S_l^{\max}, \quad \forall l \in N_L \quad (8)$$

که  $S_l$  مقدار توان انتقالی و  $S_l^{\max}$  بیش‌ترین توان انتقالی مجاز از خط  $l$  است. این محدودیت می‌تواند بر پایه ملاحظات حرارتی یا پایداری باشد. با رشد بار، توان عبوری از خطوط ممکن است از حد مجاز فراتر رود که در این صورت بایستی ظرفیت خط افزایش یابد.

- ظرفیت منابع تولید پراکنده و ضریب توان آن‌ها بایستی در محدوده مجاز باشند:

$$0 \leq S_k^{DG} \leq S_k^{DG_{\max}} \quad (9)$$

$$pf_{\min}^{DG} \leq pf_k^{DG} \leq pf_{\max}^{DG} \quad (10)$$

که  $S_k^{DG}$  بیش‌ترین ظرفیت قابل نصب منابع تولید پراکنده،  $pf_{\max}^{DG}$  و  $pf_{\min}^{DG}$  به ترتیب بیشینه و کمینه ضریب توان کاری منابع تولید پراکنده است.

- در برخی از شبکه‌های توزیع مجموع توان تولیدی منابع تولید پراکنده نباید از یک حد معینی بیش‌تر شود. این محدودیت به دلیل جلوگیری از شارش معکوس توان به سمت پست فوق توزیع است که ممکن در عملکرد تجهیزات حفاظتی اختلال ایجاد کند. در این مقاله برای مشارکت منابع تولید پراکنده در تأمین توان مشترکین محدودیت زیر در نظر گرفته می‌شود [۹]:

$$\sum_{k=1}^{N_{CB}} S_k^{DG} \times pf_k^{DG} \leq 0.6 \times \sum_{j=1}^{N_{SS}} P_j^{grid} + 0.3 \times \sum_{i=1}^{N_{LB}} P_i^D \quad (11)$$

- در برخی از شبکه‌های توزیع برای حداکثر تعداد منابع تولید پراکنده نیز محدودیت در نظر می‌گیرند [۹]. در این صورت قید دیگری به مسئله افزوده می‌شود مبنی بر اینکه تعداد منابع تولید پراکنده نباید از حد مجاز فراتر رود.

### ۳-۲-۴- مدل سازی بار

در شبکه‌های توزیع واقعی بارهای مصرفی ثابت نبوده بلکه وابسته به ولتاژ هستند. به منظور ایجاد یک مدل دقیق و دستیابی به نتایج بهتر و البته واقعی‌تر در نظر گرفتن مدل‌های واقعی بار در محاسبات پخش

است که با در نظر گرفتن رشد بار سالانه و بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Renue = 8760 \times \sum_{i=1}^{N_{LB}} \mu_i^c \times P_i^D \quad (2)$$

در رابطه اخیر  $N_{LB}$  تعداد شین‌های متصل به بار شبکه توزیع،  $\mu_i^c$  (\$/MWh) قیمت فروش برق به مشترکین،  $P_i^D$  (MW) بار متصل به شین  $i$  است.

### ۳-۲-۲- هزینه‌های مربوط به مالک شبکه

بخش دوم تابع هدف مسئله (یعنی  $Cost$ )، نشان‌دهنده کل هزینه‌های مالک شبکه توزیع است. این هزینه‌ها شامل سه بخش هزینه‌های سرمایه‌گذاری، هزینه‌های بهره‌برداری و هزینه قابلیت‌اطمینان است:

$$Cost = ic + oc + rc \quad (3)$$

- هزینه‌های سرمایه‌گذاری شامل هزینه نصب ترانسفورماتورهای جدید در پست، هزینه نصب منابع تولید پراکنده و هزینه افزایش ظرفیت فیدهای شبکه است:

$$ic = \left( \frac{d(1+d)^n}{(1+d)^n - 1} \right) \left( \sum_{t=1}^{N_{SS}} \sum_{j=1}^{N_T} C_{i,j}^T + \sum_{k=1}^{N_{CB}} C_{inv}^{DG} \times S_k^{DG} \right) + \sum_{l=1}^{N_{LD}} C_{upg}^F \times L_l \quad (4)$$

که  $N_{SS}$  تعداد پست‌های موجود،  $N_T$  تعداد ترانسفورماتورهای مورد نیاز برای نصب،  $C_{i,j}^T$  (\$/MWh) هزینه نصب ترانسفورماتور  $j$  در پست  $i$ ،  $N_{CB}$  تعداد شین‌های کاندید نصب منابع تولید پراکنده،  $S_k^{DG}$  (MVA) ظرفیت منبع تولید پراکنده نصب‌شده روی شین  $k$ ،  $n$  طول عمر پروژه،  $d$  نرخ بهره،  $N_{FD}$  تعداد فیدهایی که باید افزایش ظرفیت یابند،  $C_{upg}^F$  (\$/km) هزینه افزایش ظرفیت خطوط و  $L_l$  (km) طول خط  $l$  است.

- هزینه‌های بهره‌برداری شامل هزینه خرید برق از شبکه انتقال و هزینه بهره‌برداری منابع تولید پراکنده است:

$$oc = 8760 \times \left( \sum_{j=1}^{N_{SS}} \mu_j^g \times P_j^{grid} + \sum_{i=1}^{N_{CB}} C_{O}^{DG} \times S_i^{DG} \times pf_i^{DG} \right) \quad (5)$$

که  $\mu_j^g$  (\$/MWh) قیمت خرید برق از شبکه در پست  $j$ ،  $P_j^{grid}$  (MW) توان وارد شده از پست  $j$ ،  $C_{O}^{DG}$  (\$/MWh) هزینه بهره‌برداری منابع تولید پراکنده و  $pf_i^{DG}$  ضریب توان منبع تولید پراکنده متصل به شین  $i$  است.

- هزینه قابلیت‌اطمینان یا هزینه قطعی برق مشترکین شامل هزینه‌ای است که مالک شبکه توزیع در ازای قطع برق مشترکین پرداخت می‌کند. این قطعی‌ها در اثر وقوع خطاهای مختلف در تجهیزات شبکه ایجاد می‌شوند. حضور منابع تولید پراکنده در شبکه تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای روی قطع برق مشترکین و در نتیجه قابلیت‌اطمینان شبکه دارد.

$$rc = \sum_{u=1}^{N_{LB}} C_u^{ENS} \times ENS_u \quad (6)$$

مرحله اول: پس از مشخص نمودن تابع هدف و قیود مربوطه، پارامترهای الگوریتم تعیین می‌شوند. پارامترهای الگوریتم عبارت‌اند از: تعداد متغیرها ( $M$ ) و دامنه تغییرات هر متغیر، اندازه حافظه هارمونی ( $HMS$ )، نرخ احتساب حافظه ( $HMCR$ )، نرخ تنظیم گام ( $PAR$ )، طول پهنای باند ( $BW$ ) و حداکثر تعداد جستجو ( $NI$ ).

مرحله دوم: حافظه هارمونی با تولید بردارهایی تصادفی به تعداد  $HMS$  پر می‌شود. هر بردار شامل  $M$  مؤلفه و نشان دهنده یک جواب مسئله است. ماتریس حافظه و بردارهای هارمونی متناظر با جمعیت اولیه در بقیه الگوریتم‌های فرا ابتکاری هستند.

مرحله سوم: در این مرحله یک بردار هارمونی جدید  $x' = (x'_1, x'_2, \dots, x'_M)$  تولید می‌شود. برای تولید این بردار از سه قانون زیر استفاده می‌شود:

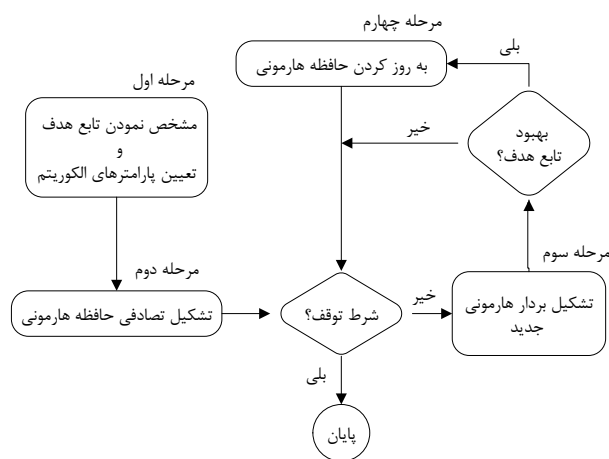
الف) انتخاب از حافظه: هر مؤلفه بردار هارمونی جدید با در نظر گرفتن مقدار  $HMCR$  از مؤلفه متناظر یکی از بردارهای موجود در حافظه انتخاب می‌شود. مقدار  $HMCR$  که عددی بین صفر و یک است، احتمال انتخاب از حافظه را نشان می‌دهد.

ب) تنظیم گام: هر مؤلفه انتخاب شده از حافظه برای تغییر به اندازه  $x'_i \pm rand() \times BW$  امتحان می‌شود. این کار با استفاده از پارامتر  $PAR$  که به‌عنوان احتمال تنظیم گام تعریف می‌گردد، انجام می‌گیرد.

ج) تولید تصادفی: هر مؤلفه‌ای از بردار جدید که از حافظه انتخاب نشده باشد، به‌صورت تصادفی در محدوده بالا و پایین آن تولید می‌شود. در واقع احتمال تولید تصادفی برای یک متغیر  $I-HMCR$  است.

مرحله چهارم: مقدار تابع هدف برای بردار جدید ارزیابی می‌شود. اگر بردار جدید به‌دست آمده مقدار بهینه‌تری برای تابع هدف در مقایسه با بدترین بردار موجود در حافظه به‌دست دهد، به جای آن در حافظه هارمونی قرار خواهد گرفت.

مرحله پنجم: تکرار مراحل ۳ و ۴ تا اینکه قید خاتمه ارضا شود. شکل (۱) مراحل اعمال الگوریتم جستجوی هارمونی برای حل یک مسئله را نشان می‌دهد.



شکل (۱): مراحل مختلف الگوریتم جستجوی هارمونی

بار امری ضروری است. عموماً بارهای یک شبکه توزیع به سه نوع خانگی، صنعتی و تجاری تقسیم‌بندی می‌شوند. توان مصرفی هر نقطه بار از روابط زیر قابل محاسبه است:

$$P_i^D = P_{0i}^D \times V_i^\alpha \quad (12)$$

$$Q_i^D = Q_{0i}^D \times V_i^\beta \quad (13)$$

که  $P_i^D$  و  $Q_i^D$  توان حقیقی و راکتیو متصل به شین  $i$ ،  $P_{0i}^D$  و  $Q_{0i}^D$  توان حقیقی و راکتیو نامی و پیش‌بینی شده متصل به شین  $i$ ،  $\alpha$  و  $\beta$  ضریب تغییر بار حقیقی و بار راکتیو هستند. در مطالعات برنامه‌ریزی معمولاً بارها را ثابت گرفته و مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  را صفر در نظر می‌گیرند. در این مقاله مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  برای انواع بارها در جدول (۱) آمده است [۳].

در مطالعات برنامه‌ریزی دینامیکی شبکه توزیع، رشد سالیانه بار نیز بایستی در نظر گرفته شود. با در دست داشتن مقدار بار پیش‌بینی شده برای سال اول شروع برنامه‌ریزی، بار سال‌های مختلف از روابط زیر به‌دست می‌آید:

$$P_{i,t}^D = P_{0i}^D \times V_i^\alpha \times (1+\tau)^{t-1} \quad (14)$$

$$Q_{i,t}^D = Q_{0i}^D \times V_i^\beta \times (1+\tau)^{t-1} \quad (15)$$

که  $P_{i,t}^D$  و  $Q_{i,t}^D$  توان حقیقی و راکتیو شین  $i$  در سال  $t$  و  $\tau$  نرخ رشد سالانه بار است.

## ۴- پیاده‌سازی الگوریتم جستجوی هارمونی

### ۴-۱- مروری بر الگوریتم جستجوی هارمونی

در چهار دهه گذشته الگوریتم‌های زیادی برای حل مسائل بهینه‌سازی مهندسی ارائه شده‌اند که بیش‌تر آن‌ها براساس روش‌های برنامه‌ریزی عددی خطی و غیرخطی هستند. الگوریتم‌های بهینه‌سازی عددی در یافتن جواب بهینه سراسری در مدل‌های ساده و ایده‌آل مفیدند. اما در مواجهه با مسایل بهینه‌سازی واقعی و پیچیده محدودیت‌هایی داشته و کارایی لازم را ندارد. مشکلات محاسباتی موجود در مسایل بهینه‌سازی مهندسی، محققین را وادار به استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری مبتنی بر شبیه‌سازی جهت حل مسائل بهینه‌سازی نمود. در الگوریتم فرا ابتکاری جستجوی هارمونی<sup>۵</sup> (HSA) که در سال ۲۰۰۱ ارائه شده است [۱۰]، برای حل مسائل بهینه‌سازی از فرآیند پداده‌نوازی در موسیقی الهام گرفته شده است.

در الگوریتم جستجوی هارمونی برای بهینه‌سازی مسئله مورد نظر، فرآیند ۵ مرحله‌ای زیر طی می‌شود:

جدول (۱): مدل‌های مختلف بار و ضرایب تغییر مرتبط با آن‌ها

نوع بار	$\alpha$	$\beta$
بار صنعتی	۰/۱۸	۶
بار خانگی	۰/۹۲	۴/۰۴
بار تجاری	۱/۵۱	۳/۴

## ۲-۴- الگوریتم جستجوی هارمونی ترکیبی

جدول (۲): شبه کد ایجاد بردار هارمونی جدید در الگوریتم جستجوی هارمونی ترکیبی

```

for each  $i \in [1, M]$  do
  if  $r_1 < HMCR$  then /* memory consideration */
     $a = \text{int}(1 + (HMS - 1)r_2)$ 
     $x_i^{new} = HM(a, i)$ 
  if  $r_3 < PAR$  then /* pitch adjustment */
     $s = \|x_i^{best} - x_i^{new}\|$ 
     $x_i^{new} = x_i^{new} + \beta_0 \exp(-\gamma s^2)(x_i^{best} - x_i^{new}) + \phi(r_4 - \frac{1}{2})$ 
  end if
else /* random generation */
   $x_i^{new} = LB_i + (UB_i - LB_i)r_5$ 
end if
end for
    
```

## ۳-۴- کدگذاری متغیر تصمیم

برای بهینه‌سازی یک مسئله توسط الگوریتم جستجوی هارمونی اولین نکته تبدیل متغیرهای تصمیم<sup>۷</sup> مسئله در قالب کدهای قابل استفاده در طول اجرای الگوریتم است. معمولاً در مسایل مربوط به برنامه‌ریزی منابع تولید پراکنده متغیر تصمیم به صورت محل نصب و اندازه هر واحد تولید پراکنده است.

در این مقاله بردار هارمونی از دو قسمت تشکیل یافته است. طول هر قسمت برابر با تعداد شین‌های کاندید نصب منابع تولید پراکنده است. بخش اول بردار برای تعیین اندازه منابع تولید پراکنده استفاده می‌شود. مقادیر آن نشان‌دهنده اندازه منبع تولید پراکنده قابل نصب روی آن شین است. در این روش عدد صفر به معنای این است که روی این شین هیچ منبع تولید پراکنده‌ای نصب نمی‌شود. بخش دوم بردار هارمونی برای تعیین ضریب توان منابع تولید پراکنده استفاده می‌شود. مقادیر این قسمت اعداد صحیح می‌باشند که هر عدد نشان‌دهنده ضریب توانی است که منبع تولید پراکنده نصب شده روی آن شین بایستی در آن ضریب توان کار کند. شکل (۲) ساختار پیشنهادی برای بردار هارمونی را نشان می‌دهد.

## ۵- پخش بار شبکه توزیع

یکی از مهم‌ترین و وسیع‌ترین ابزار تجزیه و تحلیل شبکه توزیع، تجزیه و تحلیل پخش بار است. تجزیه و تحلیل پخش بار ابزاری اساسی و مهم در بررسی هر سیستم قدرتی، چه در طراحی و چه در بهره‌برداری می‌باشد. بهینه‌سازی یک سیستم قدرت نیازمند حل متوالی مسئله پخش بار است. بنابراین روشی که برای پخش بار استفاده می‌شود باید با نیرومندی و سرعت همگرایی بالا صورت گیرد.

در الگوریتم جستجوی هارمونی ترکیبی یک روش جدید برای انجام مرحله تنظیم گام ارائه شده است. این روش براساس روشی است که کرم‌های شب‌تاب در الگوریتم کرم شب‌تاب به سمت یکدیگر حرکت می‌کنند.

الگوریتم کرم شب‌تاب یکی دیگر از الگوریتم‌های فرا ابتکاری است که برای حل مسائل بهینه‌سازی معرفی شده است [۱۱]. در این الگوریتم ابتدا تعدادی کرم شب‌تاب مصنوعی به‌طور تصادفی در دامنه مسئله پخش می‌شوند. سپس به هر یک از این کرم‌های شب‌تاب یک شدت نور مناسب نسبت داده می‌شود. میزان شدت نور هر کرم شب‌تاب متناسب با میزان بهینگی تابع هدف در نقطه‌ای است که کرم شب‌تاب در آن واقع است. در مرحله بعد کرم‌های شب‌تاب کم‌نورتر مرتباً به سوی کرم‌های پر نورتر جذب می‌شوند. با افزایش فاصله بین دو کرم شب‌تاب میزان جابجایی آن‌ها کمتر خواهد شد. علاوه بر این هر کرم شب‌تاب یک حرکت تصادفی نیز خواهد داشت. با فرض اینکه کرم شب‌تاب  $j$  پر نورتر از کرم شب‌تاب  $i$  باشد، میزان حرکت کرم شب‌تاب  $i$  از رابطه زیر به دست می‌آید:

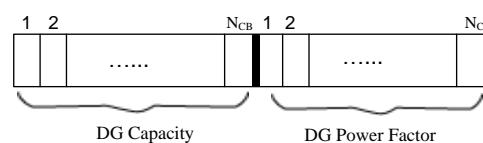
$$x_i = x_i + \beta_0 \exp(-\gamma s_{ij}^2)(x_j - x_i) + \phi(\text{rand} - \frac{1}{2}) \quad (16)$$

که  $\beta_0$  ضریب جذابیت بین دو کرم شب‌تاب،  $\gamma$  ضریب جذب نور توسط محیط،  $\phi$  ضریب بردار جابجایی تصادفی و  $s_{ij}$  فاصله اقلیدسی بین دو کرم شب‌تاب است که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$s_{ij} = \|x_i - x_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^M (x_i^k - x_j^k)^2} \quad (17)$$

در الگوریتم پیشنهادی هر مؤلفه‌ای که از حافظه هارمونی انتخاب شده و برای تنظیم گام برگزیده می‌شود، به جای تغییر تصادفی که در الگوریتم هارمونی استاندارد انجام می‌گیرد، از روش جابجایی کرم‌های شب‌تاب برای تغییر آن استفاده می‌شود. برخلاف الگوریتم کرم شب‌تاب که همه کرم‌ها به سمت یکدیگر جابجا می‌شوند، در الگوریتم پیشنهادی مؤلفه انتخاب شده از حافظه به سمت بهترین بردار هارمونی موجود در حافظه حرکت خواهد کرد. البته میزان جابجایی آن بستگی به فاصله آن از بهترین بردار دارد. علاوه بر این مؤلفه انتخاب شده یک جابجایی تصادفی نیز خواهد داشت.

جزئیات نحوه ایجاد بردار هارمونی جدید در الگوریتم جستجوی هارمونی ترکیبی پیشنهادی در جدول (۲) مشاهده می‌شود.



شکل (۲): ساختار پیشنهادی برای کدگذاری بردار هارمونی

## ۶-۱- روش شبه‌دینامیکی برای برنامه‌ریزی دینامیکی

### شبکه توزیع

روش شبه‌دینامیکی برای حل مسئله برنامه‌ریزی دینامیکی شبکه توزیع از دو مرحله تشکیل یافته است [۷]. در مرحله اول با در نظر گرفتن بار سال آخر، مسئله برای این سال حل می‌شود. در واقع مرحله اول همان رویکرد استاتیکی است. جواب‌های به‌دست آمده در این مرحله نشان‌دهنده تجهیزاتی است که در طول دوره برنامه‌ریزی بایستی به شبکه اضافه‌شده یا توسعه یابند. در مرحله دوم با شروع از سال اول مسئله حل می‌گردد. در این مرحله، از بین جواب‌هایی که در مرحله اول به‌دست آمده‌اند (یعنی تجهیزاتی که بایستی برای تأمین بار سال آخر به شبکه اضافه‌شده یا توسعه یابند) برای حل مسئله استفاده می‌شود. با تأثیر رشد بار برای تمامی سال‌ها ما بین سال اول و سال آخر مسئله حل می‌گردد. پس از پایان مرحله دوم مجموعه‌ای از تجهیزاتی که در هر سال باید به سیستم اضافه شوند یا از بین تجهیزات موجود توسعه یابند، به‌دست می‌آید.

### ۷- شبیه‌سازی

در ادامه مدل پیشنهادی برای برنامه‌ریزی توسعه روی یک شبکه توزیع نمونه ۳۸ شینه فشار متوسط مورد ارزیابی قرار گرفته است [۳]. بارهای این شبکه ترکیبی از بارهای خانگی، تجاری و صنعتی هستند. در سال شروع برنامه‌ریزی بار کل شبکه ۴۵۰۴۵ MW و ۲/۵ MVAR بوده که با در نظر گرفتن رشد سالانه ۸٪ در سال آخر برنامه‌ریزی به ۵۵۰۳۲ MW و ۳/۴۰۱۲ MVAR افزایش یافته است. شکل (۳) شمایی از این شبکه را نشان می‌دهد. ظرفیت ترانسفورماتور موجود در پست این شبکه ۵ MVA است. برای افزایش ظرفیت پست دو ترانسفورماتور سه فاز ۲ MVA هر کدام با هزینه نصب ۰/۰۵ M\$ موجود است. ضریب توان کاری ترانسفورماتورهای پست ۰/۸۵ فرض می‌شود.

شین‌های کاندید نصب منابع تولید پراکنده روی شکل مشخص شده‌اند. ظرفیت این منابع به‌صورت مضرب صحیحی از ۱۰۰ KVA و بیش‌ترین ظرفیت قابل نصب ۲۰۰۰ KVA است. فرض می‌شود این منابع قادرند در هر یک از ضریب توان‌های ۰/۸۵، ۰/۹، ۰/۹۵ و ۱ کار کنند. به‌دلیل محدودیت این شبکه نمی‌توان بیش از ۵ منبع تولید پراکنده در یک سال در حال کار باشند [۹]. اطلاعات مربوط به هزینه این منابع و سایر پارامترهای این شبکه در جداول (۳) و (۴) آورده شده است.

برای این شبکه نرخ خرابی خطوط ۰/۱۲ f/km در نظر گرفته شده است. بقیه تجهیزات شبکه توزیع ۱۰۰٪ قابل اطمینان فرض می‌شوند. مدت زمان لازم برای مکان‌یابی خطا و عملکرد ادوات کلیدزنی نیز ۳ ساعت در نظر گرفته شده است.

شبکه‌های توزیع به‌دلیل بازه وسیع مقادیر مقاومت‌ها و اندوکتانس‌ها و همچنین ساختار شعاعی در ردیف شبکه‌های با شرایط بد قرار می‌گیرند. روش‌های مختلفی برای پخش بار این شبکه‌ها در مراجع و مقالات ارائه شده است. در این تحقیق از پخش بار مبتنی بر روش جاروب رفت و برگشت<sup>۸</sup> استفاده شده است [۱۲].

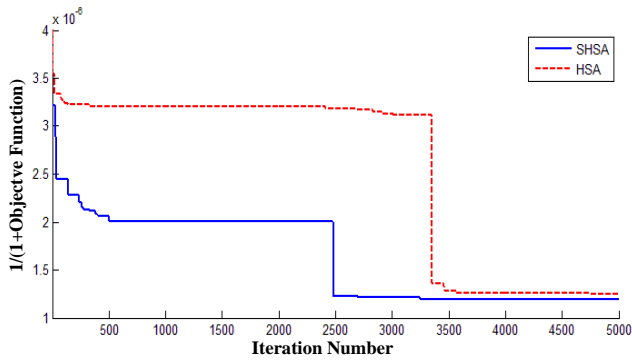
در این روش با شروع از شین انتهایی شبکه و اختصاص عددی دلخواه (معمولاً ولتاژ نامی شبکه) به ولتاژ این شین، به سمت پست اصلی حرکت کرده، ولتاژ و جریان بقیه شین‌ها و جریان خطوط به‌دست می‌آید (جاروب رفت). سپس با اختصاص ولتاژ نامی به اولین شین (که به پست اصلی متصل است) و با استفاده از جریان‌های محاسبه‌شده خطوط در مرحله جاروب رفت، ولتاژ جدید برای سایر شین‌ها به‌دست می‌آید (جاروب برگشت). این فرآیند تا جایی که مقدار به‌دست آمده برای ولتاژ شین‌ها از دقت کافی برخوردار باشد ادامه می‌یابد.

لازم به ذکر است که در این مقاله منابع تولید پراکنده به‌صورت PQ ثابت و با یک ضریب توان ثابت و مشخص در محاسبات پخش بار مدل می‌شوند [۱۳].

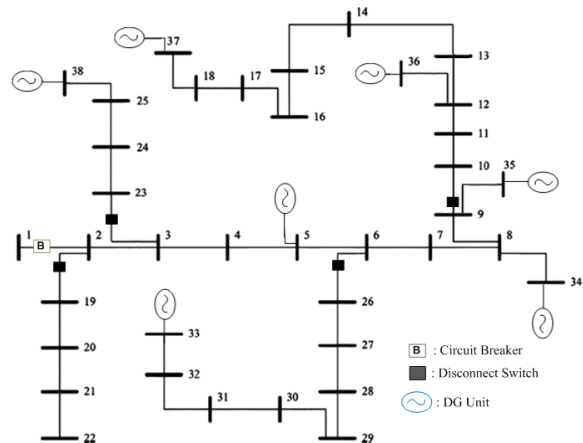
## ۶- برنامه‌ریزی دینامیکی شبکه توزیع

به‌طور کلی حل مسئله برنامه‌ریزی توسعه شبکه‌های توزیع با دو رویکرد انجام می‌پذیرد:

- رویکرد استاتیکی: در این رویکرد یک افق زمانی در نظر گرفته‌شده، مقدار بار برای سال آخر دوره برنامه‌ریزی به‌دست آمده و مسئله برای این سال حل می‌گردد. هدف مسئله تعیین نوع، محل و ظرفیت تجهیزات لازم برای نصب یا توسعه تجهیزات موجود در شبکه برای تأمین بار در سال آخر است. همه تجهیزات مشخص‌شده، در اولین سال شروع برنامه‌ریزی در شبکه نصب و راه‌اندازی شده و یا از بین تجهیزات موجود توسعه می‌یابند.
  - رویکرد دینامیکی: در این رویکرد هدف مسئله نه تنها تعیین نوع، محل و ظرفیت تجهیزات لازم برای نصب یا توسعه تجهیزات موجود در شبکه است، بلکه بهترین زمان ممکن برای نصب یا توسعه نیز مشخص می‌گردد. در این رویکرد با در نظر گرفتن رشد بار سالیانه در هر سال، کل دوره برنامه‌ریزی به چند زیر دوره تقسیم شده و مسئله برای هر زیر دوره با در نظر گرفتن تجهیزات نصب شده یا توسعه داده شده در دوره‌های قبل، حل می‌شود.
- رویکرد دینامیکی به‌دلیل وجود وابستگی بین سال‌های مختلف برنامه‌ریزی، بسیار پیچیده‌تر و مشکل‌تر از رویکرد استاتیکی است. ولی در عین حال جواب به‌دست آمده بسیار به‌صرفه‌تر است. در این مقاله ما از رویکرد دینامیکی و براساس روش شبه‌دینامیک برای حل مسئله برنامه‌ریزی توسعه شبکه توزیع با در نظر گرفتن منابع تولید پراکنده استفاده خواهیم کرد.



شکل (۴): مشخصه همگرایی دو الگوریتم برای حل مسئله در سال اول برنامه ریزی



شکل (۳): شبکه ۳۸ شینه مورد مطالعه

جدول (۳): قیمت فروش برق و هزینه انرژی تأمین نشده برای بارهای مختلف [۱۴, ۲]

نوع بار	قیمت فروش برق (C/kWh)	هزینه انرژی تأمین نشده (\$/kWh)
صنعتی	۷	۱۱/۰۵
خانگی	۱۱/۸	۰/۱۰۵
تجاری	۱۰/۴	۳/۶

جدول (۴): پارامترهای فنی و اقتصادی شبکه مورد مطالعه [۱۵]

پارامتر	مقدار
طول عمر پروژه	۳۰ سال
طول دوره برنامه ریزی	۵ سال
نرخ بهره	۱۲/۵٪
انحراف ولتاژ مجاز شین ها	۵٪
هزینه نصب منابع تولید پراکنده	۰/۵ (\$/MVA)
هزینه بهره برداری منابع تولید پراکنده	۵۰ (\$/MW)
هزینه ارتقای خط	۰/۱۵ (\$/km)
قیمت خرید برق از شبکه	۷۰ (\$/MWh)

جدول (۵): نتایج به دست آمده از اجرای الگوریتم ها

روش بهینه سازی	بهترین سود (M\$)	متوسط سود (M\$)	بدترین سود (M\$)
الگوریتم جستجوی هارمونی ترکیبی	۳/۶۶۷۰	۳/۵۳۰۶	۳/۴۵۵۸
الگوریتم جستجوی هارمونی استاندارد	۳/۶۲۷۵	۳/۴۶۰۰	۳/۲۸۹۶

در جدول (۶) نتایج حاصل از حل مسئله برنامه ریزی با استفاده از الگوریتم پیشنهادی با جزئیات بیشتری نشان داده شده است. همچنین در این جدول نتایج مربوط به برنامه ریزی شبکه بدون در نظر گرفتن منابع تولید پراکنده برای مقایسه آورده شده است. جدول (۷) نیز ظرفیت منابع تولید پراکنده قابل نصب روی شین های کاندید در هر سال و ضریب توان کاری آن ها را نشان می دهد.

همانطور که ملاحظه می شود، برنامه ریزی شبکه توزیع با در نظر گرفتن منابع تولید پراکنده موجب کاهش قابل ملاحظه ای در هزینه های شبکه شده لذا سود نسبت به حالت برنامه ریزی بدون در نظر گرفتن منابع تولید پراکنده افزایش چشم گیری یافته است. یکی از تأثیرات حضور منابع تولید پراکنده کاهش میزان بارگذاری خطوط و در نتیجه کاهش هزینه های مربوط به افزایش ظرفیت خطوط است. در حالت برنامه ریزی بدون منابع تولید پراکنده در طول پنج سال دوره برنامه ریزی ۲۱ خط شبکه نیاز به افزایش ظرفیت دارند. این عدد در حالت برنامه ریزی در حضور منابع تولید پراکنده به تعداد ۸ خط کاهش می یابد.

یکی دیگر از مزایای برنامه ریزی شبکه توزیع با مشارکت منابع تولید پراکنده، کاهش توان خریداری شده از شبکه انتقال و در نتیجه کاهش هزینه خرید برق است. همچنین در این حالت نیازی به نصب ترانسفورماتور و افزایش ظرفیت پست نیست، ولی در حالت برنامه ریزی بدون منابع تولید پراکنده با توجه به افزایش بار بایستی یک ترانسفورماتور ۲ MVA در سال دوم برنامه ریزی در پست نصب کرد. حضور منابع تولید پراکنده تأثیر قابل ملاحظه ای روی تلفات شبکه توزیع نیز دارد که در شکل (۵) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود تلفات شبکه در طول سال های برنامه ریزی کاهش قابل ملاحظه ای داشته است. از مزایای دیگر مشارکت منابع تولید پراکنده در تأمین بار مشترکین، افزایش قابلیت اطمینان شبکه است. شکل (۶) تأثیر منابع تولید پراکنده روی قابلیت اطمینان شبکه مورد

ابتدا برای نشان دادن کارایی الگوریتم جستجوی هارمونی پیشنهادی، مسئله را با استفاده از الگوریتم جستجوی هارمونی ترکیبی و الگوریتم جستجوی هارمونی استاندارد حل می کنیم. هر کدام از الگوریتم ها ۲۰ مرتبه به صورت مستقل اجرا و نتایج در جدول (۵) آورده شده است. مشخصه همگرایی دو الگوریتم برای حل مسئله در سال اول دوره برنامه ریزی در شکل (۴) رسم شده است. همانطور که پیداست الگوریتم پیشنهادی عملکرد و همگرایی بهتری نسبت به الگوریتم استاندارد دارد.

جدول (۶): نتایج برنامه‌ریزی شبکه مورد مطالعه - هزینه‌ها و درآمدهای سرمایه‌گذاری

برنامه‌ریزی با در نظر گرفتن منابع تولید پراکنده					برنامه‌ریزی بدون منابع تولید پراکنده					درآمد و هزینه‌ها (M\$)
سال ۵	سال ۴	سال ۳	سال ۲	سال ۱	سال ۵	سال ۴	سال ۳	سال ۲	سال ۱	
۱/۵۱۲۹	۱/۲۴۳۵	۰/۶۱۳۳	۱/۱۰۸۲	۰/۸۳۷۹	۰/۴۶۳۱	۰/۲۹۹۳	-۲/۸۰۱۷	-۱/۶۷	-۰/۶۳۱۵	سود سالانه
۴/۸۱۱۲	۴/۴۵۶۸	۴/۱۳۳۷	۳/۸۱۲۷	۳/۵۴۷۶	۴/۵۳۰۲	۴/۲۱۹۰	۳/۹۲۷۶	۳/۶۵۴۹	۳/۴	درآمد سالانه
۳/۲۹۸۲	۳/۲۱۳۳	۳/۵۲۰۴	۲/۷۰۴۵	۲/۷۰۹۷	۴/۰۶۷۱	۳/۹۱۹۷	۶/۷۲۹۳	۵/۳۲۴۹	۴/۰۳۱۵	کل هزینه‌های سالانه
۱/۴۹۶۸	۱/۴۰۷۱	۱/۲۹۱۰	۱/۳۴۱۳	۱/۱۵۲۷	۳/۳۳۲۸	۳/۰۸۹۲	۲/۸۶۳۱	۲/۶۵۳۳	۲/۴۵۸۸	هزینه خرید برق
-	-	-	-	-	-	-	-	۰/۰۰۶۴	-	هزینه نصب ترانسفورماتور
۰/۰۱۹۳	۰/۰۱۲۹	۰/۰۳۲۲	۰	۰/۱۵۴۵	-	-	-	-	-	هزینه نصب تولید پراکنده
۱/۳۳۸۱	۱/۲۲۴۲	۱/۱۴۵۴	۰/۹۵۹۲	۰/۹۵۹۲	-	-	-	-	-	هزینه بهره‌برداری تولید پراکنده
۰/۰۶۷۵	۰/۲۲۰۵	۰/۷۲۹۰	۰/۱۰۵۰	۰/۱۶۶۵	۰/۲۹۲۵	۰/۴۲۱۵	۲/۴۸۷۵	۲/۳۱۴۵	۱/۲۴۸	هزینه ارتقای خط
۰/۳۷۶۵	۰/۳۴۸۶	۰/۳۲۲۸	۰/۲۹۸۹	۰/۲۷۶۸	۰/۴۴۱۸	۰/۴۰۹۰	۰/۳۷۸۷	۰/۳۵۰۷	۰/۳۲۴۷	هزینه انرژی تأمین نشده
۳/۶۶۷۰					-۳/۴۰۸۴					کل سود دوره برنامه‌ریزی

مطالعه را نشان می‌دهد. مطابق با این شکل قابلیت‌اطمینان شبکه توزیع در حضور منابع تولید پراکنده بهبود یافته است.

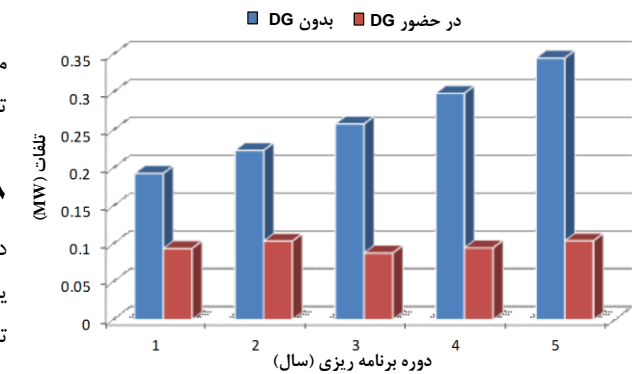
### ۸- نتیجه‌گیری

در این مقاله مدلی جدید برای برنامه‌ریزی توسعه شبکه‌های توزیع در یک افق زمانی چند ساله ارائه شد. در مدل پیشنهادی منابع تولید پراکنده به‌عنوان گزینه‌ای جدید و اقتصادی برای توسعه شبکه مطرح شدند. مدل پیشنهادی با هدف بیشینه‌کردن مقدار سود مالک شبکه به دنبال پیدا کردن ظرفیت و مکان بهینه نصب منابع تولید پراکنده در شبکه است. متغیر دیگر بهینه‌سازی در مدل پیشنهادی زمان نصب این منابع در شبکه است که با استفاده از روش شبه‌دینامیکی به دست می‌آید. بارهای شبکه به صورت واقعی در محاسبات پخش بار مدل شدند. همچنین در محاسبه هزینه انرژی تأمین نشده شبکه مدل‌های مختلف بار لحاظ گردید.

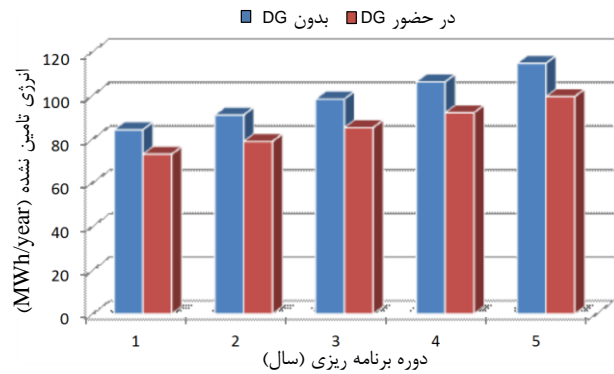
یک الگوریتم جستجوی هارمونی ترکیبی نیز برای حل مدل ارائه شد. در الگوریتم جستجوی هارمونی ترکیبی مرحله تنظیم گام با استفاده از روش حرکت کرم‌های شبتاب در الگوریتم کرم شبتاب انجام می‌گیرد. مدل پیشنهادی برای برنامه‌ریزی یک شبکه ۳۸ شینه مورد استفاده و ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل حاکی از عملکرد بهتر الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم جستجوی هارمونی استاندارد است.

### ضمیمه

اطلاعات مربوط به شبکه توزیع نمونه ۳۸ شینه فشار متوسط در مقدار توان پایه یک مگاوات در جدول (۸) ارائه شده است.



شکل (۵): تلفات شبکه مورد مطالعه در دو حالت برنامه‌ریزی



شکل (۶): قابلیت‌اطمینان شبکه مورد مطالعه در دو حالت برنامه‌ریزی

جدول (۷): نتایج برنامه‌ریزی شبکه مورد مطالعه - ظرفیت (MW) و ضریب توان تولید پراکنده

سال	شین‌های کاندید نصب منابع تولید پراکنده					
	شین ۵	شین ۲۳	شین ۳۴	شین ۳۵	شین ۳۶	شین ۳۸
سال ۱	۰	۰/۱	۰/۵	۰	۱/۵	۰/۱
سال ۲	۰	۰/۱	۰/۵	۰	۱/۵	۰/۲
سال ۳	۰	۰/۶	۰/۵	۰	۱/۵	۰/۲
سال ۴	۰	۰/۷	۰/۵	۰	۱/۵	۰/۳
سال ۵	۰	۰/۹	۰/۵	۰	۱/۶	۰/۳
ضریب توان	-	۰/۸۵	۰/۹۵	-	۰/۹	۰/۹۵



distributed generation planning," *Electrical Power and Energy Systems* vol. 33 pp. 1243-1250, 2011.

- [5] A. M. El-Zonkoly, "Optimal placement of multi-distributed generation units including different load models using particle swarm optimisation," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 5, pp. 760-771, 2011.
- [6] S. Abdi and K. Afshar, "Application of IPSO-Monte Carlo for optimal distributed generation allocation and sizing," *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 44 pp. 786-797, 2013.
- [7] I. J. Ramirez-Rosado and T. Giinen, "Pseudo-dynamic planning for expansion of power distribution systems," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 6, pp. 245-254, February 1991.
- [8] I.-S. Bae and J.-O. Kim, "Reliability Evaluation of Distributed Generation Based on Operation Mode," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 22, pp. 785-790, May 2007.
- [9] M. F. Shaaban, Y. M. Atwa, and E. F. El-Saadany, "DG Allocation for Benefit Maximization in Distribution Networks," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, pp. 639 - 649, May 2013.
- [10] K. Lee and Z. Geem, "A new meta-heuristic algorithm for continuous engineering optimization: harmony search theory and practice," *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, vol. 194, pp. 3902-3933, 2005.
- [11] X.-S. Yang, "Firefly Algorithms for Multimodal Optimization," *Stochastic Algorithms: Foundations and Applications, SAGA 2009, Lecture Notes in Computer Sciences.*, vol. 5792, pp. 169-178, 2009.
- [12] W. H. Kersting, *Distribution system modeling and analysis*. New York: CRC Press LLC, 2002.
- [13] E. Naderi, H. Seifi, and M. S. Sepasian, "A Dynamic Approach for Distribution System Planning Considering Distributed Generation," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 27, pp. 1313-1322, July 2012.
- [14] N. Khalesi, N. Rezaei, and M. R. Haghifam, "DG allocation with application of dynamic programming for loss reduction and reliability improvement," *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 33, pp. 288-295, 2011.
- [15] W. El-Khattam, Y. G. Hegazy, and M. M. A. Salama, "An Integrated Distributed Generation Optimization Model for Distribution System Planning," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 20, pp. 1158-1165, May 2005.

جدول (۸): اطلاعات شبکه توزیع نمونه

		امیدانس خطوط			بارها		
از	به	RP.u.	XP.U.	$S_L$	$P_{P.U.}$	$Q_{P.U.}$	$L_T$
۱	۲	۰/۰۰۰۵۷۴	۰/۰۰۰۲۹۳	۴/۶	۰/۱	۰/۰۶	خ
۲	۳	۰/۰۰۰۳۰۷	۰/۰۰۱۵۶۴	۴/۱	۰/۰۹	۰/۰۴	ص
۳	۴	۰/۰۰۲۲۷۹	۰/۰۰۱۱۱۶۱	۲/۹	۰/۱۲	۰/۰۸	ت
۴	۵	۰/۰۰۲۳۷۳	۰/۰۰۱۲۰۹	۲/۹	۰/۰۶	۰/۰۳	خ
۵	۶	۰/۰۰۰۵۱	۰/۰۰۴۴۰۲	۲/۹	۰/۰۶	۰/۰۲	ص
۶	۷	۰/۰۰۱۱۶۶	۰/۰۰۳۸۵۳	۱/۵	۰/۲	۰/۱	ت
۷	۸	۰/۰۰۴۴۳	۰/۰۰۱۴۶۴	۱/۰۵	۰/۲	۰/۱	ت
۸	۹	۰/۰۰۶۴۱۳	۰/۰۰۴۶۰۸	۱/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۲	ص
۹	۱۰	۰/۰۰۶۵۰۱	۰/۰۰۴۶۰۸	۱/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۲	ت
۱۰	۱۱	۰/۰۰۱۲۲۴	۰/۰۰۰۴۰۵	۱/۰۵	۰/۰۴۵	۰/۰۳	ت
۱۱	۱۲	۰/۰۰۲۳۳۱	۰/۰۰۰۷۷۱	۱/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۳۵	خ
۱۲	۱۳	۰/۰۰۹۱۴۱	۰/۰۰۷۱۹۲	۰/۵	۰/۰۶	۰/۰۳۵	ت
۱۳	۱۴	۰/۰۰۳۳۷۲	۰/۰۰۴۴۳۹	۰/۴۵	۰/۱۲	۰/۰۸	خ
۱۴	۱۵	۰/۰۰۳۶۸	۰/۰۰۳۲۷۵	۰/۳	۰/۰۶	۰/۰۱	ت
۱۵	۱۶	۰/۰۰۴۶۴۷	۰/۰۰۳۳۹۴	۰/۲۵	۰/۰۶	۰/۰۲	ص
۱۶	۱۷	۰/۰۰۸۰۲۶	۰/۰۱۰۷۱۶	۰/۲۵	۰/۰۶	۰/۰۲	ت
۱۷	۱۸	۰/۰۰۴۵۵۸	۰/۰۰۳۵۷۴	۰/۱	۰/۰۹	۰/۰۴	ص
۲	۱۹	۰/۰۰۱۰۲۱	۰/۰۰۰۹۷۴	۰/۵	۰/۰۹	۰/۰۴	خ
۱۹	۲۰	۰/۰۰۹۳۶۶	۰/۰۰۸۴۴	۰/۵	۰/۰۹	۰/۰۴	ت
۲۰	۲۱	۰/۰۰۲۵۵	۰/۰۰۲۹۷۹	۰/۲۱	۰/۰۹	۰/۰۴	ص
۲۱	۲۲	۰/۰۰۴۴۱۴	۰/۰۰۵۸۳۶	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۰۴	خ
۲۲	۲۳	۰/۰۰۲۸۰۹	۰/۰۰۱۹۲	۱/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۵	ت
۲۳	۲۴	۰/۰۰۵۵۹۲	۰/۰۰۴۴۱۵	۱/۰۵	۰/۴۲	۰/۰۲	ت
۲۴	۲۵	۰/۰۰۵۵۷۹	۰/۰۰۴۳۶۶	۰/۵	۰/۴۲	۰/۰۲	ت
۶	۲۶	۰/۰۰۱۲۶۴	۰/۰۰۰۶۴۴	۱/۵	۰/۰۶	۰/۰۲۵	ت
۲۶	۲۷	۰/۰۰۱۷۷	۰/۰۰۰۹۰۱	۱/۵	۰/۰۶	۰/۰۲۵	ص
۲۷	۲۸	۰/۰۰۶۵۹۴	۰/۰۰۵۸۱۴	۱/۵	۰/۰۶	۰/۰۲	ت
۲۸	۲۹	۰/۰۰۵۰۰۷	۰/۰۰۴۳۶۲	۱/۵	۰/۱۲	۰/۰۷	ت
۲۹	۳۰	۰/۰۰۳۱۶	۰/۰۰۱۶۱	۱/۵	۰/۲	۰/۰۶	ت
۳۰	۳۱	۰/۰۰۶۰۶۷	۰/۰۰۵۹۹۶	۰/۵	۰/۱۵	۰/۰۷	خ
۳۱	۳۲	۰/۰۰۱۹۳۳	۰/۰۰۲۲۵۳	۰/۵	۰/۲۱	۰/۱	خ
۳۲	۳۳	۰/۰۰۲۱۲۳	۰/۰۰۳۳۰۱	۰/۱	۰/۰۶	۰/۰۴	ت
۸	۳۴	۰/۰۱۲۴۵۳	۰/۰۱۲۴۵۳	۰/۵	۰/۰۹	۰/۰۵	ص
۹	۳۵	۰/۰۱۲۴۵۳	۰/۰۱۲۴۵۳	۰/۵	۰/۰۹	۰/۰۵	خ
۱۲	۳۶	۰/۰۱۲۴۵۳	۰/۰۱۲۴۵۳	۰/۵	۰/۰۴۵	۰/۰۳	ت
۱۸	۳۷	۰/۰۰۳۱۱۳	۰/۰۰۳۱۱۳	۰/۵	۰/۰۶	۰/۰۴	ت
۲۵	۳۸	۰/۰۰۳۱۱۳	۰/۰۰۳۱۱۳	۰/۱	۰/۰۴۵	۰/۰۳	ص

F= بار حقیقی / P= توان انتقالی مجاز خط /  $S_L$ = شین انتها / T= شین ابتدا /  $Q$ = تجاری / ت= صنعتی / ص= خانگی / خ= نوع بار /  $L_T$ = بار راکتیو

### زیر نویس ها

- <sup>1</sup> Distributed Companies (DISCOs)  
<sup>2</sup> Distributed Generation (DG)  
<sup>3</sup> Pseudo dynamic  
<sup>4</sup> Firefly algorithm  
<sup>5</sup> Energy Not Supplied (ENS)  
<sup>6</sup> Harmony Search Algorithm (HSA)  
<sup>7</sup> Decision variables  
<sup>8</sup> Backward-forward sweep

### مراجع

- [1] H. Falaghi, C. Singh, M.-R. Haghifam, and M. Ramezani, "DG integrated multistage distribution system expansion planning," *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 33 pp. 1489-1497, 2011.
- [2] R. Ebrahimi, M. Ehsan, and H. Nouri, "A profit-centric strategy for distributed generation planning considering time varying voltage dependent load demand," *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 44 pp. 168-178, 2013.
- [3] D. Singh, R. K. Misra, and D. Singh, "Effect of Load Models in Distributed Generation Planning," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 22, pp. 2204-2212, November 2007.
- [4] K. Qian, C. Zhou, M. Allan, and Y. Yuan, "Effect of load models on assessment of energy losses in