

# یک روش جدید برای جایابی منابع تولید پراکنده در سیستم‌های توزیع با هدف کاهش تلفات و افزایش قابلیت اطمینان

یوسف پور جمال<sup>۱</sup>، کارشناسی ارشد مهندسی برق قدرت، علی عجمی<sup>۲</sup>، دانشیار،

۱- گروه مهندسی برق- دانشگاه شهید مدنی آذربایجان- تبریز- ایران- y\_pourjamal@yahoo.com

۲- گروه مهندسی برق- دانشگاه شهید مدنی آذربایجان- تبریز- ایران- ajami@azaruniv.edu

**چکیده:** منابع تولید پراکنده که استفاده از آن‌ها روز به روز در حال افزایش می‌باشد بدون در نظر گرفتن مکان و اندازه بهینه آن‌ها نمی‌تواند مطلوب واقع گردد. در این مقاله با استفاده از الگوریتم تکاملی (HS) Harmony search به جایابی و مقداربایی بهینه منابع تولید پراکنده در یک شبکه استاندارد به منظور کاهش تلفات و افزایش قابلیت اطمینان پرداخته می‌شود. ایده مطرح شده برای جایابی و مقداربایی ظرفیت‌های DG در شبکه در مقایسه با روش مرسوم بسیار مفیدتر و مناسب‌تر می‌باشد. در این روش مقدار DG پیشنهادی برای یک گره بجای مقایسه با مقدار بار آن گره با مجموع بارهای چندین گره که در هنگام قطع از شبکه به صورت جزیره می‌باشند مقایسه می‌گردد، به طوری که این عمل باعث بهینه‌تر شدن مقدار به دست آمده می‌شود. اعمال روش تکاملی مذکور در حل این مسئله و نیز مناسب بودن روش مذکور برای جایابی DG، همان‌طور که نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهند، باعث جایابی موثر منابع تولید پراکنده گردیده است. توابع هدف در این مقاله در سه حالت فقط کاهش تلفات، فقط افزایش قابلیت اطمینان و کاهش تلفات و افزایش قابلیت اطمینان به صورت توأم در نظر گرفته شده است. با توجه به سهولت‌های در نظر گرفته شده در برنامه، می‌توان با تنظیمات مناسب مسئله را در شرایط نزدیک‌تر به واقعیت حل نمود.

**واژه‌های کلیدی:** منابع تولید پراکنده، سیستم‌های توزیع شعاعی، قابلیت اطمینان، تلفات، الگوریتم تکاملی، الگوریتم HS، توان تأمین نشده، پروفایل ولتاژ، جایابی بهینه، مقداربایی بهینه

## A novel approach to minimizing power losses and improving reliability through DG placement and sizing

Yousef Pourjamal, Ali Ajami

Electrical Engineering Department of Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

[y\\_pourjamal@yahoo.com](mailto:y_pourjamal@yahoo.com), [ajami@azaruniv.edu](mailto:ajami@azaruniv.edu)

**Abstract:** Now days using of distributed generation (DG) are growing and regardless of optimum location and size, they can't be useful. In this paper, the HS (Harmony Search) algorithm is used for optimum placement and sizing of DGs in order to decrease the losses and increase the reliability in a standard grid. The proposed method for sizing and sitting of the DG capacities in the grid is so proper and useful in comparison with the conventional method. In suggested procedure, the DG is used to compensate the lost power of several nodes that are disconnected from the grid, while the conventional method tries to compensate the lost power of the node which DG connected to it and so this subject results in optimum value of objective function. The power losses reduction, reliability improvement and a combination of them are objective functions that considered in this paper. In this paper, the simulation results based on mentioned objective functions are presented and compared together. The presented simulation results show the validity and effectiveness of suggested method in optimum placement and sizing of DGs. Some flexibility has been considered in the provided program in order to solve the optimum placement of DGs under real conditions. Heuristic

تاریخ ارسال مقاله: ۹۰/۸/۱۷

تاریخ اصلاح مقاله:

تاریخ پذیرش مقاله:

نام نویسنده‌ی مسئول: علی عجمی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران- تبریز- جاده تبریز آذرشهر- دانشگاه شهید مدنی آذربایجان - دانشکده- فنی و مهندسی- گروه مهندسی برق

## ۱- مقدمه

رشد بار در هر کشوری با توجه به موقعیت جغرافیایی و میزان آلودگی‌های زیست محیطی و نیز مقدار انرژی که باید تا محدوده زم‌انی مشخصی تولید گردد سیاست‌های انرژی آن کشور را تشکیل می‌دهد. با توجه به گرم شدن تدریجی کره‌ی زمین که در اثر گازهای گلخانه‌ای اتفاق افتاده است این سیاست‌های انرژی، تحت کنفرانس‌ها و معاهده‌های بین‌المللی جهت بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک، به امری جهان شمول تبدیل می‌شود که طی این معاهده‌ها کشورها ملزم می‌شوند بخشی از افزایش انرژی تولیدی سالانه‌ی خود را به انرژی‌های پاک که به دلیل داشتن حجم انرژی پایین در زیر مجموعه‌ی تولیدات پراکنده می‌باشند و هزینه‌های برپایی نسبتاً زیادی را می‌طلبند، تخصیص دهند. چنین سیاست‌هایی از یک طرف و هزینه‌بر بودن برپایی سیستم‌های DG از طرف دیگر باعث می‌شود تا کشورها برای یک مدت زمان مشخص، سقف انرژی تولیدی توسط DG را تعریف کنند مثلاً تا پایان سال  $x$  به میزان  $P^{MW}$  انرژی توسط سیستم‌های DG باید تولید گردد. بنابراین جایابی بهینه منابع تولید پراکنده به منظور بهره‌گیری هر چه بیشتر از این منابع باید مدنظر قرار گیرد. در ادامه به برخی از کارهای انجام شده و پیشینه تحقیق در این رابطه پرداخته شده است.

در [۱] جایابی DG با در نظر گرفتن ضریب توان واحد و با استفاده از روش آنالیزی صورت گرفته است. روشی که در این مرجع مد نظر می‌باشد بر مبنای ماتریس ادمیتانس باس‌ها بوده که اطلاعات تولید و نیز توزیع بارها در شبکه برای یافتن باس بهینه جهت اضافه کردن DG به آن بررسی می‌گردد که در این پروسه اندازه DG در نظر گرفته نشده است. در [۲] نیز الگوریتم ژنتیک برای جایابی DG با هدف بهبود پروفایل ولتاژ استفاده است. این مرجع با هدف کم‌ترین هزینه برای اصلاح، تقویت و توسعه شبکه از روش حذفی برای یافتن تعداد، مکان و ظرفیت بهینه واحدهای تولید پراکنده با رعایت محدوده ظرفیت تجهیزات شبکه بهره گرفته است. ترکیبی از دو روش ژنتیک و فازی در [۳] برای حل مسئله جایابی و تعیین اندازه DG در سیستم توزیع بکار گرفته شده است. تابع هدف در این مقاله، کاهش تلفات در شبکه و محدودیت‌ها، تغییرات ولتاژ شین‌ها و حداکثر تعداد یا ظرفیت سیستم‌های DG می‌باشد. الگوریتم دیگری که در جایابی واحدهای DG کاربرد دارد و از معادلات پخش بار در شبکه بدست می‌آید، الگوریتم حساسیت است. مطالعاتی که در [۴] انجام شده بر اساس تحلیل حساسیت مکان‌های موجود برای نصب DG نسبت به دو پارامتر ولتاژ و تلفات با هدف کاهش تلفات، افزایش بازدهی و ارتقاء قابلیت اطمینان شبکه، همراه با بهبود پروفایل ولتاژ صورت گرفته است. مراجع [۵] و [۶] مدلی برای بهینه‌سازی طراحی سیستم‌های DG به منظور حداقل کردن سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه حین کار واحدهای DG و بهای انرژی تلف شده در شبکه ارائه می‌کنند. در [۷]

الگوریتمی به نام Hereford Ranch ارائه شده است که قادر است مسئله مکان بهینه سیستم‌های تولید پراکنده اعم از فتوولتائیک، توربین بادی، پیل سوختی و ... را در شبکه‌ای غیر شعاعی (حلقوی) پاسخ دهد. مرجع [۸] نیز با استفاده از ترکیب الگوریتم ژنتیک و PSO روش جدیدی برای کاهش تلفات در سیستم‌های توزیع ارائه داده است. تابع هدف در نظر گرفته شده در این مرجع شامل کمینه کردن تلفات، بهبود تنظیم ولتاژ و اصلاح پایداری ولتاژ می‌باشد. در [۹] نیز روشی برای جایابی منابع تولید پراکنده با هدف مینیمم کردن توان تأمین نشده با ارزیابی کیفیت توان در مواقع تغییر مقدار بار ارائه شده است. مرجع [۱۰] جایابی منابع تولید پراکنده را با یک تابع هدف جدید انجام داده است. در این مرجع میزان پایداری ولتاژ هر گره به عنوان اندیسی برای پایداری توان همان گره در نظر گرفته شده است. در این مقاله جایابی منابع تولید پراکنده با هدف کاهش تلفات و افزایش قابلیت اطمینان با استفاده از روش تکاملی HS که روشی نسبتاً جدید می‌باشد در یک شبکه استاندارد IEEE تعمیم یافته مورد بررسی قرار می‌گیرد. روش ارائه شده برای جایابی و مقدارریابی بهینه منابع تولید پراکنده همان‌طور که در بخش‌های بعد به آن اشاره خواهد شد، علی‌رغم وجود تشابه ظاهری با روش موجود در [۱۱] در اصل، تفاوت‌های اساسی با آن دارد و مسئله را در شرایط بهتری حل می‌نماید.

## ۲- الگوریتم HS

الگوریتم HS الهام گرفته از صنعت موسیقی در جستجوی بهترین ترکیب ممکن از نت‌هایی است که همه‌ی ادوات موسیقی برای یک قطعه تولید می‌کنند. با توجه به افزایش تعداد این ادوات، شناسایی و انتخاب بهترین ترکیب به صورت مستقیم امکان‌پذیر نیست، بنابراین الگوریتم HS می‌تواند روش بسیار مؤثری در انتخاب بهترین ترکیب باشد. از آن جایی که در مسائل مهندسی مدرن نیز ابعاد مسائل روز به روز در حال گسترش می‌باشد، بنابراین انتخاب روش مؤثر یکی از گام‌های مهم در حل چنین مسائلی است.

الگوریتم HS تاکنون در بررسی مسائل مختلفی از جمله طراحی شبکه آب‌رسانی، تابع روزنبروک<sup>۱</sup> [۱۲]، مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره‌گرد<sup>۲</sup> [۱۳]، ترکیب نت‌های موسیقی [۱۴]، حل پازل سودکو<sup>۳</sup> [۱۵] و ... استفاده شده و نتایج قابل رقابت و بهتری نسبت به سایر روش‌های تکاملی و حتی آنالیتیک داده است. با توجه به این که مسائل مهندسی مدرن با در نظر گرفتن قیود حاکم بر آن‌ها و تعداد حالت‌های زیاد، خاصیت غیرخطی و پیچیده دارند، برای حل چنین مسائلی نمی‌توان از روش‌های آنالیتیک مانند روش‌های خطی استفاده کرد، بنابراین با توجه به این که روش‌های تکاملی جواب‌های خوب و قابل قبولی در حل مسائل غیرخطی و پیچیده به دست می‌دهند می‌توانند به عنوان ابزاری قدرتمند در این زمینه مورد بهره‌برداری قرار گیرند.

$$HM = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \dots & x_{n-1}^1 & x_n^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & x_{n-1}^2 & x_n^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ x_1^{HMS-1} & x_2^{HMS-1} & \dots & x_{n-1}^{HMS-1} & x_n^{HMS-1} \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \dots & x_{n-1}^{HMS} & x_n^{HMS} \end{bmatrix} \quad (3)$$

که در آن،

$$HM (1,:) \Rightarrow f(x^1)$$

$$HM (2,:) \Rightarrow f(x^2)$$

⋮

$$HM (n-1,:) \Rightarrow f(x^{HMS-1})$$

$$HM (n,:) \Rightarrow f(x^{HMS})$$

در تابع مثال، ماتریس HM به صورت زیر پر شده است:

0	2	3	0	10
1	3	5	5	29
2	4	2	6	27
3	2	1	1	6

**گام سوم:** تشکیل یک هارمونی جدید

یک هارمونی جدید به صورت  $X' = (X'_1, X'_2, \dots, X'_N)$  بر اساس سه گزینه زیر تشکیل می‌گردد،

- با در نظر گرفتن حافظه‌ی موجود
- تنظیم زیر و بمی
- انتخاب تصادفی

با در نظر گرفتن حافظه‌ی موجود، برای متغیر نام هارمونی جدید  $X'_i$  از بین مقادیر  $(X'_i \sim X_i^{HMS})$  عددی را به صورت تصادفی انتخاب می‌گردد.  $HMCR$  مقدار احتمال انتخاب به روش فوق را برای هر عنصر هارمونی جدید نشان می‌دهد. اگر این احتمال برآورده نگردد عددی به تصادف از رنج مجاز برای مقادیر مربوطه با احتمال  $(1 - HMCR)$  انتخاب خواهد شد.

$$X'_i \leftarrow \begin{cases} \{x'_i \in \{x_1^1, \dots, x_1^{HMS}\}\} & \text{if } HMCR \\ x'_i \in X_i & \text{if } (1 - HMCR) \end{cases} \quad (4)$$

به عنوان مثال اعداد ایجاد شده در ستون اول ماتریس HM اعدادی هستند که اگر  $HMCR = 0.9$  باشد الگوریتم، درایه اول را برای هارمونی جدید با احتمال ۹۰٪ از میان این اعداد و با احتمال ۱۰٪ از میان مجموعه‌ی اصلی به صورت تصادفی انتخاب خواهد کرد که اجزای آن از نظر شروط و محدودیت‌های مسئله مجاز می‌باشند. این روند برای همه‌ی درایه‌های هارمونی جدید تکرار خواهد شد.

بعد از تشکیل هارمونی جدید به روش فوق می‌توان روی آن با احتمال PAR تنظیم زیر و بمی انجام داد که به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$Pitch \text{ adjusting decision on} \quad (5)$$

$$x'_i \leftarrow \begin{cases} \text{Yes,} & \text{if PAR} \\ \text{No,} & \text{if } (1 - PAR) \end{cases}$$

### ۳- فرمول‌بندی الگوریتم HS

فرض کنید سه آلت موسیقی guitar, double bass و saxophone برای تشکیل یک نت در داخل یک قطعه باید نواخته شوند. همچنین فرض کنید که برای نواختن saxophone در هر لحظه سه انتخاب به صورت  $\{Do, Mi, Sol\}$  و برای double bass  $\{Ti, Sol, Re\}$  و نیز برای guitar  $\{La, Fa, Do\}$  وجود دارد. اگر نوازنده‌ی saxophone نت 'Sol' نوازنده‌ی double bass نت 'Ti' و نوازنده‌ی guitar نت 'Do' را انتخاب کنند، هارمونی جدیدی به صورت  $\{Sol, Ti, Do\}$  درست خواهد شد. اگر این هارمونی بهتر از بدترین هارمونی‌های موجود در بین هارمونی‌های قبلی باشد، این هارمونی را جایگزین بدترین هارمونی می‌کنیم و این کار تا به دست آوردن هارمونی مطلوب ادامه می‌یابد.

مراحل و روش اجرای الگوریتم به صورت زیر می‌باشد [۱۵]:

**گام اول:** مقدردهی اولیه مسئله و پارامترهای الگوریتم

در مرحله‌ی اول تابعی که بهینه‌سازی روی آن صورت می‌گیرد به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$\begin{aligned} & \text{Maximize or minimize } f(x) \\ & \text{With } x_i \in X_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, N \end{aligned} \quad (1)$$

که در آن  $f(x)$  تابع هدف مسئله و  $X$  مجموعه‌ای است که  $x_i$  از داخل آن انتخاب می‌شود.  $N$ ، تعداد متغیرها را نشان می‌دهد که همان تعداد آلات موسیقی می‌باشد. مجموعه  $X_i$  حالت‌های ممکن هر انتخاب می‌باشد که به صورت،

$$X_i = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(k)\} \quad (2)$$

و با شرط،

$$x_i(1) < x_i(2) < \dots < x_i(k)$$

که  $k$  تعداد مقادیر ممکن تصمیم‌گیری در هر مرحله است.

همچنین در این مرحله پارامترهای دیگر الگوریتم HS مقدردهی می‌شوند که شامل اندازه‌ی حافظه‌ی هارمونی‌ها (HMS) یا تعداد بردارهای موجود در حافظه‌ی هارمونی‌ها، نرخ تأثیرپذیری جواب جایگزین از بردارهای موجود در حافظه‌ی هارمونی‌ها (HMCR)، نرخ تأثیر تنظیم زیر و بمی روی جواب جایگزین می‌باشد.

حافظه‌ی هارمونی‌ها که برای مثال زیر در نظر گرفته شده

است، محل ذخیره‌ی تمام بردارهای تعریف شده برای حل مسئله به همراه مقادیر تابع هدف می‌باشد.

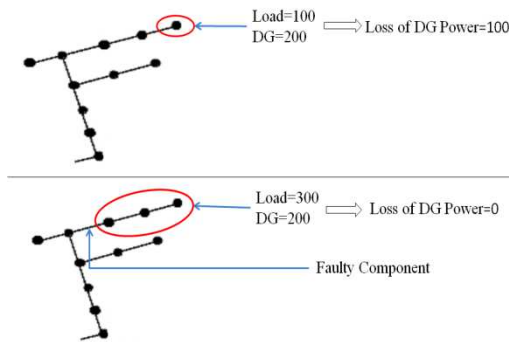
Objective function:

$$F(x) = (x_1 - 1)^2 + (x_2 - 1)^2 + (x_3 - 1)^2 + (x_4 - 2)^2$$

**گام دوم:** مقدردهی اولیه‌ی به حافظه هارمونی‌ها HM

در گام دوم ماتریس HM به صورت کاملاً تصادفی در رنج‌های مجاز که مسئله و شرایط آن تحمیل می‌کند تعیین می‌شود.

اطمینان محاسبه می‌شوند. این روند برای کلیه‌ی المان‌های شبکه انجام می‌گیرد. به منظور تسریع در اجرای برنامه‌های جایابی را که توزیع پواسون، احتمال خرابی آن‌ها را صفر نشان می‌دهد در نظر نمی‌گیریم. همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده است، در روش پیشنهادی مقدار DG نصب شده بر روی یک گره با بار گره‌های نسبتاً بیشتری مقایسه می‌گردد ولی در روش [۱۱] مقدار DG نصب شده بر روی یک باس با بار همان باس مقایسه می‌گردد.



شکل (۱): مقایسه عملکرد دو روش با یکدیگر، بالایی روش [۱۱] پایینی روش پیشنهادی

طبیعی است که در یک شبکه، تحت تأثیر توپولوژی آن المان‌های با احتمال خرابی خیلی ناچیز وجود دارند. با توجه به نکته‌ی مذکور و این که برای شبکه‌ی استاندارد تست شده در این مقاله هیچ تاریخچه‌ی مدوتی وجود نداشته و همه‌ی اطلاعات قطعی بار اعم از تعداد و زمان‌های خرابی به صورت تقریبی پیشنهاد شده است، لذا برای تعدادی از المان‌ها احتمال خروج صفر در نظر گرفته شده است که این خود باعث افزایش سرعت اجرای برنامه می‌گردد. چرا که برنامه از بین حالت‌های عملی‌تر جواب بهینه را جستجو می‌کند.

#### ۵- نحوه‌ی عملکرد الگوریتم HS در حل مسئله

فلوچارت ارائه شده در شکل (۲) نحوه‌ی عملکرد الگوریتم HS را در جایابی منابع تولید پراکنده با هدف بهبود اندیس‌های قابلیت اطمینان و کاهش تلفات نشان می‌دهد. تابع هدف در نظر گرفته شده در این مقاله شامل تلفات و توان تغذیه نشده می‌باشد. تلفات شبکه از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$Loss = \sum_{i=1}^{84} R_i I_i^2 \quad i \neq q_1, \dots, q_k \quad (7)$$

که  $q_1 \dots q_k$  شماره فیدرهای معیوب در یک زمان می‌باشند. که در این صورت  $n+1$  جزیره حاصل می‌شود. همچنین با توجه به اینکه شبکه دارای ۸۵ باس می‌باشد لذا تعداد فیدرهای موجود در شبکه ۸۵-۱ یعنی ۸۴ خواهد بود.

که اگر احتمال PAR محقق گردد،  $x'_i$  که همان  $k$ امین عنصر بردار  $X_i$  می‌باشد با  $x_i(k \pm m)$  جایگزین می‌گردد که  $m$  می‌تواند از بین مجموعه‌ی زیر انتخاب شود:

$$m \in \{1, 2, 3, \dots\} \quad (6)$$

در مثال اخیر اگر  $x'_i = 5$ ,  $PAR = 0.1$ ,  $m = 1$  باشد آنگاه تنظیم زیر و بمی روی هارمونی جدید با احتمال ۱۰٪ یکی از مقادیر ۴/۵ و ۶ را به جای ۵ قرار خواهد داد، با این فرض که ۴/۵ و ۶ در بین مقادیر ممکن موجود باشند.

#### گام چهارم: به روز رسانی HM

در این مرحله بعد از آماده کردن هارمونی جدید اگر مقدار تابع هدف به ازای این هارمونی بهتر از مقدار بدترین عضو بردار تابع هدف از مرحله‌ی قبلی باشد جایگزین خواهد شد.

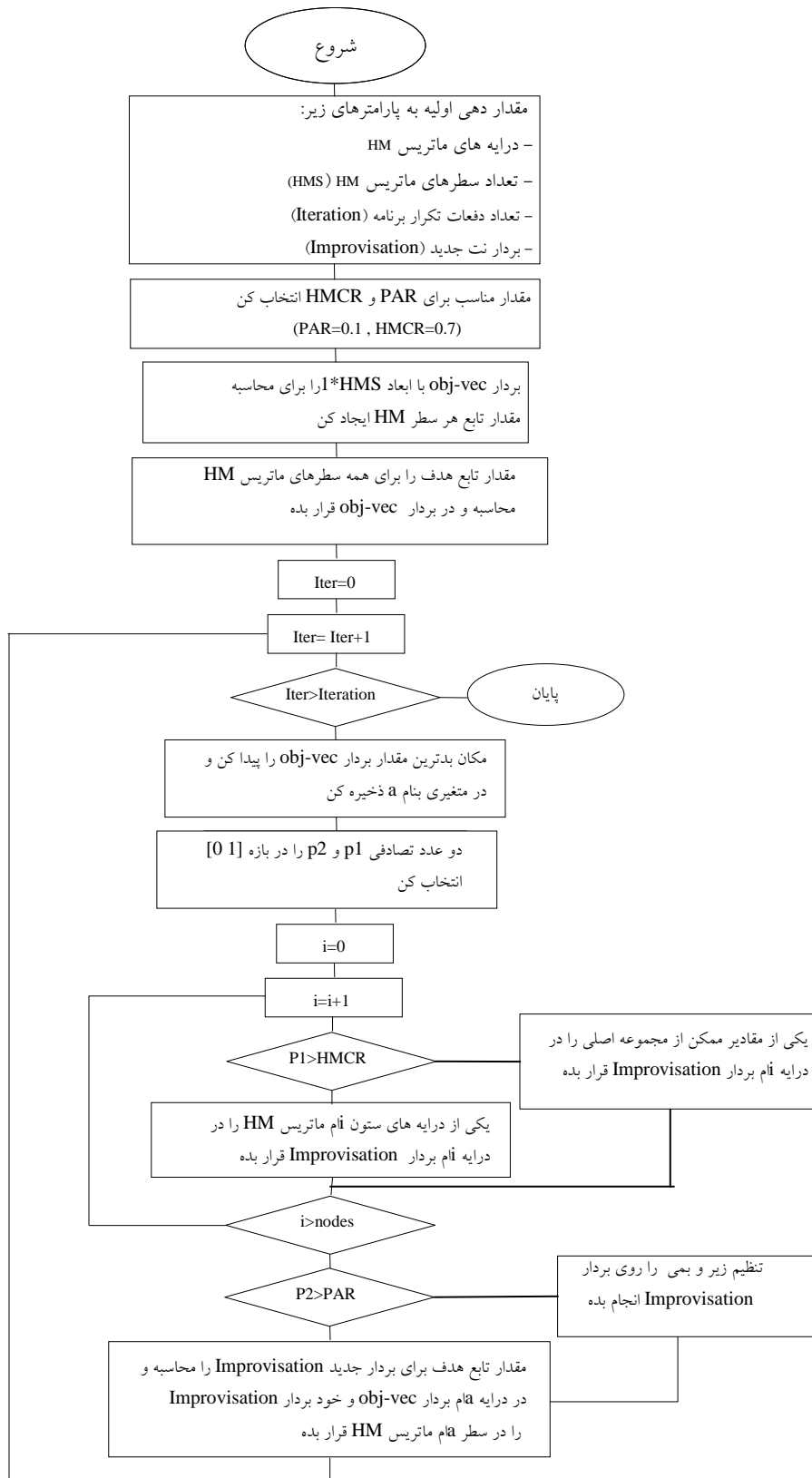
#### گام پنجم: بررسی شرایط خروج از برنامه

مراحل تا جایی تکرار می‌شود که جواب‌های رضایت‌بخشی حاصل گردد و اختلاف دو مرحله متوالی کمتر از خطای مورد نظر باشد.

#### ۴- روش محاسبه قابلیت اطمینان

روش ارائه شده در [۱۱] از روی نرخ‌های خرابی برای المان‌ها، نرخ قطع بار برای نقاط بارگذاری را به دست می‌آورد. سپس از دید هر گره یا نقطه‌ی بارگذاری احتمال  $n$  بار برای قطع بار هر گره توسط فرمول پواسون محاسبه می‌گردد که  $n$  از صفر تا مقدار معمول 4 در نظر گرفته می‌شود. بدین ترتیب با در نظر گرفتن احتمال‌های قطع بار، اندیس‌های قابلیت اطمینان محاسبه می‌گردد. در این روش که مبنای قطعی بار از دید یک نقطه‌ی بارگذاری می‌باشد تنها مقدار توان موجود در آن گره بر اندیس‌های قابلیت اطمینان تأثیرگذار خواهد بود. به این صورت که از دید یک گره که قطعی آن با احتمال مشخصی مورد بررسی قرار می‌گیرد، مقدار توان از دست رفته فقط برای آن گره مشخص شده و در محاسبه اندیس‌های قابلیت اطمینان به کار می‌رود.

اما در روش پیشنهادی، از روی تاریخچه‌ی شبکه (یعنی ضرایب خرابی و تعداد ساعات خرابی هر کدام از المان‌ها در محدوده‌ی مشخصی از زمان مثلاً ۶ سال) احتمال خرابی آن‌ها را در زمان‌های آتی با استفاده از توزیع احتمالی پواسون به دست می‌آوریم و سپس تأثیر خرابی و خروج آن المان را بر روی شبکه بررسی می‌کنیم. اگر خروج این المان باعث ایجاد جزیره در شبکه می‌شود، در این هنگام با وصل تمام کلیدهای شبکه سعی در برق‌دار کردن قسمت جدا شده خواهیم داشت طبیعی است که با وصل این کلیدها قسمت‌هایی از مدار برق‌دار می‌شوند و این به نوبه‌ی خود تأثیر زیادی در افزایش قابلیت اطمینان شبکه خواهد داشت، با این وجود در این فرآیند جزیره‌هایی نیز وجود خواهند داشت که وصل این کلیدها تأثیری بر برق‌دار شدن آن‌ها ندارد و توان‌های از دست رفته در این گره‌ها مستقیماً بر اندیس‌های قابلیت اطمینان شبکه تأثیر می‌گذارند. در هر مرحله اندیس‌های قابلیت



شکل (۲) فلوجارت الگوریتم HS برای حل مسئله

تولید پراکنده بر روی این شبکه انجام می‌گیرد. شکل (۳) دیاگرام تک‌خطی شبکه ۸۵ باسه را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که همه اطلاعات مربوطه برای این شبکه اعم از مقادیر بارها، نوع اتصالات و ... همان اطلاعات شبکه ۱۲۳ باسه IEEE (به جز بارهای نامتعادل که حذف شده‌اند) می‌باشد که در سایت IEEE موجود می‌باشد [۱۶].

همان‌طور که در بالا اشاره شد، در یک شبکه توزیع همه گره‌ها برای نصب DG مستعد نمی‌باشند، بنابراین گره‌های نوعی کاندید در شبکه ۸۵ باسه‌ی تعمیم یافته فوق برای نصب DG به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$[-7] \quad [10-11-16-19-21-25-27-29-35-39-42-43-45-55-58-61-62-66-70-72-77-79-80-82-85]$$

## ۷- نتایج شبیه‌سازی

در این مقاله جایابی و مقدارریابی DG در سه حالت به شرح زیر مورد مطالعه قرار گرفته است،  
 - فقط کاهش تلفات  
 - فقط افزایش قابلیت اطمینان  
 - کاهش تلفات و افزایش قابلیت اطمینان به صورت هم‌زمان  
 در ادامه نتایج شبیه‌سازی‌های مربوط به هر یک از اهداف فوق بررسی می‌شوند.

### ۷-۱- کاهش تلفات

نتایج شبیه‌سازی مربوط به جایابی DG در شبکه ۸۵ باسه با هدف فقط کاهش تلفات در زیر ارائه گردیده است. در این حالت نتایج شبیه‌سازی به ازای  $b=0$  در تابع هدف (۹) ارائه می‌شوند. شکل (۴) پروفایل ولتاژ شبکه‌ی مذکور را با و بدون وجود DG نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود با وجود اینکه تابع هدف فقط کاهش تلفات می‌باشد، اما با نصب DG علاوه بر کاهش تلفات کل شبکه، پروفایل ولتاژ سیستم نیز بهبود پیدا کرده است. مکان و مقدار DG و نیز مقدار تلفات بعد از انجام جایابی در جداول (۱) و (۲) ارائه شده است.

### ۷-۲- افزایش قابلیت اطمینان

در این قسمت نتایج شبیه‌سازی و محاسبات اندیس‌های قابلیت اطمینان با استفاده از روش [۱۱] و نیز روش پیشنهادی ارائه گردیده است. جدول (۳) شماره باس‌ها و مقدار DG نصب شده روی هر کدام از آن‌ها را نشان می‌دهد، همان‌طور که قبلاً اشاره گردید مجموع اندازه DG‌های نصب شده  $300^{KW}$  می‌باشد. جدول (۴) نیز مقادیر تابع هدف را برای اندیس‌های قابلیت اطمینان نشان می‌دهد. همچنین شکل (۵) همگرایی توابع هدف را برای اندیس‌های قابلیت اطمینان با استفاده از روش پیشنهادی و نیز روش [۱۱] نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که همگرایی توابع هدف با استفاده از روش پیشنهادی نسبتاً سریع‌تر از روش [۱۱] صورت گرفته است.

اگر  $m$  تعداد جزایری باشد که از هیچ یک از منابع تغذیه اصلی یا کمکی در شبکه تغذیه نشوند، آنگاه توان تغذیه نشده برابر خواهد بود با:

$$PNS = \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^{g_j} P_{lj} \quad (8)$$

$g_j$  تعداد گره‌های جزیره  $j$  می‌باشد.

بنابراین با وزن دهی به هر یک از روابط بالا تابع هدف کلی به صورت زیر بدست می‌آید.

$$F = a \times \sum_{i=1}^{84} R_i I_i^2 + b \times \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^{g_j} P_{lj} \quad (9)$$

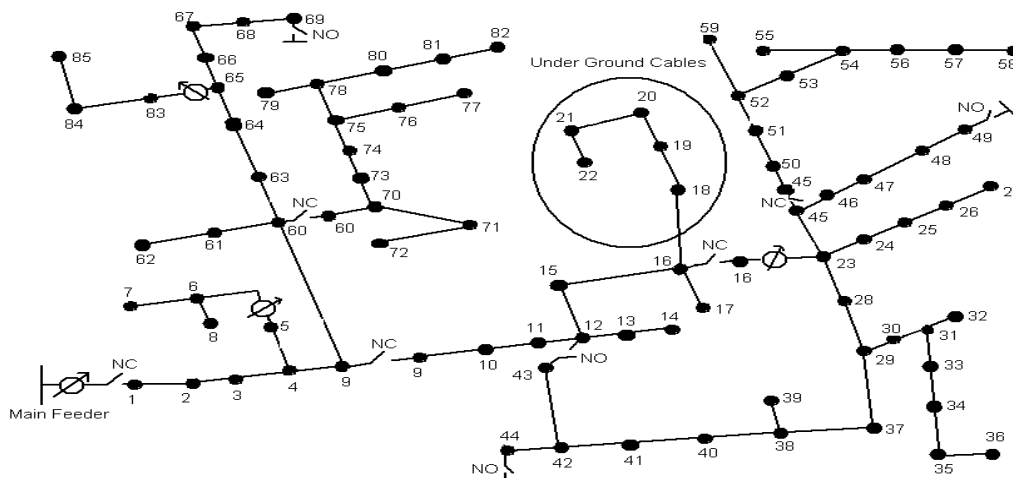
شرایط و قیود در نظر گرفته شده در این مقاله عبارتند از:

- سقف DG برنامه‌ریزی شده  $300^{KW}$  است که ۲۰ درصد کل بار موجود در شبکه می‌باشد.
- کم‌ترین مقدار DG برای برپایی  $5^{KW}$  در نظر گرفته شده است.
- اندازه‌ی ماجول‌های تشکیل‌دهنده‌ی DG یا به عبارتی گام تغییر مقدار DG،  $1^{KW}$  می‌باشد.
- به منظور افزایش سرعت اجرای برنامه، گره‌های کاندید برای جستجو در نظر گرفته شده‌اند. با توجه به اینکه برای هر گره به دلیل موقعیت جغرافیایی و مکانی آن، نمی‌توان DG اختصاص داد، بنابراین در برنامه‌ی موجود قابلیت تعریف گره‌های کاندید که استعداد نصب DG را دارند، گنجانده شده است تا از بین حالات عملی و ممکن بهترین حالت جستجو گردد. از آنجایی که عدم در نظر گرفتن گره‌های کاندید باعث جستجوی برنامه از بین حالت‌های بسیار زیاد و غیر عملی می‌شود، بنابراین این کار عملی مناسب و واقع بینانه‌تر می‌باشد.
- همه موارد مذکور در بالا در متن برنامه به صورت انتخابی و قابل تنظیم در نظر گرفته شده‌اند، که این کار نیز باعث انعطاف بیشتر برنامه در مقابل مسائل مختلف می‌گردد.

## ۶- شبکه مورد آزمایش

در این مقاله از شبکه ۱۲۳ باسه‌ی تعمیم یافته IEEE جهت بررسی الگوریتم پیشنهادی برای جایابی منابع تولید پراکنده با اهداف مذکور استفاده شده است. با توجه به اینکه DG‌های استفاده شده در این مقاله به صورت سه فاز می‌باشند لذا بر روی نامتعادلی و اثرات آن در شبکه نمی‌تواند تأثیری داشته باشند. بنابراین در شبکه ۱۲۳ باسه بارهای نامتعادل متصل به باس‌های سیستم را حذف کرده و در نتیجه سیستم تست مورد استفاده در این مقاله با حذف بارهای نامتعادل از شبکه ۱۲۳ باسه به یک سیستم ۸۵ باسه تبدیل شده و جایابی منابع

همان‌طور که از جداول (۳) و (۴) ملاحظه می‌گردد تعداد DG لازم برای نصب بر روی شبکه توسط روش پیشنهادی کمتر از تعداد DG پیشنهادی با استفاده از روش [۱۱] می‌باشد که این خود دلیلی بر تأثیر مثبت بررسی شبکه به صورت جزیره می‌باشد.



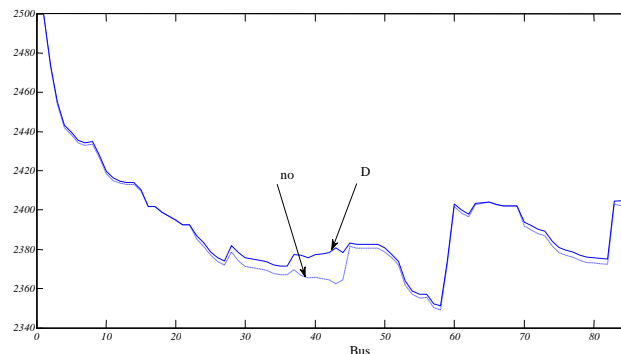
شکل (۳): دیاگرام تک خطی شبکه ۸۵ باسه متعادل تعمیم یافته از شبکه‌ی نامتعادل ۱۲۳ باسه IEEE

جدول (۱): مکان و اندازه‌ی DGهای متصل به شبکه‌ی ۸۵ باسه

Bus	DG Size
25	176000
55	114000
70	5000
75	5000
Total	300000

جدول (۲): مقدار تلفات در شبکه با مکان بهینه DG و شبکه بدون DG

Power Losses	
With DG	Without DG
$3.4681 \times 10^4$	$5.9266 \times 10^5$



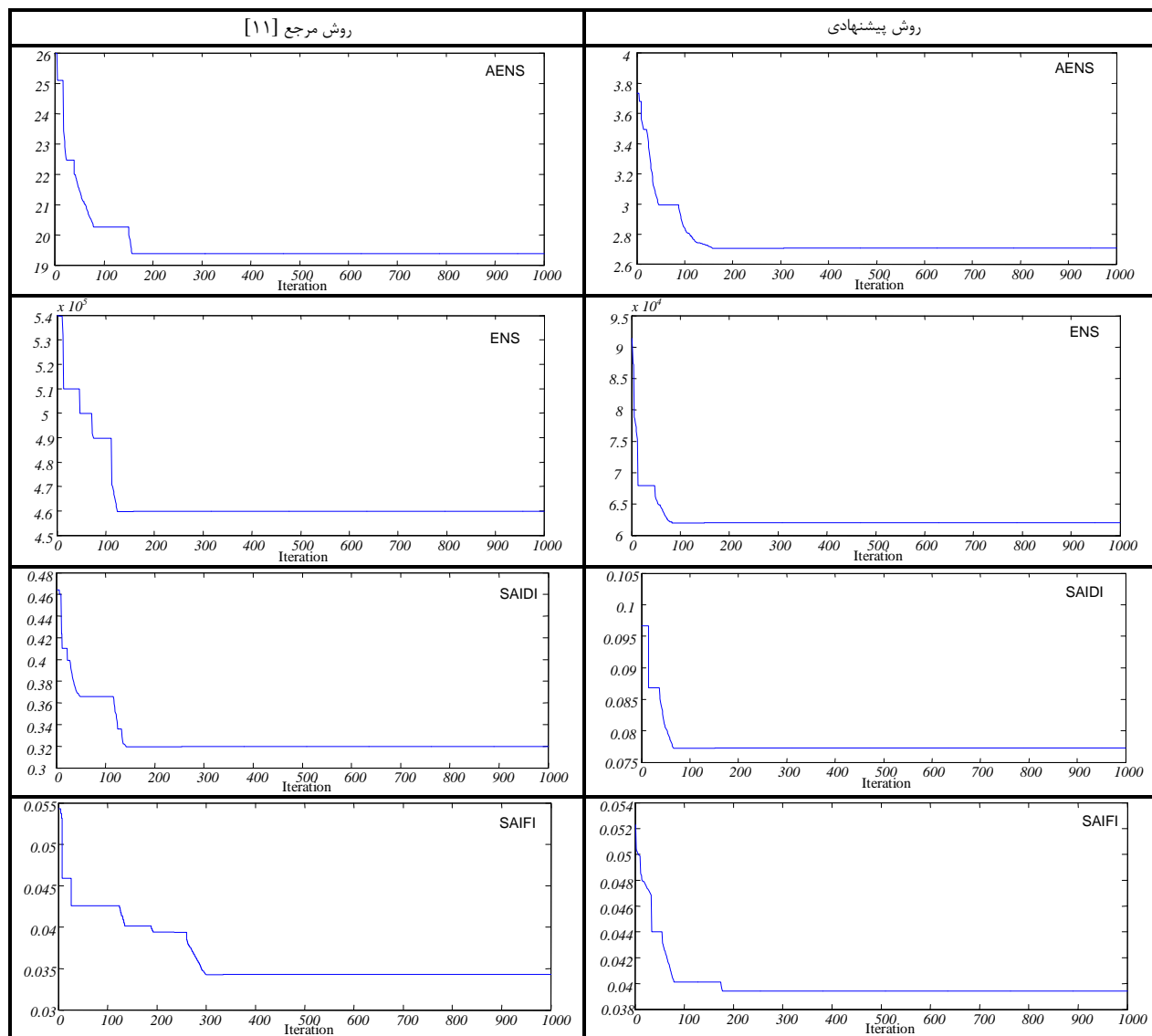
شکل (۴): پروفایل ولتاژ شبکه با و بدون وجود DG در شبکه‌ی ۸۵ باسه

جدول (۳): شماره باس‌ها و مقدار DG نصب شده روی هر کدام از باس‌ها

AENS				ENS			
روش مرجع [۱۱]		روش پیشنهادی		روش مرجع [۱۱]		روش پیشنهادی	
Bus	DG Size	Bus	DG Size	Bus	DG Size	Bus	DG Size
21	37000	21	35000	21	61000	21	37000
35	70000	25	10000	27	29000	35	81000
55	20000	35	80000	35	69000	55	119000
58	38000	53	37000	39	10000	58	22000
66	18000	58	103000	53	71000	72	41000
70	11000	72	10000	58	20000	-	-
72	41000	77	25000	72	40000	-	-
77	65000	-	-	-	-	-	-
Total	300000	Total	300000	Total	300000	Total	300000
SAIDI				SAIFI			
روش مرجع [۱۱]		روش پیشنهادی		روش مرجع [۱۱]		روش پیشنهادی	
Bus	DG Size	Bus	DG Size	Bus	DG Size	Bus	DG Size
10	16000	16	31000	21	37000	11	12000
21	46000	21	94000	35	41000	21	37000
35	51000	53	40000	53	95000	53	40000
53	96000	55	21000	55	37000	55	42000
55	20000	58	41000	58	20000	58	128000
58	20000	72	73000	72	42000	72	41000
72	41000	-	-	77	28000	-	-
79	10000	-	-	-	-	-	-
Total	300000	Total	300000	Total	300000	Total	300000

جدول (۴): مقادیر تابع هدف برای اندیس‌های قابلیت اطمینان

Indices	روش مرجع [۱۱]		روش پیشنهادی	
	With DG	Without DG	With DG	Without DG
AENS	19.3737	34.774	2.7086	7.0915
ENS	$4.59 \times 10^5$	$7.8937 \times 10^5$	61986	$1.6098 \times 10^5$
SAIFI	0.0343	0.0692	0.0394	0.0692
SAIDI	0.3197	0.567	0.0772	0.1185



شکل (۵): همگرایی توابع هدف مختلف برای اندیس‌های قابلیت اطمینان با استفاده از روش پیشنهادی و روش [۱۱]

### ۷-۳- کاهش تلفات و افزایش قابلیت اطمینان به صورت

#### همزمان

در این بخش نتایج شبیه‌سازی جایابی و مقداربازی DG با هدف کاهش تلفات و افزایش قابلیت اطمینان به صورت همزمان مورد بررسی قرار گرفته است. تابع هدف در نظر گرفته شده برای این حالت یک تابع چند هدفی می‌باشد که متشکل از دو قسمت تلفات و توان تأمین نشده (PNS) می‌باشد. با توجه به اینکه در توابع چند هدفه باید قسمت‌های

مختلف تابع هم‌جنس باشند بنابراین مشکلی از لحاظ تلفیق اندیس توان تأمین نشده و مقدار تلفات در یک تابع وجود نخواهد داشت. با توجه به اینکه درجه‌ی اهمیت کاهش تلفات و افزایش قابلیت اطمینان در شبکه‌های مختلف برای جایابی منابع تولید پراکنده می‌تواند متفاوت باشد بنابراین با قرار دادن ضریبی برای قسمت‌های مذکور در تابع هدف می‌توان روی اهمیت آن‌ها نیز مانور داد. تابع هدف استفاده شده در این بخش به صورت (۹) در نظر گرفته شده است.



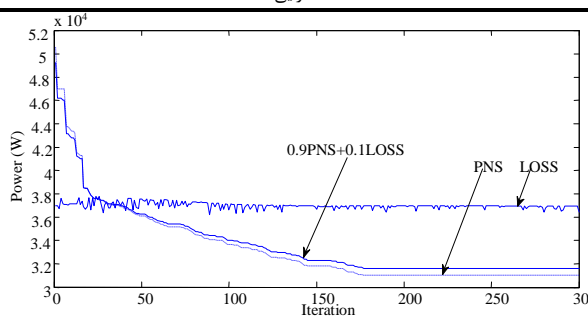
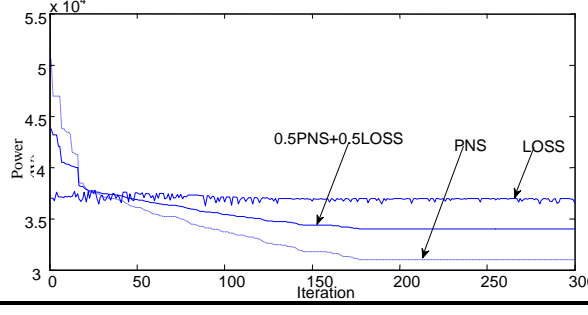
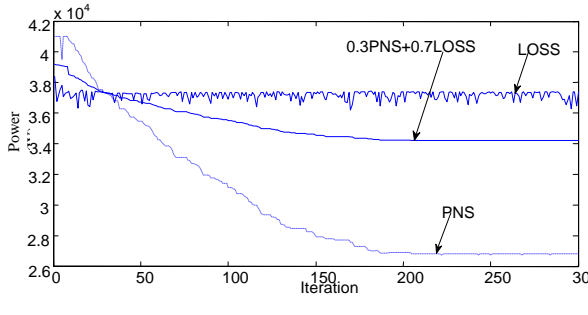
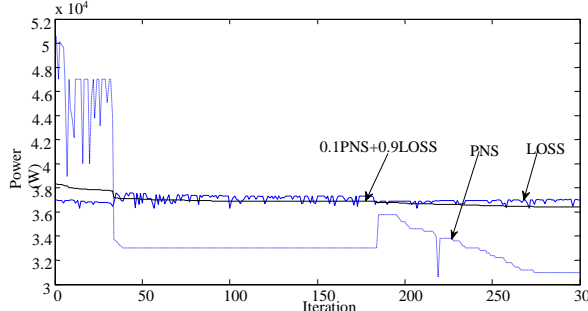
شکل محل نصب و اندازه DGهای مکان‌یابی شده نیز ارائه گردیده است.

جدول (۵) شماره باس و مقدار DG به ازای  $a=b=1$  برای هر دو روش

PNS & Loss			
روش مرجع [۱۱]		روش پیشنهادی	
Bus	DG Size	Bus	DG Size
21	35000	16	51000
29	79000	21	49000
53	67000	58	140000
58	59000	77	40000
72	40000	79	10000
77	20000	85	10000
Total	300000	Total	300000

نتایج شبیه‌سازی ارائه شده به ازای مقادیر مختلف برای ضرایب  $a$  و  $b$  ارائه گردیده است. ضریب  $a$  اهمیت بالا رفتن قابلیت اطمینان در یک شبکه توزیع و  $b$  درجه اهمیت کاهش تلفات در همان شبکه است.

جدول (۵) شماره باس‌ها و مقدار DG منصوبه روی آن‌ها را برای حالت  $a=b=1$  نشان می‌دهد. جدول (۶) نیز مقادیر تابع هدف را برای حالت بدون DG و نیز با وجود DG با استفاده از روش پیشنهادی و نیز روش [۱۱] نشان می‌دهد. برای نشان دادن تأثیر تغییرات  $a$  و  $b$  در بازه  $(0.1/0.9)$  و  $(0.1/0.9)$  جدول (۷) به ازای مقادیر مختلف  $a$  و  $b$  برای روش پیشنهادی آورده شده است. شکل (۶) نیز منحنی‌های همگرایی تابع هدف را به ازای مقادیر مختلف  $a$  و  $b$  نشان می‌دهد. در ضمن در این

همگرایی	مکان و اندازه‌ی DG ها																						
<p><math>a=0.9</math> <math>b=0.1</math></p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>شماره محل</th> <th>اندازه‌ی DG (W)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>25</td><td>10000</td></tr> <tr><td>27</td><td>20000</td></tr> <tr><td>35</td><td>80000</td></tr> <tr><td>58</td><td>140000</td></tr> <tr><td>66</td><td>10000</td></tr> <tr><td>77</td><td>40000</td></tr> </tbody> </table>	شماره محل	اندازه‌ی DG (W)	25	10000	27	20000	35	80000	58	140000	66	10000	77	40000								
شماره محل	اندازه‌ی DG (W)																						
25	10000																						
27	20000																						
35	80000																						
58	140000																						
66	10000																						
77	40000																						
<p><math>a=0.5</math> <math>b=0.5</math></p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>شماره محل</th> <th>اندازه‌ی DG (W)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>25</td><td>10000</td></tr> <tr><td>27</td><td>20000</td></tr> <tr><td>35</td><td>80000</td></tr> <tr><td>58</td><td>140000</td></tr> <tr><td>66</td><td>10000</td></tr> <tr><td>77</td><td>40000</td></tr> </tbody> </table>	شماره محل	اندازه‌ی DG (W)	25	10000	27	20000	35	80000	58	140000	66	10000	77	40000								
شماره محل	اندازه‌ی DG (W)																						
25	10000																						
27	20000																						
35	80000																						
58	140000																						
66	10000																						
77	40000																						
<p><math>a=0.3</math> <math>b=0.7</math></p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>شماره محل</th> <th>اندازه‌ی DG (W)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>19</td><td>10000</td></tr> <tr><td>21</td><td>35000</td></tr> <tr><td>35</td><td>31000</td></tr> <tr><td>55</td><td>65000</td></tr> <tr><td>58</td><td>75000</td></tr> <tr><td>72</td><td>14000</td></tr> <tr><td>77</td><td>40000</td></tr> <tr><td>79</td><td>10000</td></tr> <tr><td>82</td><td>10000</td></tr> <tr><td>85</td><td>10000</td></tr> </tbody> </table>	شماره محل	اندازه‌ی DG (W)	19	10000	21	35000	35	31000	55	65000	58	75000	72	14000	77	40000	79	10000	82	10000	85	10000
شماره محل	اندازه‌ی DG (W)																						
19	10000																						
21	35000																						
35	31000																						
55	65000																						
58	75000																						
72	14000																						
77	40000																						
79	10000																						
82	10000																						
85	10000																						
<p><math>a=0.1</math> <math>b=0.9</math></p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>شماره محل</th> <th>اندازه‌ی DG (W)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>35</td><td>110000</td></tr> <tr><td>58</td><td>140000</td></tr> <tr><td>77</td><td>40000</td></tr> <tr><td>79</td><td>10000</td></tr> </tbody> </table>	شماره محل	اندازه‌ی DG (W)	35	110000	58	140000	77	40000	79	10000												
شماره محل	اندازه‌ی DG (W)																						
35	110000																						
58	140000																						
77	40000																						
79	10000																						

شکل (۶): منحنی‌های همگرایی تابع هدف به ازای مقادیر مختلف ضرایب  $a$  و  $b$

**جدول (۶) مقادیر تابع هدف را برای حالت بدون DG و نیز با وجود DG با استفاده از روش پیشنهادی و روش [۱۱] برای ترکیب جدول ۵**

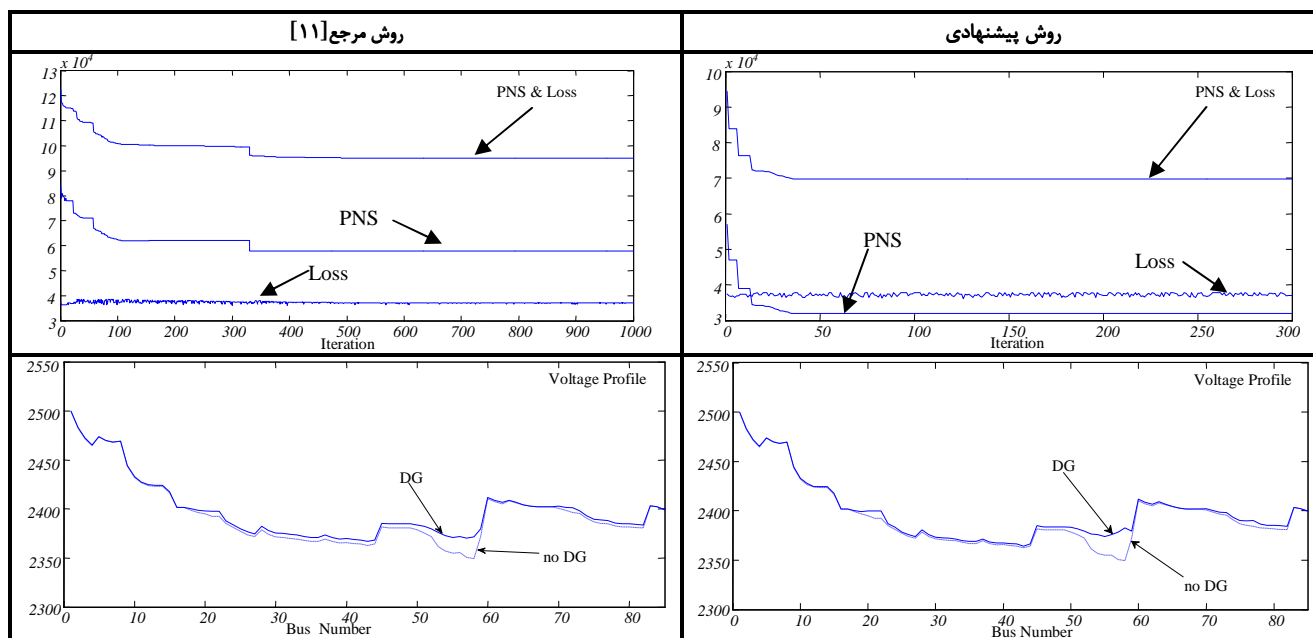
		With DG	Without DG
PNS & Loss	[۱۱]	$9.4945 \times 10^4$	$1.5928 \times 10^5$
	Proposed Method	$6.9799 \times 10^4$	$1.5934 \times 10^5$

**جدول (۷) تأثیر تغییرات a و b برای روش پیشنهادی**

a=0.9 & b=0.1		a=0.5 & b=0.5	
Bus	DG Size	Bus	DG Size
25	10000	25	10000
27	20000	27	20000
35	80000	35	80000
58	140000	58	140000
66	10000	66	10000
77	40000	77	40000
a=0.3 & b=0.7		a=0.1 & b=0.9	
Bus	DG Size	Bus	DG Size
19	10000	35	110000
21	35000	58	140000
35	31000	77	40000
55	65000	79	10000
58	75000	-	-
72	14000	-	-
77	40000	-	-
79	10000	-	-
82	10000	-	-
85	10000	-	-

شکل (۷) پروفایل ولتاژ و نیز همگرایی تابع هدف را برای روش پیشنهادی و روش [۱۱] نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد همگرایی بیشتر در قسمت PNS تابع هدف صورت گرفته و قسمت محاسبه تلفات دارای نوساناتی می‌باشد. به هر حال مجموع هر دو تابع با وزن یکسان به صورت تابع همگرایی بالایی به دست آمده است. همان‌طور که قبلاً اشاره گردید همگرایی تابع در روش پیشنهادی زودتر و سریع‌تر از روش [۱۱] اتفاق می‌افتد. همچنین پروفایل ولتاژ باس‌های کل شبکه در حالت با وجود DG و بدون آن نشان دهنده بهبود پروفایل ولتاژ در کل باس‌های شبکه و علی‌الخصوص در گره‌های دارای DG می‌باشد.

نکته‌ی قابل ذکر مهم این است که برای جایابی DG محاسبه‌ی اندیس‌های CAIFI و CAIDI نمی‌توانند مفید واقع شود چرا که با توجه به تعاریف این دو اندیس، هم صورت و هم مخرج کسره‌های اندیس‌های مذکور تابعی از مقدار و محل DG پیشنهادی می‌باشد. بنابراین در بعضی حالت‌ها مخرج کسر تغییرات بیشتری را نسبت به صورت آن خواهد داشت و همگرایی تابع را دچار اختلال می‌کند. در مواقعی نیز با وجود منابع DG اندیس‌های مذکور نسبت به حالتی که اصلاً DG در شبکه موجود نمی‌باشد مقدارهای بیشتری را نشان می‌دهد.



**شکل (۷): پروفایل ولتاژ و همگرایی تابع هدف با روش پیشنهادی و روش [۱۱] با وزن‌های a و b مساوی برای PNS و Loss**

اهداف کاهش تلفات و افزایش قابلیت اطمینان با استفاده از یک روش مرسوم و نیز یک روش پیشنهادی اجرا گردید. با توجه به توضیحات و نتایج شبیه‌سازی‌های ارائه شده دلایل بهتر بودن روش پیشنهادی بیان

### ۸- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش بهینه برای جایابی و مقادیریابی منابع تولید پراکنده در یک شبکه توزیع شعاعی استاندارد ۱۲۳ باسه IEEE با

- [4] Greatbanks J. A., PopoviC D. H., BegoviC M., Pregelj A., Green T. C., "On Optimization for Security and Reliability of Power Systems with Distributed Generation", IEEE Power Tech Conference Proceedings, 2003.
- [5] El-Khattam W., Hegazy Y., Salama M. M. A., "An Integrated Distributed Generation Optimization Model for Distribution System Planning", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 20, No. 2, pp. 1158-1165, 2005.
- [6] El-Khattam W., Bhattacharya K., Hegazy Y., Salama M. M. A., "Optima Investment Planning for Distributed Generation in a Competitive Electricity Market", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 19, No. 3, pp. 1674-1684, 2004.
- [7] Kim J. O., Nam S. W., Park S. K., Singh C., "Dispersed Generation Planning Using Improved Hereford Ranch Algorithm", Electric. Power Systems Res, Vol. 47, No. 1, pp. 47-55, 1998.
- [8] M. H. Moradi, M. Abedini, "A combination of genetic algorithm and particle swarm optimization for optimal DG location and sizing in distribution systems" International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol. 34, pp. 66-74, 2012.
- [9] H. Hamed, M. Gandomkar, "A straightforward approach to minimizing unsupplied energy and power loss through DG placement and evaluating power quality in relation to load variations over time" International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol. 35, pp. 93-96, 2012.
- [10] M.M. Aman, G.B. Jasmon, H. Mokhlis, and A.H.A. Bakar, "Optimal placement and sizing of a DG based on a new power stability index and line losses" International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol. 43, pp. 1296-1304, 2012.
- [11] Roy Billinton, Ronald N Allan, "Reliability Evaluation of power systems", Springer, 2006.
- [12] Geem, Z. W., "Optimal Cost Design of Water Distribution Networks using Harmony Search," Engineering Optimization, Vol. 38, No. 3, pp. 259-280, 2006.
- [13] Geem, Z. W., Kim, J. H., and Loganathan, G. V., "A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search," Simulation Vol. 76, No. 60, pp. 60-68, 2001.
- [14] Geem, Z. W. and Choi, J. Y., "Music Composition Using Harmony Search Algorithm," Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4448, pp. 593-600, 2007.
- [15] Hong, qi. Li, Li, L. Kim, T, and long, X. S. "An Improved PSO-based of Harmony Search for Complicated Optimization Problems", International Journal of Hybrid Information Technology, Vol. 1, No. 1, pp. 57-64, 2008.
- [16] <http://ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom/testfeeders/feeder123.zip>

### زیر نویس ها

<sup>1</sup> Rosenbrock

<sup>2</sup> Traveling salesperson

<sup>3</sup> Sudoku puzzles

گردید. نتایج شبیه‌سازی‌های ارائه شده نشان می‌دهند که اگر مقدار DG پیشنهادی برای یک گره بجای مقایسه با مقدار بار آن گره با مجموع بارهای چندین گره که در هنگام قطع از شبکه به صورت جزیره در می‌آیند، مقایسه گردد، این عمل باعث بهینه‌تر شدن مقادیر به دست آمده برای توابع هدف، مقدار DG و نهایتاً موجب جایابی بهتر DG خواهد شد.

### ۹- ضمیمه ۱

در این بخش روابط شاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه معرفی می‌شوند.

۱- شاخص متوسط مدت قطع برق سیستم

$$SAIDI = \frac{\text{مجموع زمان‌های قطعی مشترکین}}{\text{کل تعداد مشترکین}}$$

۲- شاخص متوسط فراوانی قطع برق سیستم

$$SAIFI = \frac{\text{کل تعداد قطعی‌های مشترکین}}{\text{کل تعداد مشترکین}}$$

۳- شاخص متوسط مدت قطع برق مشترک

$$CAIDI = \frac{\text{مجموع زمان‌های مجموع مشترکین}}{\text{کل تعداد قطعی‌های مشترکین}}$$

۴- شاخص متوسط فراوانی قطع برق مشترک

$$CAIFI = \frac{\text{کل تعداد قطعی‌های مشترکین}}{\text{کل تعداد مشترکین تحت تأثیر}}$$

۵- شاخص انرژی تأمین نشده

$$ENS = \text{کل انرژی تأمین نشده بوسیله سیستم}$$

۶- متوسط انرژی تأمین نشده

$$AENS = \frac{\text{کل انرژی تأمین نشده}}{\text{کل تعداد مشترکین}} = \frac{\sum L_{a(i)} U_i}{\sum N_i}$$

### ۱۰- مراجع

- [1] Caisheng Wang, Nahir, "Analytical Approaches for Optimal Placement Of Distributed Generation Sources in power systems", IEEE Transactions on power systems, Vol.19, No.4, pp. 2068-2076, 2004.
- [2] Caire R., Retikre N., Morin N., Fontela M., Hadjsaid N., "Voltage Management of Distributed Generation in Distribution Networks", IEEE Power Engineering Society General Meeting, pp. 282-287, 2003.
- [3] Kim K.-H., Lee Y.-J., Rhee S.-B., Lee S.-K., You S.-K., "Dispersed Generator Placement Using Fuzzy-GA in Distribution Systems", IEEE Power Engineering Society Summer Meeting 2002, Chicago, pp. 1148-1153.