

# مکان‌یابی و اندازه‌یابی بهینه منابع تولید پراکنده با هدف کاهش تلفات سالیانه

علیرضا خان‌بابا<sup>۱</sup>، میثم امیراحمدی<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی برق، گروه فنی و مهندسی، پردیس علوم و تحقیقات سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان- ایران

۲- استادیار، مرکز تحقیقات انرژی و توسعه پایدار، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

\* سمنان- ایران، ۱۴۷۷۸۹۳۸۵۵، meisam\_amirahmadi@yahoo.com

## چکیده

در این مقاله با در نظر گرفتن مزایای متعدد منابع تولید پراکنده و همچنین توجه به اهمیت مکان‌یابی مناسب و ظرفیت‌یابی مطلوب این منابع جهت دستیابی به مزایای آن، به تعیین مکان و ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده در شبکه توزیع پرداخته شده است. عدم مکان‌یابی مناسب منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع منجر به وقوع معایبی چون افزایش تلفات، تخریب پروفیل ولتاژ و قابلیت اطمینان شبکه، کاهش پایداری و افزایش هارمونیک‌ها می‌شود. بهینه‌سازی مدنظر در این مقاله توسط ارائه یک ضریب حساسیت به کاهش تلفات انرژی سالیانه شبکه و هزینه‌ی سالیانه منابع تولید پراکنده صورت گرفته است. از روش الگوریتم ژنتیک به عنوان ابزار حل مسئله بهینه‌سازی و از سیستم تست ۳۳ شینه IEEE به عنوان سیستم تست مورد مطالعه استفاده شده است. به منظور محاسبه تلفات انرژی سالیانه شبکه از پخش بار جاروب رفت و برگشت و مدل بار میانگین ۲۸۸ ساعته استفاده شده است.

## کلیدواژگان

منابع تولید پراکنده، تعیین مکان و ظرفیت بهینه، شبکه توزیع شعاعی، الگوریتم ژنتیک، روش جاروب رفت و برگشت.

## Optimum placement and sizing of distributed generations for annual losses reduction

Alireza Khanbaba<sup>1</sup>, Meisam Amirahmadi<sup>2\*</sup>

1- Msc student of power engineering, Department of Engineering, Semnan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran.

2- Strategic Center for Energy and Sustainable Development, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran

\* P.O.B. 1477893855 Semnan, Iran, Meisam\_amirahmadi@yahoo.com

## Abstract

In this paper, considering many advantages of distributed generation (DG) and also pay attention to the importance of optimum placement and sizing of these resources in order to reach its advantages, to determination of the optimal location and capacity of DG in distributed generation has been paid. unsuitable location and sizing of DG in distributed networks Leads to disadvantages including Increase losses, voltage profile destruction and reliability of network, stability reduce and harmonic increase. The optimizing that is noticed in this paper offered by presenting a sensitivity factor to reduce of annual energy loss in network and annual costs of DG. It used algorithm method in order to solve optimizing problem and also used IEEE 33-bus radial distributed network as system test. It used 288-h average load model and forward/backward sweep technique to calculate the annual energy loss.

## Keywords

Distributed generation, determination of optimal location and capacity, radial distribution network, genetic algorithm, forward/backward sweep technique

۱- مقدمه  
از سال‌های اخیر رشد تقاضای برق به سرعت در حال افزایش است. استفاده از منابع تولید پراکنده (DG<sup>۱</sup>) یکی از راهکارهای مناسب برای تحقق رشد تقاضا انرژی می‌باشد. همچنین استفاده از DGها در شبکه‌های برق مزایای فراوانی مانند کاهش تلفات انرژی شبکه، بهبود پروفیل ولتاژ، افزایش قابلیت اطمینان، امکان استفاده از انرژی‌های نو و به دنبال آن اثرات زیست محیطی مثبت و هزینه‌های عملیاتی پایین‌تر را بدنبال خواهد داشت. با توجه به ابعاد فیزیکی کوچکتر DGها در مقایسه با واحدهای تولیدی مرسوم و همچنین انعطاف‌پذیری بیشتر DGها در شرایط سرمایه‌گذاری و زمان نصب و بهره‌برداری کوتاه‌تر، علاقه‌مندی به استفاده از این واحدها در بین طراحان و برنامه‌زیران سیستم‌های قدرت روز به روز در حال افزایش می‌باشد [۱]. با توجه به مطالب بیان شده، نیاز به یکپارچه‌سازی منابع انرژی پراکنده (DER<sup>۲</sup>) در شبکه‌های توزیع وجود خواهد داشت. بنابراین پیش از تولید و بهره‌برداری

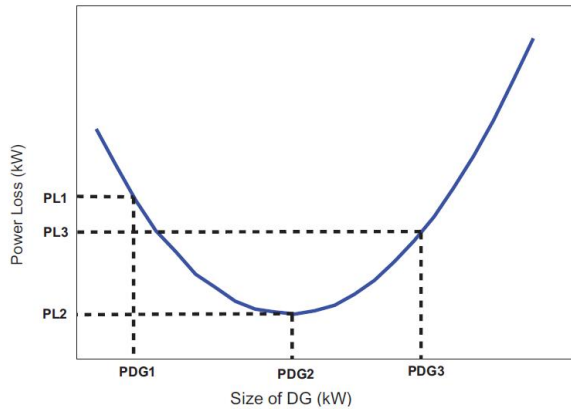
از DER در سیستم‌های قدرت لازم است مسائل فنی، اقتصادی و زیست-محیطی به خوبی مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. مهمترین موانع یا مسائلی که در استفاده از این منابع حائز اهمیت است عبارتند از حفاظت، کیفیت توان، پایداری و بهره‌برداری در شرایط جزیره‌ای، که توجه به این مسائل باعث دستیابی به حداکثر مزایای حاصل از استفاده این منابع می‌شود [۲-۳]. تعیین ظرفیت نامطلوب DG و مکان‌یابی ناصحیح DER در شبکه‌های توزیع ممکن است منجر به افزایش تلفات شبکه و به دنبال آن بروز معایبی دیگر در شبکه شود [۴-۵]. بنابراین استفاده از این منابع در شبکه‌های توزیع نیازمند تعیین مکان و ظرفیت بهینه‌ی آنها است. در این مطالعه به تعیین مکان و ظرفیت بهینه DG در شبکه توزیع با هدف کاهش تلفات سالیانه شبکه توزیع پرداخته شده است.

مکان‌یابی و ظرفیت‌یابی DG براساس توابع هدف متفاوت در مقالات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. این مقاله براساس بررسی مقالاتی که در این حوزه به مطالعه پرداخته‌اند ارائه شده است. در [۶] روشی برای تعیین مکان بهینه DG در شبکه توزیع ارائه شده است. روش فوق منجر به افزایش

<sup>۱</sup> - Distributed Generation

<sup>۲</sup> - Distributed Energy Resources

تولید DG، تلفات شبکه دوباره شروع به افزایش می‌کند. منحنی تغییر تلفات با تغییر ظرفیت DGهای نصب شده در شکل (۱) نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود ظرفیت  $P_{DG2}$  میزان مطلوب تولید DG به منظور کاهش تلفات است [۲].



شکل ۱ منحنی تغییرات تلفات توان با توجه به تغییر ظرفیت DG [۲]

از آنجا که تکنولوژی‌های مختلف DG مانند سیستم‌های خورشیدی حرارتی، توربین‌های بادی، توربین‌های بخار صنعتی و توربین‌های گازی کوچک دارای هزینه‌های نصب و بهره‌برداری متفاوتی هستند و هزینه هر DG رابطه مستقیم با ظرفیت تولید آن دارد، در این مقاله به تعیین مکان و ظرفیت بهینه DG در شبکه توزیع با هدف کاهش تلفات سالیانه و در نظر گرفتن هزینه سالیانه DG پرداخته شده است. در ادامه تابع هدف مربوط به بهینه‌سازی مسئله فوق تشریح شده است.

#### ۲-۱- تابع تلفات انرژی سالیانه

به منظور محاسبه تلفات سالیانه می‌بایست تلفات در ۸۷۶۰ ساعت سال محاسبه گردد. محاسبه تلفات انرژی شبکه با استفاده از رابطه (۴) و برای کلیه ساعات سال بصورت رابطه (۵) قابل محاسبه است.

$$E_{Loss}^{Annual} = \sum_{h=1}^{8760} \sum_{k=1}^n S_L(k, h) \quad (5)$$

در رابطه (۵)،  $E_{Loss}^{Annual}$  مجموع تلفات انرژی سالیانه شبکه بر حسب  $VA$ ،  $h$  تعداد ساعات سال است.

#### ۲-۲- تابع هزینه سالیانه منابع تولید پراکنده

هزینه سالیانه DG شامل هزینه سرمایه‌گذاری اولیه سالیانه، هزینه سوخت و هزینه بهره‌برداری و تأمین و نگهداری می‌شود. فرمولاسیون مربوط به هزینه‌های نامبرده در ادامه تشریح خواهد شد.

DGها بسته به تکنولوژی و ظرفیتشان دارای هزینه‌های اولیه سرمایه‌گذاری متفاوت می‌باشند، که به شکل کلی هزینه سرمایه‌گذاری اولیه DGها را می‌توان به صورت رابطه (۶) بیان کرد.

$$C_{IC,DG}^{Annual} = \sum_{i=1}^N C_{IC,DG_i} \times P_{DG_i} \times CRF \quad (6)$$

در رابطه (۶)،  $C_{IC,DG}^{Annual}$  هزینه سرمایه‌گذاری اولیه سالیانه DGها،  $C_{IC,DG_i}$  هزینه سرمایه‌گذاری اولیه نصب  $i$  امین DG بر حسب  $kVA$ ،

ظرفیت انتقال توان و حاشیه ولتاژ پایدار می‌شود. در [۷] مطالعه برای مکان-یابی مطلوب انواع مختلف DGها صورت گرفته، که موقعیت و ظرفیت مطلوب با هدف کاهش تلفات توان شبکه توزیع بدست آمده است. در [۸] به مکان-یابی DG پرداخته شده است. تابع هدف در نظر گرفته شده در [۸] کاهش تلفات شبکه توزیع است. در [۹] مکان مناسب DG در سیستم‌های قدرت برای دستیابی به بیشینه مزایای حاصل از نصب این تجهیزات تعیین گردیده است. تابع هدف در نظر گرفته شده در [۹] کاهش تلفات شبکه توزیع شعاعی می‌باشد.

در این مقاله با توجه به اهمیت مکان‌یابی و ظرفیت‌یابی DG در شبکه‌های توزیع به تعیین مکان و ظرفیت بهینه این تجهیزات در شبکه پرداخته شده است. در بخش ۲ این مقاله فرمولاسیون و مدل ریاضی مربوط به تابع هدف و قیود مسئله تشریح شده است. در ادامه در بخش ۳ مطالعات عددی مربوط به سیستم تست، نوع تکنولوژی DG مورد استفاده، مدل بار سالیانه، روش پخش بار و ابزار بهینه‌سازی مطرح شده است. در بخش ۴ نتایج عددی حاصل از مسئله بهینه‌سازی مدنظر این مقاله ارائه و نتیجه‌گیری شده است.

#### ۲- مدل‌سازی تابع هدف

تلفات توان در شبکه‌های توزیع به عوامل متفاوتی بستگی دارد. تلفات توان حقیقی در یک شبکه توزیع به عواملی چون مقاومت خطوط توزیع، تلفات هسته ترانسفورماتور و موتور بستگی دارد. نسبت تلفات دی‌الکتریک و چرخشی به تلفات خطوط بسیار کوچک می‌باشد، بنابراین در این مطالعه تنها تلفات خطوط در تجزیه و تحلیل مورد توجه قرار گرفته است. توان مختلط  $S_{ij}$  از گره  $i$  به  $j$  از گره  $j$  به  $i$  است [۲].

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* \quad (1)$$

$$S_{ji} = V_j I_{ji}^* \quad (2)$$

در رابطه (۱) و (۲)،  $V_i$  و  $V_j$  بترتیب ولتاژ در گره  $i$  و  $j$  است. جریان خط  $I_{ij}$  جریان اندازه‌گیری شده در جهت مستقیم از شین  $i$  به  $j$  است و جریان خط  $I_{ji}$  جریان اندازه‌گیری شده در جهت مستقیم از شین  $j$  به  $i$  است. بنابراین تلفات توان در هر خط بین شین  $i$  به  $j$  را می‌توان به عنوان جمع جبری روابط (۱) و (۲)، به صورت رابطه (۳) نوشت [۱۰].

$$S_{L_{ij}} = S_{ij} + S_{ji} \quad (3)$$

پس از هر پخش بار، تلفات توان در هر خط را می‌توان با استفاده از (۳) بدست آورد و با محاسبه تلفات تمام خطوط، تلفات توان کل شبکه بصورت رابطه (۴) بدست می‌آید.

$$LOSS = \sum_{k=1}^n S_L(k) \quad (4)$$

در رابطه (۴)،  $LOSS$  مجموع تلفات شبکه و  $n$  تعداد خطوط شبکه می‌باشد.

برای هر شبکه توزیع، نصب و بهره‌برداری از هر واحد DG منجر به تغییر پروفیل تلفات توان شبکه می‌شود. در واقع، در یک شبکه توزیع، منحنی تلفات توان با تغییرات تولید توان در یک مکان خاص روی شبکه، مشابه یک تابع درجه دوم است. با توجه به اینکه  $I$  جریان خط،  $R$  مقاومت خط و  $S$  توان ظاهری خط بوده، تلفات خط رابطه مستقیم با  $RI^2$  دارد و  $I$  رابطه مستقیم با  $S$  دارد. بنابراین ظرفیت تولید DG در هر شین از شبکه توزیع افزایش یابد، تلفات کل سیستم کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش بیشتر

$$P_{DG_i}^{Min} \leq P_{DG_i} \leq P_{DG_i}^{Max} \quad (13)$$

$$Q_{DG_i}^{Min} \leq Q_{DG_i} \leq Q_{DG_i}^{Max} \quad (14)$$

- محدودیت نصب منابع تولید پراکنده: تعداد DGها قابل نصب روی هر شین شبکه بین ۰ تا ۳ عدد DG محدود شده است.

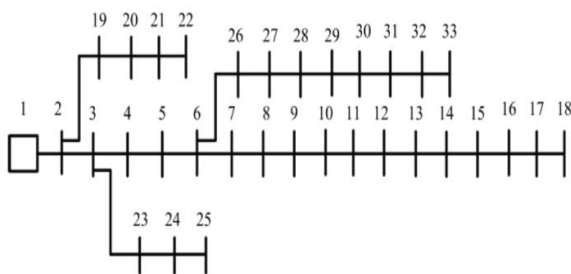
$$0 \leq N_{DG, Bus_i} \leq 3 \quad (15)$$

در (۱۵)،  $N_{DG, Bus_i}$  تعداد DG قابل نصب روی شین  $i$ ام می‌باشد.

### ۳- مطالعات عددی

#### ۳-۱- سیستم تست

در این مقاله از شبکه توزیع شعاعی ۳۳ شینه IEEE به عنوان سیستم تست مورد مطالعه استفاده شده است. دیاگرام تک خطی و اطلاعات مربوط به این شبکه بترتیب در شکل (۲) و جدول (۱) نمایش داده شده است [۱۲]. با توجه به اینکه در عمل ممکن است نصب و بهره‌برداری از DGها در تمامی شین‌ها امکان‌پذیر نباشد، لذا به منظور مکان‌یابی این منابع در شبکه توزیع مورد تست تعدادی از شین‌ها به صورت منتخب برای نصب DGها فرض شده‌اند. جدول (۲) شین‌های منتخب برای نصب DG را نشان می‌دهد.



شکل ۲ سیستم تست ۳۳ شینه IEEE

جدول ۱ اطلاعات شبکه توزیع شعاعی ۳۳ شینه IEEE

مقدار	مشخصات و پارامترهای سیستم تست ۳۳ شینه IEEE
۳/۷۱۵	بار کل (MW)
۲۱۰/۹۹۸	تلفات اکتیو (kW)
۱۴۳/۰۳۲	تلفات راکتیو (kVar)
۰/۹۰۳۷۷	کمترین میزان ولتاژ (p.u.)
۱۸	شماره شین کمترین ولتاژ

جدول ۲ شین‌های منتخب برای نصب DG

شین‌های منتخب برای نصب DG										
۴	۵	۶	۷	۸	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	
۲۱	۲۲	۲۴	۲۵	۲۶	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲	۳۳	

#### ۳-۲- مدل ضرایب بار سالیانه

$P_{DG_i}$  ظرفیت DG  $i$ ام بر حسب  $kVA$  است.  $N$  تعداد DGها نصب شده در شبکه توزیع و  $CRF$ ، ضریب بازگشت سرمایه بوده که به صورت رابطه (۷) محاسبه می‌شود [۱۱].

$$CRF = \frac{i_r(1+i_r)^z}{(1+i_r)^z - 1} \quad (7)$$

در رابطه (۷)،  $i_r$  نرخ بهره سالیانه و  $z$  طول عمر  $i$ امین DG است. پارامتر هزینه سوخت در DGهایی که نیازمند سوخت هستند به صورت رابطه (۸) محاسبه می‌شود.

$$C_{Fuel, DG} = \sum_{i=1}^N C_{Fuel, DG_i} \times P_{DG_i} \quad (8)$$

در رابطه (۸)،  $C_{Fuel, DG}$  مجموع هزینه سوخت DGها در هر ساعت ( $\$/h$ ) و  $C_{Fuel, DG_i}$  هزینه سوخت  $i$ امین DG بر حسب  $\$/kVAh$  می‌باشد.

هزینه بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری رابطه مستقیم با ظرفیت DGها دارد. این هزینه از رابطه (۹) قابل محاسبه است.

$$C_{O\&M, DG} = \sum_{i=1}^N C_{O\&M, DG_i} \times P_{DG_i} \quad (9)$$

در رابطه (۹)،  $C_{O\&M, DG}$  مجموع هزینه بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری در هر ساعت ( $\$/h$ ) و  $C_{O\&M, DG_i}$  هزینه بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری از  $i$ امین DG بر حسب  $\$/kVAh$  می‌باشد.

با توجه به هزینه‌های بیان شده برای DG، تابع مربوط به هزینه سالیانه منابع تولید پراکنده ( $C_{DG}^{Annual}$ ) مطابق (۱۰) بدست می‌آید.

$$C_{DG}^{Annual} = C_{IC, DG}^{Annual} + (8760 \times (C_{Fuel, DG} + C_{O\&M, DG})) \quad (10)$$

#### ۳-۲- تابع هدف

تابع هدف در نظر گرفته شده بصورت یک ضریب حساسیت ( $SF_{O,F}$ ) برای تعیین مکان و ظرفیت بهینه DG در شبکه توزیع به صورت رابطه (۱۱) مدل‌سازی شده است.

$$SF_{O,F} = \frac{E_{Loss, State1}^{Annual} - E_{Loss, State2}^{Annual}}{C_{DG, State1}^{Annual} - C_{DG, State2}^{Annual}} \quad (11)$$

در تابع هدف مدل‌سازی شده اگر ظرفیت DGها نصب شده در شبکه از  $P_{DG, State1}$  به  $P_{DG, State2}$  تغییر کند در نتیجه هزینه سالیانه DGها از  $C_{DG, State1}^{Annual}$  به  $C_{DG, State2}^{Annual}$  تغییر کرده و به دنبال آن تلفات سالیانه شبکه از  $E_{Loss, State1}^{Annual}$  به  $E_{Loss, State2}^{Annual}$  تغییر خواهد کرد که منجر به تغییر  $SF_{O,F}$  خواهد شد.

#### ۴-۲- قیود و محدودیت‌های مسئله

قیودی که برای مکان‌یابی و ظرفیت‌یابی این تجهیزات در شبکه توزیع در نظر گرفته شده‌اند، شامل موارد زیر است:

- قید ولتاژ: ولتاژ شین‌های شبکه باید در محدوده مجاز باشند.

$$V_i^{Min} < V_i < V_i^{Max} \quad (12)$$

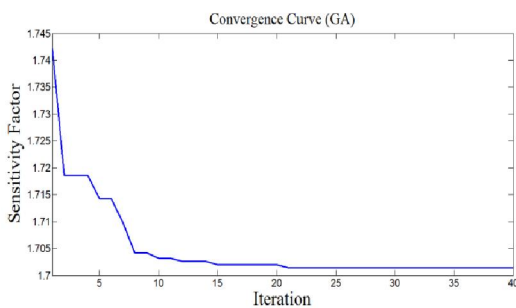
در این رابطه  $V_i$  مقدار ولتاژ هر شین و  $V_i^{Min}$  و  $V_i^{Max}$  بترتیب کمترین و بیشترین مقدار مجاز برای ولتاژ شین‌ها می‌باشد.

- محدودیت تولید توان اکتیو و راکتیو توسط DGها

مقدار	پارامترها و مشخصات میکروتوربین
۱۰۰	ظرفیت نامی (kw)
۱۴۸۵	هزینه سرمایه‌گذاری (\$/kwh)
۰/۰۷۵	هزینه سوخت (\$/kwh)
۰/۰۱۵	هزینه بهره برداری و تعمیر و نگهداری (\$/kwh)
۱۲/۵	طول عمر(سال)



شکل ۳ فلوجارت الگوریتم ژنتیک



شکل ۴ نمودار همگرایی الگوریتم ژنتیک

در این مقاله با استفاده از مدل ضرایب بار شبکه<sup>۱</sup> IEEE-RTS یک مدل بار تحت عنوان مدل بار میانگین ۲۸۸ ساعته ارائه شده است [۱۳]. با توجه به حجم بالای محاسبات تلفات سالیانه، در این مدل برای هر ماه از سال شبانه-روزی (۲۴ ساعت) به صورت منتخب در نظر گرفته شده است. هر کدام از ساعات شبانه‌روزی منتخب دارای ضریب باری است که با روش میانگین-گیری از کلیه ضرایب بار آن ماه در آن ساعت مشخص بدست آمده است.

### ۳-۳- تکنولوژی واحد تولید پراکنده

در این مقاله از واحدهای تولید پراکنده با تکنولوژی میکروتوربین (Microturbine—Power Only) استفاده شده است. اطلاعات مربوط به این DG در جدول (۳) نشان داده شده است [۱۴].

### ۳-۴- روش پخش بار و ابزار بهینه‌سازی

در این مقاله از روش جاروب رفت و برگشت برای انجام پخش بار در شبکه توزیع مورد مطالعه و از روش الگوریتم ژنتیک (GA)<sup>۲</sup> به منظور بهینه‌سازی مسئله مدنظر در مطالعه استفاده شده است.

روشی که به طور گسترده برای انجام پخش بار در شبکه‌های توزیع به کار گرفته می‌شود، روش جاروب رفت و برگشت است. این روش برای اولین بار توسط برگ و دیگران [۱۵] مطرح شده و توسط شیرمحمدی و دیگران [۱۶] توسعه داده شده است. روش فوق به صورت تکرارهایی تا رسیدن به همگرایی تکرار می‌شود و در هر تکرار بارهای شبکه به صورت جریان ثابت مدل‌سازی می‌شوند.

در این مقاله از روش الگوریتم ژنتیک جهت حل مسئله بهینه‌سازی استفاده شده است. پارامترهای اولیه مکان و ظرفیت DGها می‌باشد که با مشخص کردن مجموعه‌های مشخص از این پارامترها جمعیت اولیه GA شکل می‌گیرد. در هر کروموزوم از جمعیت اولیه به تعداد شین‌های منتخب، ژن وجود دارد. شانس بقای هر کروموزوم با توجه به تابع هدف محاسبه می‌گردد و در ادامه کروموزوم‌هایی که شانس بقای بیشتری داشته‌اند به عنوان والدین انتخاب می‌شوند. با انجام فرآیند ازدواج روی والدین، فرزندان تولید می‌گردند و سپس احتمال وقوع جهش بررسی شده، که در صورت وجود این احتمال جهش انجام می‌شود. در مرحله بعد مجدداً شانس بقا برای فرزندان محاسبه می‌شود و این روند تا رسیدن به شرط توقف تکرار می‌گردد. فلوجارت مربوط به الگوریتم ژنتیک در شکل (۳) نشان داده شده است.

### ۴- نتایج عددی

نتایج حاصل از تعیین مکان و ظرفیت بهینه DG با هدف کاهش تلفات انرژی سالیانه شبکه توزیع و توجه به کمینه‌سازی هزینه سالیانه DGها بیانگر کاهش قابل ملاحظه‌ای تلفات انرژی سالیانه شبکه است. شکل (۴) نمودار همگرایی الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله بهینه‌سازی مدنظر در این مقاله را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از تعیین مکان و ظرفیت بهینه DGها در شبکه توزیع مورد مطالعه در جدول (۴) بیان شده است. با توجه به جدول (۴) مشاهده می‌شود مجموع ظرفیت DGهای نصب شده در شبکه ۵۳۰ کیلووات می‌باشد، که نتایج حاصل از محاسبه تلفات اکتیو سالیانه شبکه قبل و بعد از نصب این DGها بترتیب ۸۲۲/۷۵۴ مگاوات و ۴۸۷/۸۰۹ مگاوات می‌باشد.

جدول ۳ مشخصات DG مورد استفاده

<sup>۱</sup>- IEEE Reliability Test System

<sup>۲</sup>- Genetic Algorithm

- [3] Tom, R. D., "Properly understanding the impacts of distributed resources on distribution systems", Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE, 2010.
- [4] Kroposki, B., Pankaj K. S., and Keith M., "Optimum sizing and placement of distributed and renewable energy sources in electric power distribution systems", Industry Applications Society Annual Meeting, 2009. IAS 2009. IEEE. 2009.
- [5] Kroposki, B., Pankaj K. S., and Keith M., "Optimum Sizing and Placement of Distributed and Renewable Energy Sources in Electric Power Distribution Systems", Industry Applications, IEEE Transactions on, Vol. 49, No. 6, pp. 2741-2752, 2013.
- [6] Hedayati, H., Nabaviniaki, S. A., and Akbarimajid, A., "A method for placement of DG units in distribution networks", Power Delivery, IEEE Transactions on Vol. 23, No.3, pp. 1620-1628, 2008.
- [7] Kansal, S., Vishal, K., and Barjeev, T., "Optimal placement of different type of DG sources in distribution networks", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 53, pp. 752-760, 2013.
- [8] Hung, D. Q., and Nadarajah M., "Multiple distributed generator placement in primary distribution networks for loss reduction", Industrial Electronics, IEEE Transactions on, Vol. 60, No. 4, pp. 1700-1708, 2013.
- [9] Wang, C., and Nehrir, M. H., "Analytical approaches for optimal placement of distributed generation sources in power systems", Power Systems, IEEE Transactions on, Vol. 19, No. 4, pp. 2068-2076, 2004.
- [10] H. Saadat, Power System Analysis, Tata McGraw-Hill, India, 2002, p. 212.
- [11] Atwa, Y. M., and El-Saadany, E. F., "Optimal allocation of ESS in distribution systems with a high penetration of wind energy", Power Systems, IEEE Transactions on, Vol. 25, No. 4, pp. 1815-1822, 2010.
- [12] Ranjan, R., and Das, D., "Simple and Efficient Computer Algorithm to Solve Radial Distribution Networks", Electric Power Components and Systems, Vol. 33, pp. 95-107, 2003.
- [13] Subcommittee, P. M., "IEEE reliability test system", IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, Vol. pas-98, No.6, pp.2047-2054, 1979.
- [14] Holtz, Eakin, D., "Prospects for Distributed Electricity Generation", CBO, 2003.

جدول ۴ مکان و ظرفیت DGها نصب شده در شبکه تست

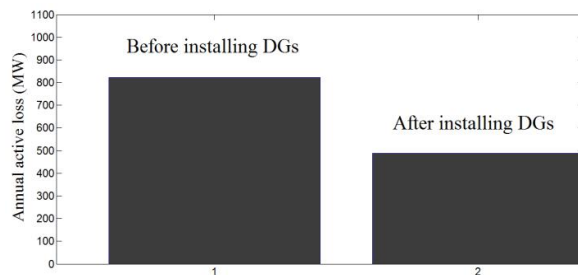
شین منتخب	DG ۱ (kw)	DG ۲ (kw)	DG ۳ (kw)	مجموع ظرفیت DGها (kw)
۱۵	-	۶۰	-	۶۰
۱۶	۱۰	۷۰	۳۰	۱۱۰
۱۷	۹۰	-	-	۹۰
۱۸	-	۶۰	-	۶۰
۳۱	۶۰	-	۱۰	۷۰
۳۲	۳۰	۲۰	۶۰	۱۱۰
۳۳	۳۰	-	-	۳۰

نتایج فوق حاکی از کاهش ۳۳۴/۹۴۵ مگاواتی تلفات اکتیو سالیانه شبکه بعد از نصب DGها است. شکل (۵) تلفات اکتیو سالیانه شبکه را قبل و بعد از نصب DGها را نشان می‌دهد.

با مقایسه پارامترهای شبکه قبل و بعد از نصب DG که در جدول (۵) به آن اشاره شده است، مشاهده می‌شود حضور DGها در شبکه علاوه بر کاهش تلفات شبکه باعث بهبود پروفیل ولتاژ نیز شده است.

#### ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله با اشاره به مزایای فراوان استفاده از DG و اهمیت مکان و ظرفیت نصب آنها در شبکه‌های توزیع به تعیین مکان و ظرفیت بهینه DG در این شبکه‌ها با هدف کاهش تلفات انرژی سالیانه و توجه به هزینه سالیانه DG پرداخته شده است. به منظور بهینه‌سازی و حل مسئله از روش الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. نتایج بدست آمده حاکی از کاهش قابل ملاحظه تلفات انرژی سالیانه بعد از نصب DGها می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود علاوه بر کاهش تلفات، حضور DGها در شبکه منجر به بهبود پروفیل ولتاژ شین‌ها نیز شده است.



شکل ۵ تلفات اکتیو سالیانه شبکه قبل و بعد از نصب DG

جدول ۵ اطلاعات شبکه توزیع شعاعی ۳۳ شینه IEEE

مشخصات و پارامترهای	قبل از نصب DG	بعد از نصب DG
تلفات اکتیو سالیانه (kW)	۸۲۲/۷۵۴	۴۸۷/۸۰۹
کمترین میزان ولتاژ (p.u.)	۰/۹۰۳۷۷	۰/۹۵۳۵۳
شماره شین کمترین ولتاژ	۱۸	۳۳
بیشترین میزان ولتاژ (p.u.)	۱/۰۵	۱/۰۵
شماره شین بیشترین ولتاژ	۱	۱

#### ۶- مراجع

- [1] Pepermans, G., et al., "Distributed generation: definition, benefits and issues", Energy policy, Vol. 33, pp. 787-798, 2005.
- [2] Adnan, A., and Pota, H. R., "Loss reduction of power distribution network using optimum size and location of distributed generation", Universities Power Engineering Conference (AUPEC), 2011 21st Australasian. IEEE, 2011.