



تعیین ظرفیت و مکان بهینه‌ی منابع تولید پراکنده به منظور کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ



علی جمالی
کارشناس ارشد برق و قدرت



معصومه رضایی
کارشناس ارشد برق و قدرت



چکیده

در طراحی سیستم‌های قدرت جدید تمایل بر این است که تا حد ممکن تولید به مصرف نزدیک شود و برای برآورد شدن این هدف، استفاده از منابع تولید پراکنده مورد توجه قرار گرفته شده است. علاوه بر این، استفاده از واحدهای تولید پراکنده می‌تواند باعث بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات شبکه شود. در این راستا تعیین ظرفیت و محل نصب واحدهای تولید پراکنده از اهمیت بالایی برخوردار است. بر این اساس، این مقاله به مدل‌سازی مسأله‌ی جایابی و تعیین ظرفیت بهینه‌ی واحدهای تولید پراکنده با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود می‌پردازد. فیدر ۲۰ کیلوولت ایزدخواست از ایستگاه ۶۶ کیلوولت صغاد با اطلاعات برداشت شده از شبکه به عنوان مورد مطالعاتی انتخاب شده است و در حالت‌های کم باری، میان باری و پر باری مورد بررسی قرار گرفته است. شبیه‌سازی و مطالعات به‌وسیله‌ی نرم‌افزار MATLAB و Digsilent انجام شده است. نتایج این روش کارایی آن را در جایابی و تعیین ظرفیت منابع تولید پراکنده با در نظر گرفتن رشد بار و محدودیت‌های ولتاژ و ظرفیت فیدر به وضوح نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تولیدات پراکنده، کاهش تلفات، عدم قطعیت، تعیین ظرفیت و جایابی بهینه، Digsilent، Matlab

مقدمه

زمانی کوتاه‌تر، آسان‌تر می‌کند [۱]. در شبکه‌های شعاعی توزیع به علت پسیو بودن ساختار شبکه، تلفات توان و افت ولتاژ در انتهای شبکه چشم‌گیر بوده و کیفیت توان تحویلی به مصرف‌کننده‌های انتهایی خط نامناسب است. هم‌چنین با توجه به رشد روزافزون بار، احداث منابع تولید پراکنده می‌تواند جایگزین مناسبی برای احداث خطوط و پست‌های جدید در یک

استفاده از منابع تولید پراکنده می‌تواند یکی از راه‌کارهای مؤثر برای رهایی از برخی مشکلات مانند تلفات بالا، کیفیت توان پایین و افت ولتاژ در سیستم‌های توزیع و انتقال باشد. افزون‌براین، ظرفیت کوچک منابع تولید پراکنده، طراحی و نصب این واحدها را در مقایسه با استفاده از واحدهای بزرگ و متمرکز در یک چهارچوب

دوره زمانی کوتاه مدت باشد.

با توجه به موارد یاد شده و مزایای دیگر، به منابع تولید پراکنده و استفاده از آن‌ها توجه جدی شده است. بنابراین، جایابی و تعیین ظرفیت بهینه‌ی منابع تولید پراکنده می‌تواند باعث کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ شود. مطالعات نشان می‌دهد که انتخاب نامناسب محل و ظرفیت DG می‌تواند باعث بروز تلفات بیش‌تری در شبکه نسبت به حالت قبل از نصب DG شود [۲].

جایابی بهینه و تعیین ظرفیت مناسب منابع تولید پراکنده می‌تواند باعث آزادسازی ظرفیت انتقال و توزیع شود. از این رو هزینه‌های سرمایه‌گذاری جدید را که هم سنگین‌تر و هم دارای دوره‌ی طولانی‌تری نسبت به نصب DG هستند به تعویق می‌اندازد [۳].

با توجه به موارد بالا بررسی تأثیر تغییرات بار و تولید بر تلفات بسیار ضروری است و به عنوان معیار واقعی توسط شرکت توزیع مدنظر قرار می‌گیرد [۴]. مکان‌یابی با هدف کاهش هزینه‌های احداث و بهره‌برداری از منابع تولیدات پراکنده و هم‌چنین کاهش هزینه‌ی تلفات با در نظر گرفتن محدودیت‌های خط، مانند محدودیت اضافه بار و محدودیت ولتاژ شین انجام شده است.

گفتنی است در بسیاری از مطالعات، از شبکه‌های استاندارد استفاده می‌کنند که شرایط یک سیستم واقعی را ندارند و مکان‌یابی را تمام باس‌های شبکه در نظر می‌گیرند؛ در این صورت نقاط بهینه به دلیل انتخاب‌های بیش‌تر، جواب‌های بهتری دارند. در این مقاله برای نصب منابع تولید پراکنده، مکان‌های کاندید با توجه به اطلاعات موجود فیدر (مختصات جغرافیایی و چگالی بار) در نظر گرفته شده است که به واقعیت نزدیک‌تر است.

در این مقاله از یک بیان تحلیلی برای محاسبه‌ی ظرفیت منابع تولید پراکنده استفاده شده است. این روش دارای الگوریتم ابتکاری ساده‌ای است که جایابی منابع تولید پراکنده را به صورت یکی یکی تا زمانی انجام می‌دهد که هدف مدنظر از نصب DG، کاهش تلفات شبکه به صورت بهینه تأمین شود. جایابی و تعیین ظرفیت DG در زمان‌های مختلف پیک بار، میان باری و بار پایه انجام و میزان تلفات در هر مورد با توجه به نتایج به دست آمده ظرفیت مناسب و محل بهینه انتخاب می‌شود [۵۶].

این مقاله به بخش‌های زیر تقسیم‌بندی شده است. در بخش دوم، معرفی مختصری در خصوص منابع تولید پراکنده و مزایای استفاده از آن بیان شده است. در بخش سوم، مسأله‌ی یافتن توان و اندازه‌ی بهینه‌ی تولیدات پراکنده را به شکل یک مسأله‌ی ریاضی بیان می‌کند. در بخش چهارم، شبکه‌ی نمونه در نرم‌افزار Digsilent شبیه‌سازی شده است و معرفی نتایج شبیه‌سازی در جریان‌های مختلف فیدر بیان شده است و در بخش پنجم نتایج حاصل از آزمایش‌ها بر روی شبکه‌ی مورد مطالعه ارائه شده است.

۱. تولید پراکنده و تأثیر آن بر شبکه

تولید پراکنده عبارت است از تولید برق در محل مصرف، اما گاهی به تکنولوژی‌هایی گفته می‌شود که از منابع تجدیدپذیر برای تولید برق استفاده می‌کنند. چیزی که اکثراً مورد قبول است، این است که این مولدها صرف‌نظر از چگونگی تولید توان آن‌ها، نسبتاً کوچک بوده و مستقیماً به شبکه‌ی توزیع وصل می‌شوند. امروز انرژی‌های تجدیدپذیر به سرعت در حال گسترش و نفوذ

هستند. در این‌جا تأثیر تولیدات پراکنده بر پارامترهای شبکه بیان شده است.

۱.۱. تأثیر تولیدات پراکنده بر افت ولتاژ شبکه‌های توزیع

در حضور منابع تولید پراکنده ولتاژ باس‌ها با توجه به ظرفیت تولیدات پراکنده تغییر می‌کند. اگر دو شبکه‌ی توزیع دارای ساختار یکسان و ظرفیت تولیدات یکسان باشند، موقعیت متفاوت تولیدات پراکنده می‌تواند اثرات متفاوتی را بر روی شبکه داشته باشد. در واقع انتخاب نامناسب محل نصب تولیدات پراکنده می‌تواند حتی باعث افزایش تلفات در شبکه و افزایش بیش از حد ولتاژ شود [۴].

۱.۲. تأثیر تولیدات پراکنده بر تلفات شبکه‌های توزیع

میزان تلفات در شبکه‌های توزیع به چگونگی بخش توان ارتباط دارد. از آن‌جا که تولیدات پراکنده می‌توانند تأثیر زیادی بر روی چگونگی بخش توان در شبکه داشته باشند، بنابراین تأثیر آن‌ها بر تلفات شبکه نیز می‌تواند چشم‌گیر باشد. این تأثیر می‌تواند با توجه به میزان تولیدات پراکنده، شعاعی یا حلقوی بودن شبکه‌های توزیع، مثبت یا منفی باشد. جایابی تولیدات پراکنده نیز همانند خازن‌ها می‌تواند با هدف کاهش تلفات انجام شود. با این تفاوت که خازن‌ها تنها بر روی شارش توان راکتیو تأثیر دارند. درحالی‌که تولیدات پراکنده می‌توانند بر روی توان اکتیو و راکتیو به صورت هم‌زمان تأثیر داشته باشند. ضریب توان بیش‌تر واحدهای تولید پراکنده بین ۰/۸۵ پس فاز تا ۱ است. اما استفاده از میدل‌های الکترونیک قدرت به عنوان واسط می‌تواند منجر به تولید جریان‌های پیش فاز و جبران توان راکتیو شود. برای فیدرهایی که دارای تلفات بالایی هستند، نصب واحدهای تولید پراکنده، می‌تواند به کاهش تلفات شبکه کمک کند [۸].

۲. روش تحقیق و مدل‌سازی ریاضی

در این بخش ابتدا به معرفی روش پیشنهادی برای جایابی و تعیین ظرفیت منابع تولید پراکنده پرداخته و در مرحله‌ی بعدی محاسبات و معادلات لازم برای مدل‌سازی ریاضی معرفی می‌شود.

۳. روش تحقیق

در «شکل ۱» روش انجام کار نشان داده شده است. در این بخش بر اساس فلوجارت پیشنهادی در مقاله به جایابی و تعیین ظرفیت بهینه مولد DG پرداخته شده است.

۱.۳. مدل‌سازی ریاضی

برای هر یک از شین‌های شبکه توان اکتیو و راکتیو وجود دارد که به ازای تزریق آن مقدار توان اکتیو و راکتیو به شین مربوط تلفات شبکه حداقل می‌شود. این مقدار توان اکتیو و راکتیو برای تک تک شین‌ها از (۱) و (۲) محاسبه می‌شود.

$$P_{DGi} = P_{Di} + \frac{1}{\alpha_{ii}} [\beta_{ii} Q_i + \sum_{j=1 \& j \neq i}^N (\alpha_{ij} P_j - \beta_{ij} Q_j)] \quad (1)$$

$$Q_{DGi} = Q_{Di} + \frac{1}{\alpha_{ii}} [\beta_{ii} P_i + \sum_{j=1 \& j \neq i}^N (\alpha_{ij} Q_j - \beta_{ij} P_j)] \quad (2)$$

P_i = توان اکتیو تزریقی به شین i

Q_i = توان راکتیو تزریقی به شین i

$N =$ تعداد شین‌ها

$\delta_i =$ زاویه‌ی ولتاژ در شین i

$$\alpha_{ij} = \frac{r_{ij}}{v_i v_j} \cos(\delta_i - \delta_j) \quad (3)$$

$$\beta_{ij} = \frac{r_{ij}}{v_i v_j} \sin(\delta_i - \delta_j) \quad (4)$$

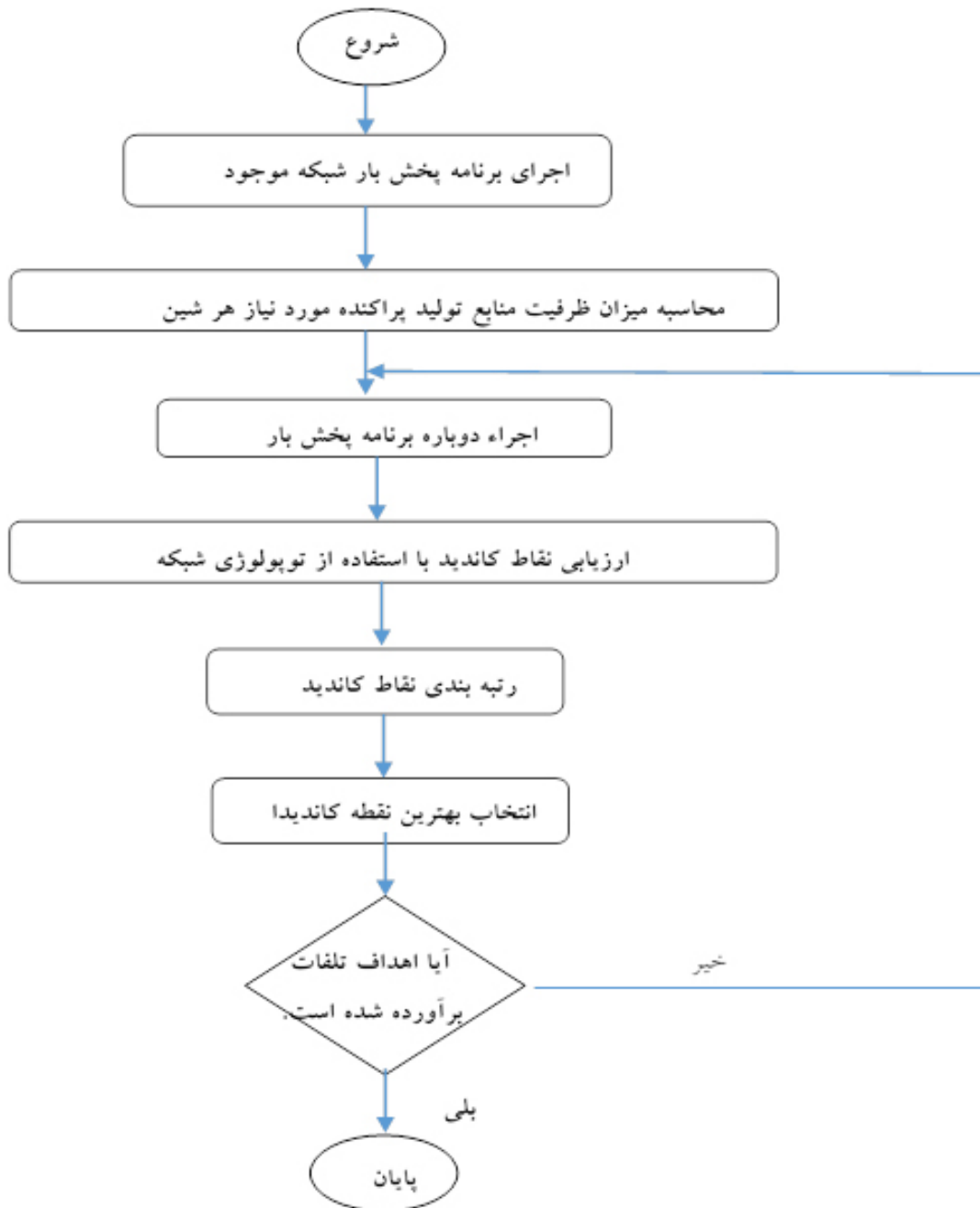
$$z_{ij} = r_{ij} + jx_{ij} \quad (5)$$

$$[Z_{bus}] = [Y_{bus}]^{-1} \quad (6)$$

امین درایه‌ی ماتریس Z_{bus} z_{ij}

بنابراین با استفاده از (۱) و (۲) می‌توان میزان توان اکتیو و راکتیو واحدی را که در صورت نصب بر روی شین مربوط، بیش‌ترین تأثیر را در کاهش تلفات داشته باشد محاسبه کرد. تا این مرحله شین‌های دارای چگالی بار بالا و نزدیک به مرکز ثقل بار کاندید نصب **DG** هستند.

سپس با در نظر گرفتن تمام ظرفیت‌های محاسبه شده برای تک‌تک شین‌ها برنامه‌ی پخش بار دوباره اجرا شده و میزان تلفات محاسبه می‌شود. سپس با توجه به بار میزان افزایش یا کاهش توان اکتیو و راکتیو کاندیداهایی برای نصب **DG** به دست می‌آید و سپس این کاندیدها رتبه‌بندی شده و بهترین انتخاب در نظر گرفته می‌شود.



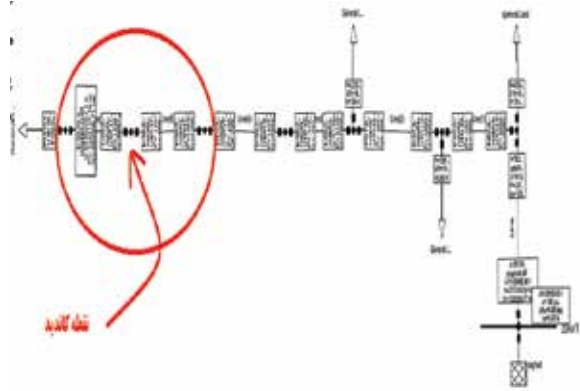
شکل ۱ : فلوچارت چگونگی اجرای کار



۲. شبیه‌سازی

در این مقاله فیدر ایزدخواست مربوط به ایستگاه صفاد که دارای پیک باری حدود ۱۲۰ آمپر بوده و طول اصلی آن ۷۵ کیلومتر است انتخاب شده است. گفتنی است حدود ۸۰ درصد از بار این خط در ۲۰ درصد انتهای فیدر قرار گرفته است. این فیدر در نرم افزار **Digsilent** مدل‌سازی شده و با استفاده از قابلیت **DPL** و ارتباط با نرم‌افزار **Matlab** و با توجه به عدم قطعیت بار در شرایط کم باری، میان باری و پرباری بدون حضور و در حضور **DG** شبیه‌سازی انجام شده و نتایج طرح پیشنهادی و اثرات آن بر میزان تلفات و افت ولتاژ در جدول‌ها و نمودارهای مربوطه نشان داده شده است.

۲.۱. وضعیت موجود شبکه قبل از نصب منابع تولید پراکنده
« شکل ۲ » فیدر توزیع مورد مطالعه در نرم‌افزار **Digsilent** را نشان می‌دهد. بارهای شبکه در این خط به ۹ پله تخمین زده شده است.



شکل ۲: دیاگرام تک خطی فیدر ایزدخواست از ایستگاه صفاد

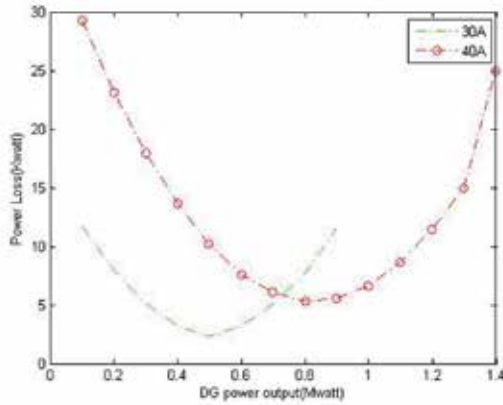
در نتیجه محاسبات پخش بار، هزینه‌ی تلفات انرژی سالیانه و ضریب تلفات، هزینه‌ی تلفات انرژی در پیک بار، ۹۵ آمپر معادل ۱۱۲۶ میلیون ریال است. تلفات در پله‌های مختلف بار در این خط به صورت زیر است:

ولتاژ انتهای فیدر (KV)	تلفات (KW)	جریان خط (آمپر)
۱۹	۱۲	۳۰
۱۸/۷	۳۱	۴۰
۱۸/۴	۵۵	۵۰
۱۸/۲	۸۷	۶۰
۱۷/۸	۱۱۵	۷۰
۱۷/۵	۱۶۷	۸۰
۱۷/۱	۱۸۰	۹۰
۱۶/۷	۳۰۲	۱۰۰
۱۶/۴	۳۱۷	۱۱۰
۱۶	۳۴۳	۱۲۰

جدول ۱: میزان تلفات و ولتاژ انتهای فیدر در پله‌های مختلف بار بدون حضور **DG**

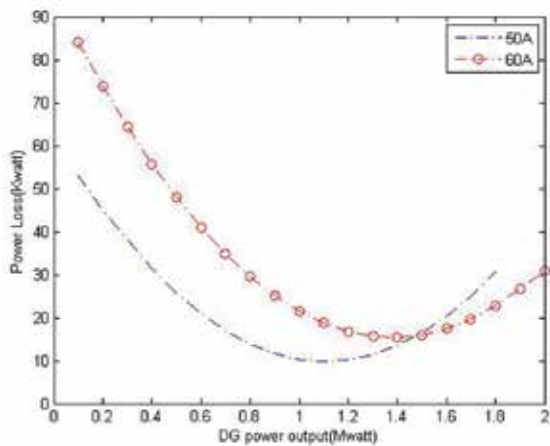
۲.۲. وضعیت خط پس از محاسبات نصب منابع تولید پراکنده

بعد از نصب **DG** با توجه به الگوریتم مطرح شده در شرایط بار با ظرفیت‌های مختلف میزان تلفات به دست آمده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود با توجه به بار شبکه در کم باری، میان باری و پرباری میزان ظرفیت بهینه **DG** در شرایط مختلف محاسبه و در « اشکال ۳ تا ۷ » نمودارهای آن‌ها مشخص شده است.

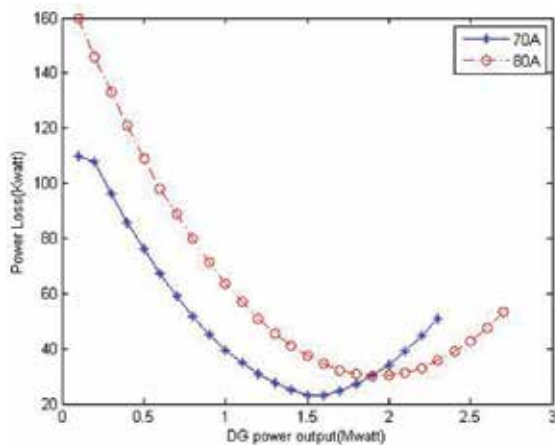


شکل ۳: نمودار کم‌باری شبکه در حضور **DG**

با توجه به « شکل ۳ » میزان بهینه‌ی ظرفیت **DG** در کم باری حدود ۰/۷ مگاوات است.



شکل ۴: نمودار میان باری شبکه در حضور **DG**



شکل ۵: نمودار میان باری شبکه در حضور **DG**

با توجه به « اشکال ۴ و ۵ » میزان بهینه‌ی ظرفیت **DG** در میان باری حدود ۱,۸ مگاوات است.



همان گونه که ملاحظه می‌شود نقطه‌ی کاندید مشخص شده در «شکل ۲» بهترین مکان برای نصب DG است و ظرفیت مناسب نصب جهت برآورده شدن میزان نیاز شبکه و به دست آوردن ولتاژ مناسب و تلفات بهینه مطابق «جدول ۲» در شرایط و بارهای مختلف متغیر است.

در این حالت میزان هزینه‌ی تلفات انرژی معادل ۵۱۵۰ میلیون ریال است. همان گونه که ملاحظه می‌شود میزان بهبود تلفات انرژی معادل ۶۱۱ میلیون ریال است.

۳. نتیجه‌گیری

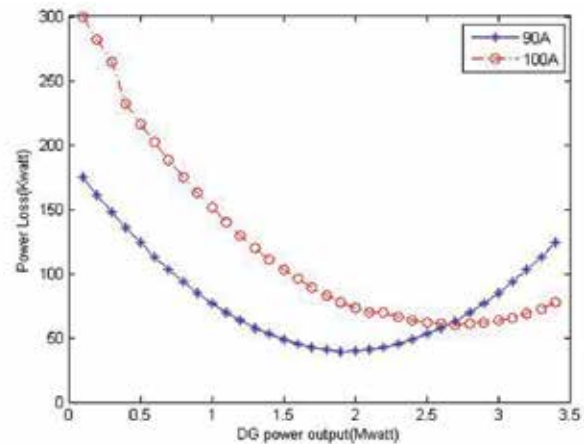
محل و ظرفیت DG دو عامل مهم در کاهش تلفات توان و بهبود پروفیل ولتاژ شبکه‌ی توزیع محسوب می‌شوند. در این مقاله روش ساده و سریعی برای تعیین ظرفیت بهینه DG معرفی شده است. برای محاسبات از الگوریتم مطرح شده در نرم افزار Digsilent و قابلیت برنامه نویسی DPL و Matlab استفاده شده است.

تمامی حالت‌های مطرح شده در بخش شبیه‌سازی، ناشی از حالت واقعی شبکه هستند. طبق نتایج به دست آمده، جای‌گذاری منابع در شبکه باعث بهبود ولتاژ و کاهش تلفات شده است. نتایج به دست آمده نشان‌گر آن است که با تأمین نسبتی از ظرفیت بار فیدر از طریق این منابع، بیش‌ترین کاهش تلفات حاصل می‌شود و در بدترین حالت میزان آن از ۹٫۸ درصد به ۲٫۲ درصد رسیده است. بنابراین در این شرایط تلفات فنی شبکه ۷٫۶ درصد کاهش یافته است. همان گونه که در «جدول ۱ و ۲» ملاحظه می‌شود میزان افت ولتاژ نیز حدود ۱۷ درصد کاهش یافته است.

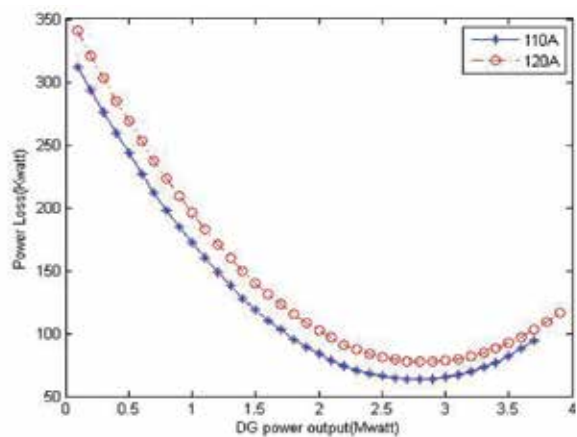
گفتنی است نصب منابع تولید پراکنده باعث ایجاد ظرفیت آزاد در فیدر شده و بخش توسعه آینده فیدر را به تعویق می‌اندازد.

منابع

- [1] A. Marimuthu, K. Gnanambal, R. Priyanka, "Optimal allocation and sizing of DG in a radial distribution system using whale optimization algorithm," *International Conference on Innovations in Green Energy and Healthcare Technologies (IGEHT), 2017*.
- [2] R. Prakash, B. C. Sujatha, "Optimal placement and sizing of DG for power loss minimization and VSI improvement using bat algorithm," *National Power Systems Conference (NPSC), pp. 1-6, 2016*.
- [3] Mohammed Kdair Abd, S. J. Cheng; H. S. Sun, "Optimal DG placement and sizing for power loss reduction in a radial distribution system using MPGA and sensitivity index method," *IEEE 11th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), pp. 1579-1585, 2016*.
- [۴] حیدری مرتضی، بانژاد مهدی، حاجی‌زاده امین، بهنیاغری علی، مرادی حسن، «جایابی بهینه‌ی واحدهای تولید پراکنده بر اساس معیارهای قابلیت اطمینان با استفاده از الگوریتم بهبود یافته جهش قورباغه»، هفدهمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق، ۲۰۱۲.
- [۵] امینی بدر آرمان، بخشی مریم، خانکشی زاده محرم، «بررسی اثر اتصال منابع تولید پراکنده برق بر سیستم توزیع انرژی الکتریکی»، هفدهمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق، ۲۰۱۲.
- [۶] صفی‌نژاد ایمان، ساعدپناه حمید، رنجبر عبدالله، شریف‌زاده محمدابراهیم، خادمی محمد مهدی، «بررسی اثر حضور هم‌زمان منابع تولید پراکنده و ترانسفورماتورهای کم تلفات بر کیفیت وقوع پدیده فرورزونانس در شبکه‌های توزیع نیروی برق»، پنجمین کنفرانس منطقه‌ای سیرد، ژانویه ۲۰۱۷.
- [۷] فکری مجتبی، جزینی درجه مهدی، مجید گندمکار، «بررسی و مطالعه‌ی موردی نصب ۱۰ مگاوات تولید پراکنده (DG) در محل ایستگاه ۶۳/۲۰ کیلووات کمال آباد جدید»، هفدهمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق، ۲۰۱۲.
- [8] A. Uniyal, A. Kumar, "Comparison of optimal DG placement using CSA, GSA, PSO and GA for minimum real power loss in radial distribution system," *IEEE 6th International Conference on Power Systems (ICPS), pp. 1-6, 2016*.



شکل ۶: نمودار پرباری شبکه در حضور DG



شکل ۷: نمودار پرباری شبکه در حضور DG

با توجه به اشکال ۶ و ۷ میزان بهینه‌ی ظرفیت DG در پیک بار حدود ۲٫۸ مگاوات است.

با توجه به موارد مطرح شده در جداول و نمودارهای بالا و میزان ظرفیت بهینه‌ی DG در بهترین حالت حدود ۲٫۸ مگاوات است که در ساعت‌های مختلف و بر اساس مصرف مشترکان موجود بر روی شبکه‌ی توزیع بایستی قابلیت Dispatch داشته باشند تا همیشه در نقطه‌ی بهینه‌ی بهره‌برداری قرار گیرند.

نتایج Dispatch بهینه‌ی منبع تولید پراکنده و اثرات آن بر میزان تلفات و ولتاژ انتهای فیدر در «جدول ۲» نشان داده شده است.

ولتاژ انتهای فیدر (KV)	تلفات (KW)	ظرفیت DG (Mwatt)	جریان خط (آمپر)
۲۰٫۴	۲٫۵	۰٫۵	۳۰
۲۰٫۲	۵	۰٫۸	۴۰
۲۰	۱۰	۱٫۱	۵۰
۱۹٫۹	۲۰	۱٫۴	۶۰
۱۹٫۸۵	۲۵	۱٫۵	۷۰
۱۹٫۷۵	۳۰	۱٫۸	۸۰
۱۹٫۷	۵۰	۲	۹۰
۱۹٫۶	۶۰	۲٫۵	۱۰۰
۱۹٫۵۵	۷۰	۲٫۷	۱۱۰
۱۹٫۵	۸۵	۲٫۸	۱۲۰

جدول ۲: میزان تلفات و ولتاژ انتهای فیدر در پله‌های مختلف بار در حضور DG

