



بررسی تأثیر نحوه مدل‌سازی بار در تعیین مکان و ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده

سید علی محمد جوادیان
مهرداد مستقیمی
شرکت مهندسی مشاور قدس نیرو

واژه‌های کلیدی: تولید پراکنده، شبکه توزیع، مدل‌سازی بار، برنامه‌ریزی

چکیده

در این مقاله تأثیر مدل‌های مختلف بار بر برنامه‌ریزی منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله نشان داده شده است که مدل‌های بار تأثیر بسیار زیادی بر برنامه‌ریزی منابع تولید پراکنده دارند. در برنامه‌ریزی شبکه‌های توزیع معمولاً مدل ثابت (اکتیو و راکتیو) برای بارهای شبکه در نظر گرفته می‌شود. این فرض ممکن است منجر به نتایج متناقض و گمراه‌کننده‌ای در انجام مطالعات مربوط به کاهش تلفات و محاسبات وابسته به آن گردد. در این مقاله اثبات شده است که برنامه‌ریزی DG بر مبنای این فرضیات نمی‌تواند برنامه‌ریزی مؤثری باشد. همچنین نشان داده شده است که مدل‌های بار در تعیین مکان و ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع بسیار مؤثر می‌باشند. در انتها نیز تمام مطالب فوق بر روی یک شبکه توزیع نمونه شبیه‌سازی شده و تلفات توان اکتیو و راکتیو، توان تزریق شده از طریق پست اصلی تغذیه کننده شبکه و توان تغذیه شده از طریق منابع تولید پراکنده نصب شده در شبکه، به ازای مدل‌های مختلف بار محاسبه و نتایج حاصل با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

۱- مقدمه

تجدید ساختار در صنعت برق باعث شده است که توجه مهندسی برق به استفاده از منابع تولید پراکنده به‌طور روزافزون بیشتر شود. بنابراین انتظار می‌رود نقش تولیدات پراکنده در برنامه‌ریزی سیستم‌های قدرت و عملکرد بازارهای برق افزایش یابد. تولید پراکنده به منابع تولید انرژی الکتریکی گفته می‌شود

که می‌توانند توسط یک شرکت توزیع انرژی (DISCO) و یا حتی مصرف‌کنندگان و در هر نقطه دلخواه به شبکه توزیع متصل گردند. منابع تولید پراکنده معمولاً به خاطر به تعویق انداختن و یا حذف توسعه شبکه، بهبود پروفیل ولتاژ، کاهش تلفات سیستم، تقویت شبکه توزیع و افزایش قابلیت اطمینان شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

Y.G.Hegazy و همکارانش تأثیر DG های کنترل شده توسط مشترکین بر روی ظرفیت شبکه، برای تغذیه بار سیستم با در نظر گرفتن^۱ ENS پیش‌بینی شده برای یک سال را بررسی کردند [۱]. آنها از روش شبیه‌سازی مونت کارلو برای مدل‌سازی تاریخچه عملکرد DG های نصب شده استفاده کردند. El-Khattam و همکارانش روشی را برای حل مسأله برنامه‌ریزی منابع تولید پراکنده، به عنوان یک مسأله بهینه‌سازی پیشنهاد دادند. تابع هدف پیشنهادی آنها با هدف می‌نیم‌سازی هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری DG های کاندیدا، هزینه‌های مربوط به خرید برق اضافی مورد نیاز توسط DISCO ها، هزینه‌های مربوط به تلفات و هزینه‌های مربوط به احداث تجهیزات جدید برای سناریوهای مختلف بازار تشکیل داده شد [۲].

Wang و همکارانش یک روش تحلیلی برای تعیین بهترین مکان برای DG های کاندیدا با هدف حداقل کردن تلفات در شبکه پیشنهاد دادند. آنها همچنین روش خود را با در نظر گرفتن بارهای ثابت و متغیر با زمان مورد بررسی قرار دادند. روش پیشنهادی آنها بر خلاف برنامه‌های پخش بار و بسیاری از

¹ Energy Not Supplied

شبکه نیز افزایش می‌یابد و میزان این افزایش از مقدار کاهش تلفات بیشتر خواهد بود.

در مباحث بهینه‌سازی، مسأله جایابی DG نیز مشابه با مسأله جایابی خازن است که به آن اشاره شد. اکثر مدل‌های برنامه‌ریزی از برنامه‌های پخش باری بهره می‌گیرند که در آنها مدل توان ثابت برای بارهای شبکه در نظر گرفته می‌شود. با مروری بر مقالات چاپ شده تاکنون مشاهده می‌شود که به غیر از [۱۱] در هیچ مرجعی مدل‌های مختلف بار برای انجام مطالعات برنامه‌ریزی و تعیین مکان و سائز بهینه DG و محاسبه شاخص‌های مربوطه در نظر گرفته نشده است. Gozel و همکارانش نیز با انجام یک روش محاسباتی و با در نظر گرفتن مدل‌های مختلف بار نشان دادند که محل و ظرفیت بهینه DGها با تغییر در نحوه مدل‌سازی بار تغییر چندانی نمی‌کند. ولی در محاسباتی که آنها انجام دادند قیود مربوط به محدودیت ولتاژ و ظرفیت خطوط را در نظر نگرفتند [۱۱].

در این مقاله، مطالعات دقیق‌تری برای بررسی تأثیر مدل‌های مختلف بار در برنامه‌ریزی منابع تولید پراکنده انجام شده است. همچنین اینکه در نظر گرفتن کدام یک از مدل‌های بار می‌تواند در انجام برنامه‌ریزی تولید پراکنده مؤثر باشد نیز مورد بررسی قرار گرفته است. مدل‌های بار وابسته به ولتاژ برای بارهای خانگی، صنعتی و تجاری از [۶] استخراج شده است. برای ارائه نتایج از یک شبکه شعاعی ۳۸ باسه با اطلاعات موجود در [۱۰] استفاده شده است. با توجه به اینکه در شرایط عملی نمی‌توان بارها را بطور کامل به سه بخش خانگی، تجاری و صنعتی تقسیم کرد، بنابراین برای انجام این مطالعات از یک بار ترکیبی تجاری- خانگی- صنعتی استفاده شده است.

۲- سناریوهای انجام مطالعه بر مبنای مدل‌های مختلف بار

در این مقاله برای ارزیابی تأثیر مدل‌های مختلف بار بر برنامه‌ریزی منابع تولید پراکنده، از یک شبکه توزیع ۳۸ باسه (شکل (۴)) استفاده شده است. مشخصات فنی تجهیزات شبکه، شامل امپدانس خطوط، اطلاعات بار و ظرفیت انتقال خطوط در پیوست مقاله (جدول (۷)) قابل ملاحظه می‌باشد. تأثیر مدل‌های بار وابسته به ولتاژ، بر برنامه‌ریزی تولید پراکنده در سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مدل‌های بار را می‌توان بصورت ریاضی و به شکل زیر توصیف کرد:

$$P_i = P_{0i} \left| \bar{V}_i \right|^\alpha \quad (۱)$$

$$Q_i = Q_{0i} \left| \bar{V}_i \right|^\beta \quad (۲)$$

الگوریتم‌های شبکه‌های قدرت یک روش غیر تکراری است. بنابراین مشکل همگرایی ندارد و نتایج آن بسیار سهل‌الوصول می‌باشند. آنها به این مطلب نیز اشاره کردند که در نظر گرفتن قیود دیگر مانند پروفیل ولتاژ و حدود حرارتی خطوط می‌تواند در تعیین محل بهینه DGها تأثیرگذار باشد [۳].

Ochoa و همکارانش شاخص‌های مختلفی را برای ارزیابی اثر تولید پراکنده بر شبکه‌های توزیع پیشنهاد دادند. این شاخص‌ها شامل شاخص‌هایی برای اندازه‌گیری تأثیر تولید پراکنده بر کاهش تلفات، پروفیل ولتاژ، ظرفیت انتقال خطوط و جریان اتصال کوتاه سه فاز و تک فاز به زمین می‌شود. در نهایت نیز آنها یک تابع چند هدفه برای انجام این گونه برنامه‌ریزی‌ها ارائه دادند [۴].

Chiradeja و Ramakumar شاخص‌هایی را برای محاسبه منافع حاصل از استفاده از تولید پراکنده بر بهبود پروفیل ولتاژ (VPII)، کاهش تلفات (LLRI) و کاهش آلودگی ارائه دادند. آنها همچنین با ترکیب شاخص‌های فوق یک شاخص ترکیبی را طراحی کردند [۵].

انواع مدل بار مورد استفاده در مطالعات پایداری شبکه‌های قدرت کاملاً شناخته شده‌اند و در [۶] نیز توضیحات مربوط به آنها ارائه شده است. این گونه مطالعات، مخصوصاً مطالعات پایداری استاتیک یا دینامیک سیستم، معمولاً با فرض اینکه بار به ولتاژ یا فرکانس وابسته است انجام می‌شود. یک مرور کامل بر انواع مدل‌سازی بار مورد استفاده در مطالعات پخش بار و پایداری گذرا در [۶] انجام شده است.

تأثیر مدل‌های مختلف بار بر برنامه‌ریزی شبکه‌های توزیع و با هدف جایابی بهینه خازن‌ها در [۷]، بر مطالعات قطع بار در [۸] و بر برنامه‌ریزی منابع تولید پراکنده در [۹] بررسی شده است. در این بررسی‌ها نشان داده شده است که با در نظر گرفتن مدل بار توان ثابت در شبکه توزیع، انتظار می‌رود که نصب بانک خازنی و بهبود ضریب توان باعث کاهش توان اکتیو و راکتیو تزریقی از پست تغذیه کننده شبکه شود. این کاهش در توان تزریقی از منبع تغذیه اصلی نیز به دلیل بهبود پروفیل ولتاژ در طول فیدر خواهد بود. اما در شرایط واقعی، کاهش توان تزریقی از منبع تغذیه که انتظار می‌رود به خاطر کاهش تلفات شبکه حاصل شود قابل مشاهده نیست. دلیل این امر استفاده از مدل بار توان ثابت برای محاسبه میزان کاهش توان تزریقی از منبع اصلی است. مطالعات انجام شده در [۱۰] نشان می‌دهد با در نظر گرفتن مدل بار وابسته به ولتاژ، با وجود اینکه به دلیل قرار دادن خازن در شبکه تلفات کاهش می‌یابد، ولی به خاطر بهبود پروفیل ولتاژ، بار

در مدل بار توان ثابت که به طور معمول در مطالعات پخش بار از آن استفاده می‌شود، مقادیر α و β صفر در نظر گرفته می‌شوند. مقادیر α و β برای بارهای صنعتی، تجاری و خانگی که در این مقاله از آنها استفاده شده است، در جدول (۱) قابل ملاحظه می‌باشند.

جدول (۱): مقادیر α و β برای بارهای مختلف

نوع بار	α	β
توان ثابت	۰	۰
بار صنعتی	۰/۱۸	۶
بار خانگی	۰/۹۲	۴/۰۴
بار تجاری	۱/۵۱	۳/۴۰

هدف اصلی این مطالعات، مقایسه بین در نظر گرفتن بار توان ثابت و مدل‌های واقعی بار است. بنابراین برای بررسی تأثیر مدل بار خانگی، فرض شده است که بار تمام ۳۸ باس شبکه را مشترکان خانگی تشکیل می‌دهند و برای بررسی تأثیر مدل‌های بار تجاری و صنعتی نیز فرض شده است که تمام مشترکان شبکه به ترتیب از نوع تجاری و صنعتی می‌باشند. برای شبیه‌سازی شرایط واقعی نیز با توجه به اینکه ممکن است مشترکان شبکه از هر سه نوع باشند، ترکیبی از مدل‌های بار خانگی، صنعتی و تجاری در نظر گرفته شده است. این شرایط به همراه اطلاعات بار در جدول (۷) قابل ملاحظه می‌باشد. سناریوهای تعریف شده برای مطالعه شامل سه سناریو می‌باشد که در دو سناریوی اول مکان و ظرفیت منابع تولید پراکنده به طور فرضی انتخاب شده است.

۲-۱- سناریوی اول: شبکه با یک DG

در این سناریو، یکی از مشترکان تصمیم می‌گیرد که یک منبع تولید پراکنده با ظرفیت 0.8 pu به باس شماره ۱۴ متصل کند. تأثیر مدل‌های مختلف بار در موارد زیر باید انجام پذیرد:

- تعداد باس‌هایی که ولتاژ آنها از محدوده مجاز خارج می‌شود (NV)؛
- تعداد خطوطی که توان انتقالی از آنها بیشتر از ظرفیت آنها می‌شود (NL)؛
- مقادیر توان ظاهری (S_{intake} به MVA)، توان اکتیو و راکتیو (P_{intake} و Q_{intake} به پرینیت) در منبع تغذیه اصلی؛
- مقدار کاهش تلفات توان حقیقی و ظاهری؛
- میزان افزایش در ظرفیت آزاد منبع تغذیه اصلی (MVA)؛

۲-۲- سناریوی دوم

در این سناریو، شرکت توزیع (DISCO) تصمیم می‌گیرد که یک منبع تولید پراکنده با ظرفیت و مکان بهینه (بدون نیاز به اضافه کردن تجهیزات سیستم) و به منظور کاهش تلفات یا

کاهش توان پست تغذیه کننده شبکه به سیستم اضافه کند. در این حالت باید موارد زیر بررسی شوند:

- مکان و ظرفیت بهینه DG: تأثیر مدل‌های مختلف بار بر روی مکان و ظرفیت بهینه منبع تولید پراکنده؛
- خطای مدل‌سازی بار: فرض کنید که مکان ظرفیت بهینه DG ها با قیود مذکور و با استفاده از مدل بار توان ثابت انجام شده است. اکنون باید بررسی شود که آیا مکان و ظرفیت تعیین شده، در صورتیکه بارهای سیستم واقعاً توان ثابت نباشند از نظر عملی قابل پیاده‌سازی خواهد بود یا خیر؛

۳- آماده سازی اطلاعات

در این بخش روش انجام محاسبات پخش بار برای شبکه توزیع ۳۸ باسه توضیح داده است. سایز DG در یک محدوده عملی (بین صفر تا ۴ پرینیت) و با توجه به اینکه کل بار شبکه ۳/۹۰۹۳ پرینیت است در نظر گرفته می‌شود. DG با ظرفیت صفر به معنی سیستم بدون DG است و ظرفیت ۴ پرینیت برای DG به این معنی است که تمام توان اکتیو مورد نیاز شبکه توسط DG تأمین می‌شود. ضریب توان DG ها یک در نظر گرفته می‌شود و تمام باسهای شبکه به عنوان نقاط کاندیدا برای اتصال DG با سایزی در محدوده سایز در نظر گرفته شده محسوب می‌شوند. سپس محاسبات پخش بار برای تمام حالات ممکن انجام می‌شود. الگوریتم تکمیل پایگاه داده مورد نیاز در شکل (۱) ارائه شده است. تمام ولتاژهایی که خارج از محدوده ۰/۹۵ و ۱/۰۳ پرینیت قرار گیرند به عنوان ولتاژ غیرمجاز در نظر گرفته می‌شوند و تمام حالاتی که در آن یا ولتاژ پستها از محدوده مجاز خارج شده و یا خطی بیشتر از ظرفیت خود بارگذاری می‌شود به عنوان حالت غیر عملی شناخته شده و حذف می‌شوند. فلوجارت نحوه انتخاب آرایش دارای کمترین تلفات برای مدل بار مدنظر در شکل (۲) ارائه شده است. برای می‌نیم سازی توان تزریقی از منبع تغذیه اصلی نیز از الگوریتم مشابهی استفاده می‌شود. لازم به ذکر است تمام حالاتی که در آن یا ولتاژ پستها از محدوده مجاز خارج شده و یا خطی بیشتر از ظرفیت خود بارگذاری می‌شود به عنوان حالت غیر عملی شناخته شده و حذف می‌شوند.

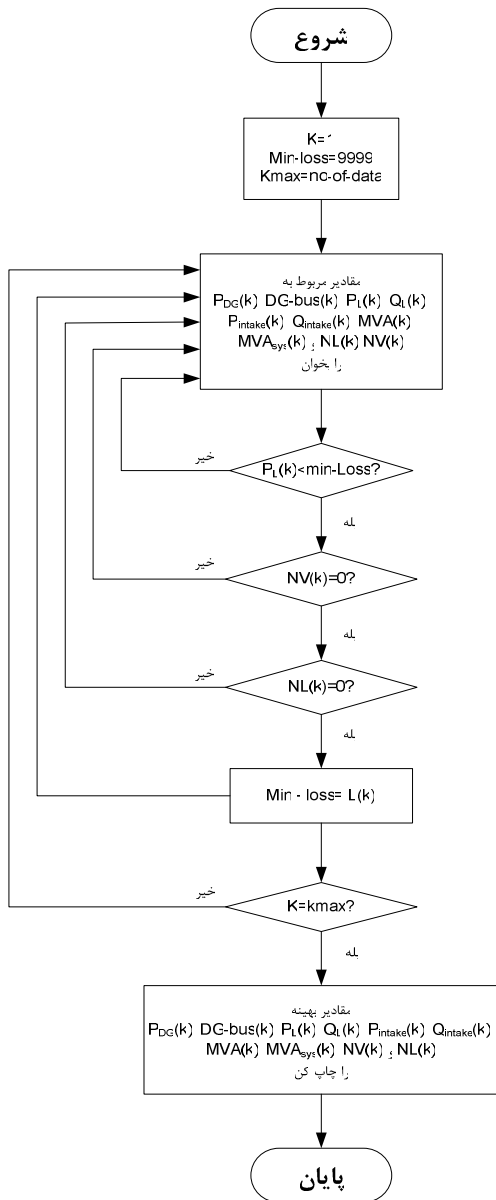
۴- نتایج شبیه سازی

در این قسمت خلاصه‌ای از نتایج شبیه‌سازی سناریوهای مختلف به ازای مدل‌های مختلف بار ارائه شده است. کل توان تزریقی به وسیله شرکت توزیع (MVA_{sys}) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$MVA_{sys} = \sqrt{(P_{intake} + P_{DG})^2 + (Q_{intake})^2} \quad (3)$$

توجه به محدوده مجاز قبل از نصب DG) مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین هرچه این شاخص کوچکتر باشد، کارایی و کیفیت شبکه بالاتر خواهد بود. نحوه محاسبه IVD طبق رابطه زیر می باشد:

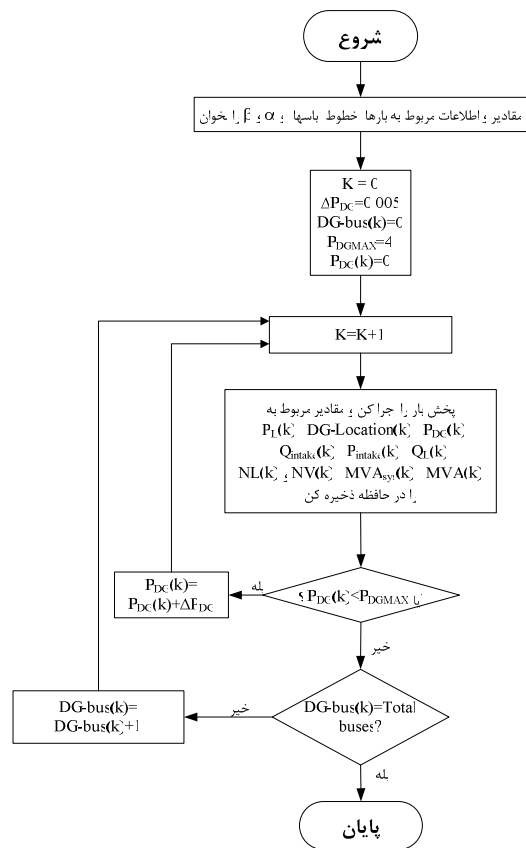
$$IVD = \max_{i=2}^n \left(\frac{|V_1| - |V_i|}{|V_1|} \right) \times 100 \quad (6)$$



شکل (۲): روش تشخیص آرایش دارای حداقل تلفات از پایگاه داده

شاخص ظرفیت (IC). اگر محل تولید انرژی الکتریکی در نزدیکی بار باشد، توان عبوری از بعضی قسمتهای شبکه کاهش می یابد و باعث آزادسازی ظرفیت آنها می شود، ولی در برخی قسمتهای دیگر ممکن است توان عبوری افزایش یافته و حتی از محدوده مجاز نیز فراتر رود. این شاخص اطلاعات ارزشمندی را در رابطه با جریان عبوری از شبکه با توجه به ظرفیت هادی ها در اختیار قرار می دهد. با محاسبه این شاخص می توان اطلاعات

در محاسبات انجام شده، تفاوت های موجود بین تمام مقادیر سیستم در حالت با DG و بدون آن و به ازای انواع مدل بار مشخص گردیده اند. تعداد باسهای دارای ولتاژ خارج از محدوده مجاز و خطوط دارای اضافه بار نیز مشخص شده اند. علاوه بر آن، برای مقایسه نتایج، مقادیر نرمالیزه نشده شاخصها بر مبنای [۴] محاسبه شده اند. این شاخصها و نحوه محاسبه آنها در ادامه تعریف شده اند.



شکل (۱): روش آماده سازی پایگاه داده

شاخص تلفات توان اکتیو و راکتیو (ILP و ILQ): این شاخصها به صورت زیر تعریف می شوند:

$$ILP = \frac{P_{LDG}}{P_L} \times 100 \quad (4)$$

$$ILQ = \frac{Q_{LDG}}{Q_L} \times 100 \quad (5)$$

که در آن P_L و Q_L نشان دهنده تلفات شبکه قبل از اتصال DG و P_{LDG} و Q_{LDG} بیانگر تلفات شبکه بعد از اتصال DG می باشند. هرچه مقادیر مربوط به شاخصهای فوق در سیستم کمتر باشند، منافع ناشی از کاهش تلفات به ازای مکان و سایز DG بهتر است.

شاخص پروفیل ولتاژ (IVD): نشان دهنده حداکثر افت ولتاژ بین هر دو باس نسبت به باس ابتدای فیدر است. این شاخص می تواند برای پیدا کردن مکانهایی که در آنها DG نباید نصب شود (با

این، میزان کاهش در تمامی موارد مذکور نیز نسبت به حالت مدل بار توان ثابت به شدت کمتر است. بنابراین مشاهده می‌شود که در این سناریو با در نظر گرفتن مدل بار خانگی، اتصال DG باعث افزایش Q_{intake} به میزان ۰/۰۵۶۷ پریونیت شد، در حالی که در همین سناریو با در نظر گرفتن مدل بار توان ثابت، اتصال DG باعث کاهش ۰/۰۴۱۹ پریونیتی Q_{intake} گردید. در این حالت برخلاف حالت قبل، بارگذاری یکی از خطوط شبکه (خط ۷) نیز از ظرفیت مجاز آن تجاوز کرد.

۴-۱-۳- مدل بار صنعتی

در این حالت نیز همانند حالت‌های قبل مقادیر S_{intake} ، P_{intake} و Q_{intake} پس از اتصال DG تغییر می‌کنند و مشابه حالت مدل بار خانگی مقادیر S_{intake} و P_{intake} کاهش و مقدار Q_{intake} افزایش می‌یابد. البته در این شرایط میزان افزایش در Q_{intake} پس از اتصال DG از حالت قبل بیشتر است. در این شرایط هیچیک از قیود مربوط به محدودیت ولتاژ و جریان مجاز تجهیزات نقض نمی‌شوند.

۴-۱-۴- مدل بار تجاری

در این حالت میزان کاهش در مقادیر مورد نظر، به غیر از Q_{intake} ، نسبت به حالت‌های قبل کمترین مقدار خود را اختیار می‌کند. علاوه بر این مقدار کل توانی که شرکت برق به شبکه تزریق می‌کند ($P_{intake} + P_{DG} = ۳/۰۰۹ + ۰/۸ = ۳/۸۰۹$) پس از اتصال DG بیشتر از مقدار مشابه آن قبل از اتصال DG (۳/۷۹۸ پریونیت) است. یعنی در این شرایط با وجود کاهش مقادیر P_L و Q_L و یا به عبارتی کاهش تلفات سیستم، مقدار توان تزریقی توسط شرکت توزیع افزایش می‌یابد. دلیل این پدیده نیز این است که پس از اتصال DG پروفیل ولتاژ شبکه بهبود می‌یابد و به واسطه آن مقدار بار شبکه که به ولتاژ وابستگی بالایی دارد نیز افزایش می‌یابد و میزان افزایش بار شبکه بالاتر از میزان کاهش تلفات شبکه است. در این شرایط شرکت توزیع نه تنها با نصب DG سود نمی‌کند بلکه متضرر هم می‌شود. این پدیده نیز در صورت عدم استفاده از مدل بار مناسب قابل پیش‌بینی نخواهد بود. در این شرایط پس از اتصال DG یکی از خطوط شبکه (خط ۷) دچار اضافه بار می‌شود.

۴-۱-۵- مدل بار ترکیبی

در این حالت میزان کاهش در P_L ، Q_L ، P_{intake} و S_{intake} نسبت به حالت بار توان ثابت کمتر است. افزایش در Q_{intake} در این حالت نیز مشابه حالت‌های قبل (به غیر از حالت مدل بار توان ثابت)، مشاهده می‌شود. همچنین پس از اتصال DG خط ۷ دچار اضافه بار می‌شود.

خوبی در رابطه با میزان نیاز سیستم به توسعه و افزایش ظرفیت خطوط آن بدست آورد. هرچه مقدار این شاخص کمتر باشد، نشان دهنده ظرفیت آزاد بیشتر شبکه است.

$$IC = \max_{i=1}^m \left(\frac{|S_{ij}|}{|CS_{ij}|} \right) \quad (7)$$

که در آن $|S_{ij}|$ نشان‌دهنده توان ظاهری عبوری از خط متصل کننده باسهای i و j و $|CS_{ij}|$ نشان‌دهنده ظرفیت همان خط است.

۴-۱- سناریوی اول: نصب یک DG با ظرفیت ۰/۸

پریونیت به باس شماره ۱۴

خلاصه نتایج حاصل از شبیه سازی این سناریو به ازای مدل‌های مختلف بار در جدول (۲) ارائه شده است. همچنین شاخص‌های مختلفی که در بالا به آن اشاره شد نیز برای این سناریو محاسبه شده و در شکل‌های (۱)، (۲) و (۳) قابل ملاحظه می‌باشند.

۴-۱-۱- مدل بار توان ثابت

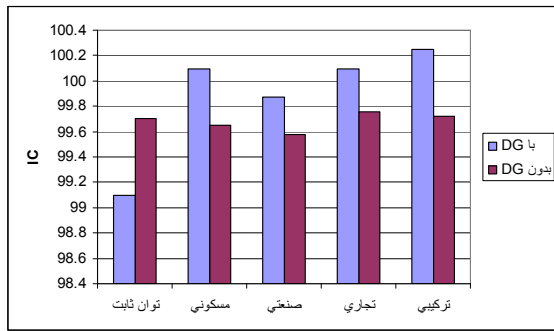
با ملاحظه جدول (۲) می‌توان مشاهده کرد که با اتصال DG به شبکه، مقادیر P_{intake} ، Q_{intake} و S_{intake} در پست تغذیه کننده شبکه کاهش می‌یابد. علاوه بر آن، مقادیر P_L و Q_L نیز به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابند. مقدار کل توان تزریقی به شبکه که توسط شرکت توزیع تأمین می‌شود به میزان ۰/۰۷۵MVA کاهش می‌یابد. علاوه بر این در هر دو حالت با و بدون DG، هیچیک از خطوط دچار اضافه بار نشده و ولتاژ باسها هم از محدوده مجاز خارج نمی‌شود.

جدول (۲): خلاصه نتایج حاصل از شبیه سازی سناریوی اول

NL	NV	Q_L	P_L	MVA_{sys}	S_{intake}	Q_{intake}	P_{intake}	شرایط حل
۰	۰	۰/۰۸۴	۰/۱۲۶	۴/۵۲۱	۳/۸۶۴	۲/۲۸۴	۳/۰۴۱	DG با
۰	۰	۰/۱۲۶	۰/۱۸۹	۴/۵۹۶	۳/۵۹۶	۲/۲۲۶	۳/۹۰۴	بدون DG
		۰/۰۴۲	۰/۰۶۲	۰/۰۷۵	۰/۲۲۲	۰/۰۴۲	۰/۸۱۲	اختلاف
۱	۰	۰/۰۷۶	۰/۱۱۵	۴/۵۳۳	۳/۷۹	۲/۲۹۴	۳/۰۱۷	DG با
۰	۰	۰/۱۱۱	۰/۱۶۶	۴/۴۳۶	۴/۴۳۶	۲/۲۳۷	۳/۸۳	بدون DG
		۰/۰۳۴	۰/۰۵۱	-۰/۰۱۷	۰/۶۴۶	-۰/۰۵۷	۰/۸۱۴	اختلاف
۰	۰	۰/۰۷۵	۰/۱۱۳	۴/۴۴۴	۳/۷۷۷	۲/۲۶۱	۳/۰۲۶	DG با
۰	۰	۰/۱۱	۰/۱۶۶	۴/۴۳۶	۳/۴۳۶	۲/۱۶۵	۳/۸۷۱	بدون DG
		۰/۰۳۶	۰/۰۵۳	-۰/۰۰۸	۰/۶۵۹	-۰/۰۹۷	۰/۸۴۵	اختلاف
۱	۰	۰/۰۷۷	۰/۱۱۶	۴/۵۳۳	۳/۷۹۲	۲/۳۰۷	۳/۰۰۹	DG با
۰	۰	۰/۱۰۹	۰/۱۶۴	۴/۴۲۲	۴/۴۲۲	۲/۲۳۳	۳/۷۹۹	بدون DG
		۰/۰۳۳	۰/۰۴۹	-۰/۰۳۱	۰/۶۳	-۰/۰۴۴	۰/۷۸۹	اختلاف
۱	۰	۰/۰۷۶	۰/۱۱۶	۴/۴۵۵	۳/۷۹۳	۲/۳۰۷	۳/۰۱۱	DG با
۰	۰	۰/۱۱	۰/۱۶۶	۴/۴۳۳	۴/۴۳۳	۲/۲۵۳	۳/۸۱۸	بدون DG
		۰/۰۳۴	۰/۰۵۱	-۰/۰۲۲	۰/۶۴	-۰/۰۵۳	۰/۸۰۷	اختلاف

۴-۱-۲- مدل بار خانگی

در این حالت نیز پس از اتصال DG غیر از Q_{intake} ، بقیه موارد شامل P_{intake} ، S_{intake} ، P_L و Q_L کاهش می‌یابند. برخلاف حالت مدل بار توان ثابت، در این شرایط با وجود اضافه شدن DG به شبکه، مقدار Q_{intake} منبع تغذیه اصلی افزایش می‌یابد. علاوه بر



شکل (۵): IC برای مدل‌های مختلف بار در سناریوی اول

۲-۴- سناریوی دوم - تعیین مکان و سائز بهینه DG

جداول (۳) و (۴) نتایج حاصل از جایابی بهینه DG مورد نظر را به ترتیب با قیود حداقل سازی تلفات (P_L) و حداقل سازی توان تزریقی از منبع اصلی (حداقل S_{intake}) را ارائه می‌دهند. همچنین در این جداول محل و ظرفیت بهینه DGها به ازای در نظر گرفتن مدل‌های مختلف بار، به همراه مقادیر P_L ، Q_L ، P_{intake} ، Q_{intake} و MVA_{sys} مربوطه نیز ارائه شده است.

جداول (۳): نتایج حاصل از جایابی بهینه DG با قید حداقل P_L

مدل بار	محل اتصال	P_{DG}	P_L (بهینه)	Q_L	P_{intake}	Q_{intake}	$P_{intake} + P_{DG}$	S_{intake}	MVA_{sys}
توان ثابت	۶	۰/۰۹۷	۰/۰۰۷	۱/۲۱۲	۲/۳۷	۳/۸۱۲	۲/۶۶۲	۴/۲۸۹	
خانگی	۱۴	۰/۱۱۸	۰/۰۷۸	۳/۱۲	۲/۲۸۴	۳/۸۱۵	۳/۸۶۷	۴/۴۲۷	
صنعتی	۱۲	۰/۱۰۹	۰/۰۳۳	۲/۸۸۲	۲/۲۷	۳/۸۲۲	۳/۶۶۹	۴/۴۲۵	
تجاری	۱۶	۰/۱۳۴	۰/۰۸۸	۳/۴۴۲	۲/۲۷۸	۳/۷۹۸	۴/۱۱۲	۴/۴۲۸	
ترکیبی	۱۶	۰/۱۳۴	۰/۰۸۸	۳/۴۴۲	۲/۲۷۳	۳/۸۰۷	۴/۱۱۲	۴/۴۳۴	

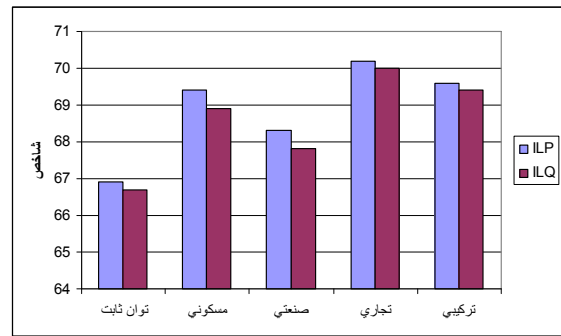
جداول (۴): نتایج حاصل از جایابی بهینه DG با قید حداقل S_{intake}

مدل بار	محل اتصال	P_{DG}	P_L	Q_L	P_{intake}	Q_{intake}	$P_{intake} + P_{DG}$	S_{intake} (بهینه)	MVA_{sys}
توان ثابت	۶	۳/۶۰۵	۰/۱۱۱	۰/۰۸	۰/۲۲۱	۲/۳۸	۳/۸۲۶	۲/۳۹	۴/۴۰۶
خانگی	۲	۳/۸۳	۰/۱۵۹	۰/۱۰۷	۰/۰۰۱	۲/۲۵۲	۳/۸۳	۲/۲۵۲	۴/۴۳۳
صنعتی	۲	۳/۸۵۵	۰/۱۵۸	۰/۱۰۶	۰/۰۱	۲/۱۹	۳/۸۶۵	۲/۱۹	۴/۴۳۲
تجاری	۲	۳/۳۳۵	۰/۱۵۹	۰/۱۰۶	۱/۲۷۴	۲/۲۷	۳/۷۹۹	۲/۷۰۶	۴/۴۲۵
ترکیبی	۲	۳/۳۳۵	۰/۱۰۶	۰/۱۰۷	۱/۲۸۲	۲/۲۶۱	۳/۸۱۷	۲/۶۵	۴/۴۳۷

۲-۴-۱- مدل بار توان ثابت

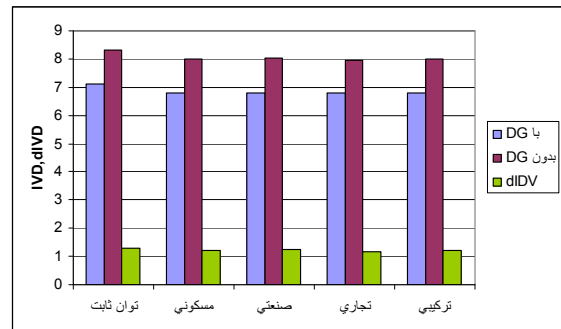
با در نظر گرفتن مدل بار توان ثابت، برای حداقل کردن تلفات شبکه، باید یک DG به ظرفیت ۲/۶ پریونیت در محل باس ۶ متصل شود. با این کار تلفات شبکه به ۰/۰۹۷ پریونیت، در مقایسه با قبل از اتصال DG (مقدار ۰/۱۸۹) پریونیت با توجه به جداول (۲)، کاهش می‌یابد. همچنین در این شرایط مقادیر Q_L ، P_{intake} ، Q_{intake} و S_{intake} نیز به دلیل در نظر گرفتن مدل بار توان ثابت کاهش می‌یابند. با توجه به جداول (۴) می‌توان مشاهده کرد که برای حداقل کردن توان تزریقی از منبع اصلی تغذیه، محل بهینه اتصال DG همان باس ۶ است ولی ظرفیت بهینه آن برابر با ۳/۶۰۵ پریونیت می‌باشد. مقایسه این نتایج این مطلب را تصدیق می‌کند که با در نظر گرفتن مدل بار توان ثابت کاهش تلفات شبکه به طور مستقیم باعث کاهش توان

شاخص‌های تلفات توان اکتیو و راکتیو (ILP و ILQ) برای این سناریو در شکل (۳) ارائه شده‌اند. با مشاهده این شکل می‌توان نتیجه گرفت که اتصال DG به شبکه در حالت مدل بار توان ثابت تأثیر چندانی در شبکه ندارد، در حالیکه این تأثیر با در نظر گرفتن سایر مدل‌های بار بیشتر است. بنابراین برنامه‌ریزی شبکه‌های توزیع و منابع تولید پراکنده بر مبنای مدل بار توان ثابت ممکن است تلفات شبکه را کمتر از آنچه که واقعاً هست نشان دهد.



شکل (۳): ILP و ILQ برای مدل‌های مختلف بار در سناریوی اول

مقدار مربوط به شاخص IVD و میزان تغییر آن پس از اتصال DG در شکل (۴) نشان داده شده و بهبود پروفیل ولتاژ شبکه را به دلیل اتصال DG نمایان ساخته است. در این مورد نیز در نظر گرفتن مدل بار توان ثابت باعث می‌شود که بهبود پروفیل ولتاژ شبکه بهتر از آنچه که واقعاً هست به نظر رسد.



شکل (۴): IVD و dIVD برای مدل‌های مختلف بار در سناریوی اول

شاخص IC نیز که نمایانگر مقدار ظرفیت استفاده شده خطوط شبکه است، در حالت با و بدون DG به ازای مدل‌های مختلف بار در شکل (۵) نشان داده شده است. برای سیستم بدون DG، ظرفیت مورد استفاده خطوط به ازای مدل‌های مختلف بار تفاوت چندانی ندارد. ولی پس از اتصال DG مقدار شاخص IC به ازای بار توان ثابت بسیار متفاوت از سایر مدل‌های بار است. در این شرایط، در یک شبکه واقعی، فرضیه مدل بار توان ثابت باعث می‌شود که با تخمین بسیار نامناسبی از ظرفیت آزاد تجهیزات شبکه روبرو شویم.

این پدیده را می‌توان به این صورت توجیه کرد که با فرض مدل بار توان ثابت برای سیستم بدون DG داریم:

$$P_{intake} = P_D + P_L \quad (8)$$

$$Q_{intake} = Q_D + Q_L \quad (9)$$

که در آن مقادیر P_D و Q_D نشانگر بار اکتیو و راکتیو شبکه و P_L و Q_L نشانگر تلفات توان اکتیو و راکتیو هستند. حال با فرض اینکه DG به شبکه متصل شود و اتصال آن باعث کاهش تلفات سیستم شود خواهیم داشت:

$$P_{intake} = P_D + P_{LDG} \quad (10)$$

$$Q_{intake} = Q_D + Q_{LDG} \quad (11)$$

که در آن P_{LDG} و Q_{LDG} نشانگر تلفات اکتیو و راکتیو پس از اتصال DG به شبکه است و $P_{LDG} < P_L$ و $Q_{LDG} < Q_L$.

با توجه به اینکه مدل بار توان ثابت باعث از بین رفتن وابستگی P_D و Q_D به محل DG می‌شود، برای حداقل کردن P_{intake} و Q_{intake} باید P_{LDG} و Q_{LDG} را حداقل کرد و این نیز به معنی حداقل کردن تلفات پس از اتصال DG است. ولی با در نظر گرفتن مدل‌های باری که در آن توان بار ثابت نیست، مقادیر P_D و Q_D با توجه به تغییر محل DG تغییر می‌کنند. این تغییر در مقدار بار شبکه نیز به دلیل متغیر بودن پروفیل ولتاژ شبکه به ازای مکان‌های مختلف DG است. در این شرایط، محدودیت ظرفیت خطوط اهمیت بیشتری نسبت به تلفات شبکه پیدا می‌کنند چراکه مقادیر تلفات نسبت به بار کل شبکه ناچیزند. بنابراین، وقتی از مدل‌های بار غیر توان ثابت استفاده می‌شود، به طور معمول محل بهینه DGها نزدیک به پست تغذیه کننده شبکه واقع می‌شود و علت این امر هم این است که در آن محل‌ها ظرفیت خطوط بالاتر از سایر نقاط است. همچنین برای حداقل کردن توان تزریقی از شبکه نیز مناسبترین گزینه برای DG بر روی باسی است که به خط دارای بالاترین ظرفیت انتقال و یا به عبارتی خط متصل کننده باس ۱ به ۲ متصل است. بنابراین در تمام شرایطی که بار توان ثابت مدل نشده است، محل بهینه DG برای حداقل کردن S_{intake} باس شماره ۲ شبکه است. البته لازم به ذکر است که برای انجام این مطالعات باس ۱ به عنوان کاندیدا برای اتصال DG در نظر گرفته نشده است.

۳-۴- سناریوی دوم - خطای مدلسازی بار

در این بخش از مقاله نشان داده شده است که ظرفیت و محل DG برای یک سیستم توزیعی که در مدلسازی آن از مدل بار توان ثابت استفاده شده است، وقتی در عمل به اجرا در می‌آید منافع پیش‌بینی شده و مورد انتظار را برآورده نمی‌سازد. همانطور که پیش از این ذکر شد، ظرفیت و محل بهینه DG برای حداقل کردن تلفات در این سناریو (جدول (۳))، به ترتیب ۲/۶ پریونیت

تزریقی از منبع تغذیه اصلی می‌شود و بنابراین با تغییر قید مساله از حداقل تلفات به حداقل توان تزریقی تغییرات در محل بهینه DG بسیار اندک خواهد بود.

۲-۲-۴- مدل بار صنعتی

در این حالت، قید حداقل سازی تلفات باعث می‌شود که برنامه بهینه‌سازی یک DG به ظرفیت ۰/۹۴ پریونیت و متصل به باس ۱۲ پیشنهاد دهد، که این نتیجه با نتایج حاصل از مدلسازی بار توان ثابت و بار خانگی بسیار متفاوت است. مقدار می‌نیم تلفاتی که با اتصال یک منبع تولید پراکنده در شبکه می‌توان به آن دست یافت ۰/۱۰۹ پریونیت است، که این مقدار با در نظر گرفتن مدل بار توان ثابت ۰/۰۹۷ پریونیت می‌باشد. همچنین مقدار P_{intake} در این حالت نسبت به حالت قبل تا حدودی بیشتر است. برای حداقل کردن S_{intake} (جدول (۴))، محل بهینه DG همان محل حاصل از مدلسازی بار به صورت خانگی است ولی با محل حاصل از مدلسازی بار به صورت ثابت کاملاً متفاوت است. به طور مشابه، ظرفیت بهینه DG برای این مدل بسیار نزدیک به ظرفیت بهینه مدل بار خانگی است ولی تفاوت چشمگیری با ظرفیت بهینه مدل بار توان ثابت دارد.

۳-۲-۴- مدل‌های بار تجاری و ترکیبی

برای این مدل‌های بار، ارضا شدن قید حداقل تلفات نیازمند اتصال یک DG با ظرفیت به ترتیب ۰/۳۶۵ و ۰/۳۷۵ پریونیت به باس ۱۶ است (جدول (۳)).

همانگونه که مشاهده می‌شود، ظرفیت بهینه DG برای این دو مدل بار با مدل‌های مورد مطالعه قبلی بسیار متفاوت است. محل بهینه DG نیز نسبت به مدل‌های بار خانگی، صنعتی و توان ثابت به ترتیب ۲، ۴ و ۱۰ باس فاصله دارد. همچنین این محل از پست تغذیه اصلی نیز دورترین فاصله را نسبت به مدل‌های قبل دارد. مقدار بهینه تلفات (حداقل P_L) نسبت به مدل‌های قبل به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر است. مقادیر P_{intake} و S_{intake} برای مدل‌های بار تجاری و ترکیبی نیز نسبت به مدل بار توان ثابت به طور قابل ملاحظه‌ای بزرگترند.

برای این مدل بار، ارضا شدن قید حداقل توان تزریقی از منبع تغذیه اصلی، نیازمند اتصال یک DG با ظرفیت به ترتیب ۲/۳۲۵ و ۲/۴۳۵ پریونیت به باس ۲ است (جدول (۴)). لذا می‌توان نتیجه گرفت که محل بهینه DG با محل بهینه حاصل از شبیه‌سازی مدل بار غیر توان ثابت با قیود حداقل تلفات و حداقل توان تزریقی از شبکه کاملاً متفاوت است. همچنین حداقل سازی S_{intake} منجر به انتخاب محل بهینه یکسانی نسبت به سایر مدل‌های بار غیر توان ثابت می‌شود (باس ۲).

و باس ۶ هستند. همانگونه که در جدول (۵) قابل ملاحظه است قرار دادن این DG در شبکه با در نظر گرفتن مدل واقعی بار در آن باعث ایجاد اضافه بار در یکی از خطوط شبکه می‌شود. همانگونه که مشاهده می‌شود این پدیده به ازای در نظر گرفتن تمام انواع مدل بار غیرتوان ثابت رخ می‌دهد. در حقیقت مقادیر P_L و Q_L از مقدار پیش‌بینی شده توسط مطالعات برنامه‌ریزی با مدل بار توان ثابت کمتر هستند. علاوه بر این مقادیر P_{intake} و Q_{intake} با در نظر گرفتن مدل بار واقعی افزایش می‌یابند. این مساله نیز کاهش تلفات را بی اثر می‌کند. همچنین با مدل‌سازی بار به صورت توان متغیر S_{intake} ، کل توان اکتیو تزریقی ($P_{intake} + P_{DG}$) و MVA_{sys} نیز به دلیل افزایش P_{intake} و Q_{intake} افزایش می‌یابند.

جدول (۵): شبیه‌سازی نتایج حاصل از جایابی بهینه DG با قید

حداقل P_L در سناریوی دوم با در نظر گرفتن مدل بار واقعی

مدل بار	P_L	Q_L	P_{intake}	Q_{intake}	$P_{intake} + P_{DG}$	S_{intake}	MVA_{sys}	NL
توان ثابت	۰/۰۹۷	۰/۰۷	۱/۲۱۲	۲/۳۷	۳/۸۱۲	۲/۶۶۲	۴/۴۸۹	۰
خانگی	۰/۰۹۶	۰/۰۶۹	۱/۲۳۲	۲/۴۰۲	۳/۸۳۲	۲/۷	۴/۵۲۳	۱ (خط ۷)
صنعتی	۰/۰۹۵	۰/۰۶۸	۱/۲۱۴	۲/۴۲۲	۳/۸۱۴	۲/۷۰۱	۴/۵۱۸	۱ (خط ۷)
تجاری	۰/۰۹۶	۰/۰۶۹	۱/۲۲۶	۲/۳۹۶	۳/۸۴۶	۲/۷۰۱	۴/۵۲۳	۱ (خط ۷)
ترکیبی	۰/۰۹۶	۰/۰۶۹	۱/۲۳۹	۲/۴۰۳	۳/۸۳۹	۲/۷۰۳	۴/۵۲۹	۱ (خط ۷)

با توجه به ظرفیت و محل بهینه حاصل از مدل‌سازی بار به صورت توان ثابت (DG به ظرفیت ۳/۶۰۵ پریونیت در باس ۶) و پیاده‌سازی این شرایط با استفاده از مدل بار واقعی و استخراج نتایج آن، جدول (۶) تشکیل داده شده است. در این شرایط نیز به دلیل محدودیت در ظرفیت خطوط راه حل بدست آمده برای اجرا مناسب نیست. همچنین مقدار S_{intake} بهینه بدست آمده در این شرایط از مقدار واقعی آن به ازای مدل‌های مختلف بار کوچکتر است. بنابراین می‌توان دریافت که جایابی DG برای برنامه‌ریزی شبکه‌های توزیع و با در نظر گرفتن مدل بار توان ثابت به طور کلی نمی‌تواند منافع پیش‌بینی شده ناشی از اتصال DG را برآورده سازد.

جدول (۶): شبیه‌سازی نتایج حاصل از جایابی بهینه DG با قید

حداقل S_{intake} در سناریوی دوم با در نظر گرفتن مدل بار واقعی

مدل بار	P_L	Q_L	P_{intake}	Q_{intake}	$P_{intake} + P_{DG}$	S_{intake}	MVA_{sys}	NL
توان ثابت	۰/۱۱۱	۰/۰۸	۰/۲۲۱	۲/۳۸	۳/۸۲۶	۲/۳۹	۴/۵۰۶	۰
خانگی	۰/۱۱۴	۰/۰۸۲	۰/۲۲۲	۲/۴۹۶	۳/۸۷۷	۲/۵۱۱	۴/۶۱۱	۱ (خط ۷)
صنعتی	۰/۱۱۶	۰/۰۸۴	۰/۲۳۶	۲/۵۵۵	۳/۸۴۱	۲/۵۶۶	۴/۶۱۳	۱ (خط ۷)
تجاری	۰/۱۱۴	۰/۰۸۲	۰/۳۰۲	۲/۴۷۶	۳/۹۰۷	۲/۴۹۴	۴/۶۲۶	۱ (خط ۷)
ترکیبی	۰/۱۱۴	۰/۰۸۲	۰/۲۸۶	۲/۴۹	۳/۸۹۱	۲/۵۰۶	۴/۶۱۹	۱ (خط ۷)

۵- مباحثی پیرامون نتایج حاصل از شبیه‌سازی

در این مقاله تنها مدل‌های بار وابسته به ولتاژ مورد بررسی قرار گرفتند و از بررسی مدل‌های بار وابسته به فرکانس بنا به دلائل زیر صرف‌نظر شده است. ولتاژ سیستم یک پدیده محلی است در

حالی که فرکانس در کل سیستم یکسان است. به عبارت دیگر، ولتاژ یک باس را می‌توان به طور محلی و در همان باس به واسطه کنترل توان اکتیو و راکتیو کنترل کرد، در حالی که فرکانس را نمی‌توان به صورت محلی تغییر داد و در کل سیستم عدد یکسانی دارد. بنابراین تغییر در بارهای وابسته به فرکانس به دلیل حضور یا عدم حضور DG اتفاق نمی‌افتد. لذا حتی اگر وابستگی بار به فرکانس هم مدل‌سازی می‌شد، مقادیر مربوط به P_L ، Q_L ، P_{intake} و غیره به واسطه جایابی و اتصال DG تغییری نمی‌کرد.

اضافه بار ایجاد شده در خط ۷ (جداول (۲)، (۵) و (۶)) به ازای در نظر گرفتن مدل بار توان متغیر و پس از نصب DG در شبکه به این دلیل است که با اتصال DG پروفیل ولتاژ شبکه بهبود می‌یابد و با توجه به در نظر گرفتن مدل بار وابسته به ولتاژ، این بهبود پروفیل ولتاژ باعث افزایش توان اکتیو و راکتیو بارها می‌شود و در نتیجه توان عبوری از خطوط نیز افزایش می‌یابد.

شاید به نظر برسد که اگر میزان تزریق جریان DG در شبکه کم باشد مسائل مطرح شده در این مقاله اهمیت چندانی نداشته باشد. برای روشن شدن این مطلب نیز آزمایشات زیر انجام گرفته است:

فرض کنید می‌خواهیم یک DG با ظرفیت ۰/۳۷۵ پریونیت (کمتر از ۱۰ درصد بار شبکه) را با قیود زیر جایابی کنیم:

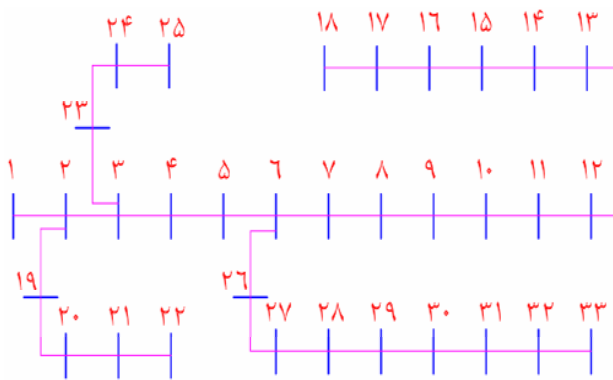
۱) حداقل کردن S_{intake} : محل بهینه برای مدل بار توان ثابت باس ۱۶ است، ولی برای بار ترکیبی، محل بهینه باس ۱۲ خواهد بود. همچنین مقادیر P_L ، Q_L ، P_{intake} و Q_{intake} مربوط به دو حالت نیز بسیار متفاوتند.

۲) حداقل کردن تلفات سیستم: محل بهینه برای هر دو حالت بار توان ثابت و بار ترکیبی باس ۱۶ است ولی مقدار P_L با در نظر گرفتن بار توان ثابت ۰/۷۵ پریونیت و با در نظر گرفتن بار ترکیبی ۰/۱۳۳۷ پریونیت به دست می‌آید که مقادیر کاملاً متفاوتی هستند. مشابه این تفاوت در سایر مقادیر مربوط به هر حالت نیز مشاهده می‌شود.

در این مقاله، به دلیل قیود بهینه‌سازی، نتایج حاصل از برنامه‌ریزی بیانگر استفاده از ظرفیتهای بالای DG است. همچنین نتایج مطالعات نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن بار توان ثابت ظرفیتهای بسیار بزرگتری نسبت به مدل بار واقعی، به عنوان گزینه بهینه پیشنهاد می‌شوند.

۶- نتیجه گیری

نحوه مدل‌سازی بار در شبکه تأثیر بسیار زیادی بر برنامه‌ریزی منابع تولید پراکنده دارد. در این مقاله، این نتیجه به دست آمد که برنامه‌ریزی انجام شده براساس مدل بار توان ثابت پس از پیاده‌سازی بر روی شبکه واقعی کارآیی لازم را نخواهد داشت. به



شکل (۶): دیاگرام تک خطی شبکه توزیع مورد مطالعه

۸- مراجع

- [1] Y. G. Hegazy, M. M. A. Salama, A. Y. Chikhani, "Adequacy assessment of distributed generation systems using Monte Carlo simulation," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 18, no. 1, pp. 48–52, Feb. 2003.
- [2] W. El-Khattam, Y. G. Hegazy, M. M. A. Salama, "An integrated distributed generation optimization model for distribution system planning," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 20, no. 2, pp. 1158–1165, May 2005.
- [3] C. Wang, M. H. Nehrir, "Analytical approaches for optimal placement of distributed generation sources in power systems," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 19, no. 4, pp. 2068–2076, Nov. 2004.
- [4] L. F. Ochoa, A. Padilha-Feltrin, G. P. Harrison, "Evaluating distributed generation impacts with a multiobjective index," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 21, no. 3, pp. 1452–1458, Jul. 2006.
- [5] P. Chiradeja, R. Ramakumar, "An approach to quantify the technical benefits of distributed generation," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 19, no. 4, pp. 764–773, Dec. 2004.
- [6] IEEE Task Force on Load Representation for Dynamic Performance, "Bibliography on load models for power flow and dynamic performance simulation," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 10, no. 1, pp. 523–538, Feb. 1995.
- [7] D. T. Rizy, J. S. Lawler, J. B. Patten, W. R. Nelson, "Measuring and analyzing the impact of voltage and capacitor control with high speed data acquisition," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 4, no. 1, pp. 704–714, Jan. 1989.
- [8] S. Arnborg, G. Anderson, D. J. Hill, I. A. Hiskens, "On influence of load modelling for undervoltage load shedding studies," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 13, no. 2, pp. 395–400, May 1998.
- [9] Devender Singh, R. K. Misra, Deependra Singh, "Effect of Load Models in Distributed Generation Planning," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 22, no. 4, pp. 2204–2212, Nov. 2007.
- [10] M. E. Baran, F. F. Wu, "Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 4, no. 2, pp. 1401–1407, Apr. 1989.
- [11] T. Gozel, M. H. Hocaoglu, U. Eminoglu, A. Balikci, "Optimal placement and sizing of distributed generation on radial feeder with different static load models," in *Proc. Int. Conf. Future Power Systems*, Nov. 2005, pp. 1–6.

عبارت دیگر تصمیمات و نتایج حاصل از برنامه ریزیهای انجام شده بر مبنای مدل بار توان ثابت به هیچ عنوان قابل پیاده سازی و اجرا بر روی شبکه های واقعی نمی باشد. همچنین با انجام شبیه سازی های لازم، این نتیجه حاصل شد که نحوه مدل سازی بار تأثیر زیادی بر روی مکان و ظرفیت بهینه منابع تولید پراکنده در شبکه دارد. با مدل سازی بار به صورت وابسته به ولتاژ، پس از اتصال DG توان راکتیو مصرفی در شبکه به شدت افزایش می یابد، در حالیکه این امر با مدل سازی بار به صورت توان ثابت قابل مشاهده نخواهد بود. به طور خلاصه با شبیه سازی های انجام شده در این مقاله مشخص شد که مقادیر مربوط به تعداد باسهایی که ولتاژ آنها از حد مجاز تجاوز کرده، تعداد خطوط دارای اضافه بار، توان اکتیو، راکتیو و ظاهری تزریقی از پست تغذیه کننده شبکه، کاهش تلفات اکتیو و راکتیو، افزایش ظرفیت آزاد پست تغذیه کننده شبکه و مکان و ظرفیت بهینه DG به شدت از نحوه مدل سازی بار تأثیر می پذیرند.

۷- پیوست

شکل (۶) شبکه توزیع شبیه سازی شده در این مقاله و جدول (۷) اطاعات فنی مربوط به این شبکه را نشان می دهد.

جدول (۷): اطلاعات فنی شبکه مورد مطالعه

نوع بار	بار باس انتهایی (pu)		ظرفیت خط	شماره خط	امیدانسی خط		از به	از
	Q	P			X p.u.	R p.u.		
خانگی	۰/۰۶	۰/۱	۴/۶	۱	۰/۰۰۲۹۳	۰/۰۰۰۵۷۴	۲	۱
صنعتی	۰/۰۴	۰/۰۹	۴/۱	۶	۰/۰۰۱۵۶۴	۰/۰۰۳۰۷	۳	۲
تجاری	۰/۰۸	۰/۱۲	۲/۹	۱۱	۰/۰۰۱۱۶۱	۰/۰۰۲۲۷۹	۴	۳
خانگی	۰/۰۳	۰/۰۶	۲/۹	۱۲	۰/۰۰۱۲۰۹	۰/۰۰۲۳۷۳	۵	۴
صنعتی	۰/۰۲	۰/۰۶	۲/۹	۱۳	۰/۰۰۴۴۰۲	۰/۰۰۰۱	۶	۵
تجاری	۰/۱	۰/۲	۱/۵	۲۲	۰/۰۰۳۸۵۳	۰/۰۰۱۱۶۶	۷	۶
تجاری	۰/۱	۰/۲	۱/۵	۲۳	۰/۰۰۱۴۶۴	۰/۰۰۴۴۳	۸	۷
صنعتی	۰/۰۲	۰/۰۶	۱/۵	۲۵	۰/۰۰۴۶۰۸	۰/۰۰۶۴۱۳	۹	۸
تجاری	۰/۰۲	۰/۰۶	۱/۵	۲۷	۰/۰۰۴۶۰۸	۰/۰۰۶۵۰۱	۱۰	۹
تجاری	۰/۰۳	۰/۰۴۵	۱/۵	۲۸	۰/۰۰۰۴۰۵	۰/۰۰۱۲۲۴	۱۱	۱۰
خانگی	۰/۰۳۵	۰/۰۶	۱/۵	۲۹	۰/۰۰۰۷۷۱	۰/۰۰۲۳۳۱	۱۲	۱۱
تجاری	۰/۰۳۵	۰/۰۶	۰/۵	۳۱	۰/۰۰۰۷۱۹۲	۰/۰۰۹۱۴۱	۱۳	۱۲
خانگی	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۴۵	۳۲	۰/۰۰۴۴۳۴	۰/۰۰۳۳۷۲	۱۴	۱۳
تجاری	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۳	۳۳	۰/۰۰۳۳۷۵	۰/۰۰۳۳۸	۱۵	۱۴
صنعتی	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۲۵	۳۴	۰/۰۰۳۳۹۴	۰/۰۰۴۶۴۷	۱۶	۱۵
تجاری	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۲۵	۳۵	۰/۰۰۱۰۷۱۶	۰/۰۰۸۰۲۶	۱۷	۱۶
صنعتی	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۱	۳۶	۰/۰۰۳۵۷۴	۰/۰۰۴۵۵۸	۱۸	۱۷
خانگی	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۵	۲	۰/۰۰۰۹۷۴	۰/۰۰۱۰۲۱	۱۹	۲
تجاری	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۵	۳	۰/۰۰۰۸۴۴	۰/۰۰۹۳۶۶	۲۰	۱۹
صنعتی	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۲۱	۴	۰/۰۰۲۹۷۹	۰/۰۰۲۵۵	۲۱	۲۰
خانگی	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۱۱	۵	۰/۰۰۵۸۳۶	۰/۰۰۴۴۱۴	۲۲	۲۱
تجاری	۰/۰۵	۰/۰۹	۱/۵	۷	۰/۰۰۰۱۹۲	۰/۰۰۲۸۰۹	۲۳	۳
تجاری	۰/۲	۰/۴۲	۱/۵	۸	۰/۰۰۴۴۱۵	۰/۰۰۵۵۹۲	۲۴	۲۳
تجاری	۰/۲	۰/۴۲	۰/۵	۹	۰/۰۰۴۳۶۶	۰/۰۰۵۵۷۹	۲۵	۲۴
تجاری	۰/۰۲۵	۰/۰۶	۱/۵	۱۴	۰/۰۰۰۶۴۴	۰/۰۰۱۲۶۴	۲۶	۶
صنعتی	۰/۰۲۵	۰/۰۶	۱/۵	۱۵	۰/۰۰۰۹۰۱	۰/۰۰۱۱۷۷	۲۷	۲۶
تجاری	۰/۰۲	۰/۰۶	۱/۵	۱۶	۰/۰۰۵۸۱۴	۰/۰۰۶۵۹۴	۲۸	۲۷
تجاری	۰/۰۷	۰/۱۲	۱/۵	۱۷	۰/۰۰۴۳۶۲	۰/۰۰۵۰۰۷	۲۹	۲۸
تجاری	۰/۰۶	۰/۲	۱/۵	۱۸	۰/۰۰۱۰۱۱	۰/۰۰۳۱۶	۳۰	۲۹
خانگی	۰/۰۷	۰/۱۵	۰/۵	۱۹	۰/۰۰۵۹۹۶	۰/۰۰۶۰۶۷	۳۱	۳۰
خانگی	۰/۱	۰/۲۱	۰/۵	۲۰	۰/۰۰۲۲۵۳	۰/۰۰۱۹۳۳	۳۲	۳۱
تجاری	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۱	۲۱	۰/۰۰۳۳۰۱	۰/۰۰۲۱۲۳	۳۳	۳۲