جایابی همزمان واحدهای تولید پراکنده و خازن در شبکه های توزیع با هدف کاهش تلفات و بهبود ولتاژ

میلاد دلف زرگانی، دانشجوی کارشناسی مهندسی برق قدرت دانشگاه شهید چمران اهواز

miladzargani64@gmail.com

خلاصه

با روند رو به رشد استفاده از واحدهای تولید پراکنده، بررسی تاثیر این واحدها بر سیستم توزیع و همچنین نحوه به کارگیری آنها ضروری به نظر می‌رسد. قرار دادن واحدهای تولید پراکنده در برخی مکان‌ها باعث کاهش مزایای آن شده و حتی ممکن است عملکرد سیستم را به مخاطره بی‌اندازد. از این رو جهت نصب واحدهای تولید پراکنده باید اندازه و موقعیت آن را در نظر گرفت. با توجه به اهمیت مکان‌یابی و تعیین ظرفیت واحدهای تولید پراکنده برای دستیابی کامل به مزایای این منابع تولید انرژی، بررسی مواردی که در امر مکان‌یابی و تعیین ظرفیت این واحدها مؤثرند، امری ضروریست. همچنین نیاز به تولید توان راکتیو در شبکه‌های قدرت از سال‌های دور به دلیل وجود بارهای القای در شبکه احساس گردید و با پیشرفت علم که از انرژی برق جهت راه‌اندازی چرخ‌های صنعت استفاده شده است طبیعتا شبکه‌های قدرت روز به روز به سمت القایی شدن پیش رفتند و لزوم استفاده از منابع تامین توان راکتیو هر چه بیشتر خود نمایی کرد.
در این مقاله با استفاده از الگوریتم‌های بهینه سازی اقدام به جایابی همزمان واحدهای تولید پراکنده و خازن در شبکه توزیع نمونه می‌نماییم. این مسئله بهینه‌سازی بهترین جایابی و ظرفیت واحد تولید پراکنده خازن را نشان می‌دهد به طوریکه با کمترین هزینه سرمایه‌گذاری کاهش تلفات متناسب در شبکه محقق شود بهطوریکه پروفیل ولتاژ در محدوده قابل قبول قرار گیرد.

کلمات کلیدی: جایابی , منابع تولید پراکنده , خازن بهینه‌سازی

1. مقدمه

سیستم‌های توزیع شعاعی به علت اینکه در سطح ولتاژ پایین و جریان بالا کار می‌کنند دارای تلفات بیشتری نسبت به سیستم انتقال هستند بهطوریکه سهم تلفات توزیع در کل انرژی تولید شده 13 درصد است [1]. همچنین افزایش روزافزون تقاضای مصرف برق باعث افزایش روز افزون تلفات و همچنین افت ولتاژ در فیدرهای شبکه شده است.

نصب تولید پراکنده (DG) و خازن شنت (SC) در سیستم توزیع شعاعی مرکز بار می‌تواند پروفیل ولتاژ را افزایش داده و تلفات توان اکتیو را به مقدار قابل توجهی کاهش دهد زیرا آنها جریان‌های توان را در فیدرهای توزیع اصلی کنترل می‌کنند. تولیدات پراکنده علاوه بر تولید انرژی الکتریکی مزایای دیگری نیز دارد که برای شبکه بسیار مفید است، در اینجا به ذکر برخی از مهم‌ترین مزایای تولید پراکنده پرداخته می‌شود.

- عدم نیاز به سرمایه‌گذاری زیاد و امکان جذب مشارکت عمومی و سرمایه‌های متوسط

- دوره‌ی احداث کوتاه
- حذف تلفات انتقال و کاهش تلفات توزیع برق
- سهولت استفاده به صورت تولید همزمان برق و حررات در مقایسه با نیروگاه‌های بزرگ و متمرکز
- قابلیت حمل و جابجایی آسان
- در اختیار داشتن منبع تامین انرزی با ضریب حفاظتی بالا
- مکانیابی ساده و عدم نیاز به شبکه گاز رسانی ویژه
- عدم انتشار آلاینده‌های زیست محیطی با استفاده از ظرفیت‌های زباله‌های شهری و دامی
- افزایش قابلیت اطمینان
- کاهش نگرانی‌های ناشی از نوسانات قیمت برق
- بهبود کیفیت توان
- منبع جدید کسب درآمد با فروش مازاد انرژی مصرفی
- جلوگیری از افزایش ظرفیت شبکه
- تاخیر و کاهش نیاز به سرمایه گذاری برای توسعه شبکه انتقال و توزیع
- تامین توان راکتیو
- کاهش تراکم
- پیک سایی
- کاهش حاشیه رزرو

البته نباید از نظر دور بماند که اتصال واحدهای تولید پراکنده به شبکه‌های توزیع علیرغم مزایایی که ذکر شد باعث ضرورت توسعه سیستم حفاظت، پیچیده شدن بهره‌برداری و کنترل و ایجاد هارمونیک در شبکه می‌شود. بیشتر کاربرد خازن‌های سری در جبران خطوط است اما خازن‌های موازی وظیفه تامین توان راکتیو مورد درخواست بار از سیستم را دارند و این توان غیر واقعی را از طریق تغییر زاویه جریان بار جبران می‌کنند. خازن‌های موازی که در نزدیکی بار سلفی به شبکه متصل می‌شوند دارای چندین اثر هستند که موجب بهبود شبکه می‌گردند و استفاده از آنها همواره مورد تاکید است. دلایل استفاده از خازن‌های موازی به شرح زیر است

1- مولفه پس فاز جریان مدار را کاهش داده و به بردار ولتاژ نزدیک می‌کند.
2- سطح ولتاژ در نقطه اتصال بار به مدار را افزایش می‌دهد
3- .با کلید زنی مناسب واحدهای خازنی میتوان تنظیم ولتاژ را بهبود بخشید.
4- به دلیل کاهش جریان، تلفات توان اهمی را کاهش می‌دهد.
5- به دلیل کاهش جریان، تلفات توان القایی نیز کاهش می‌یابد.
6- ضریب قدرت مولدهای شبکه را افزایش می‌دهد.
7- با کاهش توان ظاهری شبکه امکان بارگذاری توان اکتیو اضافی بر روی مولدها ممکن می‌گردد.
8- میزان نیاز مصرف توان ظاهری در محل تحویل توان به مشترک را کاهش می‌دهد.
10- سرمایه‌گذاری تجهیزات کل سیستم به ازای هر کیلوولت آمپر از بار تامین شده را کاهش می‌دهد.

خازن‌های شنت ضریب توان را تصحیح می‌کنند و هدف ازاین تصحیح ان است که به جای تامین توان راکتیو از منابع دور، از نقطه‌ای نزدیک به مصرف ان را تهیه کرد چون اغلب بارهای شبکه دارای ضریب توان پس فاز هستند. این خازن‌ها فراوان در سیستم‌های توزیع به کار می‌روند تا مولفه غیرهم فاز جریان مورد نیاز بار القایی را جبران کنند. با به کارگیری

خازن برای یک فیدر می‌توان جریان بار را کم کرد و ضریب توان مدار را بهبود بخشید علاوه بر آن افت ولتاژ در نقطه نصب خازن نیز کاهش می‌یابد.

$$VD = I_R R + I_L X_L \quad (1)$$

I_R : مولفه اکتیو جریان
R: کل مقاومت مدار فیدر
I_L: مولفه راکتیو جریان پس فاز
X_L: کل راکتانس القایی مدار فیدر

پس از نصب خازن روابط به صورت زیر خواهد بود.

$$VD = I_R R + I_L X_L - I_C X_C \quad (2)$$

با این حال خازن‌های موازی تنها از نقطه نصب به ما قبل موجب بهبود ضریب توان می‌گردند و تاثیری در ضریب توان مدار بعد از نقطه نصب ندارند از این رو است که موجب آزادسازی ظرفیت سیستم می‌شوند و بر همین اساس شرکت‌های برق‌رسانی نسبت به نصب آنها اهمیت می‌دهند و با به کارگیری روش‌های مدیریت مصرف، مشترکین پر مصرف را نسبت به نصب این گونه خازن‌ها تشویق می‌کنند. در سیستم‌های قدرت با توجه به ثابت بودن همیشگی فرکانس شبکه، خازن‌ها عموما بر حسب کیلووار اندازه‌گیری می‌شوند.

بسیاری از الگوریتم‌های مختلف در سال‌های اخیر برای کشف تخصیص بهینه DGs، SCs پیاده‌سازی شده‌اند. در مرجع[2] از روش الگوریتم بهینه سازی زنبور عسل مصنوعی (ABC)، بهینه‌سازی ازدحام ذرات چند هدفه (MOPSO) مرجع[3] از بهینه سازی به روش یادگیری و آموزش(TLBO) مرجع[4] الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی عقبگرد (BSOA) مرجع[5]، باکتری الگوریتم بهینه سازی علوفه (BFOA) مرجع[6]، الگوریتم جستجوی مستقیم (DSA) مرجع[7]، ترکیبی (تحلیلی و PSO) مرجع[8]، یک تحلیل بهبود یافته (IA) مرجع[9]، الگوریتم گله کریل (KHA) مرجع[10]، الگوریتم گرده افشانی گل (FPA) مرجع[11]، الگوریتم هارمونی بهبود یافته (IHA) [12] استفاده نموده است.

هدف از انجام این مقاله جایابی همزمان منابع تولید پراکنده و خازن شنت در شبکه توزیع است بدین منظور نیاز است یک مسئله بهینه سازی حل شود. این مسئله بهینه سازی شامل تابع هدف و قیود مرتبط با آن است. تابع هدف بر اساس هزینه های لازم برای نصب خازن شنت و واحد تولید پراکنده و تلفات بوده و قید آن بر اساس قیود پخش بار و پروفیل ولتاژ می باشد. این مسئله بهینه سازی بهترین جایابی و ظرفیت واحد تولید پراکنده خازن را نشان می دهد به طوریکه با کمترین هزینه سرمایه‌گذاری، کاهش تلفات متناسب در شبکه محقق شود و پروفیل ولتاژ در محدوده قابل قبول قرار گیرد.

2. طرح مسئله

چنانچه DGs و SCs به شبکه متصل شوند اثرات مختلفی روی شبکه از جمله کاهش تلفات شبکه، بهبود پروفیل ولتاژ و افزایش قابلیت اطمینان شبکه خواهند داشت. عدم جایابی مناسب این منابع در شبکه باعث افزایش تلفات شبکه و بالا رفتن هزینه‌های تولید و انتقال انرژی خواهد شد. بنابراین لازم است با روش‌های بهینه‌سازی جایابی این نیروگاه در شبکه طوری انجام گیرد که بیشترین سود را برای شبکه به همراه داشته باشد بدین ترتیب که تعداد نیروگاه‌های تولید پراکنده،

محل نصب و ظرفیت آنها چنان تعیین گردد که بیشترین کاهش در تلفات شبکه با در نظر گرفتن قیود فنی و اقتصادی مسئله به وجود آید.

باتوجه به اهمیت و تاثیر واحدهای تولید پراکنده مسئله جایابی و اندازه‌یابی از دیدگاه‌های مختلفی مورد توجه قرار می‌گیرد.

- شرکت توزیع
- سرمایه‌گذار

2-1 جایابی و اندازه‌یابی واحدهای تولید پراکنده از دیدگاه شرکت‌های توزیع

شرکت توزیع جایابی و اندزه‌یابی واحدهای تولید پراکنده را با اهداف متفاوتی همچون کاهش تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ و... انجام می‌دهد، که در ادامه به آنها پرداخته می‌شود.

- **کاهش تلفات**

مسئله جایابی و اندازه‌یابی واحدهای تولید پراکنده با هدف کمینه‌سازی تلفات شبکه توزیع[13] عبارت است از :

$$f = \sum_{i=1}^{n} P_i \qquad (3)$$

P_i: توان تزریق شده به باس i ام.

n: تعداد باس‌های شبکه

قیود تساوی به صورت توابع جریمه نشان داده می‌شوند.

$$f = \sum_{i=1}^{n} P_i + \alpha\left(\sum_{i=1}^{n} P_i - C\right) \qquad (4)$$

- **بهبود ولتاژ**

در مطالعاتی که جایابی را بر مبنای بهبود پروفیل ولتاژ انجام شده، شاخص انحراف ولتاژ به گونه‌ای مدل‌سازی شده‌اند که در حداقل و حداکثر انحراف ولتاژ یعنی به ترتیب 0/95 و 1/05 برابر صفر و وقتی تمام ولتاژ باس‌های سیستم در مقدار نامی شان باشند، مقدار یک می‌گیرد. از این رو اگر هر یک از ولتاژ باس‌های سیستم از مقدار نامی‌اش فاصله بگیرند، به طور معکوس بر پروفیل ولتاژ تاثیر می‌گذارد. وقتی که ولتاژ باس‌ها کمتر یا بیشتر از حد مجاز انحراف ولتاژ شود، معیار انحراف ولتاژ منفی شده و باعث کاهش انحراف معیار سیستم می‌شود. دو تعریف جهت بهبود پروفیل ولتاژ می‌توان داشت. تابع هدف رابطه(5) بر اساس این معیار بیان شده است[14]

$$VP_i = (V_{nom} - V_{min}) + (V_{max} - V_{nom}) \qquad (5)$$

در تابع هدف فوق VP_i پروفیل ولتاژ باس i، V_{min} حداقل ولتاژ مجاز، V_{max} حداکثر ولتاژ مجاز، V_{nom} ولتاژ نامی باس می‌باشد.

- **جایابی چند هدفه واحدهای تولید پراکنده**

مزایای تکنیکی واحدهای تولید پراکنده را میتوان به دو دسته تقسیم کرد:

- بهبود پروفیل ولتاژ، کیفیت توان، قابلیت اطمینان
- کاهش تلفات خط، آلودگی، گرفتری خطوط

با مقایسه و اندازه‌گیری مقدار هر یک از گروه‌های فوق با حضور و عدم حضور واحدهای تولید پراکنده با بارهای مشابه، شاخصی برای هر یک از گروه‌های فوق تعریف شده است. شاخص تعریف شده برای گروه یک بزرگتر از یک و شاخص گروه دو کوچکتر از یک می‌باشد. برای گروه‌های فوق به ترتیب نمادهایLiو Lj به کار می‌رود. در حالت کلی مزایای تولیدات پراکنده را می‌توان به صورت زیر بیان کرد. [15]

$$f = \sum_i \alpha L_i + \sum_j \frac{\beta}{\mathrm{Lj}} \qquad (6)$$

β و α ضرایب وزنی مزایای واحدهای تولید پراکنده هستند.

$$\sum \alpha + \beta = 1 \qquad (7)$$

2-2 جایابی و اندازه‌یابی واحدهای تولید پراکنده از دیدگاه سرمایه گذار

امروزه به دلیل هزینه‌های بالای واحدهای تولید پراکنده، مصرف کننده‌های خرد قادر به خرید این واحدها نبوده و تنها مصرف‌کننده‌های بزرگی هم چون پتروشیمی، صنایع فولاد و... به دلیل مسائل امنیتی و بالا بردن قابلیت اطمینان و یا مصرف‌کننده‌هایی که ازخط انتقال دور بوده و برق‌رسانی به آن مناطق غیرممکن یا صرفه اقتصادی نداشته باشد، از واحدهای تولید پراکنده استفاده می‌کنند. [16] بنابراین همانطور که مشاهده می‌شود واحدهای تولید پراکنده تنها برای نیاز مالکان واحدها نصب می‌شوند. لازم به ذکر است که جایابی توربین‌های بادی نیز وابسته به شرایط جغرافیایی و سرعت باد است که در کشور ایران چندان قابلیت مانور ندارد. بنابراین مالکان واحدهای تولیدپراکنده با مسئله جایابی مواجه نیستند و تنها اندازه و هزینه این واحدها برای آنها از اهمیت بالابی برخوردار است. اندازه و هزینه واحدهای تولید پراکنده نیز به اندازه بار و قابلیت اطمینان مورد نیاز آنها بستری دارد. با توجه به شکل‌گیری بازار برق، واقعی شدن قیمت‌ها در ایران و همچنین تسهیلاتی که به این واحدها داده می‌شود، می‌توان انتظار داشت که درآینده نفوذ واحدهای تولید پراکنده با سرعت بیش تری افزایش یابد. البته جایابی و اندازه‌یابی این واحدها را می‌توان بر مبنای مزایای آنها انجام داد. تا علاوه بر بازار برق در بازار خدمات جانبی شرکت کنند.

3-مدل‌سازی مسئله

هدف از این مسئله جایابی همزمان واحدهای تولید پراکنده و خازن بهطوریکه با کمترین هزینه سرمایه‌گذاری بیشترین کاهش تلفات در شبکه محقق شود و پروفیل ولتاژ در محدوده قابل قبول قرار گیرد.برای این منظور باید یک مسئله بهینه‌سازی تعریف شود که شامل یک تابع هدف و قیود مسئله باشد. به روابط زیر توجه نمایید.

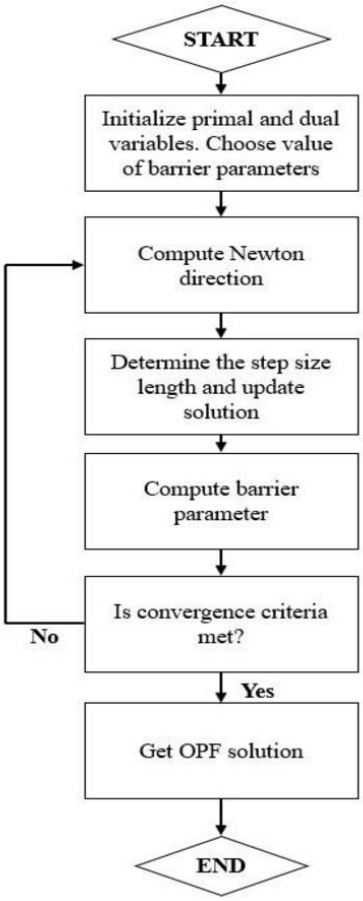
$$\min f(x) = \sum (\alpha \times Qvar + \beta \times P\,watt) \qquad (8)$$

$$\sum_i PG_i - PL_i = 0 \qquad (9)$$

$$0.95 < Vi < 1.05 \qquad i = 1{:}\,Nbus \qquad (10)$$

$$\alpha + \beta = 1 \qquad (11)$$

رابطه(8) مجموع هزینه خازن ها و توان اکتیوهایی است که در شبکه نصب شده می‌شود. رابطه(9) مربوط به قیود پخش بار می‌باشد که باید مجموع تولید با مجموع مصرف با هم برابر باشد. توجه شود در این مسئله از پخش بار پیشرو و پسرو برای انجام پخش بار استفاده شده است که مربوط به شبکه های توزیع است. رابطه(10) مربوط به قیود ولتاژ می‌باشد که محدود مجاز این پارامتر را تعیین می کند. شاید سوال پیش بیاید که چرا شرط ولتاژ را همان یک پریونیت در نظر گرفته نشده است در پاسخ باید گفت این شرط بسیار ایده آل بوده و نیاز به سرمایه گذاری بالا می‌باشد. بنابراین یک محدوده برای ولتاژ تعیین می‌شود. به منظور حل این مسئله بهینه سازی از الگوریتم نقطه درونی استفاده می شود فلوچارت این الگوریتم



به صورت شکل زیر می باشد.

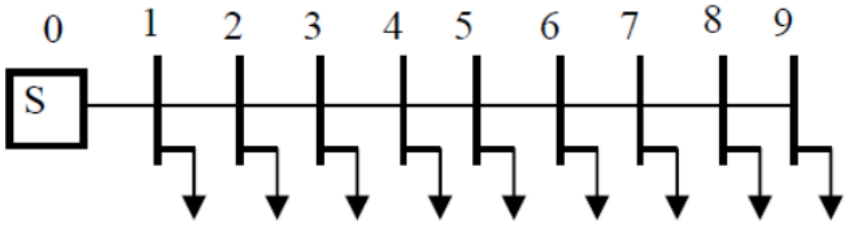
شکل 1- الگوریتم بهینه سازی نقطه درونی

این روش در دهه 1980 کشف شد که بعد از سیمپلکس است که در واقع از الگوریتم‌های غیر خطی برای حل مسائل با محدودیت‌های خطی استفاده می‌کند. این روش کمی کندتر از سیمپلکس است ولی روشی است که در واقع برای توابع محدب بسیار عالی است. ضمنا این روش در واقع ابتدا یک حد بالا و پایین در اطراف نقطه درونی در نظر می‌گیرد و سپس به اجرای آن می پردازد. تابع fmincon در این روش مورد استفاده قرار میگیرد که بر اساس یک سری کدنویسی در متلب می باشد این روش بر خلاف سیمپلکس به دنبال نقطه درونی است.

تفاوت روش نقطه درونی با سیمپلکس در این است که سیمپلکس از یک راس به راس دیگر حرکت میکند و معمولا تابع هدف را با این روش بهینه میکند ولی روش نقطه درونی بر روی شرایط KKT استوار است و بدنبال متغیرهای اولیه و دوگان برای حل مسئله است نقاط اولیه و ثانویه باید اکیدا مثبت باشند

4- شبیه سازی

به منظور بررسی الگوریتم بیان شده از شبکه 9 باسه شعاعی (مشابه شبکه های توزیع) برای شبیه سازی استفاده می شود. ساختار این شبکه به صورت شکل(2) است.



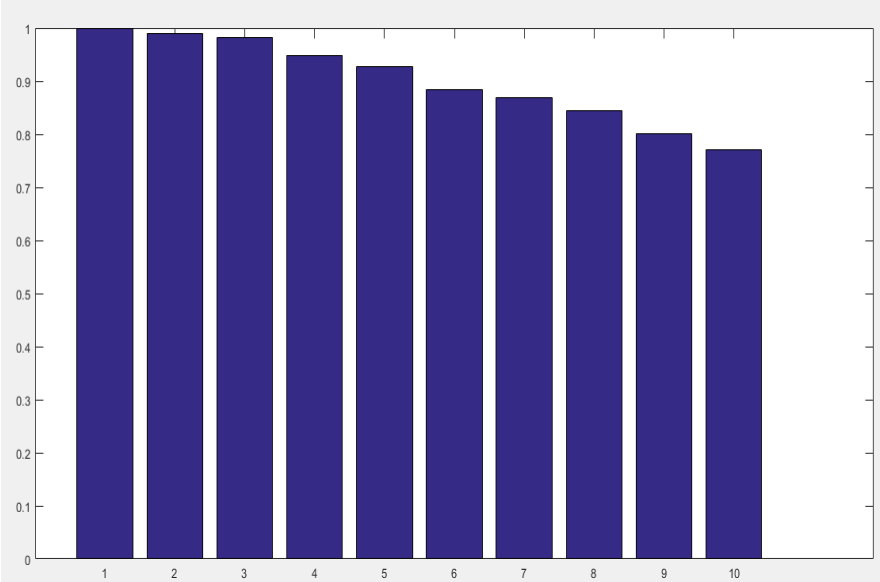
شکل2- شبکه نمونه 9 باسه مورد مطالعه

همانطور که مشاهده می شود شبکه به صورت شعاعی بوده و دارای 9 باس می باشد که به هر باس مصرف کننده متصل هستند. همچنین اطلاعات شبکه به صورت جدول(1) است.

جدول1- اطلاعات شبکه مورد مطالعه

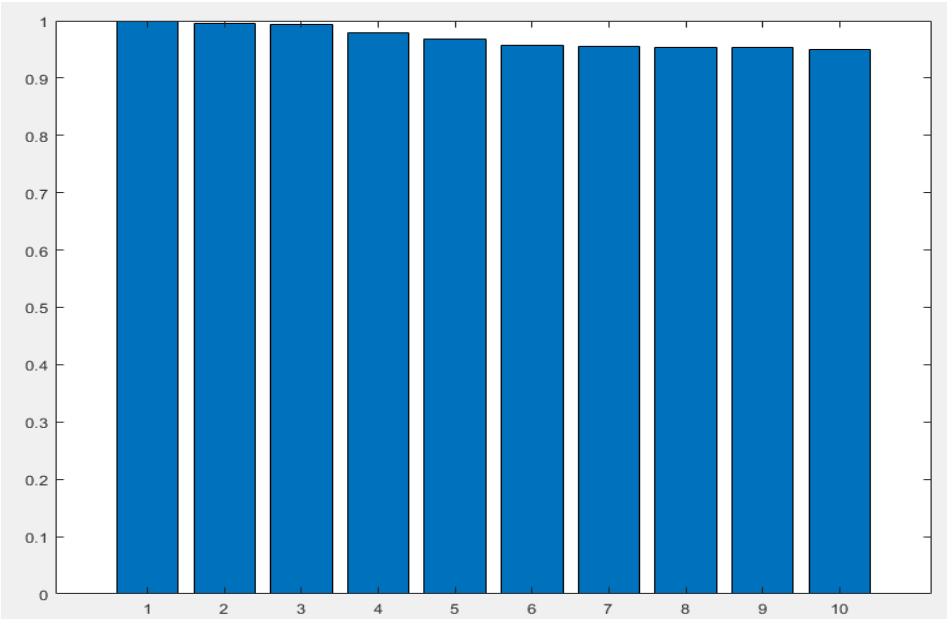
شماره خط	از باس (i)	به باس ($i+1$)	$R_{i,i+1}(\Omega)$	$X_{i,i+1}(\Omega)$	$P_{i+1}^{Load}(kW)$	$Q_{i+1}^{Load}(kVAR)$
۱	۰	۱	۰/۱۲۳۳	۰/۴۱۲۷	۱۸۴۰	۴۶۰
۲	۱	۲	۰/۰۱۴۰	۰/۶۰۵۷	۹۸۰	۳۴۰
۳	۲	۳	۰/۷۴۶۳	۱/۲۰۵۰	۱۷۹۰	۴۴۶
۴	۳	۴	۰/۶۹۸۴	۰/۶۰۸۴	۱۵۹۸	۱۸۴۰
۵	۴	۵	۱/۹۸۳۱	۱/۷۲۷۶	۱۶۱۰	۶۰۰
۶	۵	۶	۰/۹۰۵۳	۰/۷۸۸۶	۷۸۰	۱۱۰
۷	۶	۷	۲/۰۵۵۲	۱/۱۶۴۰	۱۱۵۰	۶۰
۸	۷	۸	۴/۷۹۵۳	۲/۷۱۶۰	۹۸۰	۱۳۰
۹	۸	۹	۵/۳۴۳۴	۳/۰۲۶۴	۱۶۴۰	۲۰۰

ابتدا از شبکه فوق بدون در نظر گرفتن حضور منابع تولید پراکنده پخش بار گرفته و پروفیل ولتاژ بررسی می‌شود. برای پخش بار از پخش بار پیشرو و پسرو استفاده می‌شود. نتایج پخش بار به صورت شکل(3) است.



شکل3- نتایج پخش بار شبکه مورد مطالعه بدون حضور منابع تولید پراکنده

بر اساس شکل فوق، از باس 6 به بعد افت ولتاژ زیادی رخ داده است توجه شود این افت ولتاژ می‌تواند علاوه بر عدم تنظیم پروفیل ولتاژ باعث افزایش جریان عبوری از خط و همچنین افزایش جریان عبوری از خط و در نتیجه افزایش تلفات گردد. در ادامه مسئله بهینه‌سازی خل شده و واحدهای تولید پراکنده و خازن جایابی می‌شوند. فرض بدین صورت است که ضریب بانک خازنی شنت 0.4 و برای واحدهای تولید پراکنده 0.6 می باشد که نشان می‌دهد واحدهای تولید پراکنده قیمت بیشتری نسبت به بانک خازنی دارند. نتایج پروفیل ولتاژ به صورت شکل(4) است.



شکل4-نتایج پخش بار شبکه مورد مطالعه بعد از اجرای بهینه سازی

همانطور که در شکل فوق دیده می‌شود سطح ولتاژها تا مقدار زیادی بهبود یافته و به مقدار محدوده تعیین شده می‌رسد. مکان و اندازه منابع تولید پراکنده و خازن‌ها نیز به صورت زیر است.

جدول2- نتایج بهینه‌سازی

شماره باس	ظرفیت بانک خازنی $(MVAR)$	ظرفیت واحد تولید پراکنده (MW)
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0.2617	0
6	0.0057	0
7	0.9370	0.5256
8	0.9123	0.8941
9	1.4709	0.639

بر اساس جدول فوق بیشترین مناب باید در باس آخر با ظرفیت مشخص شده نصب گردد در این شبکه به 3 واحد منبع تولید پراکنده در باس‌های 7 تا 9 نیاز است و از باس 5 تا 9 نیاز به بانک خازنی می‌باشد. یکی دیگر از مزایای واحدهای تولید پراکنده، کاهش تلفات خطوط می‌باشد. تلفات، در شرایط پرباری از اهمیت ویژهایی برخوردار است. با به کارگیری از واحدهای تولید پراکنده می‌توان تلفات شبکه توزیع را مخصوصا در شرایط پرباری کاهش داد. استفاده از واحدهای تولید پراکنده باعث کاهش فلوی عبوری از خطوط می‌شود. البته باید توجه داشت که میزان کاهش در تلفات به موقعیت و اندازه این واحدها بستگی دارد. در ادامه تلفات شبکه مقایسه می‌شود.

جدول3- مقایسه تلفات قبل و بعد از بهینه سازی

	قبل از بهینه سازی	بعد از بهینه سازی
مقدار تلفات	1.18 مگاوات	0.34 مگاوات

با توجه به جدول(3) با نصب این واحدها تلفات به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. در این مقاله نشان داده شد که نصب مناسب منابع تولید پراکنده و خازن و انتخاب ظرفیت صحیح می‌تواند باعث بهبود پارامترهای شبکه از قبیل ولتاژ و تلفات شود.

5-مراجع

1. H. N. Ng, M. M. A. Salama, and A. Y. Chikhani, “Classification of capacitor allocation techniques”, IEEE Transactions on power delivery, 15(1), 387-392, 2000.
2. M. Dixit, P. Kundu, and H. R. Jariwala, “Incorporation of distributed generation and shunt capacitor in radial distribution system for technoeconomic benefits. Engineering Science and Technology,” an International Journal, 20(2), 482-493, 2017.
3. A. Zeinalzadeh, Y. Mohammadi, and M.H. Moradi,“Optimal multi objective placement and sizing of multiple DGs and shunt capacitor banks simultaneously considering load uncertainty via MOPSO approach,” Int. J.Electr. Power Energy Syst. 67, 336–349, 2015.
4. S. Sultana, and P. K. Roy, “Multi-objective quasi-oppositional teaching learning based optimization for optimal location of distributed generator in radial distribution systems,” International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 63, 534-545, 2014.
5. El-Fergany, Attia, “Optimal allocation of multi-type distributed generators using backtracking search optimization algorithm,” International Journal of Electrical Power & Energy Systems 64, 1197-1205, 2015.
6. M. I. A. M. Kowsalya, “Optimal Distributed Generation and capacitor placement in power distribution networks for power loss minimization,” In 2014 International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE), IEEE, pp. 1-6, January 2014.
7. M. R. Raju, K. R. Murthy, and K. Ravindra, “ Direct search algorithm for capacitive compensation in radial distribution systems,” International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 42(1), 24-30, 2012.
8. S. Kansal, V.Kumar, and B. Tyagi, “Hybrid approach for optimal placement of multiple DGs of multiple types in distribution networks,” International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 75, 226-235, 2016.
9. D. Q. Hung, and N. Mithulananthan, “Multiple distributed generator placement in primary distribution networks for loss reduction, ” IEEE Transactions on industrial electronics, 60(4), 1700-1708, 2011.
10. S. Sultana, and P.K. Roy, “Krill herd algorithm for optimal location of distributed generator in radial distribution system,” Applied Soft Computing, vol.40, pp.391-404, Mar. 2016
11. A. Selim, S. Kamel, and F. Jurado, “Power losses and Energy Cost Minimization Using Shunt Capacitors Installation in Distribution Systems,” International Renewable Energy Congress (IREC), Sousse, Tunisia, pp. 1-6, 2019 10th.
12. A. A. Mohamed, S. Kamel, and M. M. Aly, “A simple analytical technique for optimal capacitor placement in radial distribution systems, ”in Power Systems

Conference (MEPCON), 2017 Nineteenth International Middle East: IEEE, pp. 928-933, 2017.

13. S. Kamel, M. Mohamed, A. Selim, L. S. Nasrat, and F. Jurado, "Power System Voltage Stability Based on Optimal Size and Location of Shunt Capacitor Using Analytical Technique," 2019 10th International Renewable Energy Congress (IREC), Sousse, Tunisia, pp. 1-5, 2019.
14. A.Y. Abdelaziz , E.S. Ali , and S.M. Abd Elazim, "Flower Pollination Algorithm and Loss Sensitivity Factors for optimal sizing and placement of capacitors in radial distribution systems," Electrical Power and Energy Systems 78, 207–214, 2016.
15. E. S. Ali, S. M. Abd Elazim, and A. Y. Abdelaziz, "Improved harmony algorithm and power loss index for optimal locations and sizing of capacitors in radial distribution systems," Int. J. Electric. Power Energy Syst., vol. 80, pp. 252–263, 2016.
16. A. Kumar, P. V. Babu, and V. Murty, "Distributed Generators Allocation in Radial Distribution Systems with Load Growth using Loss Sensitivity Approach," Journal of The Institution of Engineers (India): Series B, vol. 98, pp. 275-287, 2017.
17. A. Selim, M. Abdel-Akher, M. M. Aly, S. Kamel, and T. Senjyu, "Fast quasi-static time-series analysis and reactive power control of unbalanced distribution systems," International Transactions on Electrical Energy Systems, 29(1), e2673, 2019.