دوره چهاردهم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۰

مجله فناوری اطلاعات در طراحی مهندسی

Information Technology in Engineering Design

http://ited.sinaweb.net

جایابی بهینه خازن در شبکه توزیع استاندارد ۳۳ باسه *IEEE* با استفاده از بهینه-سازی TLBO و DIgSILENT

زهرا فروردین[۱] ریحانه کاردهی مقدم[۲*]

[۱]گروه مهندسی برق، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

[۲]گروه مهندسی برق، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران[*]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۷ تاریخ پذیرش : ۱۴۰۱/۰۶/۰۵)

چکیده: در شبکه‌های توزیع، وجود بار راکتیو باعث ایجاد تلفات، افت ولتاژ و اشغال ظرفیت شبکه می‌گردد. در این مقاله برای اولین بار جایابی بهینه خازن برای دستیابی به اهداف فنی بر روی شبکه ۳۳ باسه IEEE در دو نرم افزار متلب (MATLAB) و دیگسایلنت (DIgSILENT) مورد بررسی قرار گرفته است. فرآیند خازن‌گذاری شامل دو مرحله تعیین باس‌های کاندید جهت خازن‌گذاری بهینه با توجه به تلفات، پروفیل ولتاژ و مشخص کردن باس‌های نهایی بهینه صورت می‌گیرد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی شبکه مورد مطالعه در نرم افزار MATLAB با الگوریتم آموزش– یادگیری[۱](TLBO) و همین‌طور نرم افزار دیگسایلنت، نشان دهنده تاثیر قابل توجه خازن‌گذاری در کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ می‌باشد و از طرفی میزان کارایی هر یک از این دو نرم افزار، دقت محاسبات و همچنین پیچیدگی محاسباتی نیز بررسی و مقایسه شده است.

واژه‌های کلیدی: جایابی بهینه خازن – تلفات توان – پروفیل ولتاژ- دیگسایلنت –TLBO

* عهده دار مکاتبات:

ریحانه کاردهی مقدم

نشانی: گروه مهندسی برق، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

پست الکترونیک: rkardehi.moghaddam@gmail.com : ۰۹۱۵۱۰۱۶۹۵۵

۱- مقدمه

عملکرد اصلی سیستم قدرت تامین بار و انرژی مورد نیاز مصرف کنندگان است. تلفات بخش انتقال و توزیع مسئله‌ی مهمی است که سیستم قدرت با آن رو برو می باشد. تلفات شبکه‌های توزیع نیروی برق درصد بالایی از کل تلفات شبکه الکتریکی می‌باشد. نقش موثر تلفات در برنامه‌ریزی، طراحی و بهره برداری اقتصادی شبکه، ضرورت مطالعه گسترده در جهت شناسایی و مدل‌سازی و شناخت اجزاء تلفات را توجیه می‌کند. بدیهی است اجرای راه کارهای کاهش تلفات هم از لحاظ بهره برداری بهینه از انرژی الکتریکی و هم از لحاظ اقتصادی و موارد دیگر هدف ایده‌آل هر شبکه انتقال انرژی الکتریکی است. باتوجه به این موضوع سرمایه‌گذاری در جهت کاهش تلفات انرژی می‌تواند باعث آزادسازی ظرفیت تولید گردد. به این معنی که با انجام سرمایه گذاری مناسب و مهندسی شده می‌توان به جای ساخت نیروگاه های پرهزینه، تلفات شبکه الکتریکی را کاهش داد.

راه کارهای متفاوتی برای کاهش تلفات شبکه توزیع وجود دارد که یکی از این راه کارها، خازن‌گذاری است. با توجه به اینکه جریان‌های راکتیو درصدی از تلفات شبکه‌های توزیع را شامل می‌شوند و با افزایش جریان راکتیو بارها، تلفات سیستم نیز افزایش می‌یابد. این توان راکتیو در شبکه باعث افزایش تلفات توان و کاهش ظرفیت خطوط می‌شود. اکثر مصرف کنندگان انرژی الکتریکی علاوه بر توان اکتیو، توان راکتیو هم مصرف می‌کنند. توان اکتیو باید در نیروگاه تولید شود. در صورتی که توان راکتیو می‌تواند در نیروگاه و یا در محل های دیگر تولید گردد. تولید توان راکتیو در نیروگاه ها مستلزم این است که هر یک از عناصر سیستم ظرفیت بالاتری داشته باشند. در این صورت مناسب‌ترین و ارزان‌ترین وسیله برای تولید توان راکتیو در محل های غیر از نیروگاه، خازن‌های موازی می‌باشند که می‌توانند با تولید توان راکتیو در محل‌های مورد نیاز، از افزایش ظرفیت المان های شبکه به این منظور جلوگیری نمایند. خازن‌گذاری مناسب، موجب می‌شود که هزینه اضافی جهت نگه داشتن ولتاژ در محدوده مجاز و خرید تجهیزات اضافی به سیستم تحمیل نگردد و تلفات کل شبکه نیز به دلیل کم شدن جریان کل، کاهش پیدا کند. خازن‌گذاری بهینه در شبکه توزیع به صورت یک مساله بهینه‌سازی است که تابع هدف آن عموما شامل کمینه‌سازی هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای نصب خازن و تلفات می‌باشد. همچنین قیود این مساله شامل محدودیت شاخص‌های شبکه توزیع مانند محدودیت ولتاژ باس‌ها، ضریب توان و ظرفیت حرارتی خطوط است. خروجی مساله خازن‌گذاری بهینه در شبکه توزیع شامل مکان نصب و میزان ظرفیت خازن می‌باشد. علاوه بر این، قیود پخش بار نیز به صورت معادلات غیرخطی هستند. از این رو مسأله خازن‌گذاری بهینه به صورت یک مسأله غیرخطی آمیخته با اعداد صحیح خواهد بود [۱].

خازن‌گذاری یکی از اولویت‌های بالا معمولا پس از متعادل‌سازی بار برای کاهش تلفات شبکه‌های توزیع برق است، زیرا دوره بازگشت سرمایه آن بسیار کوتاه است. هر چند اهداف اصلی خازن‌گذاری معمولا کاهش تلفات و آزادسازی ظرفیت شبکه است، با این وجود می‌توان اهداف دیگری شامل موارد زیر را نیز برای خازن‌گذاری عنوان کرد:

- بهبود کیفیت برق از دیدگاه کاهش افت ولتاژ
- کاهش قیمت انرژی
- کاهش پیک بار شبکه
- بهبود قابلیت اطمینان

باید توجه داشت که استراتژی انتخاب محل و ظرفیت خازن، بسته به اینکه کدام یک از اهداف فوق مدنظر است، تغییر خواهد کرد. خازن‌گذاری نیز مانند هر پدیده و عملی که بهینه مطلق نیست معایبی به همراه دارد، از معایب خازن‌گذاری می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- تولید گذراهای خازن‌گذاری در هنگام قطع و وصل
- افزایش دامنه هارمونیک‌ها
- افزایش پیچیدگی سیستم و تبدیل مودهای گذرای نمایی به نوسانی
- ایجاد اضافه ولتاژ در کم باری شبکه (خازن‌های نصب شده در نزدیکی مشترک)

طرح‌های خازن‌گذاری به نحوی باید باشد که حداکثر منافع را ایجاد کند و حتی الامکان از معایب اجتناب کند.

تاکنون مطالعات بسیار زیادی برای حل مسأله تعیین مکـان و اندازه‌ی بهینه‌ی خازن‌ها در شبکه توزیع انجام شـده اسـت. انواع روش‌های جایابی بهینه‌ی خازن (ثابت و سویچ شونده) را می‌توان به شرح ذیل دسته بندی نمود: روش‌های تحلیلی، روش‌های برنامـه نویسی محاسباتی، روش‌های ابتکاری و روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی.

الگوریتم‌های تحلیلی برای حل مسأله جایابی خازن استفاده شده است. اخیرا از الگوریتم های ابتکاری برای حل این مسأله به‌طور گسترده استفاده شده است از جمله الگوریتم جستجوی ممنوعه[۲] (TS) [۲]، الگوریتم ژنتیک[۳] (GA) [۳]، الگوریتم فاخته [۴]، الگوریتم بهینه سازی ذرات [۴] (PSO)، الگوریتم کلونی زنبور عسل، الگوریتم کلونی مورچه‌ها، الگوریتم کرم شب تاب [۵]. در [۶]، از الگوریتم کرم شب تاب دو مرحله‌ای برای بهینه‌سازی مشکل پیکربندی مجدد استفاده شد. روش‌های رفت و برگشت پیشرو و پسرو و جریان مستقیم بار برای تخصیص بهینه خازن سوییچ شونده برای سیستم‌های توزیع مختلف استفاده شده است. از الگوریتم (P-PSO) برای یافتن پیکربندی بهینه و خازن بهینه استفاده شده است. در [۷]، انتخاب بهینه بانک های خازنی در سیستم توزیع با استفاده از الگوریتم میدان الکتریکی مصنوعی انجام شده است. علاوه بر این، همان مسأله با استفاده از الگوریتم اصلاح شده بهترین کلونی زنبور عسل مصنوعی [۵](MGABC) در [۸] حل شده است.

الگوریتم‌های تحلیلی برای حل مسأله جایابی خازن استفاده شده است. اخیرا از الگوریتم‌های ابتکاری برای حل این مسأله به طور گسترده استفاده شده است. از جمله الگوریتم جستجوی ممنوعه[۱] (TS) [۱۰]، الگوریتم ژنتیک[۲] (GA) [۱۱]، الگوریتم فاخته[۱۲]، الگوریتم بهینه‌سازی ذرات[۳] (PSO)، الگوریتم کلونی زنبورعسل، الگوریتم کلونی مورچه‌ها، الگوریتم کرم شب‌تاب [۱۳]. در [۱۴]، از الگوریتم کرم شب‌تاب دو مرحله‌ای برای بهینه‌سازی مشکل پیکربندی مجدد استفاده شد. روش‌های رفت و برگشت پیشرو و پسرو و جریان مستقیم بار برای تخصیص بهینه خازن سوییچ‌شونده برای سیستم‌های توزیع مختلف استفاده شده است.

از الگوریتم (P-PSO) برای یافتن پیکربندی بهینه و خازن بهینه استفاده شده است. در [۱۵] ، انتخاب بهینه بانک‌های خازنی در سیستم توزیع با استفاده از الگوریتم میدان‌الکتریکی مصنوعی انجام شده است. علاوه‌براین، همان مسأله با استفاده از الگوریتم اصلاح شده بهترین کلونی زنبورعسل مصنوعی[۴] (MGABC) در [۱۶] حل شده است. در [۱۷] برای به حداقل رساندن تلفات توان کل و هزینه‌های جایابی بهینه و نصب خازن با استفاده از الگوریتم گرده‌افشانی گل پیشنهاد شده است. در [۱۸،۲۳،۲۴] الگوریتم چرخه آب برای بهینه‌سازی اندازه واحدهای تولید پراکنده و بانک‌های خازنی به منظور به حداقل رساندن تلفات انرژی، بهبود پروفیل ولتاژ

1 - Tabu Search
2 - Genetic algorithm
3 - Particle swarm optimization
4 - guided Artificial Bee Colony

و کاهش هزینه‌های انرژی ارائه شده است. به منظور حل مشکل جایابی بهینه و تعیین اندازه مناسب خازن‌ها در شبکه‌های توزیع برق در [۱۹-۲۱] عواملی جهت بهبود میزان تلفات پیشنهاد شده است.

در اکثر روش‌های ارایه شده ارتباط مستقیم بین نرم افزارهای تحلیل سیستم‌های قدرت و ابزارهای بهینه سازی وجود ندارد لذا توسعه الگوریتم ارایه شده به مدل‌های واقعی عملا امکان پذیر نمی‌باشد از طرفی وابستگی زیاد به تنظیم پارامترها در الگوریتم‌های پیشنهادی دستیابی به پاسخ بهینه را پیچیده و وابسته به تنظیم پارامتر می‌کند. در این مقاله جهت جایابی مکان و ظرفیت مناسب خازن یک شبکه فشار متوسط از ماژول جایابی بهینه خازن نرم افزار دیگسایلنت و الگوریتم بهینه‌سازی آموزش و یادگیری در نرم افزار متلب استفاده شده است که عملا برای رفع دو مشکل فوق ارایه شده است و نتایج که نشان دهنده کارایی و پیچیدگی محاسباتی در هر یک از نرم افزارهای فوق است مورد ارزیابی قرار گرفته است.

در ادامه در فصل دوم به معرفی روش بهینه‌سازی پرداخته شده و در بخش سوم مساله بهینه سازی خازن گذاری در قالب یک مساله بهینه سازی مطرح شده و در بخش چهارم نحوه ترکیب با نرم افزار دیگسایلنت و ارزیابی نتایج ارایه شده است.

۲- الگوریتم بهینه‌سازی آموزش و یادگیری

الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر آموزش و یادگیری یکی از الگوریتم‌های بهینه‌سازی هوشمند است که در سال ۲۰۱۱ و با الهام گرفتن از فرآیند یادگیری و آموزش، ابداع شده است. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این الگوریتم، عدم وابستگی به پارامترها است. چرا که این الگوریتم، کمترین تعداد پارامتر ممکن را دارد و از این نظر، می‌تواند یک امتیاز ویژه را داشته باشد. مشابه سایر روش‌های بهینه‌سازی موجود یک الگوریتم برگرفته از طبیعت و مبتنی بر جمعیت است و بر اساس تاثیر یک معلم بر روی یادگیری در کلاس درس کار می‌کند.

معلم و دانش آموزان دو عنصر اصلی الگوریتم آموزش و یادگیری هستند. بر همین اساس، فاز معلم و فاز دانش آموز، دو قسمت مهم و اصولی این الگوریتم را تشکیل می‌دهند. خروجی الگوریتم همان نمرات دانش آموزان و سطح دانش آن‌ها است که کیفیت و توانایی معلم در این زمینه بسیار نتیجه بخش است. بنابراین، معلم هر کلاس بهترین دانش آموزان کلاس را انتخاب می‌کند تا بتواند با راهنمایی سایر دانش آموزان، نمرات آن‌ها را ارتقا بخشد. این فرایند در فاز معلم پیگیری می‌شود. همچنین، دانش آموزان نیز با یادگیری از یکدیگر سعی در ارتقای نمرات خود دارند که این رویه در فاز دانش آموزان دنبال می شود [۲۵].

۱-۲-فاز معلم

این فاز، قسمت اول الگوریتم را تشکیل می‌دهد که دانش آموزان سعی می‌کنند سطح دانش و نمرات خود را براساس سطح اطلاعات و دانش معلم بهبود دهند. در طی این فرآیند معلم کوشش می‌کند تا از تمام قابلیت‌های خود استفاده کند تا نتیجه میانگین کلاس را به سمت سطح دانش خود افزایش دهد. در نتیجه این اختلاف سطح دانش بین میانگین کلاس و معلم به شکل زیر فرمول‌بندی می‌شود [۹].

$$X_{i,new}=X_i+r_1.(X_{Teacher}+T_F) \quad (۱)$$

$$T_F = \text{round}\ (1+ r_2) \quad (۲)$$

$$X_1 \in \{0,1,2,3,\ldots,\ N_i\} \quad (۳)$$

در این حالت ، X_i و $X_{i,new}$ به ترتیب موقعیت قدیم و موقعیت جدید دانش آموز iام ، $X_{Teacher}$ بهترین پاسخ به مسئله‌ای که نقش معلم را ایفا می‌کند و TF ضریب یادگیری است که میزان حرکت میانگین به سمت معلم را کنترل می‌کند و مقدار آن به صورت احتمالی ۱ یا ۲ انتخاب می‌شود، که از رابطه (۲) بدست می‌آید.

round تابعی است که برای رند کردن اعداد استفاده می‌شود و r_2 عددی تصادفی بین صفر و یک است.

اگر جواب جدید دارای تابع هدف بهتری از نقطه نظر بهین‌سازی مساله باشد، جایگزین جواب قبلی می‌شود، در غیر این صورت همان جواب قبلی در جمعیت حفظ می‌شود. این نکته دارای اهمیت است که خروجی جمعیت از فاز اول یعنی فاز معلم به عنوان ورودی جمعیت برای فاز دوم یعنی فاز دانش آموز در نظر گرفته می‌شود.

۲-۲-فاز دانش آموز

این فاز، قسمت دوم فرآیند بهینه‌سازی آموزش و یادگیری را تشکیل می‌دهد که در آن دانش آموزان سطح دانش و اطلاعاتشان را بر اساس یادگیری از هم و مصالحه بین خودشان افزایش می‌دهند. هر دانش‌آموز به صورت تصادفی یکی دیگر از دانش آموزان را انتخاب کرده و بر اساس رابطه زیر سطح دانش خود را تغییر می‌دهد.

درصورتیکه دانش آموز i از دانش آموز j بدتر باشد به سمت آن حرکت کند و زمانیکه دانش آموز i از دانش آموز j بهتر باشد از او دور شود.

$$X_{i,new}=X_i+r_3 \cdot (X_j+ X_i) \qquad (۴)$$
$$X_{i,new}=X_i+r_3 \cdot (X_i+ X_j)$$

اگر این تغییر سطح دانش باعث شود تا نمره دانش آموز بهتر شود، این موقعیت جایگزین موقعیت قبلی می شود، در غیر این صورت همان موقعیت قبلی در فضای جستجو می‌ماند. شایان ذکر است که خروجی جمعیت از فاز دوم، یعنی فاز دانش آموز، به عنوان ورودی جمعیت برای تکرار بعدی درنظر گرفته می‌شود.

۳-ارایه مسئله خازن‌گذاری بهینه در قالبTLBO

در شکل (۱) مدل پیشنهادی کدگذاری الگوریتم آموزش و یادگیری را نشان می‌دهد. این کد به گونه‌ای است که هر کدام از عناصر این کد به یک باس اختصاص داده شده است. عددی بین صفر و حداکثر انواع خازن را می‌توان در این عناصر قرار داد. ارزش صفر به این معنی است که خازن به باس اختصاص داده نشده است و مقدار یک به معنی نوع خازن یک است و بقیه اعداد از همان نظم پیروی می‌کنند.

Bus1	Bus2	Bus3	…	Busn
X_1	X_2	X_3	...	X_n

شکل (۱): مدل پیشنهادی جهت کدگذاری [۱۰]

۱-۳-مدل بار

تعیین مکان و ظرفیت بهینه‌خازن در شبکه به میزان بار شبکه بستگی دارد. از این رو باید اطلاعات کلیه نقاط مختلف بار مشخص شود و بار کل سیستم محاسبه گردد. در این مقاله بار را در سه سطح کم باری، میان باری و پیک در نظر گرفته شده است.

۲-۳- ماژول جایابی بهینه‌خازن

جایابی بهینه‌خازن هزینه کلی سالانه شبکه را کمینه‌سازی می‌کند. این هزینه شامل مجموع هزینه تلفات شبکه و هزینه خازن‌های منصوبه می‌باشد. هدف از خازن‌گذاری در شبکه‌های توزیع شعاعی کاهش تلفات توان و حفظ ولتاژ باس‌ها در بازه از پیش تعریف شده با کمترین هزینه می‌باشد.

$$TotalCosts=CLosses+\sum_{i=1}^{n} CCap_i \quad (۵)$$

که CLosses هزینه سالانه تلفات شبکه، pi هزینه سالانه سرمایه‌گذاری و نگهداری بانک خازنی می‌باشد که توسط کاربر به صورت لیستی از خازن‌های ممکن به برنامه وارد می‌شود. جهت محاسبه هزینه سرمایه‌گذاری، لیستی از ظرفیت استاندارد خازن به همراه هزینه به ازای کیلووار مرتبط در نظر گرفته می‌شوند. هزینه انرژی ($/Kwh) به صورت ورودی توسط کاربر در نرم افزار تعریف می‌شود.

$$TC=MC \times L \times 8760 \quad (۶)$$

که TC هزینه کل سالانه برحسب $ ، MC هزینه تلفات انرژی برحسب ($/Kwh) و L کل تلفات توان می‌باشد. باید توجه داشت که اگر نقاط بار به صورت (پیک، میان باری و کم باری) تعریف شود مقادیر پارامترهای فوق برای هر سطح بار به صورت جداگانه تعریف می‌شود.

برای یافتن مکان بهینه‌خازن‌ها نرم افزار دیگسایلنت ابتدا با انجام آنالیز حساسیت بهترین باس کاندید تعیین می‌شود، این بخش شامل ارزیابی اثر اتصال بزرگترین خازن موجود از لیست تعریف شده توسط کاربر به باس‌های شبکه روی هزینه تلفات می‌باشد. در این مرحله هزینه بزرگترین خازن لحاظ نمی‌شود. در مرحله بعد تمامی باس‌ها متناسب با کاهش هزینه کل به صورت نزولی مرتب سازی می‌شوند. باسی که بیشترین کاهش هزینه را ایجاد می‌کند به عنوان بهترین مکان کاندید برای نصب خازن جدید انتخاب می‌شود. سپس فرآیند بهینه‌سازی کاهش هزینه در باس‌های کاندید را با استفاده از خازن‌های موجود از لیست تعریف شده کاربر با لحاظ کردن هزینه هر خازن ارزیابی می‌کند. بهترین خازن، خازنی است که هزینه را که شامل هزینه نصب خازن نیز هست به اندازه بیشترین مقدار ممکن کاهش دهد و در مرحله بعدگام یک تکرار می‌شود اما هر باسی که در مرحله قبل به عنوان کاندید برای نصب خازن انتخاب شده است در مرحله مرتب‌سازی باس‌های کاندید در نظر گرفته نمی‌شود. الگوریتم زمانی متوقف می‌شود که روی تمامی باس‌ها خازن نصب شده باشد یا نصب خازن‌ها دیگر منجر به کاهش هزینه بیشتری نگردد.

۳-۳- بیان تابع هدف

مسئله خازن‌گذاری بهینه دارای متغیرها و پارامترهایی مانند اندازه و موقعیت بهینه‌خازن می‌باشد. علاوه بر این، محدودیت‌هایی مانند ولتاژهای باس نیز دارد. در این مقاله اهداف و قیدها به صورت زیر در نظر گرفته شده است.

در مورد قرار دادن خازن می‌توان اهداف مختلفی را در نظر گرفت. در این مقاله هدف زیر در نظر گرفته شده است.

$$f=K_p P_{loss}^{peak} + \sum_{j=1}^{N_c} K_c Q_c^j + \sum_{i=1}^{N_l} K_E \ T_l \qquad (۷)$$

k_p, K_c, K_E ضرایب ثابت برای تابع هزینه

P_{loss}^{peak} تلفات توان در پیک

Q_c^j هزینه خازن‌گذاری

P_{loss}^{l} تلفات توان در کم باری

۳-۴- بیان قیود

علاوه بر حداقل کردن انحراف ولتاژ به عنوان هدف، انحراف ولتاژ هر یک از باس‌ها نباید از حد مجاز بیشتر شود. محل خازن در شبکه باید به گونه‌ای باشد که ظرفیت کل در شبکه از حد مشخص بیشتر نشود.

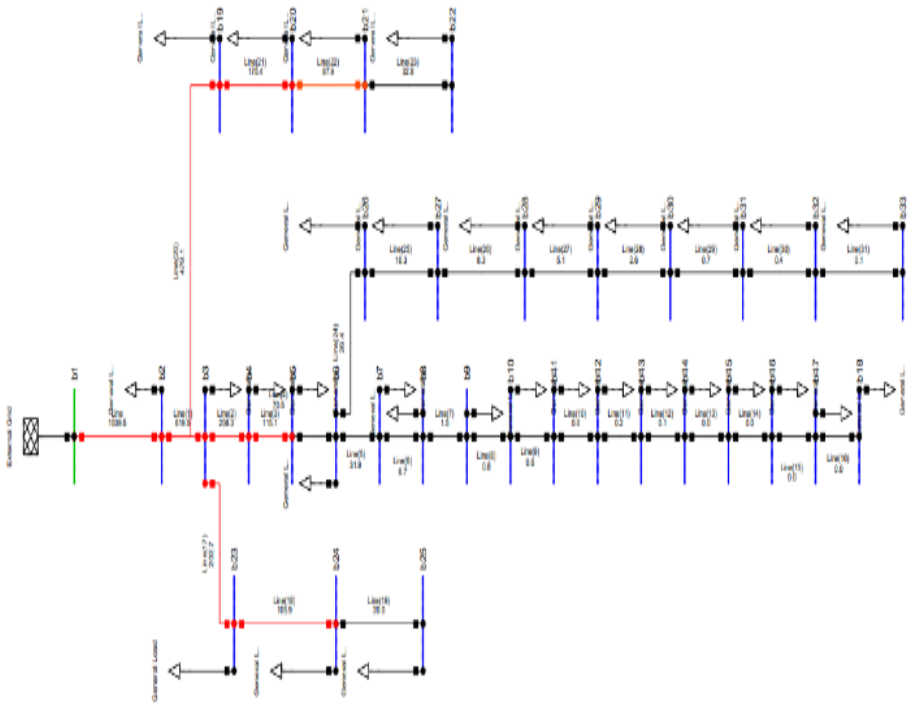
برای حل مسئله، قیود به شرح زیر در نظر گرفته شده است.

$$V_{min} \leq V_i \leq V_{max} \qquad (۸)$$

$$\sum_{j=1}^{N_c} Q_c^j \leq Q_{max} \qquad (۹)$$

۴-شبکه مورد مطالعه و نتایج شبیه سازی

در این مقاله شبکه ۳۳ باسه IEEE در نظر گرفته شده است که در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۲): شبکه ۳۳ باسه IEEE

در این سیستم، دامنه ولتاژ مجاز ۰/۹۵ تا ۱/۰۵ است. خازن‌های پیشنهادی جهت جایابی بهینه طبق جدول (۱) تعریف شده است.

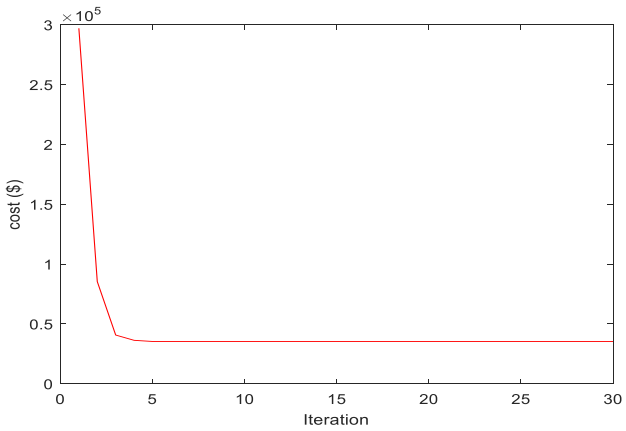
جدول (۱): مشخصات خازن های پیشنهادی

ظرفیت استاندارد (Kvar)	قیمت ($)
۰	۰
۱۵۰	۷۵۰
۳۰۰	۹۷۵
۴۵۰	۱۱۴۰
۶۰۰	۱۳۲۰
۹۰۰	۱۶۵۰
۱۲۰۰	۲۰۴۰

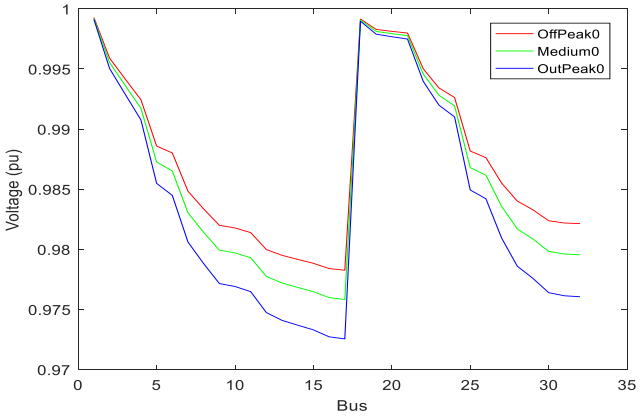
بعد از اجرا شبیه‌سازی، در نرم افزار متلب و دیگسایلنت نتایج به صورت زیر بدست آمده است.

جدول (۲): نتایج بدست آمده از نرم افزار متلب و دیگسایلنت

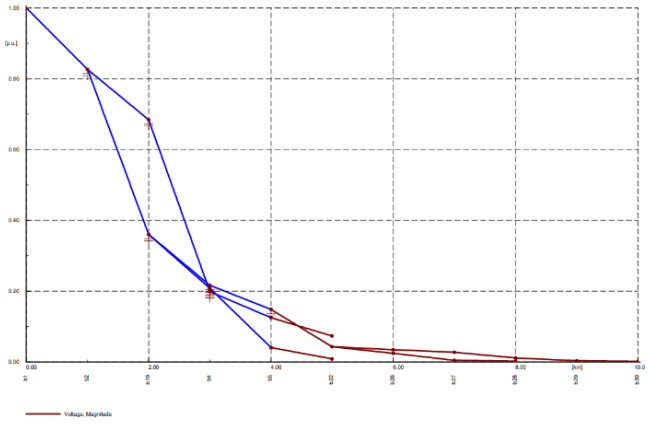
نرم افزار	پارامتر	قبل از خازن‌گذاری	بعد از خازن‌گذاری
متلب	تلفات توان (Kw)	۴۴/۷۷۹	۴۰/۱۵۱۶
	تلفات انرژی (Kwh)	۳۸۷۰۶۰	۳۵۲۶۹
	پروفیل ولتاژ (pu)	۱/۱	۰/۹۸
	هزینه خازن گذاری ($)	–	۱۴۴۷۲۰
	تعداد خازن پیشنهادی	–	۱۴
	درصد کاهش تلفات ٪		۱۰
دیگسایلنت	تلفات توان اکتیو (Kw)	۱۶۷۱۸۴/۵۶	۱۵۴۸۲۷/۲۹
	تلفات توان راکتیو (Kvar)	۶۵۳۰۶/۹۵	۵۳۵۹۷/۵۶
	پروفیل ولتاژ (pu)	۱	۰/۹۵
	هزینه خازن گذاری ($)	–	۵۷۱۲۰
	تعداد خازن پیشنهادی	–	۷
	درصد کاهش تلفات ٪	–	۷/۴



شکل (۳): نتیجه همگرایی شبکه ۳۳ باسه در متلب



شکل (۴): نتیجه بهبود پروفیل ولتاژ شبکه ۳۳ باسه در متلب



شکل (۵): نتیجه بهبود پروفیل ولتاژ شبکه ۳۳ باسه در دیگسایلنت

۵-نتیجه‌گیری و پیشنهاد

در این مقاله جایابی بهینه خازن به منظور بهبود پروفیل ولتاژ و کاهش تلفات برای شبکه ۳۳ باسه IEEE در نرم افزار متلب با استفاده از الگوریتم آموزش و یادگیری و در نرم افزار دیگسایلنت با ماژول جایابی بهینه خازن ارائه شده است. با توجه به اینکه یکی از راه های کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ نصب خازن می‌باشد. با بررسی نتایج حاصل از دو روش قبل و بعد از خازن‌گذاری نشان می‌دهد که تلفات توان و پروفیل ولتاژ بعد از نصب خازن بهبود یافته و هزینه سرمایه‌گذاری در طول یک سال بازگشت خواهد داشت. با توجه به اینکه در تحقیقات مختلف معمولا در شبکه‌های استاندارد و کوچک از نرم افزار متلب استفاده می‌گردد که بیشتر به مهارت برنامه نویس در پیاده‌سازی الگوریتم هوشمند وابسته است و حجم شبکه در سرعت و دقت اجرایی آن تاثیر دارد و همچنین بروزرسانی شبکه‌های مورد مطالعه با نداشتن قابلیت اتصال به سامانه اطلاعات جغرافیایی[۶](GIS) به سختی انجام می‌شود. نرم‌افزارهایی که وابستگی زیادی به کاربر ندارند و با ایجاد شرایط مناسب جهت دریافت و بروزرسانی اطلاعات، نتایج تحلیل‌ها را برای شبکه‌های با حجم بزرگ فراهم می‌آورند در شرکت‌های توزیع مورد بهره برداری قرار می‌گیرند.

مراجع

[1] A. Chaturvedi, K. Prasad, R. Ranjan, "Use of interval arithmetic to incorporate the uncertainty of load demand for radial distribution system analysis", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 21, no. 2, pp. 1019-1021, April 2006.

[2] W. Wang, S. Jazebi, F. de León, Z. Li, "Looping radial distribution systems using superconducting fault current limiters: feasibility and economic analysis", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 33, no. 3, pp. 2486-2495, May 2018.

[3] A Kiani, B. Fani, G Shahgholian, "A multi-agent solution to multi-thread protection of DG-dominated distribution networks", Int. Journal of Electrical Power and Energy Systems, vol. 130, Article Number: 106921, Sept. 2021.

[4] S.A. Hashemi-Zadeh1, O. Zeidabadi-Nejad, S. Hasani, A.A. Gharaveisi, G. Shahgholian, "Optimal DG placement for power loss reduction and improvement voltage profile using smart methods", Int. Journal of Smart Electrical Engineering, Vol. 1, No. 3, pp. 141-147, Summer 2012.

[5] M. Salari, F. Haghighatdar-Fesharaki, "Optimal placement and sizing of distributed generations and capacitors for reliability improvement and power loss minimization in distribution networks", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, vol. 11, no. 43, pp. 83-94, Dec. 2020.

[6] A. Ahmadpour, H. Shayeghi, E. Mokaramian, "Investigation of capacitor placement in variable loads to reduce the power loss of distribution systems using mixed– integer linear programming algorithm and re–gradation of loads", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, vol. 9, no. 36, pp. 51-61, March 2019.

[7] H. Lotfi, M. Elmi, S. Saghravanian, "Simultaneous placement of capacitor and DG in distribution networks using particle swarm optimization algorithm", Int. Journal of Smart Electrical Engineering, vol. 7, no. 1, pp. 35-41, Winter 2018.

[8] H.E.Z. Farag, E.F. El-Saadany, "Optimum shunt capacitor placement in multimicrogrid systems with consideration of islanded mode of operation", IEEE Trans. on Sustainable Energy, Vol. 6, No. 4, pp. 1435-1446, Oct. 2015.

[9] Devabalaji . K, Ravi . K and Kothari . D, "Optimal location and sizing of capacitor placement in radial distribution system using bacterial foraging optimization algorithm," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 71, 2015, pp. 383-390. (doi:10.1016/j.ijepes.2015.03.008)

[10] Gallego, R.A.; Moticelli, A.J.; Romero, R. Optimal capacitor placements in radial distribution networks using Tabu search. IEEE Trans. Power Syst. 2001, 16, 630–637. [Google Scholar] [CrossRef] .(doi: 10.1109/59.962407)
[11] Sydulu, M.; Reddy, V. Index and GA based optimal allocation and sizing of distribution system capacitors. IEEE Power Eng. Soc. Meet. 2007, 1, 1–5. [Google Scholar] . (doi:10.1109/PES.2007.385547)
[12] Devabalaji, K.R.; Yuvaraj, T.; Ravi, K. An efficient method for solving the optimal sitting and sizing problem of capacitor banks based on cuckoo search algorithm. Ain Shams Eng. J. 2018, 9, 589–597. [Google Scholar] [CrossRef] (doi:10.1016/j.asej.2016.04.005)
[13] Su, C.T.; Chang, C.F.; Chiou, J.P. Optimal capacitor placement in radial distribution systems employing ant colony search algorithm. Electr. Power Comp. Syst. 2005, 33, 931–946. [Google Scholar] [CrossRef]. (doi:10.1080/15325000590909912)
[14] Al Samman, M.; Mokhlis, H.; Mansor, N.N.; Mohamad, H.; Suyono, H.; Sapari, N.M. Fast Optimal Network Reconfiguration With Guided Initialization Based on a Simplified Network Approach. IEEE Access 2020, 8, 11948–11963. [Google Scholar] [CrossRef]. (doi:10.1109/ACCESS.2020.2964848)
[15] Abdelsalam, A.A.; Hossam, A.G. Shunt Capacitors Optimal Placement in Distribution Networks Using Artificial Electric Field Algorithm. In Proceedings of the 2019 IEEE 7th International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE), Oshawa, ON, Canada, 12–14 August 2019; pp. 77–85. [Google Scholar] [CrossRef]. (doi:10.1109/SEGE.2019.8859948)
[16] Mukul, D.; Kundu, P.; Jariwala, H.R. Optimal integration of shunt capacitor banks in distribution networks for assessment of techno-economic asset. Comput. Electr. Eng. 2018, 71, 331–345. [Google Scholar]. (doi:10.1016/j.compeleceng.2018.07.014)
[17] V. Tamilselvan, T. Jayabarathi, T. Raghunathan, X.S. Yang, “Optimal capacitor placement in radial distribution systems using flower pollination algorithm”, Alexandria Engineering Journal, vol. 57, no. 4, pp. 2775-2786, Dec. 2018.
[18] A.A.A. El-Ela, R.A. El-Sehiemy, A.S. Abbas, "Optimal placement and sizing of distributed generation and capacitor banks in distribution systems using water cycle algorithm", IEEE Systems Journal, vol. 12, no. 4, pp. 3629-3636, Dec. 2018.
[19] T.P.M. Mtonga, K.K. Kaberere, G.K. Irungu, "Optimal shunt capacitors’ placement and sizing in radial distribution systems using multiverse optimizer", IEEE Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering, vol. 44, no. 1, pp. 10-21, Winter 2021.
[20] R. V. Rao, V. J. Savsani, and D. P. Vakharia, “Teaching–learning-based optimization: a novel method for constrained mechanical design optimization problems,” Computer-Aided Design, vol. 43, pp. 303–315, 2011.
[21] A. Aouf, L. Boussaid, and A. Sakly, “TLBO-based adaptive neurofuzzy controller for mobile robot navigation in a strange environment,” Computational Intelligence and Neuroscience, vol. 2018, Article ID 3145436, 8 pages, 2018.
[22] Di Wu , Shuang Wang , Qingxin Liu , Laith Abualigah , and Heming Jia,“ An Improved Teaching-Learning-Based Optimization Algorithm with Reinforcement Learning Strategy for Solving Optimization Problems” Computational Intelligence and Neuroscience Volume 2022, Article ID 1535957, 24 pages.
[23] Gautam, G.D., Pandey, A.K.: Teaching learning algorithm based optimization of Kerf deviations in pulsedNd:YAGlaser cutting ofKevlar-29 composite laminates. Infrared Phys.Technol. (2017)89, 203–217. (doi:10.1016/j.infrared.2017.12.017)
[24] Arsalan Najafi, Ali Masoudian and Behnam Mohammadi-Ivatloo:Optimal Capacitor Placement and Sizing in Distribution Networks. In book: Optimization of Power System Problems .January 2020 pp.75-101. (doi:10.1007/978-3-030-34050-6_4)
[25] Gao, Z Zhang, L Tang, H Hou, K Chen,Optimal design of broadband quasi-perfect sound absorption of composite hybrid porous metamaterial using TLBO algorithm, - Applied Acoustics, 2021 - Elsevier, 2021, VOL183, pp 67-80, (doi:10.1016/j.apacoust.2021.108296)

زیرنویس‌ها:

1 Teaching-Learning-Based Optimization
2 Tabu Search
3 Genetic algorithm
4 Particle swarm optimization
5 guided Artificial Bee Colony
6 geographic information system