نشریه انرژی ایران

سال ۱۲ شماره ۳۰ تابستان ۱۳۸۸

کلید زنی بهینه خازن‌های قابل سوئیچ در شبکه‌های توزیع با استفاده از الگوریتم ژنتیک

عاطفه پورشفیع[۱]، دکتر محسن صنیعی[۲]، دکتر سید سعید اله مرتضوی[۳]

تاریخ دریافت مقاله:
۸۸/۱/۱۷
تاریخ پذیرش مقاله:
۸۸/۵/۲۵

چکیده:

امروزه فشار روز افزون در جهت بهره برداری حداکثر از سیستم های انتقال موجود و توسعه انواع جدید جبران کننده های استاتیکی و قابل کنترل توان راکتیو، لزوم استفاده از خازن های موازی در سیستم توزیع را بیش از پیش آشکار ساخته است. از آنجا که بارهای یک شبکه توزیع به طور دائم مشغول به کار نبوده و در طول ساعات شبانه روز تغییر می‌کنند، جهت جلوگیری از افزایش ولتاژ شبکه ناشی از وجود خازن‌ها، می‌بایست کلید زنی خازن ها به نحو موثری صورت پذیرد به طوری که در مواقع افزایش ولتاژ، میزان ظرفیت نصب شده کنترل شود.

در این مقاله یک طرح کنترلی برای تعیین ظرفیت بهینه خازن های قابل سوئیچ در شبکه های توزیع با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارائه شده و ظرفیت بهینه با هدف حداکثر کردن سود حاصل از کاهش تلفات شبکه و ترانسفورماتور HV/MV با در نظر گرفتن هزینه خرید، نصب و نگه داری خازن ها به دست آمده است.

در نهایت حداکثر تعداد بانک های خازنی نصب شده در هر گره بار، با توجه به تغییرات روزانه بار و حالت بهینه کلید زنی خازن ها به صورت ساعت به ساعت تعیین می گردد.

کلمات کلیدی:
الگوریتم ژنتیک، کاهش تلفات
کلید زنی بهینه خازن ها

۱) کارشناسی ارشد ati-pourshafi@yahoo.com
۲) دانشگاه شهید چمران اهواز mohsen.saniei@gmail.com
۳) دانشگاه شهید چمرن اهواز mortazavi_s@scu.ac.ir

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-13]

مقدمه

به طور کلی شعاعی بودن و بالا بودن نسبت مقاومت به راکتانس در شبکه های توزیع باعث افزایش تلفات در این شبکه ها نسبت به شبکه های انتقال می گردد. از این رو جایابی بهینه خازن در شبکه های توزیع، به منظور کاهش تلفات شبکه، بهبود پروفایل ولتاژ، کاهش بار راکتیو خط و اصلاح ضریب توان، یکی از مهم ترین مسائل طراحی و کنترل سیستم‌های قدرت می باشد که تا به حال تحقیقات وسیعی بر روی آن انجام پذیرفته و روش های گوناگونی در این زمینه ارائه شده است [۱].

یکی از مهم ترین راه کارهای کاهش تلفات و بهینه سازی شبکه های توزیع، خازن گذاری بهینه است و مسئله اصلی در این کار، تعیین موقعیت و ظرفیت بهینه خازن ها با هدف کاهش تلفات و افزایش صرفه جویی اقتصادی می باشد.

با توجه به اینکه اضافه شدن بانک های خازنی در اغلب موارد به صورت گام های گسسته است (نه پیوسته) و تغییرات بار در یک دوره زمانی نیز به صورت گسسته است (یعنی منحنی دوره بار با یک تابع تکه ای خطی تقریب زده می شود)، جهت یافتن پاسخ بهینه مسئله جایابی بهینه خازن ها در شبکه توزیع می بایست روشی به کار گرفته شود که در آن امکان کار با متغیرهای گسسته وجود داشته باشد و ظرفیت های به دست آمده از آن با واقعیت های عملی تطابق داشته باشد.

استفاده از الگوریتم ژنتیک و یا ترکیبی از روش ژنتیک و سایر روش ها برای جایابی بهینه خازن ها در تحقیقات اخیر مورد توجه بسیاری قرار گرفته است[۷] و[۵-۲]. اولین و مهم ترین نقطه قوت الگوریتم های ژنتیک این است که این الگوریتم ها ذاتاً موازی اند. اکثر الگوریتم های دیگر موازی نیستند و فقط می توانند فضای مسئله مورد نظر را در یک جهت در یک لحظه جستجو کنند و اگر راه حل پیدا شده یک جواب بهینه محلی باشد و یا زیر مجموعه‌ای از جواب اصلی باشد، باید تمام کارهایی که تا به حال انجام شده را کنار گذاشت و دوباره از اول شروع کرد. از آنجایی که الگوریتم ژنتیک چندین نقطه شروع دارد، در یک لحظه می تواند فضای مسئله را از چندجهت مختلف جستجو کند. به همین دلیل، این الگوریتم برای مسائلی که فضای راه حل بزرگی دارند بسیار مفید است. در روشی که در این مقاله به تفصیل عنوان خواهد شد، ابتدا برنامه پخش بار اجرا و تلفات شبکه پیش از جبران سازی به دست می آید. سپس یک تابع هدف تعریف می شود. با تعریف تابع هدف و با استفاده از الگوریتم بهینه سازی (الگوریتم ژنتیک)، جستجو برای یافتن پاسخ بهینه آغاز می گردد. در هر سطح بار، پخش بار و الگوریتم ژنتیک برای یافتن آرایش بهینه خازن ها، اجرا شده و نهایتاً تلفات شبکه پس از جبرانسازی محاسبه می گردد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-13]

فرمول‌بندی مسئله

در راستای بهینه سازی تابع هدف، مقایسه عددی بین دو موقعیت فعلی (قبل از جبران سازی) و موقعیت جدید (پاسخ طراحی) صورت می پذیرد. اجزاء اقتصادی موقعیت فعلی عبارتند از[۶] :

۱) هزینه متغیر مربوط به میزان تلفات توان در خطوط شبکه توزیع

۲) هزینه متغیر مربوط به تلفات توان در ترانسفورماتور HV/MV

پس از بهره برداری از سیستم در موقعیت جدید و جایگذاری بانک های خازنی در گره های بار شبکه توزیع فشار متوسط و شین HV/MV، اجزاء اقتصادی مربوط به موقعیت جدید عبارتند از:

۱) هزینه متغیر مربوط به مقدار جدید تلفات خطوط که قطعاً کمتر از تلفات در حالت قبل است

۲) هزینه متغیر مربوط به مقدار جدید تلفات ترانسفورماتور HV/MV

۳) هزینه خرید و نصب بانک های خازنی

کلیه این اجزای اقتصادی در طی یک سال بررسی می گردند، برای این دوره زمانی، تغییرات بار و حالت قرارگیری بانک های خازنی در نظر گرفته می شود [۶].

شرط (۱) یا تلفات توان در ساعت h ، با در نظر گرفتن بار روزانه و تغییر ساعت به ساعت بار هر گره شبکه فشار متوسط، به صورت زیر بیان می شود:

$$P_{loss}(h) = \sum_{i=1}^{n_r} \frac{R_i}{V_i^2}\left[(P_i(h))^2 + (Q_i(h) - Q_{ci}(h))^2\right] \qquad (۱)$$

که Q_{ci} ظرفیت بانک خازنی منصوبه در گره i بوده، $Q_i(h), P_i(h)$ توان های حقیقی و راکتیو شاخه i ام (شامل بارها و تلفات تحت شاخه i ام) و n_r تعداد کل شاخه های شبکه می باشد. در این حالت، به دلیل این که موقعیت فعلی را بررسی می کنیم، هیچ گونه خازنی نصب نشده است، یعنی ($Q_{ci}(h) = 0$). تلفات انرژی در یک سال مطابق رابطه زیر به دست می آید[۶] :

$$E_{loss} = 365 \sum_{h=1,24} P_{loss}(h) \qquad (۲)$$

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-13]

شرط(۳) معادل شرط (۱) بوده که $Q_{ci}(h) \neq 0$ است.

شرط (۲) بیانگر تلفات توان در ترانسفورماتور ایستگاه HV/MV در ساعت h می باشد.

$$P_{lossTR}(h) = \frac{R_{TR}}{V^2}[[P(h)^2] + [Q(h) - Q_C(h)]^2] \qquad (۳)$$

که R_{TR} مقاومت سری ترانسفورماتور، V ولتاژ نامی شبکه فشار متوسط و P(h) و Q(h) بیانگر توان هـای اکتیـو و راکتیو مورد نیاز شبکه (شامل بارها و تلفات) می باشند که در شین فشار متوسط ترانسفورماتور ایستگاه محاسبه شده اند. در فرمول بالا عبارت $Q_C(h)$ برابر صفر بوده و P_{lossTR} معرف تلفات ترانسفورماتور پیش از جبرانسازی می باشد. از تلفـات ترانسفورماتورهای توزیع به دلیل ناچیز بودن مقاومت سری آنها صرف نظر شده است.

تلفات انرژی در یک سال برای ترانسفورماتور به شرح زیر می باشد[۶] :

$$E_{TR} = 365 \sum_{h=1,24} P_{lossTR}(h) \qquad (۴)$$

شرط(۴) معادل با شرط (۲) بوده که Q_C آن مخالف صفر است. در واقع این شرط بیانگر شرایط بهره بـرداری واقعـی بانک های خازنی متصل به شین فشار متوسط ترانسفورماتور HV/MV در هر ساعت روز می باشد.

سود اقتصادی حاصل از مقدار کاهش تلفات خطوط شبکه به صورت زیر بدست می آید[۶] :

$$R_{Et} = (C_{Etb} - C_{Eta}) = (E_{lossb} - E_{lossa})C_{Et} \qquad (۵)$$

که C_{Eta}, C_{Etb} معرف هزینه های مربوط به تلفات انرژی قبل و بعد از جبر ان سازی، E_{lossa}, E_{lossb} تلفات انرژی قبل و بعد از جبران سازی و C_{Et} بیانگر هزینه واحد انرژی بر حسب (kwh/ ریال) می باشد که مطابق قانون بودجه سال ۸۷ معادل ۷۷۳ ریال می باشد.

سود حاصل از کاهش تلفات در ترانسفورماتور HV/MV بصورت زیر محاسبه می گردد[۶] :

$$R_{ETR} = (C_{ETRb} - C_{ETRa}) = (E_{TRb} - E_{TRa})C_{ET} \qquad (۶)$$

C_{ETRa}, C_{ETRb} هزینه های مربوط به تلفات ترانسفورماتور قبل و بعد از جبران سازی بوده و E_{TRa}, E_{TRb} تلفات انرژی قبل و بعد از جبران سازی می باشند. در صورتی عبارات R_{ETR}, R_{Et} از صفر کمتر شوند، بدین معنا است که بـرای اپراتور شبکه توزیع نه تنها سود اقتصادی حاصل نگردیده بلکه متحمل ضرر و زیان اقتصادی نیز گردیده و این در حالی رخ

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-13]

می دهد که هزینه نصب بانک های خازنی، در مقایسه با هزینه کاهش تلفات بیشتر باشد[۶].

در نهایت شرط(۵) معادل هزینه کل خرید، نصب و نگه داری بانک های خازنی بوده که از حاصل ضرب هزینه یک کیلووار بانک خازنی C_{inst} ، در ظرفیت کل بانک های خازنی نصب شده Q_{cinst} بدست می آید :

$$C_{instT} = C_{inst} \times Q_{cinst} \qquad (۷)$$

در اینجا C_{inst} برابر با ۵۰۶۱۲۰۰ ریال بر کیلووار در نظر گرفته شده است. به طور کلی برای ارزیابی پاسخ مسئله می بایست یک شاخص تعریف شود. شاخص عنوان شده در این مقاله، شاخص بازگشت سرمایه نام دارد. این شاخص بیانگر تفاوت درآمدها و هزینه ها در طول یک سال در شبکه توزیع است که در بخش بعدی بدان می پردازیم.

تعریف تابع هدف

در این بخش به نحوه تعیین ظرفیت و موقعیت بهینه خازن ها خواهیم پرداخت. با این فرض که خازن ها قابل سوئیچ بوده و کلیه گره های بار شبکه کاندیدای نصب خازن می باشند. بدین منظور یک برنامه کامپیوتری در فضای نرم افزار مطلب (Matlab)، بر اساس الگوریتم ژنتیک و پخش بار نیوتن- رافسون برای حالات مختلف بارگذاری در شبکه توزیع نوشته شده است و شبیه سازی با این برنامه انجام می گردد.

در اینجا خازن ها در شین های فشار متوسط شبکه توزیع، نصب و موجب کاهش تلفات و آزاد شدن ظرفیت سیستم از محل نصب به سمت منبع تولید می‌گردند. این خازن‌ها تنظیم ولتاژ را نیز بر عهده دارند. مراحل حل مسئله به صورت زیر می باشد: ابتدا اطلاعات شبکه را وارد کرده و پخش بار را انجام می دهیم، سپس کلیه شین های بار شبکه را به عنوان کاندیدای محل نصب خازن در نظر می گیریم. حال یک ظرفیت اولیه برای محل های مشخص شده تعیین می کنیم تا با استفاده از الگوریتم ژنتیک و تابع هدف تعریف شده، جستجو آغاز گردد.

داده‌های ورودی این برنامه اطلاعات مربوط به بار اکتیو و راکتیو شین های شبکه، امپدانس و ادمیتانس خطوط، حداکثر تعداد مجاز خازن ها در هر شین و معادل ریالی یک کیلووات ساعت انرژی می باشند. متغیرهای تصمیم گیری در این مسئله موقعیت و اندازه بانک های خازنی منصوبه و متغیرهای کنترل آن شامل حداکثر اندازه بانک های خازنی و محدوده مجاز ولتاژ شین ها می باشند. داده های خروجی این برنامه نیز ظرفیت و موقعیت نهایی خازن‌ها در شبکه، تلفات اکتیو و راکتیو شبکه پس از جبران سازی و تلفات ترانسفورماتور ایستگاه HV/MV می باشند. الگوریتم حل مسئله در پیوست ۱ ارائه شده است.

مرحله بعدی برای تعیین ظرفیت خازن‌ها، استفاده از یک تابع هدف (تابع برازش) موثر است که در این مقاله از هدف

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-13]

یا شاخص بازگشت سرمایه استفاده می‌کنیم. چون الگوریتم ژنتیک به دنبال بهینه کردن تابع هدف مـی باشـد و هـدف مـا حداکثر شدن سود اقتصادی حاصل از کاهش تلفات می‌باشد، شاخص مذکور، شاخص مناسبی است .

$$\max\{\mathrm{ROI}\} = \max\left\{\frac{R_{Et} + R_{ETR} - C_{instT}}{C_{instT}}\right\} \qquad (۸)$$

در این رابطه R_{Et} – سود اقتصادی حاصل از مقدار کاهش تلفات خطوط شبکه – از رابطه (۵) ، R_{ETR} – سود حاصل از کاهش تلفات در ترانسفورماتور HV/MV – از رابطه(۶) و C_{instT} – کل هزینه خرید، نصب و نگـه داری بانـک هـای خازنی– از رابطه (۷) محاسبه می گردد.

قیود این تابع هدف عبارتند از :

$$V_{i\min} < V_i < V_{i\max} \quad , 0 \le n_i \le n_{i\max} \qquad (۹)$$

که V_iمعرف مقدار ولتاژ در شین i و n_i تعداد بانک های خازنی در شین i می باشد. هزینـه هـای هـر یـک از اجـزاء اقتصادی ۱ تا ۵ ، در مدت یک سال ارزیابی می گردند.

برای به دست آوردن آرایش و ظرفیت نهایی خازن ها در شبکه، می بایست برنامه به مراتب بسیار اجرا شـود تـا جـایی که حداکثر تعداد مجاز تکرار انجام گردد و یا جمع برازش کروموزوم ها در یک نسل به یک مقدار ثابت برسد. البته در حالت کلی به دلیل وجود اپراتور جهش ژنی به یک مقدار ثابت دست نمی یابیم و مجموع برازش کروموزوم ها، حول یـک مقـدار ثابت نوسان می‌کند. در این حالت پاسخ به دست آمده اشباع شده و پاسخ بهینه حاصل از الگوریتم ژنتیک می باشد.

شبیه‌سازی شبکه آزمون

شبکه آزمون به کار گرفته شده، شین ۴ سیستم تست روی – بیلینتون (RBTS) با ۷۱ شین و ۳۸ گره بار برای شـبیه سازی توسط برنامه می باشد. دیاگرام تک خطی این شبکه در شکل (۱) ارائه گردیده اسـت. در شـکل (۲) دیـاگرام بـار ۲۴ ساعته این شبکه در محل شین ۳۳ کیلوولت ترانسفورماتور۲۳۰/۳۳ کیلوولت ارائه گردیده است. اطلاعات مربوط به مقاومت و راکتانس هر شاخه بر حسب پریونیت و بار اکتیو و راکتیو متوسط، بر حسب کیلووات و کیلووار در پیوست ۲ ارائـه گردیـده است[۶] .

گام های ظرفیتی بانکهای خازنی منصوبه در گره های بار این شبکه برابر با ۱۵۰ کیلووار می باشد. حداکثر تعداد بانـک خازنی منصوبه $n_{i\max}$ در یک گره برابر با ۸ (حداکثر ۱۲۰۰ کیلـووار) در نظـر گرفتـه شـده اسـت. ترانـسفورماتور ایـستگاه ۲۳۰/۳۳ کیلوولت دارای ظرفیت ۱۶۰ مگاولت آمپر و مقاومت سری ۰,۰۲۴ اهم می باشد. با اجرای برنامه پخش بار پیش از

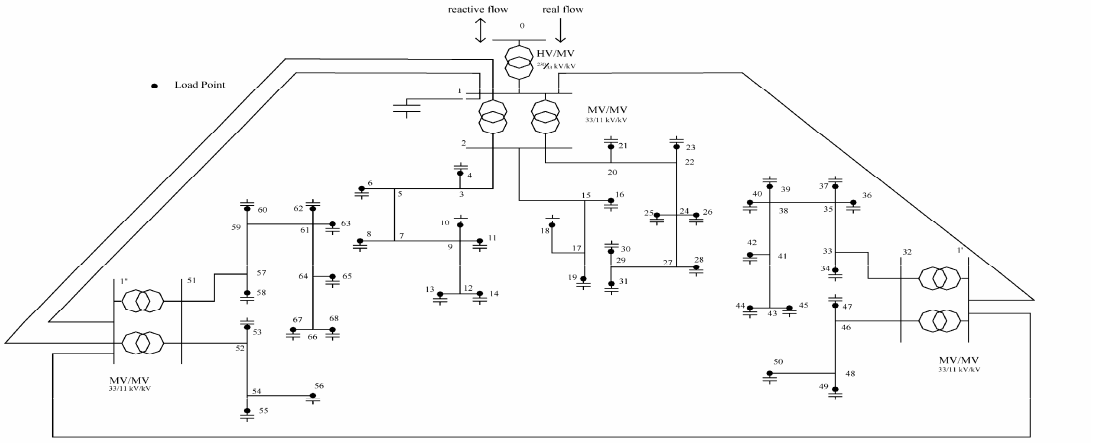
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-13]

نصب خازن، انرژی تلف شده در این شبکه ۶۴۷۳,۶۴ مگاوات ساعت و انرژی تلف شده در ترانسفورماتور ۲۳۰/۳۳ کیلوولت، ۱۶۹,۹۴ مگاوات ساعت می‌باشد. به دلیل تغییر بار در کل ساعات شبانه روز و لزوم تغییر ظرفیت بانک های خازنی تحت شرایط مختلف بار، استفاده از دیاگرام بار روزانه الزامی می باشد. در صورتی که اکثر مطالعات گذشته با فرض خازن های ثابت و در نظر گرفتن بار متوسط برای شبکه های توزیع انجام گردیده است. بارگذاری روزانه در این مقاله با در نظر گرفتن یک دوره۱ ساله و با فرض تغییر بار در هر ساعت شبانه روز (با فرض اینکه مقدار بار در طول ۱ ساعت ثابت می ماند) تعریف می‌شود. اگرچه حجم محاسبات افزایش می یابد اما در این روش، وضعیت کلید زنی ساعت به ساعت بانک های خازنی و حداکثر تعداد لازم بانک خازنی منصوبه در بدترین شرایط بار مشخص خواهد شد. به دلیل حجم بالای محاسبات و به منظور کاهش ابعاد مسئله، بدون اینکه کلیت تغییر بار روزانه عوض شود، از تغییرات فصلی و هفتگی صرف نظر شده است و تنها تغییرات روزانه با فرض تغییر بار به صورت ساعت به ساعت در نظر گرفته شده است. در واقع بانک های خازنی می توانند وضعیت خود را در طول روز به طور ساعتی تغییر دهند. با اجرای برنامه و استفاده از الگوریتم ژنتیک و پخش بار نیوتن رافسون، انرژی تلف شده در شبکه، انرژی تلف شده درترانسفورماتور۲۳۰/۳۳ کیلوولت در طول یک سال و کل ظرفیت خازنی منصوبه به صورت ذیل به دست می آید :

$P_{loss}(Mwh)$= ۲۹۲۶,۳۸

$P_{loss\ TR.}(Mwh)$= ۹۹,۳۹

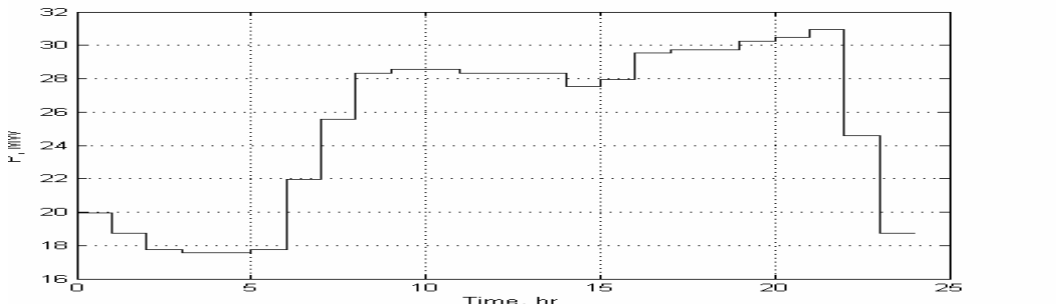
$Q_{cinst.}(kvar)$= ۱۳۸۰۰



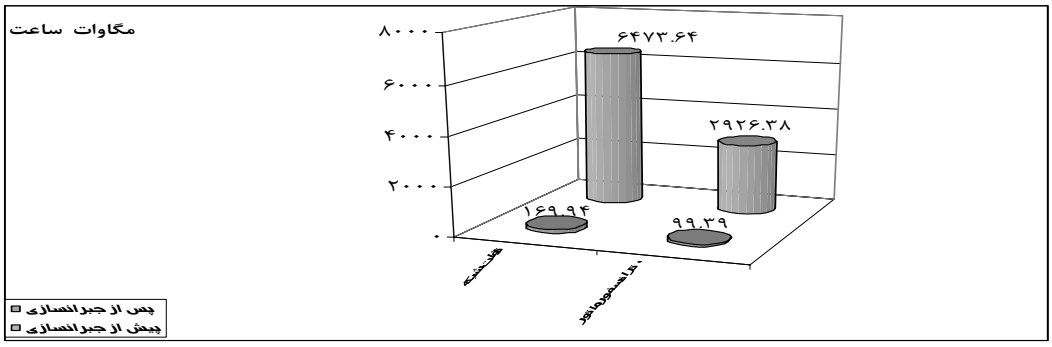
شکل ۱ : دیاگرام تک خطی شبکه آزمون(شین ۴ سیستم تست روی-بیلینتون)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-13]

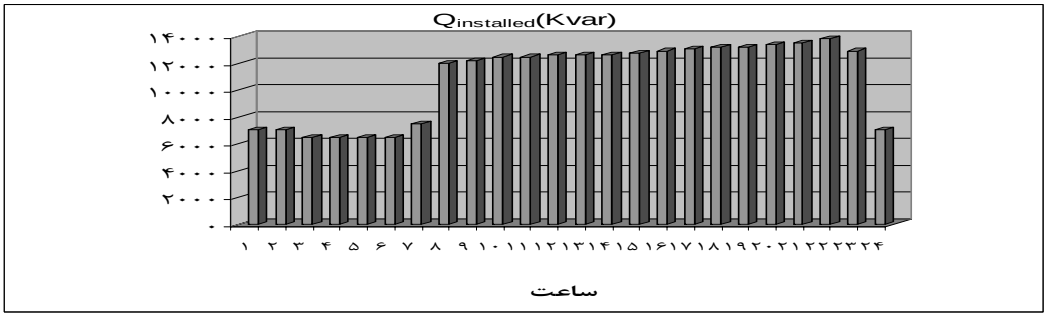
شکل های ۳ ، ۴ و ۵ به ترتیب نشان دهنده تلفات انرژی قبل و بعد از جبران سازی، تغییر کل ظرفیت خـازنی منـصوبه در طول ۲۴ ساعت یک شبانه روز و ظرفیت نهایی بانک های خازنی قابل سوئیچ منصوبه در گره های بار شبکه می باشند که ظرفیت های تعیین شده، حداکثر ظرفیت خازن بوده و گام های ۱۵۰ کیلوواری ظرفیتی آنها مطابق بـا تغییرشـرایط بـار در طول شبانه روز تغییر می کند.



شکل ۲ : دیاگرام بار روزانه شبکه آزمون

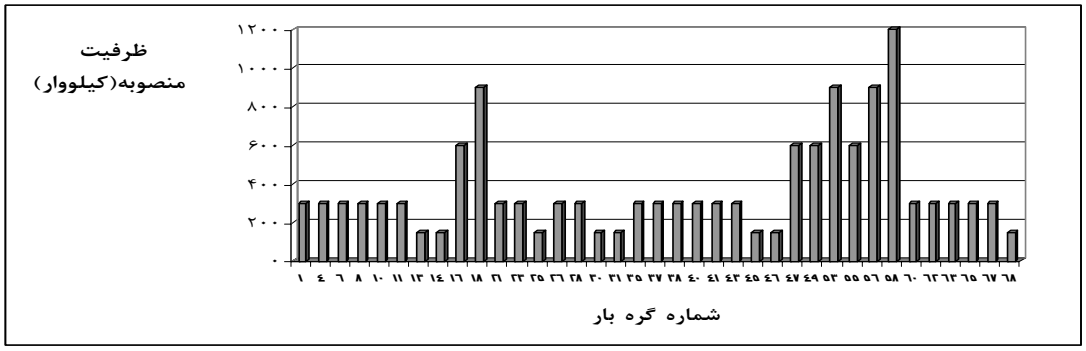


شکل ۳ : مقایسه تلفات انرژی در طول یک سال ، قبل و بعد از جبرانسازی



شکل ۴ : وضعیت تغییر ظرفیت خازنی منصوبه در طول یک روز مطابق با کلید زنی بهینه خازن ها

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-13]



شکل ۵ : ظرفیت نهایی منصوبه در گره های بار شبکه

نتیجه‌گیری

همان گونه که پیش از این ذکر شد بارهای متصل به یک شبکه به طور دائم مشغول به کار نبوده و جهت جلوگیری از افزایش ولتاژ شبکه ناشی از وجود خازن ها، می بایست کلید زنی خازن ها به نحو موثری صورت پذیرد. در این مقاله تعیین موقعیت و ظرفیت بهینه خازن های قابل سوئیچ برای تغییر بار به صورت ساعت به ساعت، با هدف کاهش تلفات و در نظر گرفتن قیود اقتصادی در یک شبکه توزیع مورد بررسی واقع گردیده است، به طوری که در مواقع افزایش ولتاژ به صورت خودکار ، میزان ظرفیت خازن نصب شده کنترل شود.

در این مقاله با استفاده از برنامه ای برای تعیین ظرفیت و وضعیت بهینه کلید زنی خازن ها – الگوریتم ژنتیک و روش پخش بار نیوتن رافسون– حداکثر ظرفیت خازنی منصوبه در یگ گره بار تعیین و وضعیت ساعت به ساعت تغییر ظرفیت خازن ها مطابق با یک روش بهینه سازی تعیین گردیده است. در پیوست ۳ حداکثر ظرفیت خازنی منصوبه در سیستم تست بر حسب شماره گره ارائه گردیده است. استفاده از الگوریتم ژنتیک به این دلیل است که اطمینان حاصل شود ظرفیت به دست آمده پاسخ بهینه یا نزدیک بهینه مسئله می باشد.

منابع

[1] J.C. Carlisle A.A. El-Keib , "A Review of Capacitor Placement Techniques on Distribution Feeders" , IEEE System Theory, Proceedings of the Twenty-Ninth Southeastern Symposium on Volume , Page(s):359 – 365, 1997

[2] Delfanti, M.; Granelli, G.P.; Marannino, P.; Montagna, M. "Optimal Capacitor Placement Using Deterministic and Genetic Algorithms ": IEEE Transactions On Power systems , Vol. 15, NO. 3, , Page(s):1041 – 1046, August 2000

[3] Al-Mohammed, A.H.H.; Elamin, "Capacitor Placement In Distribution Systems Using Artificial Intelligent Techniques" : Power Tech Conference Proceedings,2003 IEEE Bologna Volume 4, Page(s): 23-26, 2003.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-13]

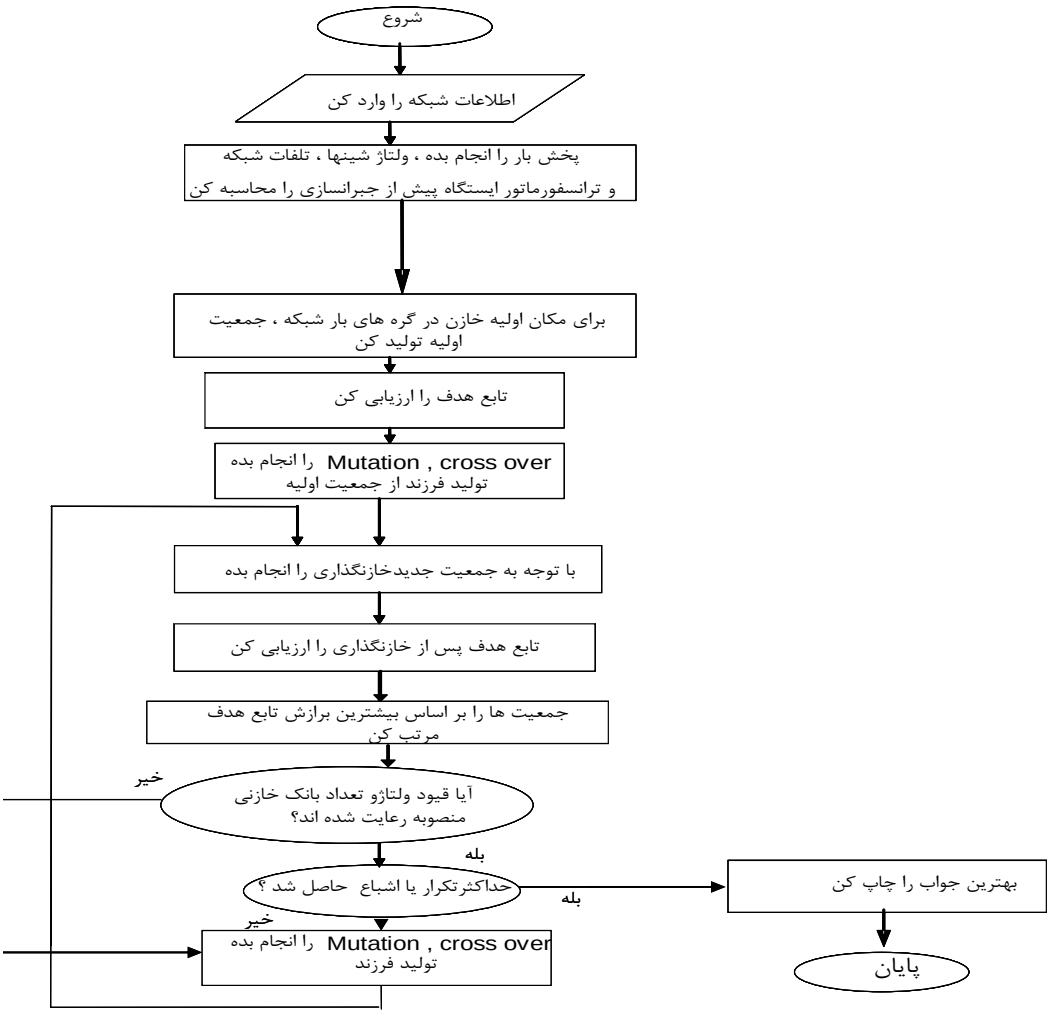
[4] Ying-Tung Hsiao, Chia-Hong Chen, Cheng-Chih Chien , "Optimal capacitor placement in distribution systems using a combination fuzzy-GA method " :Elsevier Electrical Power and Energy Systems 26Page(s): 501–508, 2004.

[5] Santos, J.R.; Exposito, A.G.; Ramos, J.L.M. , "A Reduced-Size Genetic Algorithm for Optimal Capacitor Placement on Distribution Feeders " : Electrotechnical Conference,2004.MELECON 2004.Proceedings of the 12th IEEE MediterraneanVolume 3,Page(s) : 963 - 966 , 2004.

[6] A. Augugliaro, L. Dusonchet, M.G. Ippolito, E. Riva Sanseverino ," Multiobjective design of distributed reactive power production in a deregulated electric market " Electrical Power and Energy Systems 27 Page(s): 205–214,2005.

[۷] حکیم فر ناصر، هوشمندرحمت‌اله، مرتضوی سعیداله "جایابی و تعیین ظرفیت خازن موازی در شبکه توزیع بـه کمـک الگـوریتم ژنتیک با هدف کاهش تلف توان اهمی در شبکه"، سیزدهمین کنفرانس شبکه های توزیع

پیوست ۱: الگوریتم حل مسئله



[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-13]

پیوست ۲: اطلاعات مقاومت، راکتانس و بار متوسط اکتیو و راکتیو شبکه آزمون

EB	R[Ω]	X [Ω]	Pn[kW]	Qn[kVAR]	EB	R[Ω]	X [Ω]	Pn[kW]	Qn[kVAR]
2	0.0378	0.3	0	0	37	0.1122	0.0678	545	337.7607
3	0.1755	0.09	0	0	38	0.1402	0.084	545	337.7607
4	0.1404	0.072	545	337.7607	39	0.1496	0.0904	0	0
5	0.1872	0.096	0	0	40	0.1402	0.084	545	337.7607
6	0.1755	0.09	545	337.7607	41	0.1122	0.0678	500	309.87
7	0.1872	0.096	0	0	42	0.1496	0.0904	0	0
8	0.1521	0.078	545	337.7607	43	0.1402	0.084	500	309.87
9	0.1755	0.09	0	0	44	0.1122	0.0678	0	0
10	0.1872	0.096	545	337.7607	45	0.1402	0.084	415	257.19
11	0.1755	0.09	500	309.8722	46	0.1122	0.0678	415	257.19
12	0.1404	0.072	0	0	47	0.1755	0.09	1000	619.7443
13	0.1872	0.096	414	256.5742	48	0.1404	0.072	0	0
14	0.1755	0.09	414	256.5742	49	0.1872	0.096	1000	619.7443
15	0.1872	0.096	0	0	50	0.3159	0.162	1000	619.7443
16	0.1404	0.072	1000	619.7443	51	0.0605	0.48	0	0
17	0.1872	0.096	0	0	52	0.1755	0.09	0	0
18	0.1755	0.09	1500	929.6165	53	0.1404	0.072	1000	619.7443
19	0.3276	0.168	1000	619.7443	54	0.1872	0.096	0	0
20	0.1755	0.09	0	0	55	0.1755	0.09	1000	619.7443
21	0.1872	0.096	545	337.7607	56	0.3276	0.168	1500	929.6165
22	0.1404	0.072	0	0	57	0.1755	0.09	0	0
23	0.1755	0.09	545	337.7607	58	0.1872	0.096	545	337.7607
24	0.1872	0.096	0	0	59	0.1404	0.072	0	0
25	0.1755	0.09	545	337.7607	60	0.1872	0.096	545	337.7607
26	0.1404	0.072	500	309.8722	61	0.1755	0.09	0	0
27	0.1872	0.096	0	0	62	0.1404	0.072	545	337.7607
28	0.1755	0.09	500	309.8722	63	0.1872	0.096	545	337.7607
29	0.1404	0.072	0	0	64	0.1755	0.09	0	0
30	0.1755	0.09	415	257.1939	65	0.1404	0.072	500	309.8722
31	0.1404	0.072	415	257.1939	66	0.1755	0.09	0	0
32	0.0605	0.48	0	0	67	0.1404	0.072	500	309.8722
33	0.1496	0.0904	0	0	68	0.1872	0.096	415	257.1939
34	0.1872	0.096	0	0					
35	0.1402	0.084	545	337.7607					
36	0.1496	0.0904	0	0					

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-13]

پیوست ۳: حداکثر ظرفیت خازنی منصوبه در گره‌های بار شبکه توزیع

شماره شین	ظرفیت منصوبه(کیلووار)	شماره شین	ظرفیت منصوبه (کیلووار)
1	300	36	0
2	0	37	300
3	0	38	300
4	300	39	0
5	0	40	300
6	300	41	300
7	0	42	0
8	300	43	300
9	0	44	0
10	300	45	150
11	300	46	150
12	0	47	600
13	150	48	0
14	150	49	600
15	0	50	0
16	600	51	0
17	0	52	0
18	900	53	900
19	0	54	0
20	0	55	600
21	300	56	900
22	0	57	0
23	300	58	1200
24	0	59	0
25	150	60	300
26	300	61	0
27	0	62	300
28	300	63	300
29	0	64	0
30	150	65	300
31	150	66	0
32	0	67	300
33	0	68	150
34	0	1'	0
35	300	1"	0

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-13]