

جایابی و تعیین اندازه بهینه خازن های موازی در شبکه های توزیع با استفاده از الگوریتم آموزش - یادگیری

امین مالکی^{۱*}، حسن براتی^۲

*۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دزفول، ایران، Maleki-a@ioptc.ir

۲-استاد یار گروه برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دزفول، ایران، Barati216@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۸/۲۹

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۹/۳۰

چکیده: جایابی و نصب خازن در سیستمهای توزیع انرژی الکتریکی به منظور کاهش تلفات، بهبود پروفیل ولتاژ و آزاد سازی ظرفیت خطوط شبکه انجام می گیرد. در این مقاله مکان یابی و تعیین اندازه خازن ها در سیستم های توزیع شعاعی به منظور به حداقل رساندن سه تابع هدف تلفات سیستم، هزینه های جبران سازی و شاخص پروفیل ولتاژ با روش الگوریتم آموزش و یادگیری (TLBO) بررسی و الگوریتم مورد استفاده بر روی سیستم های واقعی نیز پیاده سازی شد. الگوریتم مورد استفاده بر اساس روابط واقعی کلاس درس بوده و دارای دو فاز معلم و دانش آموز است و بعلاوه این که روابط موجود در این الگوریتم نسبت به سایر روش های الگوریتمی کم تر و ساده تر بوده و دارای ورودی های کمتری می باشد، لذا سرعت همگرایی در آن بیشتر و زمان پاسخگویی آن کم است. جایابی و تعیین ظرفیت بهینه خازن با در نظر گرفتن مدل بار ثابت بوده و با سه تابع هدف مورد بررسی قرار گرفته است. الگوریتم مورد استفاده بر روی شبکه های توزیع ۲۲ شینه، ۶۹ شینه، ۸۵ شینه و شبکه توزیع ۴ شینه نظامیه اهواز مربوط به شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت ایران، پیاده سازی و در محیط MATLAB شبیه سازی شد. تحلیل نتایج حاصل بیانگر وضعیت بهتر نسبت به سایر روشها و کاهش هزینه کل تا ۵۵ درصد در تابع هدف هزینه، کاهش تلفات تا ۵۳ درصد در تابع هدف تلفات و بهبود شاخص پروفیل ولتاژ تا ۹۹ درصد در تابع هدف شاخص پروفیل ولتاژ است.

واژه های کلیدی: جایابی و نصب خازن، الگوریتم TLBO، هزینه های جبران سازی، تلفات سیستم، شاخص پروفیل ولتاژ.

۱-مقدمه

راکتیو قابل توجه تر می تواند باشد. علاوه بر این، جریان بارها موجب افت زیاد ولتاژ در نواحی از شبکه های توزیع می گردد و این مساله برای مصرف کنندگان صنعتی و شرکت های توزیع بسیار حائز اهمیت است و موجب می گردد تا عملیات خود را به وسیله کاهش تلفات و بهبود ولتاژ در شین بارهای مختلف بهینه کنند. برای اطمینان داشتن از حداقل شدن تلفات و سطح مناسب ولتاژ در نقاط

تجزیه و تحلیل سیستم های توزیع قدرت، یکی از مهم ترین موضوعات در پایان نامه ها و مقالات تحقیقاتی بوده است که این امر به خاطر نقش مهم این سیستم ها است که به عنوان لینک ارتباطی میان مصرف کننده ها و سیستم های قدرت دارا هستند. با این حال جریان توان راکتیو در شبکه های توزیع همیشه موجب تلفات بالای توان می گردد و البته در بارهای سنگین تلفات ناشی از جریان توان

روش در حل مسئله مکان یابی بهینه خازن استفاده کرده و نشان دادند با این الگوریتم به نتایج بهتری می‌توان دست پیدا کرد.

در این مقاله از پیاده‌سازی الگوریتم بهینه سازی آموزش- یادگیری با استفاده از نرم افزار متلب، برای جایابی و تعیین اندازه خازن های موازی و با اهداف کاهش تلفات سیستم، کاهش شاخص پروفیل ولتاژ و کاهش هزینه‌های جبران سازی در شبکه‌های مختلف توزیع استاندارد و عملی استفاده شده است. در ادامه، پس از بیان روش پخش بار، تئوری مسئله ارائه شده، سپس توابع هدف بررسی می شوند و در پایان، نتایج شبیه سازی تجزیه و تحلیل می‌گردند.

۲- تحلیل پخش بار

پخش بار یا پخش توان، یک ابزار قدرتمند برای تحلیل یک سیستم قدرت می‌باشد. مطالعات پخش بار، با استفاده از شبیه سازی کامپیوتری صورت گرفته و نتایج این مطالعات در طراحی، اجرا و توسعه سیستم قدرت در نظر گرفته می‌شود. پخش بار مناسب با سرعت همگرایی بالا از شاخص های اصلی انتخاب روش پخش بار است

در این مقاله از روش پخش بار جاروب رفت و برگشت استفاده شده است که از مناسب ترین روشهای پخش بار برای شبکه‌های توزیع می باشد و در آن مهم نیست که بار دارای چگونه مدلی است و البته برتری آن در تضمین و سرعت همگرایی بالای آن می باشد [۵]. در این پخش بار، حل شبکه از یک خط به خط دیگر، بطور سیستماتیک ادامه پیدا می کند تا تمام خطوط در شبکه محاسبه شوند. البته در این مقاله به جز شین اصلی که از نوع شین اسلک است، تمامی شین ها از نوع شین باردر نظر گرفته شده اند و مقادیر توان تولیدی در شین ها صفر انتخاب شده است.

مختلف شبکه، باید از برخی دستگاه ها که در کنترل ولتاژ، کنترل توان راکتیو و کنترل ضریب توان موثرند، استفاده شود. خازن موازی یکی از تجهیزاتی است که از آن می‌توان جهت تحقق اهداف فوق بهره برد. جهت دستیابی به منافع حاصل از کاهش تلفات، تصحیح ضریب توان، بهبودی پروفایل ولتاژ تحت شرایط مختلف عملیاتی، مهندسین نیاز به مشخص نمودن اندازه و جایابی بهینه خازن ها جهت نصب در سطوح مختلف توزیع و مصرف دارند، به همین دلیل اختصاص خازن ها جهت بهینه سازی در شبکه ها، بسیار اهمیت پیدا کرد.

در طول دو دهه گذشته، مطالعات بر روی تکنیک‌های عملیاتی مدرن نشان می‌دهند که بیشترین مشکلات روشهای کلاسیک به وسیله بکارگیری این تکنیک‌ها قابل حذف می‌باشند. متداول ترین الگوریتم تحقیقاتی مدرن عبارتند از الگوریتم‌های برنامه‌نویسی تکاملی (EP)، شبیه‌سازی بازپخت (SA)، الگوریتم ژنتیک (GA)، بهینه سازی ازدحام ذرات (PSO)، بهینه سازی کلونی مورچه ها (ACO)، دیفرانسیل تکاملی (DE)، بهینه‌سازی براساس جغرافیای- زیستی (BBO) بود. بطور مثال، روش PSO اصلاح شده جهت مشخص نمودن مکان و اندازه بهینه خازن ها توسعه داده شد (سینگ و راو، ۲۰۱۲) [۱]. البته تکنیک پیشنهادی جهت مکان یابی بهینه خازن های شنت با توجه به منحنی بار روزانه بهتر مورد استفاده واقع شد. همچنین در ادامه، الگوریتم تحقیقی مستقیم (DSA) به منظور مکان یابی و سائزبندی بهینه برای خازن های ثابت و متغیر در یک سیستم توزیع شعاعی تا حداکثر شدن صرفه جویی و به حداقل رساندن تلفات قدرت ارائه شد (راجو و همکاران، ۲۰۱۲) [۲]. این الگوریتم بر روی سیستمهای ۲۲ و ۶۹ و ۸۵ شینه استاندارد تست شد که مقایسه نتایج آن با نتایج PSO و GA وضعیت مطلوبتری را ایجاد نمود.

به تازگی، یک تکنیک بهینه سازی جدید با عنوان آموزش و یادگیری (TLBO) معرفی شده است که از جدیدترین الگوریتم های تکاملی بوده و اساس آن پدیده های طبیعی فرآیند آموزش و یادگیری است (راو و همکاران، ۲۰۱۴) [۳].

برتری این روش نسبت به روشهای موجود بهینه سازی مدرن مانند GA و ABC و PSO و HS و Hybrid - PSO ثابت شده و یکی از کارآمدترین تکنیکهای بهینه سازی در مسائل مهندسی مانند مهندسی مکانیک، عمران و برق است. روی و همکاران در [۴] از این

الگوریتم، یک نوع جدید از بهینه سازی بر اساس پدیده طبیعی آموزش و یادگیری بوده که بعنوان راهی ساده و کارآمد جهت حل مسئله بهینه سازی غیرخطی پیشنهاد شده است. در تکنیک این روش، یک گروه از دانش آموزان در یک کلاس بعنوان یک جمعیت و بردار راه حل هدف، مشابه نقطه نظر موضوعات مختلف ارائه شده به دانش آموزان است. در حقیقت الگوریتم TLBO بر اساس جمعیت کار کرده و الگوریتم، پارامترهای کمتری را بعنوان ورودی می پذیرد و البته نتایج، مشابه تکنیکهای جمعیتی دیگر برای نشان دادن کیفیت هر یک از راه حلها است. TLBO بر اساس مفهوم فرآیند آموزش و یادگیری در یک کلاس است یعنی دو مرحله طبیعی از مطالعه که عبارتند از: آموزش و مرحله یادگیری. در مقایسه با دیگر الگوریتمهای ارائه شده در مساله بهینه سازی مکان و اندازه خازن، این الگوریتم شامل تعداد بسیار کمی محاسبات ریاضی برای به روز رسانی راه حل دارا می باشد که این مهم موجب می شود، الگوریتم بسیار سریع شود. در این الگوریتم معلم معمولاً بعنوان شخص با دانش بالا در نظر گرفته می شود که به دانش آموزان انگیزه داده و آنها را در علم خود سهیم می کند تا دانش آموزان بتوانند علم و دانش خود را بالا ببرند. معلم، دانش آموزان را برای بهبود نتایج علمی خود در کلاس آموزش می دهد، با این حال دانش آموزان، نه تنها از معلم خود بلکه از طریق تاثیر متقابل و تعامل دیگر همکلاسی ها که می توانند در جهت بهبود نتایج آنها کمکی باشند بهره می گیرند. نهایتاً دانش و اطلاعات دانش آموزان با نمرات آنها ارزیابی می گردد. مفهوم و روابط ریاضی روش آموزش و یادگیری در زیر بخش های ذیل توضیح داده شده است.

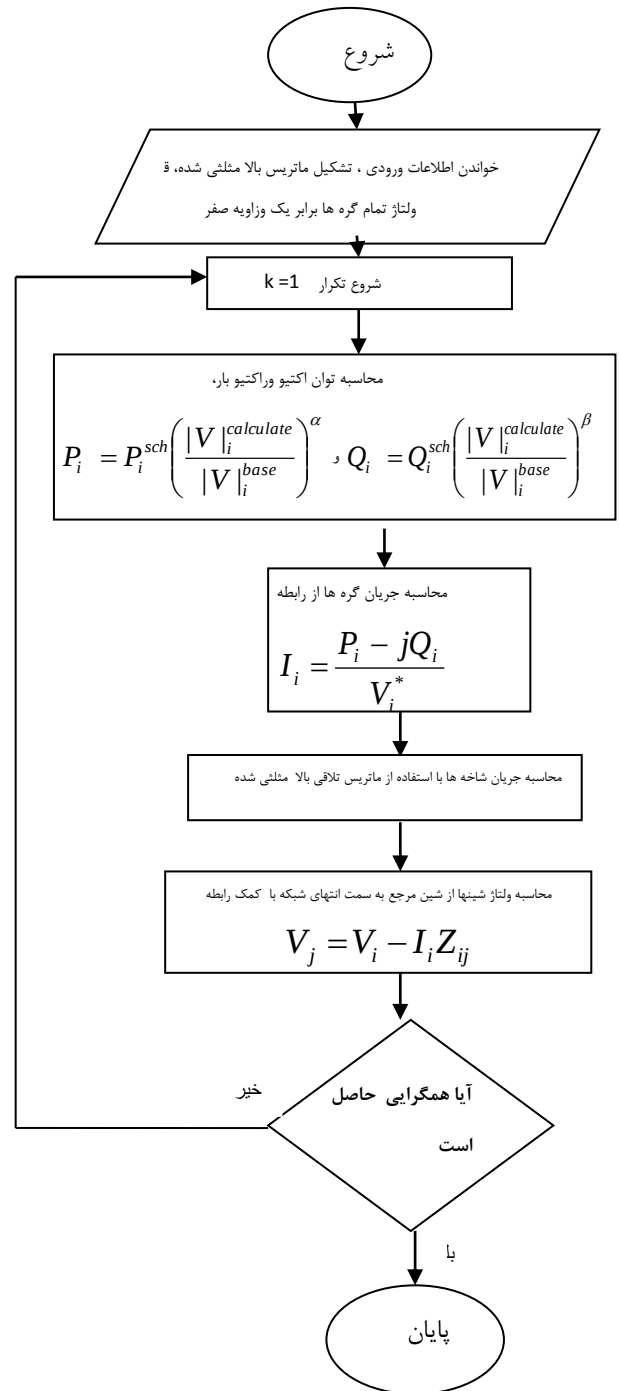
فاز آموزش

مدرس برای تغییر میانگین امتیاز کلاس (جمعیت) به سوی موقعیت خودش تلاش می کند، این فاز با یک فرآیند تصادفی مطابق رابطه (۱) برای تولید یک عضو یا موقعیت جدید در جمعیت ادامه می یابد.

$$X_{new,D} = X_{old,D} + r (X_{teacher,D} - T_F M_D) \quad (1)$$

$$TF = \text{round}(1 + r_2)$$

اندیس D بیانگر تعداد موضوعات یا دروس (متغیر مسئله)، $X_{old,D}$ عضو قدیمی که هنوز برای افزایش سطح دانش مجبور است از مدرس بیاموزد و شامل یک بردار $1 \times D$ بوده که نتیجه مربوط به هر موضوع یا درس خاص را در بر می گیرد. r یک عدد تصادفی در بازه [0,1] است، $X_{teacher,D}$ بهترین عضو جمعیت در این تکرار است که برای تغییر میانگین کلاس (جمعیت) به سمت موقعیت خودش تلاش می کند، T_F فاکتور تدریس و M_D یک بردار $1 \times D$ می باشد که شامل مقادیر میانگین نتایج کلاس برای هر موضوع می باشد. مقدار T_F می تواند بین ۱ یا ۲ باشد و در فرمول فوق r_2 یک عدد تصادفی بین صفر تا یک می باشد، که یک گام ابتکاری بوده و به صورت تصادفی با احتمال مساوی در نظر گرفته می شود.



شکل (۱): روند نام کلی روش جاروب رفت و برگشت [۵]

۳- الگوریتم بهینه سازی آموزش و یادگیری

بهینه سازی بر اساس آموزش و یادگیری برای اولین بار در سال ۲۰۱۲ به منظور بهینه سازی توابع غیرخطی پیوسته با محاسبات کمتر و سازگاری بالا به وسیله رآو و همکارانش معرفی شد [۳]. این

عضو جدید $X_{new,D}$ در صورتی که بهتر از عضو قدیمی باشد پذیرفته می شود [۳].

فاز یادگیری

به منظور شبیه سازی افزایش دانش هر یادگیرنده در اثر تراکنش تصادفی متقابل با سایر دانش آموزان، بر روی تمامی یادگیرنده ها طبق معادله (۲) اعمال می شود. در این صورت، یک دانش آموز برخی چیزهای جدیدی را از سایر دانش آموزان یاد خواهد گرفت به شرط آنکه سایرین دانش بالایی نسبت به او داشته باشند.

$$X_{new,i} = X_{old,i} + r_i (X_j - X_k) \quad (2)$$

اندیس i از یک تا تعداد کل اعضاء تغییر می کند، $X_{old,i}$ عضو قدیمی است که تاکنون از تراکنش متقابل با سایر دانش آموزان چیزی یاد نگرفته است، r_i یک عدد تصادفی در بازه $[0,1]$ است و X_k و X_j دو دانش آموز هستند که به صورت تصادفی با شرط $j \neq k$ و شرط بهتر بودن تابع هدف X_j نسبت به X_k انتخاب شده اند. عضو جدید $X_{new,i}$ در صورتی که بهتر از عضو قدیمی $X_{old,i}$ باشد پذیرفته می شود [۳].

۴- مراحل اجرای بهینه سازی

این الگوریتم در پنج گام پیاده سازی می گردد:

گام ۱. پارامترهای بهینه سازی نظیر اندازه جمعیت یا تعداد یادگیرنده ها $popsize$ ، تعداد نسل $gmax$ ، تعداد متغیرهای طراحی یا موضوعات (دروس) که در اینجا کل شین های شبکه است $nVar$ ، محدودیت های متغیرهای طراحی یعنی حد بالا و پایین ولتاژ را مقدار دهی می کنیم.

گام ۲. تولید ماتریس جمعیت اولیه با ابعاد $popsize \times nVar$ به صورت اعداد صحیح مثبت. هر سطر بیانگر یک عضو از جمعیت بوده و هر ستون به معنی شماره شینی است که خازن در آن نصب می گردد. بنابراین تعداد سطر برابر با تعداد جمعیت و تعداد ستون ها برابر با تعداد شین های شبکه است. در نهایت برای هر عضو با تابع هدف که در ادامه معرفی می شوند، محاسبه صورت می گیرد.

گام ۳. فاز مدرس: در این گام جمعیت با استفاده از معادله فاز آموزش برای دستیابی به موقعیت بعدی با استفاده از متغیر پیوسته اصلاح می گردد. سپس تمامی اعضاء جهت انتقال به فضای جستجوی گسسته به نزدیکترین عدد صحیح گرد می شوند. مجدداً برای تمامی اعضاء تابع هدف محاسبه می گردد و در صورتی که مقدار تابع هدف عضو جدید از مقدار قبلی بهتر باشد، پذیرفته می شود.

در ضمن بایستی در نظر داشت که محدودیت های ولتاژی شینها رعایت گردند و در صورت عدم رعایت مقادیر مجاز ولتاژ، عددی به عنوان جریمه به تابع هدف اعمال می شود.

گام ۴. فاز دانش آموز یا یادگیرنده: اصلاحات مورد نیاز مربوط به فاز یادگیرنده در رابطه فاز یادگیری ارائه شده است. همانند گام ۳ پس از اعمال این فاز، اعضاء به نزدیک ترین عدد صحیح گرد می شوند. برای تمامی اعضاء تابع هدف محاسبه شده و در صورتی که مقدار تابع هدف عضو جدید از مقدار قبلی بهتر باشد پذیرفته می شود. در این گام نیز بایستی قیود ولتاژ شین ها رعایت شوند.

گام ۵. معیار خاتمه: در صورتیکه تعداد تکرار برنامه بیشتر از تعداد ماکزیمم تکراری که از قبل تعیین شده است برسد، برنامه متوقف می شود و در غیر این صورت به گام ۳ برمی گردیم. البته معیار خاتمه می تواند به این صورت هم باشد که اگر برنامه بعد از تعداد مشخصی نسل، تغییری در بهترین جواب بدست آمده ایجاد نشد، خاتمه یابد. در شکل (۲) روند نمای الگوریتم را نمایش داده سپس فرمول ریاضی مسئله و توابع هدف را تشریح می کنیم [۳].

۵- فرمولهای ریاضی مسئله و توابع هدف

هدف مسئله بهینه سازی اندازه و مکان خازن در سیستم توزیع شعاعی، بهینه نمودن یک تابع مشخص مانند هزینه، تلفات، پروفیل ولتاژ و شاخص پایداری ولتاژ در حالیکه رضایتمندی عملیاتی نیز فراهم گردد. در این مقاله سه تابع هدف برای مطالعه مدل سازی استفاده شده است. اول کمینه نمودن تلفات توان اکتیو سیستم های مورد آزمایش بوسیله خازن گذاری و دوم کمینه نمودن هزینه کل که این هزینه شامل جمع هزینه ناشی از تلفات سالیانه و همچنین هزینه مربوط به خازنهای نصب شده می باشد و سوم کمینه سازی شاخص پروفیل ولتاژ. پس از بدست آوردن ولتاژ شین ها، می توان تلفات توان اکتیو سیستم را بدست آورد.

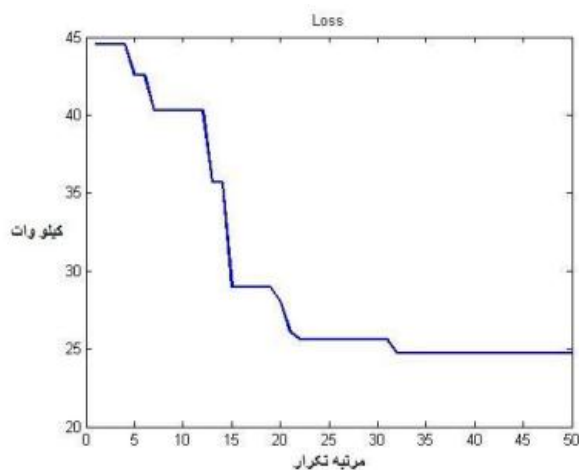
$m-1$: تعداد خطوط سیستم.

۳۱

جدول (۱): مقایسه نتایج شبیه سازی سیستم ۲۲ شین و هدف کمینه هزینه

مقایسه نتایج دو نوع الگوریتم				
	DSA[۲]		TLBO	
	مکان	اندازه (kvar)	مکان	اندازه (kvar)
بهینه اندازه خازن و مکان شین خازن در بار سبک	۴	۰	۳	۱۵۰
	۱۳	۱۵۰	۲۱	۱۵۰
	۱۶	۱۵۰	۰	۰
	۱۷	۰	۰	۰
شماره شین با کمترین ولتاژ	۲۲	-	۲۲	-
کمترین ولتاژ (P.U)	۰.۹۹۹۹	-	۰.۹۹۰۰	-
تلفات توان (KW)	۲.۳۹	-	۲.۶۱	-
بهینه اندازه خازن و مکان شین خازن در بار نامی	۴	۱۵۰	۱	۴۵۰
	۱۳	۳۰۰	۵	۱۵۰
	۱۶	۱۵۰	۱۴	۳۰۰
	۱۷	۱۵۰	۱۹	۱۵۰
شماره شین با کمترین ولتاژ	۲۲	-	۲۲	-
کمترین ولتاژ (P.U)	۰.۹۸۲۴	-	۰.۹۸۱۵	-
تلفات توان (KW)	۹.۶۶	-	۹.۴۴	-
بهینه اندازه خازن و مکان شین خازن در بار پیک	۴	۱۵۰	۹	۱۵۰
	۱۳	۴۵۰	۱۴	۴۵۰
	۱۶	۳۰۰	۱۸	۱۵۰
	۱۷	۱۵۰	۲۲	۱۵۰
شماره شین با کمترین ولتاژ	۲۲	-	۲۲	-
کمترین ولتاژ (P.U)	۰.۹۷۰۱	-	۰.۹۷۱۰	-
تلفات توان (KW)	۲۴.۸۹	-	۲۴.۷۱	-
هزینه تلفات انرژی (\$)	۵۵۷۵.۶	-	۵۵۰۶.۹	-
مقدار خازن گذاری (kvar)	۱۰۵۰	-	۹۰۰	-
هزینه نصب خازن (\$)	۳۱۵۰	-	۲۷۰۰	-
حالت بهینه هزینه کل (\$)	۸۷۲۵.۶	-	۸۲۰۶.۹	-
میانگین زمان محاسبات (ثانیه)	-	-	۴۳.۱۷	-

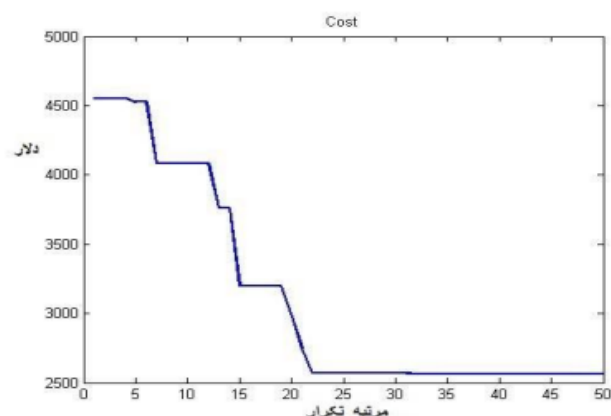
لازم به ذکر است این منحنی ها فقط مربوط به حالت بار پیک بوده و منحنی های مشابه برای بار نامی و سبک نیز قابل نمایش است.



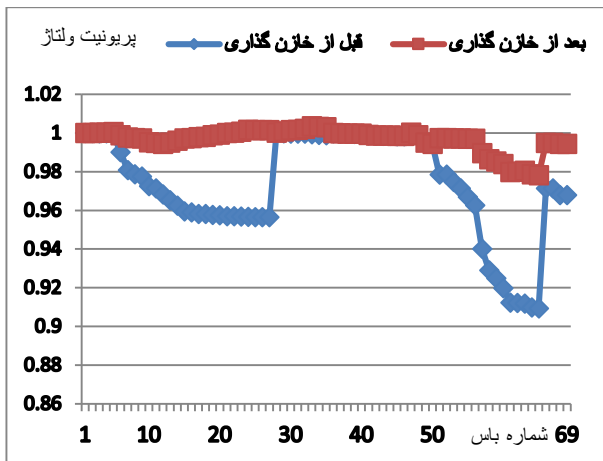
شکل (۴): نمودار تلفات به کیلووات در بار پیک و سیستم ۲۲ شینه

در شکل (۵) پروفیل ولتاژ شینه ها پس از خازن گذاری در سیستم ۲۲ شینه ای با سه تابع هدف با یکدیگر مقایسه شده اند و واضح است که پروفیل ولتاژ در تابع هدف کمینه شاخص پروفیل ولتاژ بسیار صاف و یکنواخت خواهد بود.

هزینه خازن گذاری است و کمینه شاخص پروفیل ولتاژ و کمینه تلفات سیستم محاسبه و مورد بررسی قرار گرفته که شرط محدوده مجاز ولتاژ در زمان انجام محاسبات همواره باید رعایت شود. بار سبک، ۵۰ درصد بار نامی و پیک بار معادل ۱۶۰ درصد بار نامی در نظر گرفته شده است. برای نمونه مقایسه نتایج شبیه سازی بر روی سیستم ۲۲ شین با تابع هدف کمینه سازی هزینه با استفاده از DSA [۲] و نتایج بدست آمده با استفاده از الگوریتم آموزش و یادگیری در جدول (۱) نمایش داده شده است. برای محاسبه مقدار هزینه تلفات انرژی در جدول (۱) که برای بررسی سیستم ۲۲ شین ارائه شده است، یک ساختار بار سالانه شبکه پیشنهاد شده در [۴] مورد استفاده قرار گرفته شده است. در این مدل بار سه سطح بار سبک، نامی و پیک بار با بازه زمانی به ترتیب ۲۰۰۰، ۵۲۶۰ و ۱۵۰۰ ساعت در نظر گرفته شده است. هزینه انرژی ۰.۰۶ دلار در کیلووات ساعت و هزینه خازن در بانک خازنی معادل ۳ دلار در کیلووات انتخاب شده است [۴]. در هر سطح بار، هزینه تلفات انرژی، محاسبه شده و هر سه با هم جمع شده و در جدول بعنوان هزینه تلفات انرژی قید می شود. برای مثال در جدول (۱) تلفات حالت بار سبک در مدت زمان ۲۰۰۰ ساعت و سپس در عدد ۰.۰۶ ضرب شده که حاصل عدد ۳۱۳.۲ دلار می شود. این مقادیر برای بار نامی و بار پیک به ترتیب به دلار محاسبه شده که در صورت جمع آنها عدد ۵۵۰۶.۹ دلار قید شده در جدول حاصل می شود. همچنین حالت بهینه هزینه کل نیز از مجموع مقدار هزینه تلفات انرژی و بیشترین هزینه خازن گذاری در میان سه سطح بار که حالت پیک بار می باشد، حاصل می شود. در شکل های (۳) و (۴) به ترتیب منحنی های مینیمم هزینه و تلفات توان اکتیو را که در خروجی برنامه متلب بدست آمده، نمایش داده شده است.

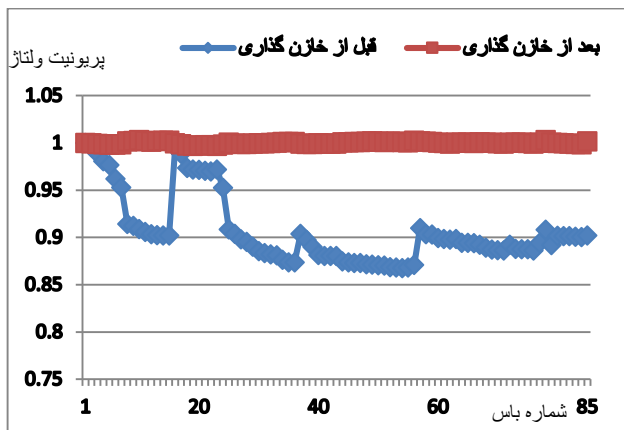


شکل (۳): نمودار هزینه کل سالیانه به دلار در بار پیک سیستم ۲۲ شینه



شکل (۷): پروفیل ولتاژ قبل و بعد از خازن گذاری و کمینه شاخص ولتاژ

در شکل (۸) نیز مقادیر ولتاژ شینه های سیستم ۸۵ شینه ای با تابع هدف کمینه سازی شاخص پروفیل ولتاژ، قبل و بعد از خازنگذاری، مورد مقایسه قرار گرفته اند.



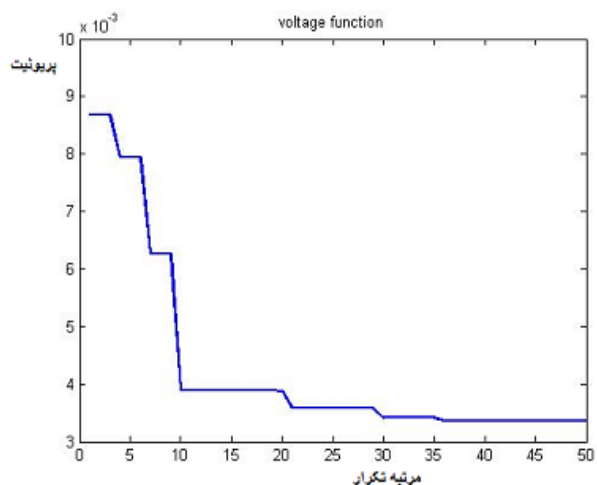
شکل (۸): ولتاژ قبل و بعد از خازن گذاری در ۸۵ شینه و هدف پروفیل ولتاژ

در جدول شماره (۲) نتایج شبیه سازی سیستم ۸۵ شینه با الگوریتم آموزش و یادگیری و با تابع هدف کمینه سازی تلفات با نتایج چند روش الگوریتمی دیگر مقایسه شده است که با استفاده از روش آموزش و یادگیری نتایج بهتری حاصل شده است.



شکل (۹): مقایسه پروفیل ولتاژ در سیستم ۲۲ شینه و در توابع هدف مختلف

در شکل شماره (۶) منحنی شاخص پروفیل ولتاژ در سیستم ۶۹ شینه نمایش داده شده است و مطابق منحنی حاصل از شبیه سازی و با استفاده از الگوریتم آموزش و یادگیری پس از ۱۰ مرحله تکرار، مقدار شاخص پروفیل ولتاژ به میزان ۶۰ درصد کمینه شده که این مقدار پس از ۳۵ تکرار تقریباً بدون تغییر باقی مانده و مقدار نهایی کمینه شده حاصل می شود. معیار توقف در اجرای برنامه عدم تغییر در مقادیر خروجی و یا انجام سیکل برنامه به تعداد مشخص از تکرار می باشد که در اینجا ۵۰ بار تکرار تعیین شده است.



شکل (۶): شاخص پروفیل ولتاژ در ۶۹ شینه و کمینه شاخص پروفیل ولتاژ

در شکل (۷) مقادیر ولتاژ شینه های سیستم ۶۹ شینه ای با تابع هدف کمینه سازی شاخص پروفیل ولتاژ، قبل و بعد از خازنگذاری، نمایش داده شده است.

جدول (۲): شبیه‌سازی الگوریتم‌های مختلف با تابع هدف تلفات در ۸۵ شین

	GA [۹]		PSO [۸]		DSA [۲]		TLBO	
	مکان	اندازه (kvar)	مکان	اندازه (kvar)	مکان	اندازه (kvar)	مکان	اندازه (kvar)
اندازه و مکان بهینه خازن	۲۶	۴۸	۷	۳۱۴	۶	۱۵۰	۱	۱۵۰
	۲۸	۲۱۴	۸	۷۹۶	۸	۱۵۰	۳	۴۵۰
	۳۷	۱۰۳	۲۷	۹۰	۱۴	۱۵۰	۵	۳۰۰
	۳۸	۱۲۰	۵۸	۴۵۳	۱۷	۱۵۰	۱۹	۱۵۰
	۳۹	۱۷۸	-	-	۱۸	۱۵۰	۳۳	۱۵۰
	۵۱	۱۰۰	-	-	۲۰	۱۵۰	۴۵	۳۰۰
	۵۴	۲۱۲	-	-	۲۶	۱۵۰	۴۸	۳۰۰
	۵۵	۱۰۲	-	-	۳۰	۱۵۰	۵۸	۳۰۰
	۵۹	۴/۶	-	-	۳۶	۴۵۰	۶۰	۳۰۰
	۶۰	۱۵۸	-	-	۵۷	۱۵۰	۶۲	۱۵۰
	۶۱	۱۱۳	-	-	۶۱	۱۵۰	۷۰	۱۵۰
	۶۲	۱۰۵	-	-	۶۶	۱۵۰	۷۴	۱۵۰
	۶۶	۹	-	-	۶۹	۳۰۰	۸۱	۴۵۰
	۶۹	۱۰۰	-	-	۸۰	۱۵۰	-	-
	۷۲	۶۷	-	-	-	-	-	-
	۷۴	۱۱۳	-	-	-	-	-	-
	۷۶	۷۲	-	-	-	-	-	-
	۸۰	۳۵۶	-	-	-	-	-	-
	۸۲	۳۱	-	-	-	-	-	-
شین کمینه ولتاژ	-	-	-	-	۵۴	-	۵۴	-
مقدار کمینه ولتاژ	-	-	-	-	۰.۹۲۲۴	-	۰.۹۲۲۲	-
کمتر تلفات توان	۱۴۶	-	۱۶۳	-	۱۴۴	-	۱۴۲.۶۸	-
زمان	-	-	-	-	-	-	۸۱.۳۶	-

مراجع:

- [1] S.P.Singh,A.R.Rao,“Optimal allocation of capacitors in distribution systems using particle swarm optimization”, International journal of Electrical Power and Energy Systems,vol.43,No.1,pp.1267-75,December 2012.
- [2] M.R.Raju,K.V.S.R.Murthy,K.Ravindra,”Direct search algorithm for capacitive compensation in radial distribution systems”, International journal of Electrical Power and Energy Systems,vol.42,No.1, pp.24-30,November 2012.
- [3] R.V. Rao,V.J. Savsani, D.P.Vakharia,”Teaching-learning-based optimization:an optimization method for continuous non-linear large scale problems”,Information Sciences ,vol.183,No.1,pp.1-15,January 2012.
- [4] Sultana.Sneha,Roy.Provas,Kumar,”Optimal capacitor placement in radial distribution systems using teaching learning based optimization”, International journal of Electrical Power and Energy Systems,vol.54,pp.387-398 ,january 2014.
- [5]A.Augugliaro,L.Dusonchet,S.Favuzza,M.G.Ippolito, E.R.Sanseverino,”A backward sweep method for power flow solution in distribution”, International journal of Electrical Power and Energy Systems,vol.32,No.4,pp.271-280,May 2010.

در جدول شماره (۳) نتایج شبیه سازی در سیستم‌های مورد مطالعه در مقاله در کنار یکدیگر و با توابع هدف مختلف مورد ارزیابی و مقایسه قرار داده شده‌اند. طراح سیستم خازن گذاری با توجه به نوع تابع هدفی که برای او و سیستم مورد مطالعه ارجحیت دارد، نوع و تعداد و مکان خازن را از خروجی نرم افزار شبیه سازی استخراج و مورد اجرا قرار می‌دهد

جدول (۳): نتایج شبیه سازی سیستم های مختلف با توابع هدف مختلف

سیستم	تابع هدف	تلفات سیستم	زمان (s)	هزینه (\$)	انحراف معیار ولتاژ
۲۲ شین	تلفات	۹.۴۱	۲۲.۱۸	۳۴۸۸	۰.۰۰۳۳۶۵
	هزینه	۹.۴۴	۴۳.۱۷	۳۳۴۰	۰.۰۰۳۵۳۳
	شاخص پروفیل ولتاژ	۵۰	۸۲.۷۶	۱۶۵۴۶	۰.۰۰۰۰۰۷
۶۹ شین	تلفات	۱۴۴.۹	۴۱.۳۹	۴۷۹۲۲	۰.۰۵۲۰۳
	هزینه	۱۴۵.۹	۶۲.۴۳	۴۷۵۲۰	۰.۰۵۴۹۷
	شاخص پروفیل ولتاژ	۷۹۴	۱۰۱.۲۱	۲۵۲۳۵۳	۰.۰۰۳۴
۸۵ شین	تلفات	۱۴۲.۶۸	۵۳.۴۶	۴۶۹۹۴	۰.۰۲۹۰
	هزینه	۱۴۴.۹۱	۸۱.۳۶	۴۶۴۸۷	۰.۰۲۹۹
	شاخص پروفیل ولتاژ	۶۳۰	۱۳۴.۷	۲۰۱۵۶۹	۰.۰۰۰۱۵
۴ شین	تلفات	۷.۱	۱۳.۴۹	۳۰۰۸	۰.۰۰۰۰۱۸
	هزینه	۷.۴	۲۹.۵۱	۲۶۵۴	۰.۰۰۰۰۱۹
	شاخص پروفیل ولتاژ	۹.۸	۶۷.۱۲	۴۵۳۵	۰.۰۰۰۰۰۱

[6] D.Das,D.P.Kothari,A.Kalam,“Simple and efficient method for load flow solution of radial Distribution networks”, International journal of Electrical Power and Energy Systems,vol.17,No.5,pp.335-346,october 1995.

[۷] بابک. محمدی، جایابی بهینه منابع تولید پراکنده با قید پروفیل ولتاژ در شبکه‌های توزیع، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس - تهران، ۱۳۸۴.

[8] K.Prakash,M.Sydulu,”Particle swarm optimization based capacitor placement on radial distribution systems”,IEEE Power Engineering Society General Meeting ,Tampa ,FL, 24TH -28TH June 2007.

[9] M.Sydulu,V.V.K. Reddy,” 2Index and GA based optimal location and sizing of distribution system capacitors”, Power Engineering Society General Meeting,pp.1-4, ,Tampa,FL, 24th – 28th June 2007

رزومه

امین مالکی در اندیمشک متولد شده است



(۱۳۵۳). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق - قدرت از دانشگاه شهید چمران اهواز (۱۳۷۷)، کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی دزفول (۱۳۹۳) سپری

کرده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه بهینه سازی مصرف انرژی و کیفیت توان سیستم‌های قدرت است و در حال حاضر بعنوان سرپرست واحد برق شرکت خطوط لوله ومخابرات نفت ایران منطقه خوزستان مشغول بکار است

حسن براتی در دزفول متولد شده است



(۱۳۴۸). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق - الکترونیک از دانشگاه صنعتی اصفهان (۱۳۷۱)، کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت از دانشگاه تبریز (۱۳۷۵) و دکتری مهندسی

برق-قدرت از دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران (۱۳۸۷) سپری کرده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه ادوات FACTS، کیفیت توان، و بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت است و در حال حاضر استادیار گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول می‌باشد.

