جایابی و تعیین اندازه بهینه خازن های موازی درشبکه 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 وآزاد سازی ظرفیت خطوط شبکه انجام می‌گیرد. دراین مقاله مکان‌یابی و تعیین اندازه خازن‌ها در سیستم‌های توزیع شعاعی به منظور به حداقل رساندن سه تابع هدف تلفات سیستم، هزینه‌های جبران‌سازی و شاخص پروفیل ولتاژ با روش الگوریتم آموزش و یادگیری (TLBO) بررسی و الگوریتم مورد استفاده بر روی سیستمهای واقعی نیز پیاده‌سازی شد. الگوریتم مورد استفاده براساس روابط واقعی کلاس درس بوده ودارای دو فاز معلم ودانش‌آموز است و بعلت اینکه روابط موجود در این الگوریتم نسبت به سایر روشهای الگوریتمی کمتروساده‌تر بوده و دارای ورودی‌های کمتری می‌باشد، 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 قرارگرفته‌است. الگوریتم مورد استفاده بر روی شبکه‌های توزیع ۲۲ شینه، ۶۹ شینه، ۸۵ شینه و شبکه توزیع۴ شینه نظامیه اهواز مربوط به شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت ایران، پیاده‌سازی و در محیط MATLAB شبیه سازی شد. تحلیل نتایج حاصل بیانگر وضعیت بهتر نسبت به سایر روشها و کاهش هزینه کل تا ۵۵درصد 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.

واژه‌های کلیدی: جایابی و نصب خازن، الگوریتم TLBO، هزینه‌های جبران سازی، تلفات سیستم، شاخص پروفیل ولتاژ.

۱-مقدمه

تجزیه‌وتحلیل سیستم‌های توزیع قدرت، یکی از مهم‌ترین موضوعات درپایان‌نامه‌ها و مقالات تحقیقاتی بوده است که این امر به خاطر نقش مهم این سیستم‌ها است که به عنوان لینک ارتباطی میان مصرف کننده‌ها و سیستم های قدرت دارا هستند. با این حال جریان توان راکتیو در شبکه های توزیع همیشه موجب تلفات بالای توان می‌گرددو البته در بارهای سنگین تلفات ناشی از جریان توان راکتیو قابل توجه‌تر می‌تواند باشد. علاوه بر این، جریان بارها موجب افت زیاد ولتاژ در نواحی از شبکه های توزیع می‌گرددو این مساله برای مصرف کنندگان صنعتی و شرکت های توزیع بسیار حائز اهمیت است و موجب می‌گردد 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

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-07-09]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.2.4.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013

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 می‌دهندکه بیشترین مشکلات روشهای کلاسیک به وسیله بکارگیری این تکنیک‌ها قابل حذف می‌باشند. متداول‌ترین 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)، دیفرانسیل‌تکاملی(DE)،بهینه‌سازی‌براساس‌جغرافیای-زیستی(BBO)بود. بطورمثال، روشPSO اصلاح‌شده جهت مشخص نمودن مکان واندازه بهینه خازن ها توسعه داده شد(سینگ و رآو،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 مکان‌یابی و سایزبندی 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 شده‌است که از جدیدترین الگوریتم های تکاملی بوده و اساس آن پدیده‌های طبیعی فرآیند آموزش و یادگیری است(رآو وهمکاران ،۲۰۱۴) [۳].

برتری این روش نسبت به روشهای موجود بهینه سازی مدرن مانند GA وABC وPSO وHS و Hybrid – PSO ثابت‌شده و یکی ازکارآمدترین تکنیکهای بهینه سازی در مسائل مهندسی مانند مهندسی مکانیک، عمران و برق است. روی و همکاران در[۴] از این روش در حل مسئله مکان یابی بهینه خازن استفاده کرده و نشان دادند با این الگوریتم به نتایج بهتری می‌توان دست پیدا کرد.

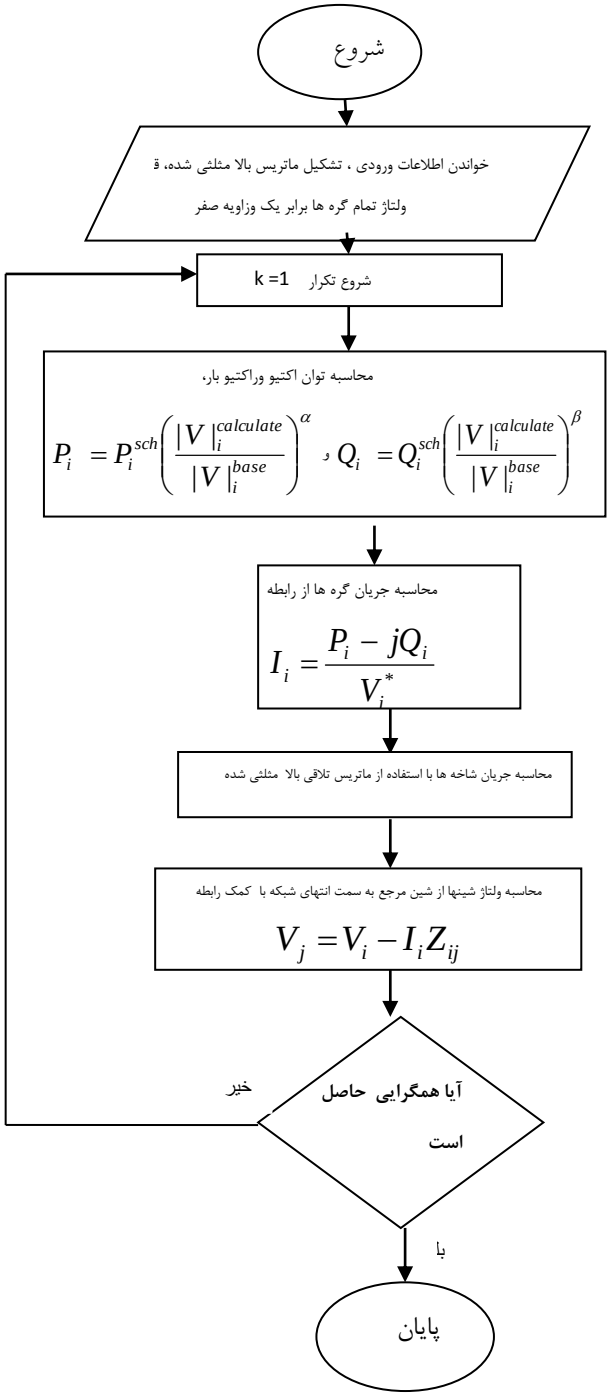
در این مقاله از پیاده‌سازی الگوریتم بهینه سازی آموزش- یادگیری با استفاده از نرم افزار متلب، برای جایابی و تعیین اندازه خازن های موازی و با اهداف کاهش تلفات سیستم، کاهش شاخص پروفیل ولتاژ و کاهش هزینه‌های جبران سازی در شبکه‌های مختلف توزیع استاندارد و عملی استفاده شده است. در ادامه، پس از بیان روش پخش بار، تئوری مسئله ارائه شده، سپس توابع هدف بررسی می شوند و درپایان، 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 استکه از مناسب‌ترین روشهای پخش بار برای شبکه‌های توزیع می باشدودر آن مهم نیست که بار دارای چگونه مدلی است والبته 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 می‌کند 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.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-07-09]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.2.4.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013



شکل(۱) : روندنما 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 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 می‌پذیرد 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 واندازه خازن، این الگوریتم شامل تعداد بسیار کمی محاسبات ریاضی برای به روز رسانی راه حل دارا می‌باشد که این مهم موجب می‌شود، الگوریتم بسیار سریع شود. در این الگوریتم معلم معمولاً بعنوان شخص با دانش بالا در نظر گرفته می‌شود که به دانش آموزان انگیزه داده و آنها را در علم خود سهیم می‌کند تا دانش آموزان بتوانند علم و دانش خود را بالا ببرند. معلم، دانش آموزان را برای بهبود نتایج علمی خود در کلاس آموزش می‌دهد، با این حال دانش آموزان، نه تنها از معلم خود بلکه از طریق تاثیر متقابل و تعامل دیگر همکلاسی ها که می‌توانند در جهت بهبود نتایج آنها کمکی باشند بهره می‌گیرند. نهایتاً دانش و اطلاعات دانش آموزان با نمرات آنها ارزیابی می‌گردد. مفهوم و روابط ریاضی روش آموزش و یادگیری در زیر بخش‌های ذیل توضیح داده شده است.

فاز آموزش

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

$$X_{new,D} = X_{old,D} + r\,(X_{teacher,D} - T_F M_D)$$
$$TF = round(1+r_2) \qquad (۱)$$

اندیس D بیانگر تعداد موضوعات یا دروس (متغییر 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 وM_D یک بردار $1 \times D$ می باشد که شامل مقادیر میانگین نتایج کلاس برای هر موضوع می‌باشد. مقدار T_Fمی 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 می‌شود.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-07-09]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.2.4.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013

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.

$$X_{new,i} = X_{old,i}+r_i(X_j - X_k) \qquad (۲)$$

اندیس i از یک تا تعداد کل اعضاء تغییر می‌کند، $X_{old,i}$ عضو قدیمی است که تاکنون از تراکنش متقابل با سایر دانش‌آموزان چیزی یاد نگرفته‌است، r_i یک عدد تصادفی در بازه [0,1] است و X_j و X_k دو دانش آموز هستند که به صورت تصادفی با شرط $j \neq k$ وشرط بهتر بودن تابع هدف X_jنسبت به X_k انتخاب شده‌اند. 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 می‌گردد:

گام ۱.پارامترهای بهینه‌سازی نظیراندازه جمعیت یا تعداد یادگیرنده‌ها popsize، تعداد نسلgmax، تعداد متغیرهای طراحی یا موضوعات (دروس) که در اینجا کل شین های شبکه است nVar، محدودیت های متغیرهای طراحی یعنی حد بالاوپایین ولتاژ را مقدار دهی می‌کنیم.

گام ۲. تولید ماتریس جمعیت اولیه با ابعاد popsize × 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 شین‌های شبکه است. در نهایت برای هر عضو با تابع هدف که در ادامه معرفی می‌شوند، محاسبه صورت می‌گیرد.

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 می‌گردد. سپس تمامی اعضاء جهت انتقال به فضای جستجوی گسسته به نزدیکترین عدد صحیح گرد می‌شوند. مجدداً برای تمامی اعضاء تابع هدف محاسبه می‌گردد و در صورتی که مقدار تابع هدف عضو جدید از مقدار قبلی بهتر باشد، پذیرفته می‌شود.

درضمن بایستی در نظر داشت که محدودیتهای ولتاژی شینها رعایت گردند و در صورت عدم رعایت مقادیر مجاز ولتاژ، عددی به عنوان جریمه به تابع هدف اعمال می‌شود.

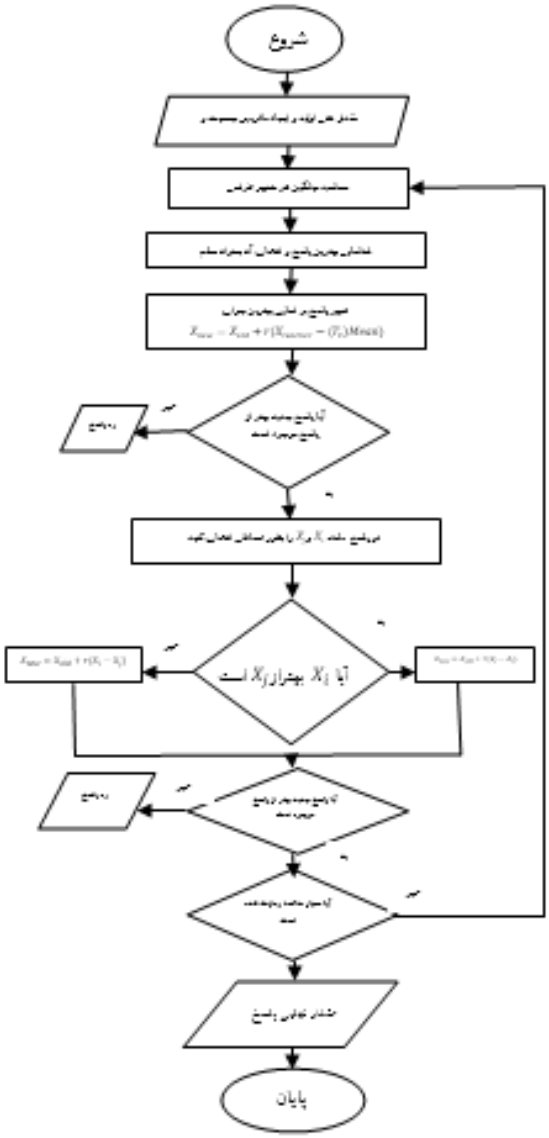
گام ۴. فاز دانش آموز یا یادگیرنده: اصلاحات مورد نیاز مربوط به فاز یادگیرنده در رابطه فاز یادگیری ارائه شده است. همانند گام ۳ پس از اعمال این فاز، اعضاء به نزدیک ترین عدد صحیح گرد می‌شوند. برای تمامی اعضاء تابع هدف محاسبه شده و در صورتی که مقدار تابع هدف عضو جدید از مقدار قبلی بهتر باشد پذیرفته می‌شود. 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 اینصورت به گام ۳ برمی‌گردیم. 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 ازتلفات 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 اکتیوسیستم را بدست آورد.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-07-09]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.2.4.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013



شکل (۲) : نمایش روندنما نحوه عملکرد الگوریتم TLBO [۳]

درسیستم شعاعی تلفات توان حقیقی بین شین i و i+1 بـه صـورت معادله (۳)بدست می آید:

$$P^1_{loss(i,i+1)} = R_{(i,i+1)}(|V^1_{(i,i+1)} - V^1_i||Y^1_{(i,i+1)}|)^2 \quad (۳)$$

که درآن :

$P^1_{loss(i,i+1)}$: مولفه اصلی توان تلفاتی بین شین i و i+1 .

$R_{(i,i+1)}$: مقاومت بین شین i و i+1 .

بنابراین تلفات حقیقی کل سیستم در فرکانس اصـلی از معادلـه (۴) محاسبه می شود:

$$P^1_{loss} = \sum_{i=0}^{m-1} P^1_{loss(i,i+1)} \quad (۴)$$

که درآن:

P^1_{loss}: کل تلفات توان اکتیو در خطوط سیستم.

m-1 : تعداد خطوط سیستم.

نصب خازن در شبکه توزیع مـی‌توانـد مقـدار تـوان عبـوری از خطوط توزیع را افزایش داده و سطح ولتاژ در شین های مختلـف را بهبود بخشیده که همراه با تلفات توان پایین‌تر و راندمان انرژی بهتر می باشد. علیرغم آنکه نصب خازن هزینه سرمایه گذاری را افـزایش می دهد، در نهایت موجب شبکه‌ای با هزینه تلفات کمتر مـی‌شـود، بنابراین در این جا تابع هدف بهینه سازی مکان خـازن بـه حـداقل رساندن هزینه کل بوده و بدین صورت تعریف می‌گردد [۲].

$$\text{MinimizeS}=K_e \times \sum_{j=1}^{L} T_j\ P_j+\sum_{i=1}^{ncap} K_c \times Q_{ci} \quad (۵)$$

جائیکه K_e هزینه انرژی در هر کیلووات ساعت، T_j دوره عملکـردی سطوح بار jام، P_j تلفات توان اکتیو در زمان سطح بار jام، K_c هزینه خرید خازن در هر کیلووار، Q_{ci} برابر با اندازه خـازن نصـب شـده در شین i ام، ncap برابر با شماره شینی که خـازن در آن نصـب شـده است. خازن‌ها در اندازه های جداگانه و با فرم صحیح چنـد حـالتی در اندازه کوچکترین خازن نیز در دسـترس مـی‌باشـند کـه مطـابق [۶]این حالت مختلف از اندازه خازن در دسـترس مـی‌باشـد. توابـع هدف در این مقاله همواره تحت قید زیر کمینه سازی می‌گردد :

$$V_{min} \le V_i \le V_{max} \quad (۶)$$

متغیرهای V_{min} و V_{max} به ترتیب ولتـاژ حـداقل و حـداکثر قابـل قبول برای هر شین می باشند.

همچنین پروفیل ولتاژ صاف از مشخصه های مطلوب یـک سیسـتم قدرت می‌باشد. برای اندازه گیری اختلاف ولتاژ تمام شینهای شبکه توزیع از ولتاژ نامی آن در طول افق برنامـه ریـزی، از ایـن شـاخص استفاده کرده و آن را به صورت زیر تعریف می‌نماییم:

$$VPI = \sum_{i=1}^{N_b}(1 - |V_i|)^2 \quad (۷)$$

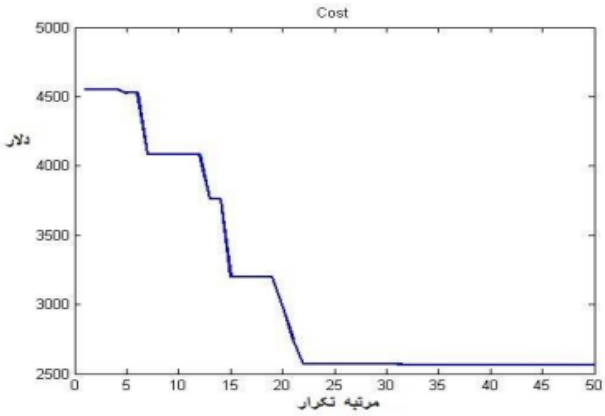
واضح است که پروفیـل ولتـاژ صـاف و ایـده آل زمـانی حاصـل خواهد شد که این شاخص کمینه شود [۷].

۶- شبیه سازی عددی

در این بخش، روش مـورد اسـتفاده بـرای سیسـتم توزیـع شـعاعی ۲۲شینه، ۶۹ شینه، ۸۵ شینه استاندارد و ۴ شینه مرکز انتقال نفـت نظامیه برای حالت‌های بار سبک، بار نامی و پیک بار استفاده شده و مقدارهای کمینه هزینه کل که مجمـوعی از هزینـه هـای تلفـات و

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-07-09]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.2.4.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013

هزینه خازن‌گذاری است وکمینه شاخص پروفیل ولتاژ و کمینه تلفات سیستم محاسبه ومورد بررسی قرار گرفته که شرط محدوده مجاز ولتاژ در زمان انجام محاسبات همواره بایدرعایت 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 درجدول (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 کیلووار 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 می‌شود. 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 شکل‌های (۳) و (۴) به ترتیب منحنی‌های مینیمم هزینه و تلفات توان اکتیو را که در خروجی برنامه متلب بدست آمده، نمایش داده شده است.

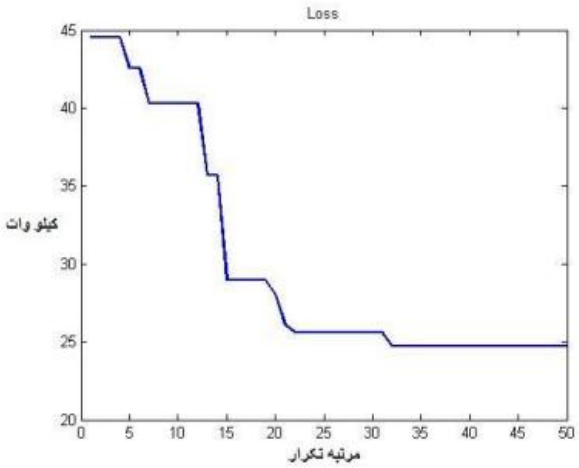


شکل (۳):نمودار هزینه کل سالیانه به دلار در بار پیک سیستم ۲۲ شینه

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

مقایسه نتایج دو نوع الگوریتم				
	TLBO		DSA[۲]	
	اندازه(kvar)	مکان	اندازه(kvar)	مکان
بهینه اندازه خازن ومکان شین خازن در بار سبک	۱۵۰	۳	۰	٤
	۱۵۰	۲۱	۱۵۰	۱۳
	۰	۰	۱۵۰	۱٦
	۰	۰	۰	۱۷
شماره شین با کمترین ولتاژ	-	۲۲	-	۲۲
کمترین ولتاژ(P.U)	-	۰.۹۹۰۰	-	۰.۹۹۹۹
تلفات توان (KW)	-	۲.٦۱	-	۲.۳۹
بهینه اندازه خازن و مکان شین خازن در بار نامی	٤۵۰	۱	۱۵۰	٤
	۱۵۰	۵	۳۰۰	۱۳
	۳۰۰	۱٤	۱۵۰	۱٦
	۱۵۰	۱۹	۱۵۰	۱۷
شماره شین با کمترین ولتاژ	-	۲۲	-	۲۲
کمترین ولتاژ(P.U)	-	۰.۹۸۱۵	-	۰.۹۸۲٤
تلفات توان (KW)	-	۹.٤٤	-	۹.٦٦
بهینه اندازه خازن و مکان شین خازن در پیک بار	۱۵۰	۹	۱۵۰	٤
	٤۵۰	۱٤	٤۵۰	۱۳
	۱۵۰	۱۸	۳۰۰	۱٦
	۱۵۰	۲۲	۱۵۰	۱۷
شماره شین با کمترین ولتاژ	-	۲۲	-	۲۲
کمترین ولتاژ(P.U)	-	۰.۹۷۱۰	-	۰.۹۷۰۱
تلفات توان (KW)	-	۲٤.۷۱	-	۲٤.۸۹
هزینه تلفات انرژی($)	-	۵۵۰٦.۹	-	۵۵۷۵.٦
مقدار خازن گذاری(kvar)	-	۹۰۰	-	۱۰۵۰
هزینه نصب خازن ($)	-	۲۷۰۰	-	۳۱۵۰
حالت بهینه هزینه کل ($)	-	۸۲۰٦.۹	-	۸۷۲۵.٦
میانگین زمان محاسبات (ثانیه)	-	٤۳.۱۷	-	-

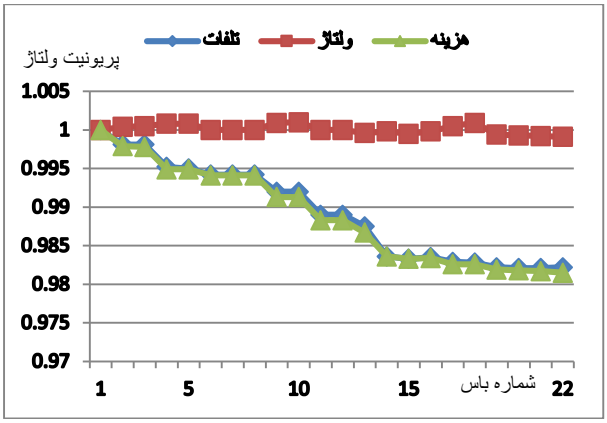
لازم به ذکر است این منحنی‌ها فقط مربوط به حالت بار پیک بوده و منحنی های مشابه برای بار نامی و سبک نیز قابل نمایش است.



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

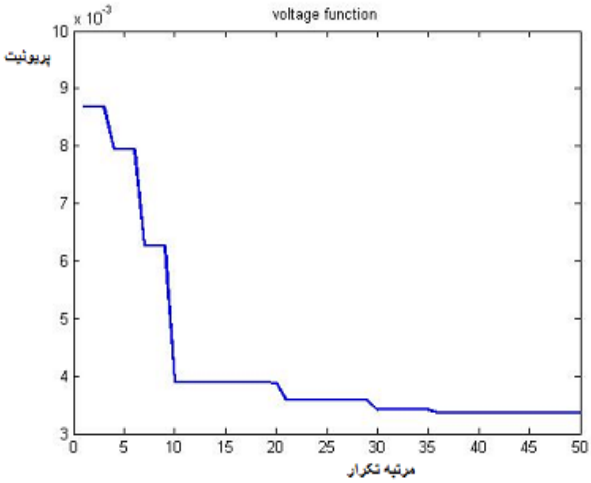
در شکل (۵) پروفیل ولتاژ شینه ها پس از خازن گذاری در سیستم ۲۲ شینه ای با سه تابع هدف با یکدیگر مقایسه شده‌اند و واضح است که پروفیل ولتاژ در تابع هدف کمینه شاخص پروفیل ولتاژ بسیار صاف و یکنواخت خواهد بود.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-07-09]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.2.4.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013



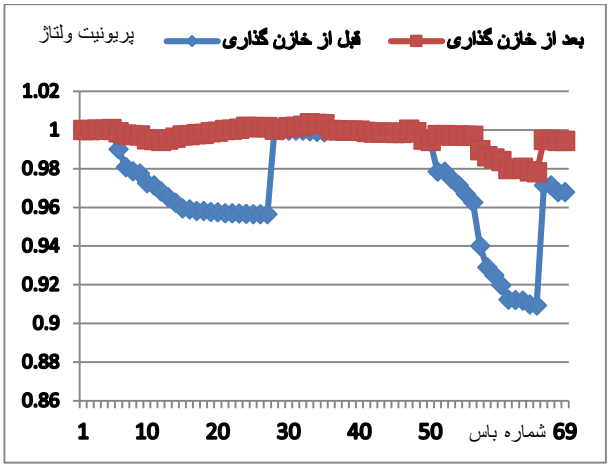
شکل (۵):مقایسه پروفیل ولتاژ در سیستم ۲۲ شین و در توابع هدف مختلف

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 ویادگیری پس از ۱۰ مرحله تکرار، مقدارشاخص پروفیل ولتاژ به میزان ۶۰ درصد کمینه شده که این مقدار پس از ۳۵ تکرار تقریبا بدون تغییر باقی مانده و مقدار نهایی کمینه شده حاصل می شود. معیار توقف درا جرای 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.



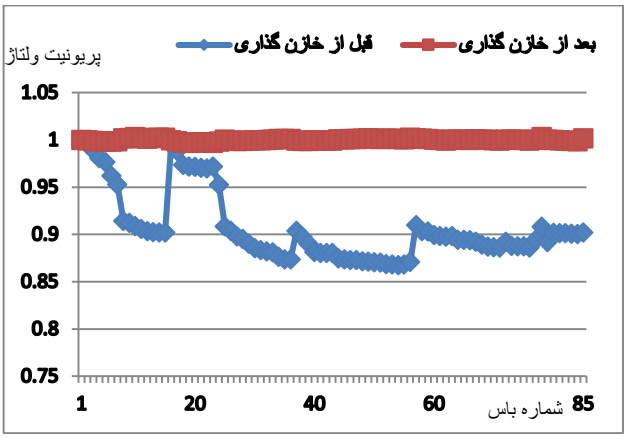
شکل (۶): شاخص پروفیل ولتاژ در ۶۹ شین و کمینه شاخص پروفیل ولتاژ

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.



شکل (۷): پروفیل ولتاژ قبل و بعد از خازن گذاری وکمینه 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 ۸۵شین 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.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-07-09]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.2.4.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013

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	٤۸	۷	۳۱٤	٦	۱۵۰	۱	۱۵۰
	۲۸	۲۱٤	۸	۷۹٦	۸	۱۵۰	۳	٤۵۰
	۳۷	۱۰۳	۲۷	۹۰	۱٤	۱۵۰	۵	۳۰۰
	۳۸	۱۲۰	۵۸	٤۵۳	۱۷	۱۵۰	۱۹	۱۵۰
	۳۹	۱۷۸	–	–	۱۸	۱۵۰	۳۳	۱۵۰
	۵۱	۱۰۰	–	–	۲۰	۱۵۰	٤۵	۳۰۰
	۵٤	۲۱۲	–	–	۲٦	۱۵۰	٤۸	۳۰۰
	۵۵	۱۰۲	–	–	۳۰	۱۵۰	۵۸	۳۰۰
	۵۹	٤/٦	–	–	۳٦	٤۵۰	٦۰	۳۰۰
	٦۰	۱۵۸	–	–	۵۷	۱۵۰	٦۲	۱۵۰
	٦۱	۱۱۳	–	–	٦۱	۱۵۰	۷۰	۱۵۰
	٦۲	۱۰۵	–	–	٦٦	۱۵۰	۷٤	۱۵۰
	٦٦	۹	–	–	٦۹	۳۰۰	۸۱	٤۵۰
	٦۹	۱۰۰	–	–	۸۰	۱۵۰	–	–
	۷۲	٦۷	–	–	–	–	–	–
	۷٤	۱۱۳	–	–	–	–	–	–
	۷٦	۷۲	–	–	–	–	–	–
	۸۰	۳۵٦	–	–	–	–	–	–
	۸۲	۳۱	–	–	–	–	–	–
شین کمینه ولتاژ	–	–	–	–	۵٤	–	۵٤	–
مقدار کمینه ولتاژ	–	–	–	–	۰.۹۲۲٤	–	۰.۹۲۲۲	–
کمتر تلف توان	۱٤٦	-	۱٦۳	-	۱٤٤	-	۱٤۲.٦۸	–
زمان	–	–	–	–	–	–	۸۱.۳٦	–

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	۹.٤۱	۲۲.۱۸	۳٤۸۸	۰.۰۰۳۳٦۵
	هزینه	۹.٤٤	٤۳.۱۷	۳۳٤۰	۰.۰۰۳۵۳۳
	شاخص پروفیل ولتاژ	۵۰	۸۲.۷٦	۱٦۵٤٦	۰.۰۰۰۰۰۷
٦۹ شین	تلفات	۱٤٤.۹	٤۱.۳۹	٤۷۹۲۲	۰.۰۵۲۰۳
	هزینه	۱٤۵.۹	٦۲.٤۳	٤۷۵۲۰	۰.۰۵٤۹۷
	شاخص پروفیل ولتاژ	۷۹٤	۱۰۱.۲۱	۲۵۲۳۵۳	۰.۰۰۳٤
۸۵ شین	تلفات	۱٤۲.٦۸	۵۳.٤٦	٤٦۹۹٤	۰.۲۹۰
	هزینه	۱٤٤.۹۱	۸۱.۳٦	٤٦٤۸۷	۰.۲۹۹
	شاخص پروفیل ولتاژ	٦۳۰	۱۳٤.۷	۲۰۱۵٦۹	۰.۰۰۰۱۵
٤ شین	تلفات	۷.۱	۱۳.٤۹	۳۰۰۸	۰.۰۰۰۱۸
	هزینه	۷.٤	۲۹.۵۱	۲٦۵٤	۰.۰۰۰۱۹
	شاخص پروفیل ولتاژ	۹.۸	٦۷.۱۲	٤۵۳۵	۰.۰۰۰۰۰۰۱

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک روش الگوریتمی جدید برای بهینه سازی مکان و اندازه خازن با سه تابع هدف در سیستمهای مختلف عملی و واقعی بیان شد ونتایج شبیه سازی علاوه بر ارائه راهکارهای اجرایی، موثر بودن این روش در مقایسه با سایر مراجع ذکر شده در این مقاله را نشان می‌دهد. در این مقاله علاوه بر توابع هدف هزینه و تلفات که در نحوه خازنگذاری نقش مهمی ایفاد می کند، خازنگذاری با کمینه سازی شاخص پروفیل ولتاژ نیز اجرا و بررسی شده که با تامین این تابع هدف، در خروجی شبیه سازی، نتایجی همچون تلفات توان راکتیو، تلفات اکتیو سیستم، مقادیر ولتاژ شینه ها پس از خازنگذاری، هزینه انرژی و هزینه کل خازنگذاری قابل دسترسی خواهد بود.همچنین زمان انجام محاسبات الگوریتم بعنوان یکی از پارامترهای مهم در انتخاب نوع الگوریتم در فرآیند انتخاب روش بهینه سازی بسیار مهم بوده و این زمان با توجه به تعداد پارامترهای مورد محاسبه قابل تغییر می‌باشد.

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.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-07-09]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.2.4.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013

[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 پروفیل‌ولتاژ در شبکه‌های توزیع، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد،دانشگاه تربیت‌مدرس- 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)، کارشناسی‌ارشد 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 بکاراست

حسن براتی در دزفول متولد شده است (۱۳۴۸). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- الکترونیک از دانشگاه صنعتی اصفهان(۱۳۷۱)، کارشناسی‌ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه تبریز(۱۳۷۵) و دکتری مهندسی برق-قدرت از دانشگاه آزاد واحد علوم وتحقیقات 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.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-07-09]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.2.4.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2025-07-09]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1392.2.2.4.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013