

## خازن گذاری مبتنی بر پیش بینی تلفات در شبکه های توزیع انرژی الکتریکی

سید شهاب بنی طباطبائی<sup>۱</sup>، بهادر فانی<sup>۲</sup> و سعید جلالی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، shahab\_banitaba@yahoo.com

<sup>۲</sup>دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، bahador\_fani@yahoo.com

<sup>۳</sup>دانشگاه کاشان، saeidjalali89@yahoo.com

چکیده - در این مقاله روشی برای کاهش تلفات در شبکه های توزیع به وسیله مکان یابی بهینه خازن، بدون داشتن اطلاعات و جزئیات کامل شبکه ارائه می گردد. برای اندازه گیری تلفات شبکه از روش مختلط استفاده شده است. در روش مختلط فرض بر این است که تنها بخشی از نواحی و اجزاء شبکه دارای اطلاعات کامل و کافی می باشند و تلفات کل سیستم بر اساس اطلاعات آن نواحی تخمین زده می شود. برای این منظور، تلفات شبکه ی توزیع با استفاده از شبکه ی عصبی مصنوعی پیش بینی شده است. سپس جهت مکان یابی بهینه خازن ها برای شبکه ی توزیع فاقد اطلاعات فنی کامل، ابتدا توسط الگوریتم ژنتیک مقادیر خازن در شین های کاندید انتخاب می شود و سپس با استفاده از شبکه ی عصبی مقدار تلفات شبکه ی توزیع پیش بینی و به الگوریتم ژنتیک جهت انتخاب بهترین حالت برگشت داده می شود. روش پیشنهادی بر روی چند نمونه شبکه ۱۳ شین تست شده است. نتایج نشان دهنده ی انتخاب بهترین حالت مکان یابی خازن ها، کاهش تلفات سیستم نزدیک به مقدار کمینه و بهبود ولتاژ شین ها در محدوده ی مجاز می باشد.

کلید واژه - الگوریتم ژنتیک، خازن گذاری، شبکه های عصبی مصنوعی، کاهش تلفات

### ۱- مقدمه

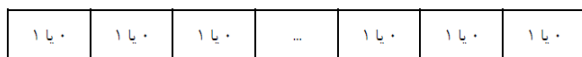
استفاده از رهیافت تحلیلی، مفهومی تحت عنوان فیدر نرمالیزه ارائه شد و معادلاتی مشتق پذیر به منظور بهینه نمودن جبران راکتیو سیستم و حداکثر نمودن عواید مالی حاصله به دست آمد. در [۳] و [۴] مسأله به دو بخش تقسیم شده است. در بخش اول یک مسأله برنامه ریزی عددی جهت یافتن تعداد و مکان خازن ها حل شده است. سپس در بخش بعد مسأله ای به منظور یافتن تعیین نوع و اندازه ی آن ها طرح و حل شده است. در سال ۱۹۹۵ با پیشرفت سرعت و کارایی کامپیوترهای دیجیتال، مسأله ی فوق با رویکرد هوش مصنوعی مورد توجه واقع گشت. از این روش ها می توان به الگوریتم ژنتیک، شبکه ی عصبی، منطق فازی، جستجوی گراف، سیستم کولونی مورچگان اشاره نمود. سانتوزو و تان در [۵] جایابی بهینه ی خازن را با استفاده از شبکه های عصبی به کار برده اند. این روش در صورت گسترش شبکه مورد مطالعه قابل کاربرد نخواهد بود و شبکه عصبی نیاز به طراحی مجدد خواهد داشت. گو و ریزی در [۶] از شبکه های عصبی برای کنترل ترکیبی بانک های خازنی و تنظیم کننده های ولتاژ استفاده کرده اند. نتایج نشان دهنده ی عملکرد نسبتاً خوب شبکه عصبی در تغییرات جزئی و شدید شرایط بارگذاری می باشد.

افزایش قابل توجه قیمت سوخت در سال های اخیر باعث شده است که فعالیت چشمگیری در زمینه ی کاهش تلفات انرژی برق به عمل آید. با توجه به سطح ولتاژ پایین و اندازه ی جریان زیاد شبکه های توزیع، تلفات اهمی در بخش توزیع به مراتب مهمتر از شبکه های انتقال می باشد. روش های مختلفی برای کاهش تلفات در شبکه های توزیع وجود دارد که از متداول ترین روش ها می توان به خازن گذاری اشاره نمود. خازن های شنت توان یا جریان واکنشی را تأمین می کنند تا مؤلفه ی ناهمفاز جریان مورد نیاز یک بار القایی را جبران کند. با به کار گیری خازن شنت برای فیدر، می توان جریان بار را کم کرد و ضریب توان مدار را بهبود بخشید. در نتیجه تلفات و افت ولتاژ بین ابتدای فیدر و بار کاهش می یابد. نتیجه ی مطلوب جبران سازی بستگی به مکان نصب و اندازه ی خازن دارد [۱]. تا قبل از دهه ی ۹۰ به جهت عدم دسترسی به کامپیوترهای دیجیتالی دارای حافظه مناسب و سرعت محاسباتی بالا، بیشتر راه حل های ارائه شده بر مبنای روش های تحلیلی و محاسبات ریاضی استوار بود. در [۲] با

شین‌های کاندید انتخاب می‌شود. سپس با استفاده از شبکه عصبی مقدار تلفات شبکه برای هر حالت خازن‌گذاری پیش‌بینی و به الگوریتم ژنتیک جهت انتخاب بهترین حالت برگشت داده می‌شود. شبکه‌ی عصبی تعدادی از اطلاعات فیدرها نظیر توان اکتیو و راکتیو، طول خط و مکان و مقدار خازن منصوبه را به عنوان ورودی دریافت می‌کند و تلفات را به عنوان خروجی نتیجه می‌دهد. بنابراین به هیچ یک از اطلاعات فنی از شبکه یا فیدر نیاز نبوده و با داشتن اطلاعات محدود از شبکه‌ی توزیع می‌توان مکان و مقدار بهینه‌ی خازن را جهت کاهش تلفات سیستم پیشنهاد کرد.

## ۲-۱- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یکی از الگوریتم‌های جستجوی تصادفی است که به صورت تکراری جمعیتی از راه حل‌ها را اصلاح می‌کند. در الگوریتم‌های ژنتیک ابتدا به طور تصادفی چندین جواب برای مسأله تولید می‌کنیم. این مجموعه جواب را جمعیت اولیه و هر جواب را یک کروموزوم می‌نامیم. در هر مرحله، الگوریتم ژنتیک تعدادی از کروموزوم‌ها را به صورت تصادفی از جمعیت کنونی انتخاب می‌کند تا والدینی برای فرزندان مرحله‌ی بعد باشند. پس از انتخاب کروموزوم‌های بهتر، با استفاده از عملگرهای تقاطع و جهش، کروموزوم‌های نسل بعدی تولید می‌شود. در نسل‌های متوالی، جمعیت به سوی راه حل بهینه پیش می‌رود [۹]. قبل از این که یک الگوریتم ژنتیکی بتواند اجرا شود، ابتدا باید کدگذاری (نمایش) مناسبی برای مسأله‌ی مورد نظر پیدا شود. معمولی‌ترین شیوه‌ی نمایش کروموزوم‌ها، به شکل رشته‌های دودویی است. هر متغیر تصمیم‌گیری به صورت دودویی در آمده و سپس با کنار هم قرار گرفتن این متغیرها کروموزوم ایجاد می‌شود. در اینجا شین‌های کاندید جهت نصب خازن به عنوان متغیرهای مسأله، کروموزوم‌ها را تشکیل می‌دهند. در شبکه‌ی تست ۱۳ شین استاندارد، ۵ شین به عنوان شین‌های کاندید جهت نصب خازن انتخاب شده است. در الگوریتم ژنتیک همانند شکل (۱) به هر شین، ۳ بیت ۰ و ۱ اختصاص داده شده است.



۳ بیت نشان دهنده‌ی اندازه‌ی خازن شین ۵      ۳ بیت نشان دهنده‌ی اندازه‌ی خازن شین ۱

شکل (۱): کروموزوم پیشنهادی

فراوانی و همکاران در [۷] با استفاده الگوریتم ژنتیک، جایابی بهینه خازن را جهت کاهش تلفات شبکه به کار برده‌اند. در این روش جایابی خازن و بازآرایی شبکه توزیع به صورت همزمان انجام شده است. نتایج نشان دهنده‌ی این است که کاهش تلفات نسبت به به کار بردن جایابی خازن به صورت تنها، بیشتر شده است.

در این مقاله پیش‌بینی تلفات به روش مختلط انجام شده است. در روش مختلط فرض بر این است که تنها بخشی از نواحی و اجزاء شبکه دارای اطلاعات کامل و کافی می‌باشند و کل سیستم فاقد اطلاعات کامل و کافی است. به منظور تشخیص دقیق تلفات فنی در سیستم‌هایی با چنین اطلاعات غیرکافی، تلفات در آن بخش از شبکه که اطلاعات کافی وجود دارد، محاسبه شده و سپس تلفات فنی در کل سیستم با کمک روش‌های دسته‌بندی محاسبه می‌شود. در [۸] از روش مختلط برای تخمین تلفات شبکه‌های توزیع استفاده شده است.

هدف مقاله‌ی ارائه شده کاهش تلفات پیک بار شبکه توزیع با روش خازن‌گذاری و با استفاده از پیش‌بینی تلفات می‌باشد. روش معمول و سنتی محاسبه‌ی تلفات استفاده از روش پخش بار می‌باشد. پخش بار به همه‌ی اطلاعات شبکه شامل پیکربندی، نوع هادی‌ها، نقاط بار و غیره نیاز و دقت نتایج بستگی به کیفیت و کمیت اطلاعات جمع‌آوری شده دارد. در شرایطی که اطلاعات کامل شبکه جهت انجام پخش بار در اختیار نداشته باشیم روش ارائه شده می‌تواند با دقت مطلوب تلفات سیستم توزیع را کاهش دهد. در روش پیشنهادی ابتدا توسط الگوریتم ژنتیک مقادیر خازن در شین‌های کاندید انتخاب می‌شود و سپس با استفاده از شبکه‌ی عصبی مقدار تلفات شبکه برای هر حالت خازن‌گذاری پیش‌بینی و به الگوریتم ژنتیک جهت انتخاب بهترین حالت برگشت داده می‌شود.

## ۲- روش ارائه شده

در این مقاله روشی برای مکان‌یابی بهینه‌ی خازن در شبکه‌های توزیع انرژی فاقد اطلاعات فنی کامل و دقیق، بر پایه‌ی تخمین تلفات ارائه شده است. تلفات شبکه براساس اطلاعات بخشی از شبکه تخمین زده می‌شود. برای این هدف از ویژگی برگشت‌پذیری شبکه‌های عصبی استفاده شده است. در روش پیشنهادی ابتدا توسط الگوریتم ژنتیک مقادیر خازن در

جدول (۱): خازن های مورد استفاده

حالت	ظرفیت خازن (KVAR)
۰	۰
۱	۲۵
۲	۵۰
۳	۷۵
۴	۱۰۰
۵	۱۲۵
۶	۱۵۰
۷	۲۰۰

## ۲-۲- شبکه‌ی عصبی

شبکه‌ی عصبی با الهام از سیستم عصبی بدن طراحی و ابداع شده است. یک شبکه‌ی عصبی با مجموعه‌ای از الگوهای ورودی و خروجی که نمونه‌های یادگیری نامیده می‌شوند، طوری آموزش داده می‌شود که یک ورودی خاص منجر به خروجی خاصی در لایه خروجی شبکه‌ی عصبی شود. در فرآیند یادگیری که یادگیری نظارتی نامیده می‌شود، خروجی‌های مطلوب مشخص بوده و شبکه تلاش خواهد کرد که در زمان اعمال یک ورودی معین، یک مقدار خروجی تولید نماید. برای اینکه شبکه به درستی آموزش داده شود به این معنی که چگونه هنگام اعمال یک ورودی، خروجی مطلوب را تولید کند، شبکه عصبی مقدار ضرایب اتصالات خود را که بین واحدهای پردازش کننده بوده و وزن‌های سیناپسی نامیده می‌شوند، اصلاح کرده تا خطاهای ممکن را حداقل نماید. اصلاح وزن‌های سیناپسی تا زمانیکه شبکه قادر به تولید خروجی‌های مطلوب در زمان اعمال الگوهای ورودی یادگیری شود، ادامه می‌یابد [۱۰].

هدف استفاده از شبکه‌ی عصبی در این مقاله، پیش‌بینی تلفات یک شبکه‌ی توزیع خاص بدون اطلاعات فنی کامل مربوط به آن است، تا بتوان در الگوریتم ژنتیک از این خاصیت شبکه‌ی عصبی به جای انجام پخش بار استفاده کرد. ساختار شبکه‌ی عصبی مورد استفاده، شبکه فیدفوروارد چندلایه می‌باشد. این نوع شبکه دارای ساختاری لایه‌ای می‌باشد به طوری که نرون‌های مصنوعی، لایه‌ها را تشکیل داده و به وسیله‌ی وزن‌های سیناپسی به یکدیگر متصل شده‌اند. این نوع شبکه از یک لایه‌ی ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی تشکیل می‌شود [۱۰]. در این مقاله از شبکه عصبی با دو لایه پنهان با تعداد نرون‌ها در هر لایه به ترتیب ۱۵ و ۱۰ و با تابع فعالسازی تانژانت هیپربولیک و خطی در لایه‌های پنهان و تابع فعالسازی خطی در لایه خروجی استفاده شده است. مقادیر خازن برای هر شین، بار اکتیو، بار راکتیو و طول شبکه توزیع به عنوان ورودی‌های شبکه عصبی و مقدار تلفات اکتیو به عنوان خروجی در نظر گرفته شده است. شبکه‌ی عصبی با اطلاعات اولیه حاصل از پخش بار بر روی شبکه‌ی استاندارد ۱۳ شین آموزش داده می‌شود. آموزش شبکه‌ی عصبی تا رسیدن خطای بین خروجی این شبکه و خروجی مطلوب، به کمتر از  $1e-4$  ادامه پیدا کرده است.

در این صورت هر شین می‌تواند براساس حالت تعیین شده، یکی از مقادیر ظرفیت خازنی جدول (۱) را به خود اختصاص دهد [۷]. تابع هدف مورد نظر این تحقیق مقدار تلفات اکتیو شبکه توزیع می‌باشد که الگوریتم ژنتیک به سمت کمینه کردن آن حرکت می‌کند. در هر مرحله مقدار شایستگی هر کروموزوم که یک حالت خازن‌گذاری می‌باشد، توسط شبکه‌ی عصبی پیش‌بینی می‌شود و الگوریتم ژنتیک به سمت اصلاح نسل‌ها و انتخاب بهترین حالت ظرفیت خازن‌ها جهت رسیدن به کمینه‌ی تلفات پیش می‌رود. خازن‌گذاری باید به گونه‌ای صورت گیرد که هم میزان تلفات شبکه به حد ممکن کاهش یابد و هم قیود مورد نظر مسأله برآورده شود. تابع هدف مسأله به صورت رابطه‌ی (۱) می‌باشد.

$$F = \sum_{i=1}^{N-1} P_{\text{loss}(i,i+1)} \quad (1)$$

که در این رابطه  $N$  تعداد شین‌های شبکه و  $P_{\text{loss}(i,i+1)}$  تلفات توان اکتیو در سکشن  $(i,i+1)$  می‌باشد.

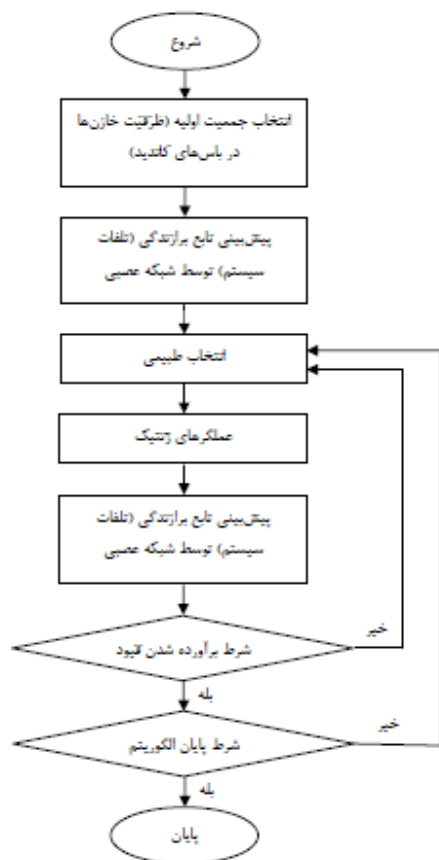
همچنین قیود مسأله جهت جلوگیری از اضافه ولتاژ و اضافه جبران در شبکه به صورت روابط (۲) و (۳) می‌باشند.

$$V_i \leq V_i^{\text{max}} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N Q_{ci} \leq \sum_{i=1}^N Q_{\text{load}i} \quad (3)$$

که در رابطه‌ی (۲) ولتاژ شین  $i$  و  $V_i^{\text{max}}$  بیشینه‌ی ولتاژ شین  $i$  و در رابطه‌ی (۳) مقدار خازن منصوبه در شین  $i$  و  $Q_{\text{load}i}$  بار راکتیو متصل به شین  $i$  می‌باشد. در این مقاله بیشینه‌ی ولتاژ شین‌های شبکه ۱،۰۵ پریونیت در نظر گرفته شده است.

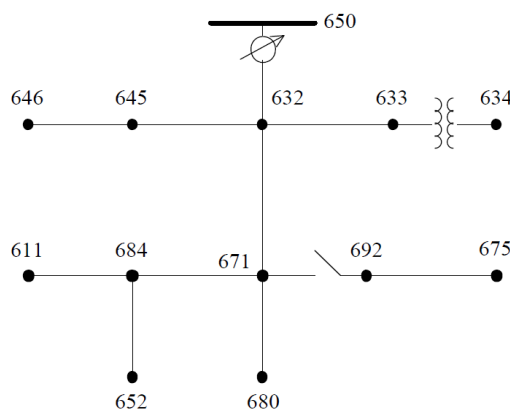
کمینه کرده‌اند به عنوان والدین برای نسل‌های بعدی انتخاب می‌شوند. در تنظیمات مربوط به الگوریتم تعداد فرزندان نخبه ۲، تابع تقاطع به صورت پراکنده و کسر تقاطع برابر ۰,۸ و تابع جهش به صورت یکنواخت و احتمال جهش ۰,۰۱ انتخاب شده است. سپس جمعیت جدید به جای جمعیت قبلی جایگزین می‌شود و اگر شرایط مطلوب در حل مسأله ارضا شد الگوریتم به پایان می‌رسد. در غیر این صورت الگوریتم به مرحله انتخاب طبیعی باز می‌گردد و دوباره همین روند تکرار می‌شود. به خاطر اینکه الگوریتم‌های ژنتیک بر پایه تولید و تست می‌باشند، جواب مسأله مشخص نیست. به همین دلیل، معیارهای دیگری را برای شرط خاتمه در نظر می‌گیریم. در اینجا عدم بهبود در بهترین شایستگی جمعیت در طی ۵۰ نسل متوالی کمتر از  $1e-6$  به عنوان معیار توقف الگوریتم در نظر گرفته شده است. برای تشخیص تلفات در الگوریتم ژنتیک از یک شبکه عصبی استفاده می‌شود. مقادیر خازن برای هر باس، بار اکتیو شبکه، بار راکتیو شبکه و طول فیدر به عنوان ورودی‌های شبکه عصبی و مقدار تلفات به عنوان خروجی در نظر گرفته شده است.



شکل (۳): فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

## ۲-۳- نتایج پیاده‌سازی روش پیشنهادی بر روی فیدر ۱۳ شین استاندارد

الگوریتم پیشنهادی بر روی شبکه‌ی استاندارد ۱۳ شین IEEE مطابق شکل (۲) اجرا شده است. الگوریتم ارائه شده در محیط نرم‌افزار متلب برنامه‌نویسی و بر روی شبکه‌ی تست اعمال گردیده است. در روش پیشنهادی ابتدا توسط الگوریتم ژنتیک مقادیر خازن در ۵ شین کاندید جهت خازن‌گذاری انتخاب و به عنوان کروموزوم معرفی می‌شود، سپس با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی مقدار تلفات شبکه برای هر کروموزوم که یک حالت خازن‌گذاری در شبکه می‌باشد، پیش‌بینی و به الگوریتم ژنتیک جهت انتخاب بهترین حالت آرایش خازن‌ها برگشت داده می‌شود. الگوریتم ژنتیک میزان شایستگی هر کروموزوم را با استفاده از شبکه‌ی عصبی پیش‌بینی خواهد کرد. فلوچارت برنامه در شکل (۳) نشان داده شده است. شروع الگوریتم با تولید تصادفی یک جمعیت که شامل تعداد ۲۰ کروموزوم (روش‌های حل مسأله) می‌باشد، آغاز می‌شود. هر کروموزوم یک مجموعه خازن خاص برای ۵ شین منتخب انتخاب می‌کند. به این ترتیب ۲۰ حالت مختلف خازن‌گذاری در اختیار داریم. سپس مقدار تابع هدف مسأله مطابق با رابطه‌ی (۱) که در اینجا میزان تلفات به ازای هر کروموزوم در جمعیت می‌باشد، توسط شبکه‌ی عصبی ارزیابی می‌شود. در مرحله‌ی بعد تولید یک جمعیت جدید با انجام انتخاب، ترکیب و جهش صورت می‌گیرد. انتخاب کروموزوم‌های پدر و مادر از جمعیت قبلی با توجه به شایستگی آن‌ها به طوری انجام می‌شود که کروموزوم‌های با مقدار شایستگی بهتر یعنی حالت‌های خازن‌گذاری که تلفات شبکه را



شکل (۲): شبکه‌ی استاندارد ۱۳ باس IEEE

جدول (۲): نتایج شبیه سازی برای ۱۰ حالت مختلف طول و بار شبکه بر روی فیدر ۱۳ شین

تلفات (KW)	شین های منتخب جهت خازن گذاری					روش جایابی خازن	بار راکتیو (MVAR)	بار اکتیو (MW)	طول شبکه (MILE)	حالت
	۶۴۶	۶۳۳	۶۷۱	۶۱۱	۶۷۵					
	ظرفیت خازن پیشنهادی (KVAR)									
34.90	0	0	0	150	150	ژنتیک	1.47	2.42	1.08	۱
37.10	75	0	75	50	25	پیشنهادی				
399.41	0	75	200	200	125	ژنتیک	4.20	6.93	1.24	۲
۴۰۶۶۲	0	75	200	150	100	پیشنهادی				
167.50	50	25	125	200	75	ژنتیک	2.41	3.98	1.78	۳
181.40	125	0	125	75	25	پیشنهادی				
192.50	75	200	150	200	50	ژنتیک	2.52	4.15	1.86	۴
203.91	125	100	200	75	25	پیشنهادی				
336.54	100	0	50	200	125	ژنتیک	3.15	5.19	1.86	۵
339.22	0	0	200	100	75	پیشنهادی				
341.47	75	150	200	200	25	ژنتیک	2.94	4.85	2.17	۶
347.85	25	0	200	75	75	پیشنهادی				
725.10	125	0	200	200	0	ژنتیک	3.78	6.23	2.32	۷
733.81	0	100	200	125	100	پیشنهادی				
575.24	125	25	200	200	0	ژنتیک	3.36	5.54	2.48	۸
584.32	0	0	200	125	75	پیشنهادی				
590.85	75	25	200	150	0	ژنتیک	3.15	5.19	2.79	۹
۵۹۰,۲۵	0	125	200	100	75	پیشنهادی				
136.11	25	150	100	200	75	ژنتیک	1.68	2.77	3.1	۱۰
151.51	75	50	75	50	25	پیشنهادی				

توانسته است تلفات فیدر را تا ۲۰ درصد کاهش دهد و در اکثر حالات، تلفات شبکه به مقدار مینیمم تلفات که از روش جایابی خازن به وسیله ی پخش بار انجام شده است، نزدیک می باشد. در شکل (۴) دامنه ی ولتاژ در ۱۲ شین قبل از خازن گذاری و پس از نصب خازن در حالت ۱ جدول (۲) نشان داده شده است. حتی در کم بارترین حالت شبکه ی توزیع که حالت ۱ می باشد، دامنه ی ولتاژ بیشتر از ۵ درصد افزایش نیافته است. بنابراین با استفاده از این روش ولتاژ شین ها در محدوده ی مجاز بهبود یافته است.

### ۳- نتیجه گیری

در این مقاله روشی برای کاهش تلفات در شبکه های توزیع به وسیله ی مکان یابی بهینه ی خازن، بدون داشتن اطلاعات و

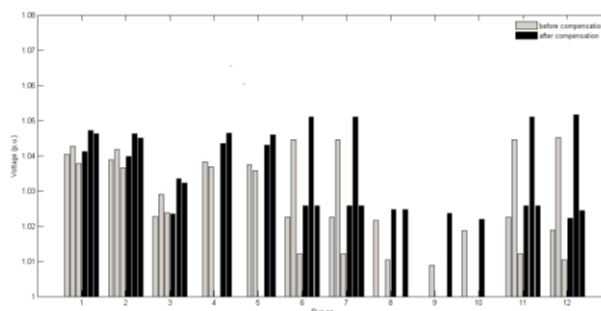
بنابراین شبکه عصبی دارای هشت ورودی و یک خروجی می باشد. براساس اطلاعات شبکه فیدر ۱۳ شین استاندارد IEEE، بار اکتیو و راکتیو و طول شبکه به ترتیب برابر با ۳,۴۶۶ مگا وات، ۲,۱۰۲ مگا وار و ۱,۵۵ مایل می باشد. شبکه ی عصبی با این اطلاعات اولیه آموزش داده شده است. الگوریتم پیشنهادی برای ۱۰ نمونه فیدر ۱۳ شین مشابه با فیدر استاندارد IEEE ولی با طول خط و مقدار بار اکتیو و راکتیو مختلف اجرا شده است. جواب های به دست آمده از اجرای الگوریتم پیشنهادی که در آن از شبکه ی عصبی استفاده شده است و جواب های حاصل از اجرای الگوریتم ژنتیک با استفاده از پخش بار در جدول (۲) مقایسه شده است. میزان کاهش تلفات در دو روش نزدیک به هم بوده که نشان دهنده ی مؤثر بودن به کار گیری روش پیشنهادی است. جدول (۳) میزان کاهش تلفات فیدر برای دو روش را مقایسه کرده است. نتایج نشان می دهد روش پیشنهادی



جدول (۳) : میزان کاهش تلفات شبکه و درصد خطای روش پیشنهادی

حالت	تلفات قبل از جبران‌سازی (Kw)	جبران‌سازی بهینه (پخش بار)		تلفات (Kw)	درصد کاهش تلفات
		تلفات (Kw)	درصد کاهش تلفات		
۱	۴۳,۳۰	۳۷,۱۰	۱۹,۳	۳۴,۹۰	۱۴,۳
۲	۴۶۶,۱۸	۴۰۶,۶۲	۱۴,۳	<b>399.41</b>	۱۲,۷
۳	۲۰,۸	۱۸۱,۴۰	۱۹,۴	۱۶۷,۵۰	۱۲,۷
۴	۲۴۰,۴۶	۲۰۳,۹۱	۱۹,۹	۱۹۲,۵۰	۱۵,۲
۵	۳۹۶,۵۱	۳۳۹,۲۲	۱۵,۱	۳۳۶,۵۴	۱۴,۴
۶	۴۲۰,۱۷	۳۴۷,۸۵	۱۸,۷	۳۴۱,۴۷	۱۷,۲
۷	۹۲۳,۳۳	۷۳۳,۸۱	۲۱,۴	۷۲۵,۱۰	۲۰,۵
۸	۷۳۴,۲۷	۵۸۴,۳۲	۲۱,۶	۵۷۵,۲۴	۲۰,۴
۹	۷۶۴,۰۵	۵۹۰,۲۵	۲۲,۶	۵۹۰,۸۵	۲۲,۷
۱۰	۱۷۹,۲۴	۱۵۱,۵۱	۲۴	۱۳۶,۱۱	۱۵,۵

- [2] J. J. Grainger, S. H. Lee, " Optimum Size and Location of Shunt Capacitors for reduction of Losses on Distribution Feeders ", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No.3, March1981, pp. 1105-1 118.
- [3] M. E. Baran, F. F.Wu, " Optimal Capacitor Placement on a Radial Distribution System ", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, NO. 1, 1989, pp.725-734.
- [4] M. E. Baran, F. F.Wu, " Optimal Sizing of Capacitors Placed on a Radial Distribution System ", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, No.1, 1989, pp.735-743.
- [5] N.I. Santoso & O.T. Tan, Neural-net based real-time control of capacitors installed on distribution systems, *IEEE Transactions on PowerDelivery*,5(1),1990,266-272.
- [6] Z. Gu & D.T. Rzy, Neural network for combined control of capacitance banks and voltage regulators in distribution systems, *IEEE Transactions on Power Systems*, 11 (4), 1996, 1921-1928.
- [7] Farahani, V. ; Vahidi, B. ; Abyaneh, H.A, Reconfiguration and Capacitor Placement Simultaneously for Energy Loss Reduction Based on an Improved ReconfigurationMethod,*IEEETransactionsonPowersystems*,27(2),2012,587-595.
- [8] M.Song Kang, C. Chen, C.Lin, C.Huang, and M.Kao, "A Systematic Loss Analysis of Taipower Distribution System" *IEEE Trans. Power Syst.*, VOL. 21, NO. 3, AUGUST 2006.
- [9] M. Mitchell, An introduction to genetic algorithms (Cambridge, MA: MIT Press, 1996).
- [10] R.K. Aggarwal & Y.H. Song, Artificial neural networks in power systems, Part 3: Examples of applications in power system, *IEE PowerEngineering Journal*, 12 (6), 1998, 279-287.



شکل (۴) : دامنه‌ی ولتاژ در شین‌های فیدر در حالت ۱

جزئیات کامل شبکه ارائه گردید. در روش پیشنهادی با استفاده از شبکه‌ی عصبی مقدار تلفات شبکه توزیع برای هر حالت خازن‌گذاری پیش‌بینی شد. بنابراین با داشتن اطلاعات کلی شبکه نظیر مقدار بار و طول فیدر، می‌توان مقدار بهینه‌ی خازن را به دست آورد. مزیت این روش عدم نیاز به اطلاعات فنی کامل شبکه و عدم انجام پخش بار برای محاسبه‌ی تلفات شبکه‌ی توزیع می‌باشد. روش پیشنهادی بر روی چند نمونه شبکه ۱۳ شین تست شد. نتایج به دست آمده نشان دهنده‌ی موفق بودن الگوریتم پیشنهادی در جایابی خازن‌ها و کاهش تلفات سیستم به مقدار نزدیک به کمینه و بهبود ولتاژ شین‌ها در محدوده‌ی مجاز بود.

## مراجع

- [1] T. Gonen, "Electric Power Distribution System Engineering", McGraw-Hill Publishing Company, New York, 1986.