



# PSC 2007

98-F-CAP-893

## فاصله یابی خطا در خطوط ترکیبی (هوایی / کابلی) به کمک شبکه عصبی

حمید افرادی<sup>(۱)</sup>جواد ساده<sup>(۲)</sup><sup>(۱)</sup> گروه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گناباد<sup>(۲)</sup> گروه برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

با همکاری دفتر تحقیقات و استانداردهای شرکت برق منطقه‌ای خراسان

واژه‌های کلیدی: حفاظت سیستمهای قدرت، خطوط انتقال ترکیبی (combined)، فاصله‌یابی خطا، شبکه‌یابی مصنوعی، الگوریتم آموزش پس انتشار خطا.

### چکیده:

باشد. به منظور دستیابی به داده‌های مورد نیاز، سیستم قدرت نمونه‌ای در نرم افزار EMTP شبیه‌سازی شده و اطلاعات حاصله جهت پردازش به نرم افزار MATLAB منتقل شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی های متعدد تحت شرایط متفاوت سیستم، از جمله زوایای شروع خطای متفاوت، مکان و مقاومت‌های مختلف خطا برای اتصال کوتاه تک فاز و سه فاز، دقت بالای روش پیشنهادی را تأیید می‌نماید.

### ۱- مقدمه:

امروزه میزان تقاضای انرژی الکتریکی در نواحی شهری رشد چشمگیری پیدا نموده است. در سراسر جهان مشکلات متعددی جهت احداث خطوط انتقال فشار قوی در مناطق مسکونی با تراکم جمعیت زیاد پیش روست، که مهمترین آنها عدم وجود

در این مقاله سعی شده تا با کمک گرفتن از شبکه عصبی مصنوعی و استفاده از اطلاعات اندازه‌گیری شده از یک طرف خط، محل وقوع خطا در سیستمی که از یک خط هوایی ترکیب شده با کابل زمینی تشکیل شده مشخص گردد. روش پیشنهادی در این مقاله از دو مرحله تشکیل شده است. در مرحله اول به کمک یک شبکه عصبی قسمت معیوب خط مشخص می‌گردد و در مرحله دوم مکان خطا با آموزش دو شبکه عصبی جداگانه برای خطاهای قسمت کابلی و خطاهای قسمت هوایی خط، به دقت تعیین می‌گردد. ورودی‌های شبکه‌های عصبی شامل هارمونیک اصلی شکل موجهای ولتاژ و جریان و اختلاف زاویه بین آنها و مولفه dc شکل موج جریان بوده و خروجی آن مکان خطا می-

در این مقاله سعی شده است با استفاده از شبکه‌عصبی پیشخور چهار لایه با الگوریتم تعلیم پس انتشار خطا، مکان خطا بر روی یک خط انتقال ترکیبی با ولتاژ ۲۲۰ کیلوولت و طول ۱۰۰ کیلومتر که ۱۰ کیلومتر از آن کابل دفنی است تعیین گردد. به منظور افزایش دقت فاصله‌یابی در روش پیشنهادی این مقاله، سه شبکه-عصبی مجزا مورد استفاده قرار گرفته است. شبکه اول، وظیفه تشخیص قسمت معیوب خط انتقال را بر عهده داشته و دو شبکه-عصبی دیگر به منظور فاصله‌یابی خطا در قسمت‌های خط هوایی و کابل دفنی بصورت مجزا آموزش دیده و مورد استفاده قرار گرفته-اند.

داده‌های ورودی شبکه‌عصبی شامل مولفه dc شکل موج جریان، هارمونیک اصلی شکل موجهای ولتاژ و جریان و اختلاف زاویه بین آنها بوده و خروجی شبکه عصبی مکان خطا می‌باشد. شبیه‌سازی یک سیستم قدرت نمونه تحت نرم افزار EMTP و با در نظر گرفتن شرایط مختلف سیستم، از جمله زوایای شروع خطای متفاوت، مکان و مقاومت‌های مختلف خطا برای خطاهای سه فاز متقارن و تکفاز به زمین بر روی خط انتقال انجام شده، و نتایج حاصل جمع آوری و جهت پردازش و جداسازی مشخصه-های لازم برای ورودی شبکه‌عصبی به نرم افزار MATLAB منتقل شده‌اند.

## ۲- ساختار شبکه‌عصبی

شبکه‌عصبی مصنوعی (ANN) بر گرفته از سیستم بیولوژیکی بدن انسان می باشد. پس از ارائه این شبکه‌ها در اوائل قرن بیستم، استفاده از آنها در کاربردهای مختلف مورد توجه قرار گرفته است. دلایل زیادی باعث استفاده گسترده از این شبکه‌ها شده است که برخی از آنها عبارتند از:

- این شبکه‌ها قابلیت طبقه بندی، شناسایی و تشخیص الگوها را دارند.
- شبکه‌های عصبی قابلیت پردازش سیگنال‌ها را دارند.

فضای لازم جهت احداث خطوط هوایی است. به همین دلیل امروزه تعداد زیادی از کابل‌های قدرت زیر زمینی جایگزین خطوط انتقال هوایی شده است. در برخی مواقع نیز لازم است خطوطی جهت انتقال توان الکتریکی استفاده شود که قسمتی از آن خط هوایی و قسمت دیگر کابل دفنی باشد، به اینگونه خطوط، خط انتقال ترکیبی گفته می‌شود. برای اجرا و بهره برداری از این نوع خطوط تکنیک‌های خاصی باید مورد توجه قرار گیرد. یکی از مهمترین این تکنیک‌ها فاصله‌یابی خطا به هنگام وقوع اتصالی می‌باشد. یافتن موقعیت اتصالی بر روی خط مستلزم گشتزنی و جستجو است که انجام آن با مشکلات زیادی همراه است. حتی در برخی موارد گشت‌زنی‌های طولانی مدت نیز به یافتن محل خطا منجر نمی‌شود، زیرا خیلی از خطاهایی که در قسمت هوایی به وقوع می‌پیوندد بر روی زنجیره مقرر اتفاق می‌افتد که به راحتی قابل رؤیت نیست، و خطاهایی که در قسمت کابل دفنی ایجاد می‌شود نیز بدلیل آنکه در زیر زمین رخ می‌دهد دیده نمی‌شود. بنابراین ابزاری که با سرعت و دقت کافی محل خطا را تعیین کند، برای بهره‌برداران و تعمیرکاران ضروری به نظر می‌رسد. چنین ابزاری را فاصله‌یاب خطا (Fault locator) می‌نامند. استفاده از فاصله‌یاب‌های خطا در انواع خطاهای گذرا و دائمی مفید واقع می‌گردد. در حالتی که خطا از نوع دائمی باشد، با کمک این ابزار محل خطا مشخص شده و گروه تعمیرکاران جهت تعمیر خط اعزام و در اسرع وقت نسبت به رفع عیب و بازگرداندن آن به سیستم اقدام می‌کنند. در صورتی که خطا از نوع گذرا باشد، تعیین محل این نوع خطاها نیز می‌تواند به تشخیص نقاط ضعف و آسیب پذیر خطوط انتقال رهنمون گردد که منجر به اندیشیدن تمهیداتی برای رفع این مشکل خواهد شد. تا کنون روشهای متعددی به منظور فاصله‌یابی خطا در خطوط انتقال نیرو ارائه شده است [۱-۴].

بدلیل تفاوت مشخصات دو قسمت کابلی و هوایی خط انتقال ترکیبی، فاصله‌یابی خطا در این نوع خطوط دارای اهمیت زیادی بوده و نیاز به اتخاذ شرایط خاصی می‌باشد.

- شبکه‌های عصبی دارای قدرت بالایی در یادگیری و مقاومت در برابر تغییرات می باشند.
- شبکه‌های عصبی قابلیت تعمیم و پاسخ در برابر نمونه‌های آموزش داده نشده را دارند.

### ۳- انتخاب ورودی‌های مناسب برای اعمال به

#### شبکه‌عصبی

فاصله‌یابی خطا انجام فرآیندی روی داده‌های جمع‌آوری شده در یک شینه یا شینه‌های طرفین خط انتقال جهت یافتن محل وقوع خطاست. بنابراین با توجه به اینکه اطلاعات محل خطا در سیگنالهای ولتاژ و جریان کسب شده در یک شینه یا شینه‌های طرفین خط وجود دارد می‌توان از این سیگنال‌ها به عنوان ورودی به شبکه‌عصبی استفاده نمود. اما چگونگی بکارگیری این کمیات به عنوان ورودی شبکه متفاوت است. در برخی از مقالات موجود در زمینه شناسایی خطا و یا تعیین محل خطا به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی از سیگنال‌های زیر به عنوان ورودی استفاده شده است.

- دامنه حداکثر ولتاژ و جریان در فازهای مختلف [۵]
- فازورهای ولتاژ و جریان در فازهای مختلف [۶]
- دامنه هارمونیک اصلی ولتاژ و جریان و مولفه dc آنها [۷]
- دامنه هارمونیک اصلی ولتاژ و جریان، مولفه dc و محتوای هارمونیک سیگنال‌ها در محدوده خاصی از فرکانس [۸]

در این مقاله اطلاعات یک سیکل از ولتاژ و جریان ابتدای خط انتقال، پس از وقوع خطا که توسط نرم افزار EMTP شبیه‌سازی شده است انتخاب و دامنه هارمونیک اصلی شکل موج ولتاژ و جریان، مولفه dc شکل موج جریان و اختلاف زاویه بین ولتاژ و جریان توسط روش تخمین کمترین مربعات خطا (SLE) استخراج و به عنوان ورودی به شبکه‌های عصبی اعمال شده است.

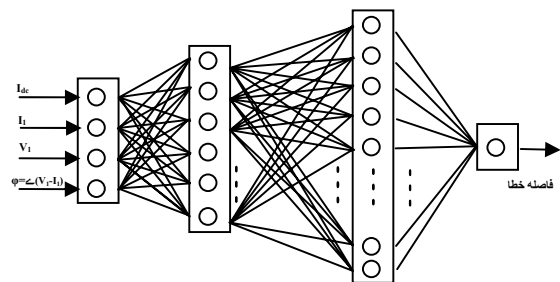
### ۴- شبیه‌سازی سیستم قدرت مورد مطالعه

سیستم قدرت شکل (۲) جهت مطالعه و شبیه‌سازی روش پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفته است. فرکانس سیستم ۵۰ هرتز و ولتاژ خط انتقال ۲۲۰ کیلوولت در نظر گرفته شده است. طول کل خط انتقال ۱۰۰ کیلومتر بوده که از این مقدار ۱۰

در سال‌های اخیر، استفاده از شبکه‌های عصبی برای فاصله‌یابی خطا در سیستم‌های قدرت در مقالات متعددی مطرح شده است [۵-۹]. بر خلاف الگوریتم‌های معمول، شبکه‌عصبی خیلی سریعتر پاسخ داده و سرعت آن مستقل از ابعاد و پیچیدگی شبکه قدرت می‌باشد.

انواع گوناگونی از شبکه‌های عصبی وجود دارد، و تکنیک‌های آموزش متنوعی برای آموزش این شبکه‌ها ارائه شده است. از میان آنها می‌توان به شبکه‌عصبی شبکه چند لایه پیشخور با سابقه نسبتاً طولانی اشاره کرد. این شبکه‌عصبی دارای ویژگی‌های برجسته‌ای برای مدل کردن توابع غیر خطی است. تکنیک متداول برای آموزش آن بنام روش پس انتشار خطا معروف است. در این مقاله از شبکه‌عصبی با دو لایه پنهان که با روش پس انتشار خطا آموزش داده شده استفاده گردیده است.

تعداد نرون‌ها و لایه‌های شبکه‌عصبی با استفاده از روش سعی و خطا بدست آمده است. در لایه‌های خروجی و پنهان شبکه توابع تحریک (purline) و (Hyperbolic tangent sigmoid) مورد استفاده قرار گرفته است. پس از بررسی حالت‌های مختلف، شبکه‌عصبی با ساختار (۱-۲۴-۶-۴) بهترین دقت در فاصله‌یابی خطا را در بر داشته است. در شکل (۱) ساختمان شبکه‌عصبی مورد استفاده در این مقاله نشان داده شده است.



شکل (۱) ساختمان شبکه‌عصبی مورد استفاده

## فاصله‌یابی خطا در خطوط ترکیبی (هوایی / کابلی) به کمک شبکه‌عصبی

### بیست و دومین کنفرانس بین‌المللی برق

به منظور بالا بردن دقت فاصله‌یابی در روش پیشنهادی دو شبکه ANN2 و ANN3 مورد استفاده قرار گرفته است. شبکه ANN2 به منظور فاصله‌یابی خطا در قسمت خط هوایی و شبکه ANN3 برای یافتن موقعیت خطا در قسمت کابل زمینی خط انتقال بکار گرفته شده است. در روش فوق بسته به خروجی شبکه عصبی تشخیص دهنده قسمت معیوب خط (ANN1)، یکی از دو شبکه عصبی که برای فاصله‌یابی خطا آموزش دیده فعال شده و در نهایت فاصله خطا مشخص خواهد شد.

در شکل (۳) شمای کلی قسمت فاصله‌یاب خطا نشان داده شده است. از شبکه‌عصبی ANN1 برای انتخاب قسمت معیوب خط و از شبکه‌های عصبی ANN2 و ANN3 به منظور فاصله‌یابی خطا برای هر یک از دو قسمت خط انتقال استفاده گردیده است.

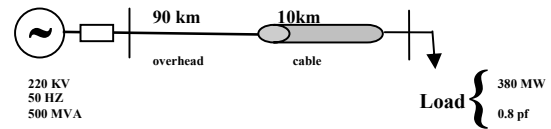
### ۶- ورودی‌های شبکه عصبی

به منظور آموزش و تست شبکه‌عصبی لازم است که از سیستم قدرت مورد مطالعه نمونه برداری شود. به همین منظور شبیه‌سازی‌های متعددی تحت نرم افزار EMTD و در مکان‌های مختلف، با زوایای شروع خطا و مقاومت‌های گوناگون انجام شده است. سپس سیگنال‌های ولتاژ و جریان یک سیکل پس از خطای ابتدای خط، به نرم افزار MATLAB به منظور استخراج داده‌های ورودی شبکه منتقل شده است. با توجه به تفاوت مشخصات خط هوایی و کابلی نمونه‌گیری هر بخش جداگانه، دسته‌بندی و پس از پردازش و استخراج داده‌های ورودی، به شبکه‌عصبی جهت آموزش اعمال شده است. در ادامه نحوه بدست آوردن داده‌های ورودی شبکه‌عصبی برای دو اتصال کوتاه مهم، تک فاز و سه فاز مقارن بیان شده است.

### ۶-۱- اتصال کوتاه تک‌فاز

به منظور دستیابی به داده‌های آموزش شبیه‌سازی‌های متعددی با گامهای ۵ کیلومتری در قسمت خط هوایی و گامهای ۰,۵ کیلومتری در قسمت کابلی خط صورت گرفته است. از طرف

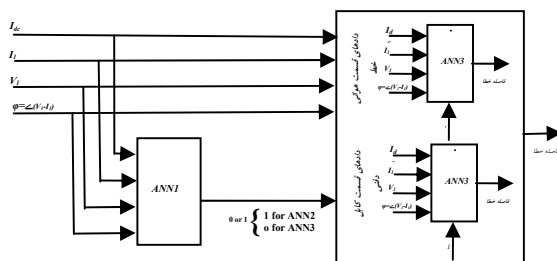
کیلومتر کابل زمینی و ۹۰ کیلومتر خط هوایی است. خط انتقال از یک طرف تغذیه شده و از طرف دیگر باری با مشخصات نشان داده شده در شکل (۲) قرار گرفته است. اطلاعات سیستم مورد مطالعه در ضمیمه آورده شده است [۱۰].



شکل (۲) سیستم قدرت مورد مطالعه

### ۵- شمای کلی روش پیشنهادی

در روش پیشنهادی فرض شده که نوع اتصال کوتاهی که بر روی خط انتقال رخ داده مشخص شده است. در یک خط انتقال ترکیبی مشخصات امپدانس دو قسمت خط با یکدیگر متفاوت می‌باشد. بنابراین به منظور بالا بردن دقت فاصله‌یابی لازم است ابتدا تشخیص داده شود که در کدام قسمت خط، اتصالی رخ داده است. در روش پیشنهادی برای این منظور از یک شبکه عصبی که وظیفه تشخیص قسمت معیوب خط انتقال را بر عهده دارد و برای این منظور آموزش دیده، استفاده شده است. همانطور که در شکل (۳) نشان داده شده است شبکه ANN1 برای این منظور مورد استفاده قرار گرفته است. این شبکه بگونه‌ای آموزش دیده که خروجی آن فقط دو مقدار صفر یا یک باشد. صفر نشان دهنده وقوع خطا در قسمت خط هوایی است و یک نشان دهنده وقوع خطا در قسمت کابل دفنی می‌باشد.



شکل (۳) فاصله‌یاب خطا

دیگری از داده‌ها که با داده‌های ورودی مرحله آموزش متفاوت می‌باشد، به منظور بررسی قدرت تعمیم دهی شبکه و بدست آوردن دقت فاصله‌یابی به شبکه اعمال شده است. در ادامه نتایج حاصل از تعلیم و تست شبکه‌های عصبی بکار گرفته شده به منظور فاصله‌یابی برای هر دو نوع خطا آورده شده است.

#### ۷-۱- اتصال کوتاه تک فاز

به منظور آموزش شبکه ANN1 برای این نوع اتصالی، تمامی داده‌های ورودی قسمت‌های کابل زمینی و خط هوایی به عنوان ورودی به شبکه اعمال شده است. خروجی مطلوب برای شبکه فوق مقادیر، یک برای قسمت کابل زمینی و صفر برای قسمت خط هوایی در نظر گرفته شده است.

به منظور بررسی قدرت تعمیم‌دهی شبکه، در ۶۹ مکان متفاوت با مرحله آموزش شبکه، شبیه‌سازی صورت پذیرفته است. انتخاب مکان، زاویه شروع خطا و مقاومت خطا برای داده‌های ورودی مرحله تست بصورت کاملاً تصادفی و متفاوت با مرحله آموزش شبکه‌عصبی بوده است. بیشترین فاصله خروجی شبکه ANN1 با مقادیر صفر یا یک (خروجی مطلوب شبکه)، در مرحله آموزش شبکه  $10^{-6}$   $6,4 \times$  و در مرحله تست شبکه  $10^{-4}$   $1,37 \times$  است، که نشان دهنده دقت بسیار بالا شبکه عصبی فوق، در تعیین قسمت معیوب خط می‌باشد. در شکل (۴) خروجی شبکه عصبی ANN1، برای تست شبکه در اتصال کوتاه تک فاز نشان داده شده است.

دیگر گامهای ۱۰ درجه در قسمت خط کابلی و گامهای ۲۰ درجه در قسمت خط هوایی برای زاویه شروع خطا فرض شده است. با توجه به اینکه اتصالی در کابل با مقاومت صفر انجام می‌پذیرد، در تمامی شبیه‌سازی‌ها برای اتصالی در کابل مقاومت خطا صفر در نظر گرفته شده است. برای قسمت خط هوایی به ازاء چهار حالت مختلف مقاومت خطا ( صفر، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ اهم) شبیه‌سازی صورت گرفته است. با احتساب شرایط فوق تعداد ۱۵۲۰ داده برای قسمت خط هوایی و تعداد ۶۱۲ داده برای قسمت کابلی بدست آمده است. بنابراین تعداد کل داده‌های آموزش ۲۱۳۲ زوج داده ورودی خروجی می‌باشد.

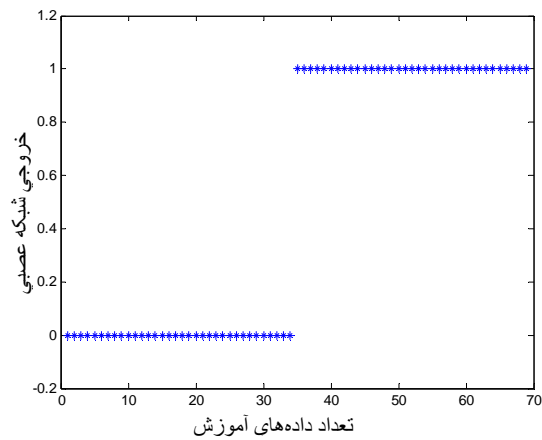
#### ۶-۲- اتصال کوتاه سه فاز متقارن

برای دستیابی به داده‌های آموزش برای این نوع اتصالی گامهای ۵ کیلومتری در قسمت خط هوایی و گامهای ۰,۲ و ۰,۳ کیلومتری در قسمت کابل دفنی برای شبیه‌سازی انتخاب شده‌اند. از طرف دیگر برای زاویه شروع خطا گامهای ۱۰ درجه در قسمت خط کابلی و گامهای ۲۰ درجه در قسمت خط هوایی در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه اتصالی در کابل با مقاومت صفر انجام می‌پذیرد، در تمامی شبیه‌سازی‌ها برای اتصالی در کابل مقاومت خطا صفر فرض شده است. برای قسمت خط هوایی به ازاء چهار حالت مختلف مقاومت خطا (۳، ۱۰، ۳۰ و ۵۰ اهم) شبیه‌سازی صورت گرفته است. با احتساب شرایط فوق تعداد کل داده‌های آموزش ۳۰۲۶ زوج داده ورودی خروجی می‌باشد. از این تعداد ۱۲۲۱ داده مربوط به قسمت کابلی و تعداد ۱۸۰۵ داده متعلق به قسمت خط هوایی است

#### ۷- تعلیم و تست شبکه‌های عصبی

به منظور آموزش شبکه‌های عصبی لازم است داده‌های ورودی- خروجی به شبکه اعمال شود، تا شبکه با کمک الگوریتم پس انتشار خطا پارامترهای خود را جهت عملکرد مناسب شبکه‌عصبی تنظیم نماید. پس از آموزش شبکه، مجموعه

مختلف که در مرحله تعلیم مورد استفاده قرار نگرفتند و بصورت کاملاً تصادفی انتخاب شده‌اند تحت آزمون قرار گرفته است. بزرگترین و کوچکترین مقدار خطا در مرحله تست شبکه  $0.505$  و  $10^{-4} \times 1.12$  درصد بدست آمده است. میانگین خطا در این مرحله  $0.21$  بدست آمده است. در شکل (۶) میزان خطای شبکه عصبی ANN2 در اتصال کوتاه تک فاز، برای داده‌های تست شبکه نشان داده شده است. در جدول (۱) نتایج حاصل از تست شبکه برای اتصال کوتاه تکفاز در قسمت خط هوایی آورده شده است. نتایج فوق نشان دهنده دقت بالای شبکه در فاصله‌یابی خطا می‌باشد.



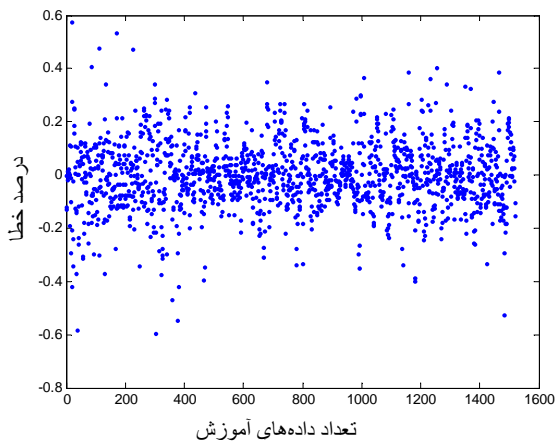
شکل (۴) نتیجه حاصل از تست ANN1 برای اتصال کوتاه تکفاز

شبکه‌عصبی ANN2 جهت فاصله‌یابی خطا برای قسمت هوایی خط انتقال مورد استفاده قرار گرفته است. به منظور آموزش شبکه فوق ۲۱۳۲ داده‌ای که حاصل پردازش سیگنال‌های ولتاژ و جریان مکان‌های مختلف خطا بر روی قسمت هوایی خط انتقال می‌باشد به شبکه اعمال شده است. پس از آموزش شبکه عصبی، دقت شبکه در مقابل داده‌های آموزش مورد بررسی قرار گرفت که کمترین و بیشترین درصد خطا به ترتیب  $10^{-5} \times 8.13$  و  $0.597$  بدست آمده است برای تعیین درصد خطای شبکه، رابطه (۱) مورد استفاده قرار گرفته است.

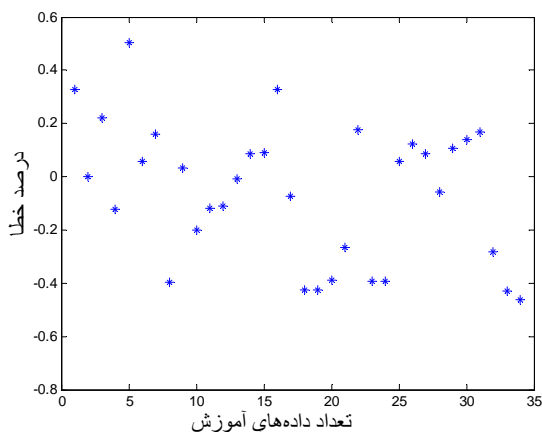
$$\varepsilon\% = \frac{|\text{ActualDist.} - \text{CalculatedDist.}|}{\text{TotalLineLength}} \times 100 \quad (1)$$

میانگین خطای بدست آمده در مرحله آموزش شبکه ANN2  $9.6 \times 10^{-2}$  می‌باشد که نشان دهنده دقت بالای روش فوق برای فاصله‌یابی خطا در قسمت هوایی خط برای اتصال کوتاه تک فاز می‌باشد. در شکل (۵) دقت فاصله‌یابی برای داده‌های ورودی مرحله آموزش شبکه، در حالت اتصال کوتاه تک فاز نشان داده شده است.

به منظور بررسی دقت فاصله‌یابی خطای شبکه فوق برای داده‌های خارج از مجموعه تعلیم و مشخص شدن قدرت تعمیم‌دهی شبکه برای داده‌های این مرحله، شبکه برای ۳۴ مکان



شکل (۵) درصد خطای شبکه عصبی ANN2 در مرحله تعلیم



شکل (۶) درصد خطای شبکه عصبی ANN2 در مرحله تست

## فاصله‌یابی خطا در خطوط ترکیبی (هوایی / کابلی) به کمک شبکه‌عصبی

### بیست و دومین کنفرانس بین‌المللی برق

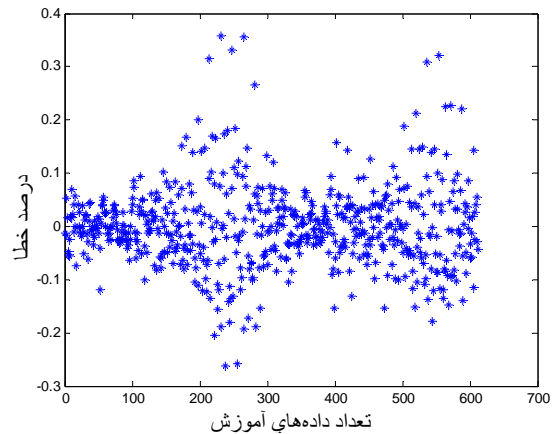
مکان واقعی	خطا (درجه) زاویه شروع	خطا (اهم) مقاومت	درصد خطا	مکان واقعی	خطا (درجه) زاویه شروع	خطا (اهم) مقاومت	درصد خطا
۸	۳۲۵	۳۵	۰,۳۲	۱۹	۷۰	۳۵	۰,۴۲
۱۲	۲۵	۵۵	۰,۰۰۱	۱۹	۴۰	۵۵	۰,۴۲
۱۲	۱۲۵	۵۵	۰,۲۲	۱۹	۳۵	۵۵	۰,۳۸
۲۷	۲۲۵	۵۵	۰,۱۲	۳۷	۱۳۵	۵۵	۰,۲۶
۲۷	۷۵	۷۵	۰,۵۰۵	۳۷	۰	۷۵	۰,۱۷
۴۴	۴۵	۳۵	۰,۰۵۸	۴۷	۱۵	۳۵	۰,۳۹
۴۴	۱۴۵	۵۵	۰,۱۶	۴۷	۴۰	۷	۰,۳۹
۵۸	۲۵	۷	۰,۳۹	۴۷	۱۰	۷	۰,۰۵
۵۸	۲۷۵	۷	۰,۰۳۱	۶۲	۲۱۵	۴۷	۰,۱۲
۶۷	۱۹۵	۴۷	۰,۲	۶۲	۱۵	۴۷	۰,۰۸
۶۷	۹۵	۱۵	۰,۱۲	۶۲	۱۱۵	۴۰	۰,۰۵
۷۳	۵	۴۰	۰,۱۰	۸۱	۷۵	۴۰	۰,۱۰
۷۳	۳۳۵	۴۰	۰,۰۰۷	۸۵	۳۵	۳۰	۰,۱۴
۸۶	۱۵	۱۰	۰,۰۸	۸۵	۵۵	۲	۰,۱۶
۸۶	۱۵۵	۱	۰,۰۰۹	۸۵	۲۷۵	۱۵	۰,۲۸
۱۹	۱۰	۱۰	۰,۳۲	۸۵	۱۹۵	۱	۰,۴۳
۱۹	۲۵	۷۰	۰,۰۷	۸۷	۹۵	۱۰	۰,۴۶

جدول (۱) نتایج حاصل از تست شبکه ANN2 برای اتصال کوتاه تکفاز

در شکل (۸) میزان خطای شبکه‌عصبی ANN3 در اتصال کوتاه تک فاز، برای داده‌های تست شبکه نشان داده شده است. در جدول (۲) نتایج حاصل از تست شبکه برای اتصال کوتاه تکفاز در قسمت کابلی خط آورده شده است. نتایج فوق نشان دهنده دقت بالای شبکه در فاصله‌یابی خطا می‌باشد.

جهت فاصله‌یابی خطا در قسمت کابل دفنی شبکه ANN3 مورد استفاده قرار گرفته است. تعداد ۶۱۲ داده در مرحله آموزش شبکه و تعداد ۳۵ داده ورودی در مرحله تست، به شبکه اعمال شده است.

بیشترین و کمترین مقدار خطا در هنگام آموزش شبکه، به ترتیب ۰,۳۵ و  $۵,۹ \times 10^{-5}$  درصد است. میانگین خطای بدست آمده در مرحله آموزش شبکه ANN3 مقدار ۰,۰۵۷ بدست آمده است. در شکل (۷) میزان خطای فاصله‌یابی خطا برای داده‌های مرحله آموزش شبکه نشان داده شده است.



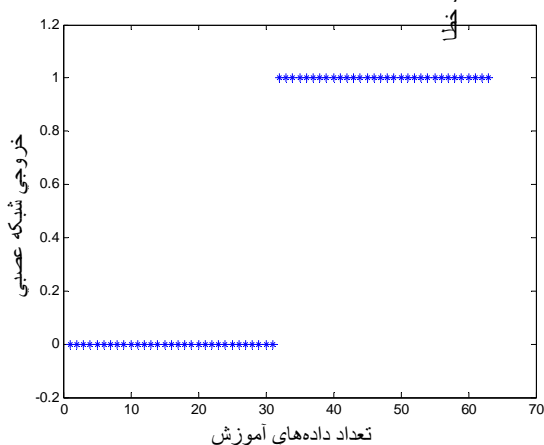
شکل (۷) خطای ANN3 در مرحله آموزش اتصال کوتاه تکفاز

## فاصله‌یابی خطا در خطوط ترکیبی (هوایی / کابلی) به کمک شبکه‌عصبی

### بیست و دومین کنفرانس بین‌المللی برق

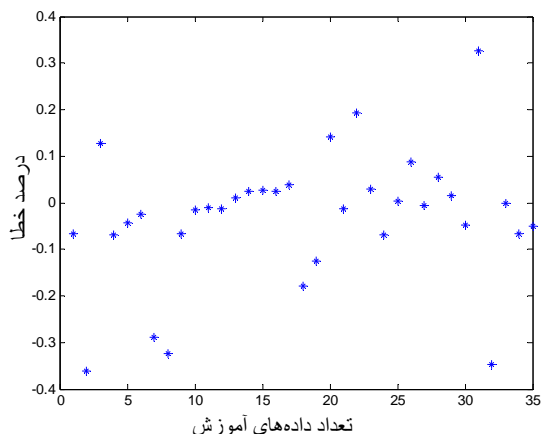
هوایی به عنوان ورودی به شبکه اعمال شده است. خروجی مطلوب برای شبکه فوق مقادیر یک برای قسمت کابلی و صفر برای قسمت هوایی انتخاب شده است.

به منظور بررسی میزان دقت شبکه‌عصبی در تشخیص قسمت معیوب، در ۶۳ مکان متفاوت با مرحله آموزش شبکه (۳۳ مکان بر روی قسمت هوایی و ۳۰ مکان روی قسمت کابل زمینی)، شبیه‌سازی صورت پذیرفته است. انتخاب مکان، زاویه شروع خطا و مقاومت خطا برای داده‌های ورودی مرحله تست بصورت کاملاً تصادفی و متفاوت با مرحله آموزش شبکه‌عصبی بوده است. نتایج حاصل از تست دقیق بودن این شبکه، جهت تشخیص قسمت معیوب را نشان داده است. حداکثر خطای خروجی شبکه (فاصله باخروجی مطلوب شبکه)، در مرحله آموزش شبکه  $1.3 \times 10^{-5}$  و در مرحله تست شبکه  $3.04 \times 10^{-6}$  بدست آمده است. نتایج حاصل از تست شبکه فوق برای اتصال کوتاه سه فاز متقارن در شکل (۹) نشان داده شده است.



شکل (۹) نتیجه حاصل از تست ANN1 برای اتصال کوتاه سه فاز متقارن

جهت فاصله‌یابی خطا برای قسمت هوایی خط در اتصال کوتاه سه فاز متقارن شبکه‌عصبی ANN2 مورد تعلیم واقع شده است. بدین منظور تعداد داده ورودی- خروجی به شبکه اعمال شده است. حداکثر و حداقل خطا در این مرحله ۰٫۳۱ و  $6.67 \times 10^{-8}$  درصد و میانگین خطا  $0.046$  بدست آمده است. در



شکل (۸) خطای ANN3 در مرحله تست برای اتصال کوتاه تک فاز

مکان واقعی	زاویه شروع خطا (درجه)	درصد خطا	مکان واقعی	زاویه شروع خطا (درجه)	درصد خطا
۹۱٫۲	۳	۰٫۰۶	۹۵٫۶	۳۳۰	۰٫۱۴
۹۱٫۲	۳۳۳	۰٫۳۶	۹۳٫۳	۱۸	۰٫۰۱
۹۳٫۷	۲۳۵	۰٫۱۲	۹۳٫۳	۳۵۷	۰٫۱۹
۹۳٫۷	۷	۰٫۰۶	۹۳٫۳	۴۵	۰٫۰۲
۹۵٫۶	۷۷	۰٫۰۴	۹۳٫۷	۱۴	۰٫۰۶
۹۵٫۶	۱۲۵	۰٫۰۲	۹۳٫۷	۱۸	۰٫۰۰۲
۹۷٫۴	۲۶۵	۰٫۲۸	۹۳٫۷	۱۸۵	۰٫۰۸۷
۹۷٫۴	۲۵	۰٫۳۲	۹۷٫۲	۱۱۸	۰٫۰۰۶
۹۸٫۲	۹۵	۰٫۰۶	۹۷٫۲	۳۰	۰٫۰۵۴
۹۸٫۲	۲۱۵	۰٫۰۱	۹۲٫۹	۱۰۵	۰٫۰۱۶
۹۱٫۳	۱۲۵	۰٫۰۱	۹۲٫۹	۳۳	۰٫۰۴۸
۹۸٫۸	۴۵	۰٫۰۱	۹۲٫۴	۱۱۳	۰٫۰۳۲
۹۵٫۱	۱۷۵	۰٫۰۲	۹۲٫۴	۱۵	۰٫۰۳۴
۹۶٫۶	۳۴۵	۰٫۰۲	۹۵٫۵	۴۵	۰٫۰۶
۹۶٫۶	۳۵۵	۰٫۰۲	۹۵٫۵	۱۶۵	۰٫۰۰
۹۷٫۷	۸۵	۰٫۰۳	۹۱	۵۸	۰٫۰۶
۹۷٫۷	۱۸۵	۰٫۱۷	۹۱	۱۵۸	۰٫۰۵
۹۵٫۶	۲۳۰	۰٫۱۲			

جدول (۲) نتایج حاصل از تست شبکه ANN3 برای اتصال کوتاه تکفاز

### ۷-۲- اتصال کوتاه سه فاز متقارن

به منظور آموزش شبکه ANN1 برای اتصال کوتاه سه فاز متقارن، تمامی داده‌های ورودی قسمتهای کابل زمینی و خط



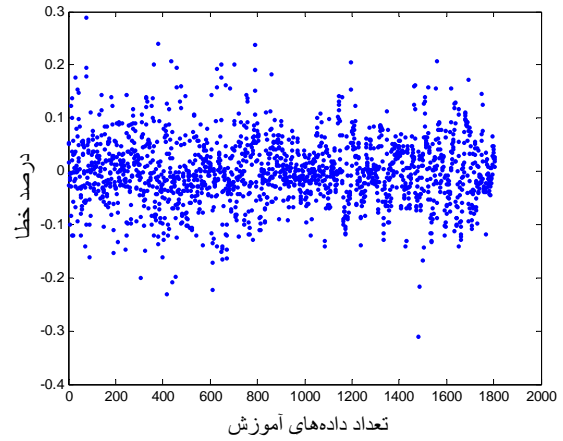
## فاصله‌یابی خطا در خطوط ترکیبی (هوایی / کابلی) به کمک شبکه‌عصبی

### بیست و دومین کنفرانس بین‌المللی برق

جدول ۳) نتایج تست ANN2 برای اتصال کوتاه سه فاز متقارن

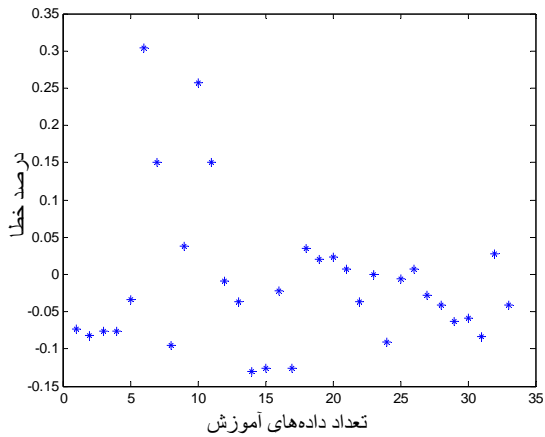
مکان واقعی	خطا(درجه) زاویه شروع	خطا(اهم) مقاومت	درصد خطا	مکان واقعی	خطا(درجه) زاویه شروع	خطا(اهم) مقاومت	درصد خطا
۶	۲۳	۱۰	۰,۰۷۳	۴۷	۷۰	۵	۰,۰۲
۶	۳۲۵	۱۰	۰,۰۸۲	۴۷	۷۰	۱۵	۰,۰۲
۶	۲۳۵	۴۵	۰,۰۷۶	۴۷	۲۴۰	۱۵	۰,۰۰۷
۶	۲۳۵	۶۵	۰,۰۳۴	۵۴	۶۵	۴۵	۰,۰۳۶
۱۶	۱۱۵	۱	۰,۰۳	۶۷	۲۶۰	۵	۰,۰۰۰
۱۶	۱۵	۷	۰,۰۱۵۰	۶۷	۳۲۶	۱۰	۰,۰۹۱
۱۶	۱۵	۱	۰,۰۹۵	۶۷	۱۰۰	۱۵	۰,۰۰۵
۱۸	۱۰	۷	۰,۰۳۸	۶۷	۵	۴۵	۰,۰۹۱
۲۲	۱۶۵	۵	۰,۰۲۵	۷۲	۴۵	۳۵	۰,۰۰۵
۲۲	۱۶۵	۱۴	۰,۰۱۴۹	۷۲	۹۵	۳۵	۰,۰۰۶
۲۲	۱۶۵	۲۴	۰,۰۰۸	۷۷	۲۳	۳	۰,۰۲۸
۲۳	۴۵	۳۵	۰,۰۳۶	۷۷	۰	۳۳	۰,۰۴
۲۳	۴۵	۴۵	۰,۰۱۳	۸۲	۲۴۰	۵	۰,۰۶۳
۲۶	۲۵	۵	۰,۰۱۲	۸۲	۲۴۰	۱۵	۰,۰۵۸
۲۶	۰	۱۵	۰,۰۲۱۷	۸۷	۳۴۵	۱۳	۰,۰۲۷
۲۶	۱۶۵	۳۰	۰,۰۱۲۶	۸۷	۳۴	۳۷	۰,۰۴۱
۲۶	۰	۳۵	۰,۰۳۵				

شکل (۱۰) مقدار خطای مرحله تعلیم شبکه‌عصبی ANN2 در اتصالی سه فاز متقارن نشان داده شده است.



شکل (۱۰) مقدار خطای مرحله تعلیم شبکه‌عصبی ANN2 در اتصالی سه فاز

داده‌های ۳۳ مکان متفاوت با مرحله آموزش شبکه به منظور بررسی دقت شبکه در مرحله تست به ANN2 اعمال شده است. بیشترین و کمترین مقدار خطا و  $۰,۳۰۳$  و  $۵,۳ \times 10^{-۴}$  میانگین خطای بدست آمده در مرحله تست شبکه می‌باشد. نتایج حاصل از تست شبکه ANN2 برای اتصال کوتاه سه فاز متقارن در جدول (۳) و شکل (۱۱) آورده شده است.



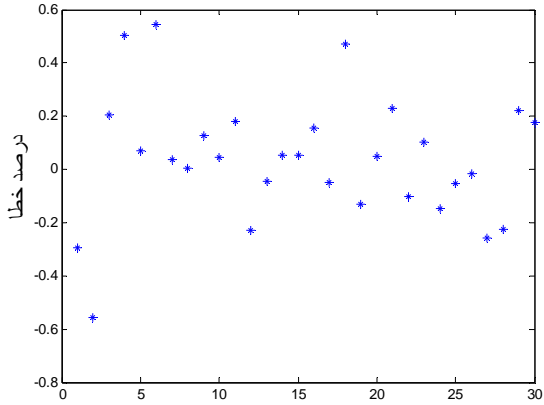
شکل (۱۱) میزان خطای شبکه‌عصبی ANN2 در مرحله تست در اتصالی سه فاز

بزرگترین و کوچکترین مقدار خطا به هنگام آموزش شبکه‌عصبی ANN3 برای اتصال کوتاه سه فاز متقارن بر روی قسمت هوایی خط انتقال، بترتیب مقدار  $۰,۵۷۵$  و  $۲,۷۹ \times 10^{-۵}$

## فاصله‌یابی خطا در خطوط ترکیبی (هوایی / کابلی) به کمک شبکه‌عصبی

### بیست و دومین کنفرانس بین‌المللی برق

شکل (۱۲) مقدار خطای شبکه عصبی ANN3 در مرحله تعلیم در اتصالی سه فاز



شکل (۱۳) میزان خطای شبکه عصبی ANN3 در مرحله تست در اتصالی سه فاز

درصد و میانگین خطا در این حالت مقدار  $0,084$  بدست آمده است. نتایج حاصله در شکل (۱۲) آورده شده است. نتایج تست  $30$  داده ورودی مربوط به  $30$  مکان خطا بر روی قسمت کابل زمینی که در مرحله آموزش شبکه شرکت نداشته‌اند در جدول (۴) و شکل (۱۳) آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود ماکزیمم و مینیمم خطا  $0,055$  و  $0,023$  درصد و میانگین خطا  $0,18$  بدست آمده است.

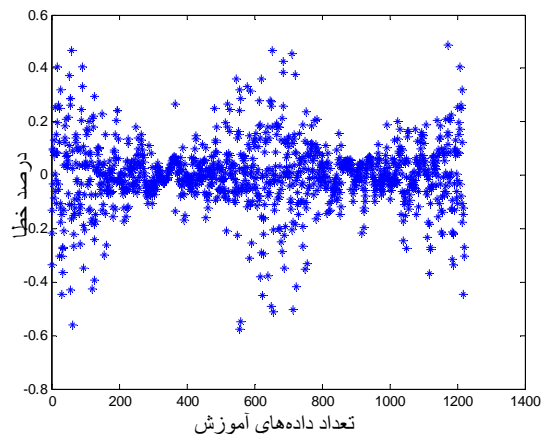
مکان واقعی	خطا (درجه)	مکان واقعی	خطا (درجه)	مکان واقعی	خطا (درجه)
۹۱,۲۵	۱۲	۹۵	۱۸۵	۹۱,۲۵	۰,۱۵
۹۱,۷۵	۵۰	۹۵,۳	۳۵	۹۱,۷۵	۰,۰۵
۹۸,۴	۷۵	۹۵,۶	۱۳۵	۹۸,۴	۰,۴۷
۹۱	۶۳	۹۶,۲	۳۳۵	۹۱	۰,۱۲
۹۱,۹	۱۱۰	۹۶,۴	۳۴۵	۹۱,۹	۰,۰۴
۹۲	۴۱	۹۶,۷	۱۵	۹۲	۰,۲۲
۹۲,۲	۱۱۵	۹۷,۲	۷۵	۹۲,۲	۰,۱
۹۲,۲	۱۲۰	۹۷,۵	۱۴۵	۹۲,۲	۰,۱
۹۲,۹	۲۶	۹۷,۷	۲۱۵	۹۲,۹	۰,۱۴
۹۳,۳	۳۳۵	۹۷,۹	۱۰	۹۳,۳	۰,۰۵۴
۹۳,۷	۲۰۰	۹۸,۱	۹۰	۹۳,۷	۰,۰۱
۹۴,۱	۲۵	۹۸,۲	۱۹۰	۹۴,۱	۰,۲۵
۹۴,۱	۳۱۵	۹۸,۶	۰	۹۴,۱	۰,۲۲
۹۴,۷	۱۰	۹۸,۸	۱۰	۹۴,۷	۰,۲۲
۹۴,۷	۱۱۵	۹۸,۸	۲۲۵	۹۴,۷	۰,۱۷

جدول (۴) نتایج حاصل از تست شبکه ANN3 برای اتصال کوتاه سه فاز

## ۸- نتیجه گیری

استفاده از شبکه‌های عصبی چهار لایه پیشخور با الگوریتم تعلیم پس انتشار خطا به منظور فاصله‌یابی خطا در خطوط ترکیبی در این مقاله مورد بررسی قرار گرفت. برای تعلیم و تست روش پیشنهادی ۴ ورودی مولفه dc شکل موج جریان، هارمونیک اصلی شکل موجهای ولتاژ و جریان و اختلاف زاویه بین ولتاژ و جریان هارمونیک اصلی پس از وقوع خطا به شبکه‌ها اعمال شده است.

به منظور بالا بردن دقت فاصله‌یابی خطا در خطوط ترکیبی از دو شبکه عصبی مجزا برای تعیین موقعیت خطا در قسمت هوایی و کابلی خط انتقال و از یک شبکه‌عصبی به منظور مشخص کردن قسمت معیوب خط استفاده شد. نتایج بدست آمده دقت بالای الگوریتم پیشنهادی در فاصله‌یابی خطا در خطوط ترکیبی را نشان می‌دهد. به گونه‌ای که خطا هیچ گاه از  $0,6$  درصد طول خط بیشتر نشده است.



ضمیمه:

		POSITIVE AND NEGATIVE SEQUENCE	ZERO SEQUENC E
Overhead line	R	0.03317	0.4817
	L	1.326	4.595
	C	0.008688	0.004762
Cable line	R	0.024	0.412
	L	0.4278	1.5338
	C	0.2811	0.1529

مقادیر پارامترهای خط هوایی و کابل زمینی

- [1] M.M. Saha, J. Izykowski, and E. Rosolowski, "A Method of Fault Location Based on Measurements From Impedance Relays at the Line Ends", Development in Power System Protection, Eighth Con, pp.176-179, 5-8 April 2004.
- [2] J. Izykowski, R. Kawecki, E. Rosolowski, and M.M. Saha, "Locating Faults in Parallel Transmission Lines Under Availability of Complete Measurement at One End ", IEE Proc. Gen. Trans. Dist., Vol. 151, No. 2, pp. 268-273, Mar. 2004.
- [3] S. Hongchun, S. Dajun, G. Yaozhong and C. Xunyun, "A Least Error Squares for Locating Fault on Coupled Double-circuit HV Transmission Line Using One Terminal Data", International Conference on Power System Technology, PowerCon 2002, Vol. 4, pp. 2101-2105, 2002.
- [4] G. Song, J. Suonan, Q. Xu, P. Chen and Y. Ge, "Parallel Transmission Lines Fault Location Algorithm Based on Differential Component Net", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 20, No. 4, pp. 2396-2406, Oct. 2005.
- [5] Davis T.S., et al, "Learning Fuzzy Rule Bases for Fault Location and Diagnosis in Three Phase Power Transmission System," UPEC, pp. 427-431, 1997
- [6] Chen Zh. and Maua J.C., " An Artificial Neural Network Based Real Time Fault Locator for Transmission Lines," International Conference on Neural Network, Vol. 1, pp. 163-168, 1997
- [7] Joorabian M., " A New Approach to Accurate Fault Location on EHV Transmission Lines Based on Combined Fuzzy Logic-Neural Network Architecture," 5th Iranian Conference on Electrical Eng., May 7-9, Vol. 2, pp.2/240-2/247, 1997
- [8] Kanoh H., et al. "A Study on Practical Fault Location System for Power Transmission Line Using Neural Network," Proc. of the Second International Forum on Application of Neural Networks to Power System (ANNPS), pp.9-13m 1993
- [9] Gracia, J., et al. "Best ANN structures for fault location in single-and double-circuit transmission lines," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 20, No. 4, pp.2389 – 2395, Oct. 2005
- [10] Tag El Din El-Seyed., et al. "Fault Location Scheme for Combined Overhead Line With Underground Power Cable," Electric Power Systems Research, Vol. 76, pp.928-935, 2006