

## شبیه‌سازی رله دیستانس با استفاده از شبکه‌های عصبی

محمد فرخی  
farrokhi@iust.ac.ir

محسن نیاستی  
m\_niasati@iust.ac.ir

دانشکده مهندسی برق - دانشگاه علم و صنعت ایران

واژه‌های کلیدی: حفاظت خطوط انتقال، رله دیستانس، شبکه‌های عصبی مصنوعی

تنظیم است، کمتر باشد، رله عمل می‌کند و در غیر این صورت رله عمل نخواهد کرد. چنانچه بین رله و محل وقوع خطا فقط خط انتقال وجود داشته باشد (حفاظت خط انتقال) امیدانس خط با طول خط متناسب خواهد بود. هرگاه به هر علتی رابطه بین فاصله محل خطا از رله و امیدانس دیده شده توسط رله از بین برود، رله دیستانس عملکرد نادرست خواهد داشت. عوامل زیادی وجود دارند که باعث افزایش یا کاهش امیدانس محاسبه شده توسط رله دیستانس از مقدار واقعی آن می‌شوند که مهمترین این عوامل عبارتند از [۱] و [۲]:

- ۱- عدم جبران‌سازی مؤلفه صفر در خطای اتصال کوتاه به زمین
- ۲- اثر تغذیه داخلی
- ۳- اثر تزویج متقابل بین خطوط موازی
- ۴- مقاومت جرقه در محل اتصالی
- ۵- نوسانات بار سیستم
- ۶- زاویه شروع خطا (FIA)

در زیر هر یک از عوامل مذکور مختصراً شرح داده می‌شود.

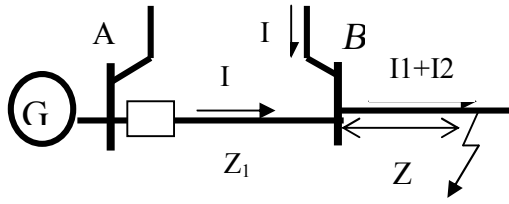
### عدم جبران‌سازی مؤلفه صفر در خطای اتصال کوتاه به زمین

در اتصال کوتاه فاز به زمین در صورتی که جبران‌سازی مؤلفه صفر صورت نگیرد، امیدانس دیده شده توسط رله برابر خواهد بود با [۲]:

**چکیده:** از رله‌های دیستانس برای حفاظت خطوط انتقال نیرو، که بر اساس ستینگهای ثابت قابل تنظیم‌اند، استفاده می‌شود. اما معمولاً وسعت ناحیه عملکرد این رله‌ها با تغییر شرایط شبکه (توپولوژی شبکه، مقدار بار، مقدار تولید و...) تغییر می‌کند و باعث عملکرد نادرست رله می‌شود. با استفاده از روش‌هایی که قابلیت پردازش اطلاعات و تشخیص الگو را داشته باشند مثل استفاده از ریز پردازنده‌ها و الگوریتم‌های هوشمند می‌توان رله‌های جدیدی بکار گرفت که از دقت بالایی برخوردارند و در نتیجه به حفاظت خوبی دست یافت. در این مقاله یک رله دیستانس بوسیله شبکه عصبی شبیه‌سازی می‌شود و ملاحظه می‌شود که رله عصبی از دقت بالایی نسبت به رله معمولی برخوردار است و می‌تواند علاوه بر تشخیص خطا و محل و نوع و فاز خطا می‌تواند حفاظت همزمان سه فاز را انجام دهد. در نتیجه با بکارگیری رله عصبی می‌توان تعداد رله‌های خط را کاهش داد. برای شبیه‌سازی رله دیستانس از شبکه عصبی MLP استفاده می‌شود.

### ۱- مقدمه

خطوط انتقال نیرو اغلب بوسیله رله‌های دیستانس (فاصله یاب) در برابر وقوع اتصال کوتاه حفاظت می‌شوند. ایده اساسی در حفاظت دیستانس، اندازه‌گیری امیدانس خط از محل نصب رله تا محل وقوع خطا می‌باشد. اگر امیدانس دیده شده توسط رله از مقدار معینی مانند  $Z_T$ ، که قابل



شکل ۱: اثر تغذیه داخلی

### اثر تزویج متقابل بین خطوط موازی

به علت اثر تزویج متقابل توالی صفر در مدارهای چند خطه (موازی)،  $Z_f$  محاسبه شده توسط رله دیستانس با مقدار واقعی خط متفاوت می باشد. اگر در یک خط تک مداره خطای اتصال کوتاه تکفاز به زمین رخ دهد مقدار  $Z_f$  بصورت رابطه ۲ بدست می آید، اما در صورت وقوع خطای اتصال کوتاه تکفاز به زمین در خط دو مداره یا چند مداره، مقدار امپدانس دیده شده به وسیله رله برابر خواهد بود با [۲]:

$$Z_f = \left[ 1 + \frac{\frac{Z_{m0} * I_{H0}}{Z_1} * \frac{I_{G0}}{I_{G1} + \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1}}}{I_{G0}} \right] * Z_r = \alpha Z_r \quad (4)$$

$Z_{m0}$ : امپدانس توالی صفر ناشی از تزویج متقابل بین خطوط موازی

$I_{G0}$ ،  $I_{Ga}$ : جریان توالی صفر و جریان خطا در خط اتصال کوتاه شده

$I_{H0}$ : جریان توالی صفر در خط موازی

$\alpha$ : نسبت امپدانس محاسبه شده توسط رله به امپدانس طراحی شده در نقطه خطا

همانطور که در رابطه ۴ ملاحظه می شود وقتی  $\alpha > 1$  باشد (خطوط موازی در مدار باشند) رله Under Reach می شود و وقتی  $\alpha < 1$  باشد (خطوط موازی از مدار خارج شده باشند) رله Over Reach

$$Z_f = \frac{V_a}{I_a + \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} I_0} \quad (1)$$

$$Z_f = \frac{V_a}{I_a} = \left[ 1 + \frac{Z_0 - Z_1}{3 * Z_1} \right] Z_r \quad (2)$$

$Z_0, Z_1$ : امپدانس توالی صفر و مثبت خط  
 $Z_r$ : امپدانس واقعی خط بین رله و نقطه اتصال کوتاه

$Z_f$ : امپدانس محاسبه شده بوسیله رله دیستانس

$V_a, I_a$ : ولتاژ و جریان فاز a در لحظه خطا

$I_0$ : جریان توالی صفر عبوری از فاز a در

لحظه خطا

همان طور که در رابطه ۲ مشاهده می شود، مقدار  $Z_f$  افزایش یافته و ممکن است ناحیه حفاظتی رله را تغییر دهد و خطای رخ داده در ناحیه پایتتر را در ناحیه بالاتر ببیند در نتیجه رله دیرتر عمل کند و یا اصلاً عمل نکند.

### اثر تغذیه داخلی

تغذیه داخلی یکی از مهمترین عواملی است که بر مقدار امپدانس خطا تاثیر می گذارد و باعث Under Reach شدن و یا Over Reach شدن رله دیستانس می شود. اگر تغذیه داخلی در سیستم انتقال وجود داشته باشد مقدار امپدانس دیده شده توسط رله مطابق شکل ۱ برابر خواهد بود با:

$$Z_f = Z_1 + \left[ 1 + \frac{I_2}{I_1} \right] * Z_2 \quad (3)$$

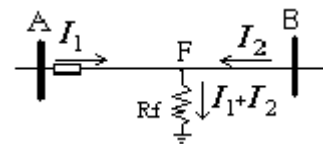
با توجه به شکل ۱ ملاحظه می شود که  $Z_f$  به مقدار نسبت  $I_2/I_1$  نیز بستگی دارد. اگر  $I_2$  برابر صفر شود (تغذیه داخلی وجود نداشته باشد)، مقدار  $Z_f$  با مقدار واقعی امپدانس خط برابر می شود، در غیر این صورت مقدار  $Z_f$  وابسته به جریان  $I_2$  خواهد بود و این تغییرات  $Z_f$  می تواند ناحیه حفاظتی رله را تغییر دهد.

می شود. فقط وقتی که  $\alpha = 1$  باشد رله درست عمل می کند. در عمل، خطای رله تمایل به تریپ دادن رله می باشد.

### مقاومت جرعه در محل خطا

به هنگام محاسبه اتصال کوتاه معمولاً از مقاومت جرعه صرف نظر می شود (مخصوصاً در خطوط بلند) و رله بر اساس امپدانس های سیستم تنظیم می گردد. اما در عمل امپدانس که رله می بیند شامل مقاومت جرعه نیز می باشد و چنانچه این مقاومت در مقایسه با امپدانس خط قابل توجه باشد باعث افزایش  $Z_f$  می شود. با توجه به شکل ۲

$$Z_f = Z_{AF} + \left[1 + \frac{I_2}{I_1}\right] * R_f \quad (5)$$



شکل ۲

با توجه به رابطه ۵ مشاهده می شود که امپدانس  $Z_f$  به اندازه مقاومت  $R_f$  بستگی دارد.

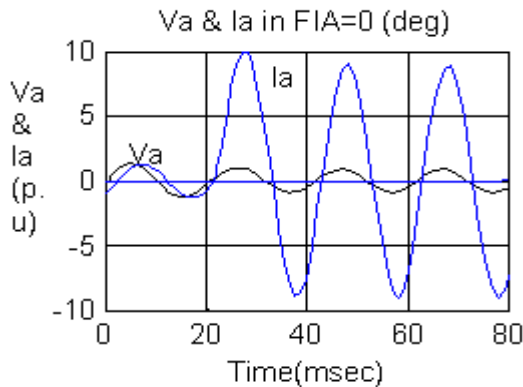
### نوسانات بار (Power Swing)

رله دیستانس نباید در اثر نوسانات قدرت (بار) عمل کند. تغییرات ولتاژ و جریان خطوط در پدیده نوسانات قدرت نسبت به پدیده اتصال کوتاه کمتر و آرامتر می باشد که از این خاصیت می توان استفاده کرد و به وسیله شبکه عصبی این دو پدیده را از هم تشخیص داد و مانع عملکرد نادرست رله شد.

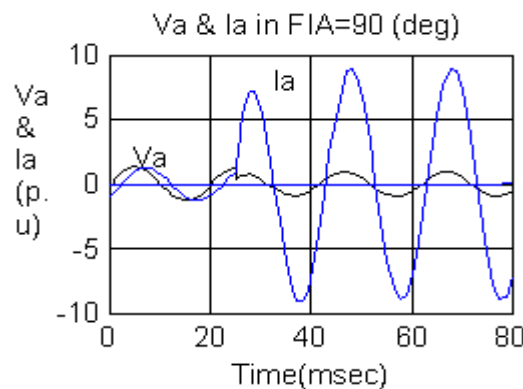
### زاویه شروع خطا (Fault Inception Angle)

یکی دیگر از عواملی که بر عملکرد رله تأثیر می گذارد، زاویه شروع خطا (FIA) می باشد که بر

مقدار ولتاژ و جریان رله تأثیر می گذارد و بدترین حالت وقتی است که خطا در لحظه ای که ولتاژ صفر است رخ دهد که در این صورت مقدار مؤلفه DC ماکزیمم می شود و در نتیجه مقدار  $Z_f$  محاسبه شده توسط رله نادرست خواهد بود [۱] و [۲] و [۳]. در شکل ۱-۳ و ۲-۳ تأثیر زاویه شروع خطا بر مقدار جریان و ولتاژ فاز a (رله) مشاهده می شود.



شکل ۱-۳

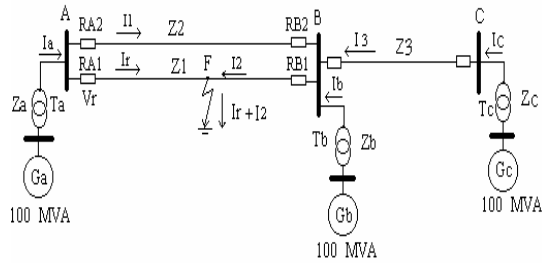


شکل ۲-۳

### ۲- دیاگرام تک خطی سیستم قدرت

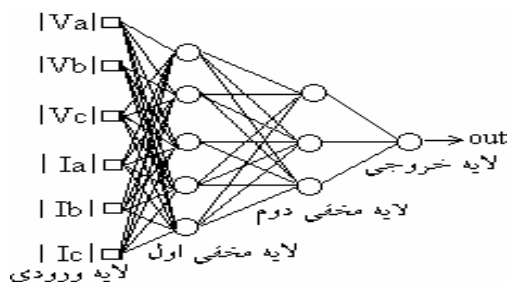
داده های استفاده شده برای تعلیم و تست شبکه های عصبی، از شبیه سازی یک خط انتقال دو مداره ۲۳۰KV مطابق شکل ۴ و به کمک نرم افزار معروف به محاسبه کننده خطا (Fault Calculator) به دست آمده است این نرم افزار قادر به محاسبه جریان ها و ولتاژهای سه فاز نقاط مختلف خطوط انتقال می باشد. در جمع آوری

داده شده است. شکل ۶ توپولوژی کلی رله عصبی را که شامل ۸ شبکه عصبی پرسپترون چند لایه مطابق شکل ۵ می باشد را نشان می دهد.

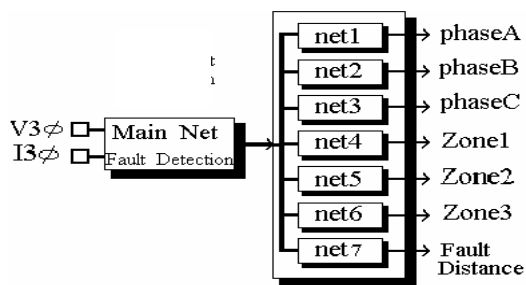


شکل ۶

- Ga: 100MVA, 25KV,  $x_0=/.5, x_1=/.2, x_n=/.3$  p.u  
 T1: 25/230KV, Y/Y,  $x_0=/.3, x_n=0$  p.u  
 Gb: 100MVA, 13.8KV,  $x_0=/.5, x_1=/.2, x_n=/.3$  p.u  
 T2: 13.8/230KV D/Y,  $x_0=/.5, x_n=0$  p.u  
 Gc: 100MVA, 13.8KV,  $x_0=/.5, x_1=/.2, x_n=/.3$  p.u  
 T3: 13.8/230KV, D/Y,  $x_0=/.5, x_n=0$  p.u  
 Z1=Z2: L1=L2=100Km,  $x_0=/.3, x_1=/.1$  p.u  
 Z3: L3=100Km,  $x_0=/.6, x_1=/.2$  p.u



شکل ۵



شکل ۶

داده ها سعی شده است که تمام حالت های موجود در هنگام وقوع اتصال کوتاه در عمل، اعم از انواع خطاها (سه فاز، دو فاز، دو فاز به زمین، و تک فاز به زمین)، اثر متقابل خطوط موازی، اثر مؤلفه صفر، اثر تغذیه داخلی، اثر مقاومت جرقه، اثر نوسانات بار، و اثر زاویه شروع خطا در نظر گرفته شود. سیستم انتقال مذکور تمام مواردی که ذکر شده را شامل می شود و در مقایسه با خط انتقال تک مداره و بدون تغذیه داخلی در مراجع [۱] و [۲]، کاملتر و جامعتر می باشد. برای جمع آوری اطلاعات خطاها، در نقاط مختلف از طول خط انواع خطاها را بوجود آورده و اطلاعات جریانها و ولتاژهای خط در محل رله ثبت شد. در مجموع حدود ۶۰۰۰ داده ورودی که شامل ولتاژها و جریانهای سه فاز خط انتقال بود بدست آمده و رله عصبی با این مجموعه داده ها آزمایش خواهد شد.

### ۳- شبکه های عصبی مصنوعی

ساختار شبکه های عصبی مصنوعی از مغز انسان الهام گرفته شده است که دارای قابلیت یادگیری و حل مسائل پیچیده و غیر خطی و مسائلی، که دارای الگوریتم خاصی نیستند ولی اطلاعات مفید و مهمی از آنها در دست است، می باشند [۵]. یکی از این مسائل، مسأله حفاظت خطوط انتقال است که در بخش های قبلی به طور مختصر ذکر شد. مسأله دیگری که در مورد حفاظت خطوط باید گفته شود این است که کلاسه بندی کننده های خطا (Fault\_Classifiers) عموماً بر اساس الگوریتم های خطی یا روش های مقایسه ای منطقی عمل می کنند. لذا برای مسائل غیر خطی و پیچیده چندان مناسب نیستند [۴]. از طرف دیگر می توان از روش های هوشمند برای حل این مسائل استفاده کرد. در شبیه سازی انجام شده از شبکه های عصبی پرسپرون چند لایه (MLP) با الگوریتم تعلیم پس-انتشار خطا، که قابلیت زیادی در کلاسه بندی الگوها دارد [۳] و [۵]، استفاده شده است. یک نمونه از توپولوژی این شبکه در شکل ۵ نشان

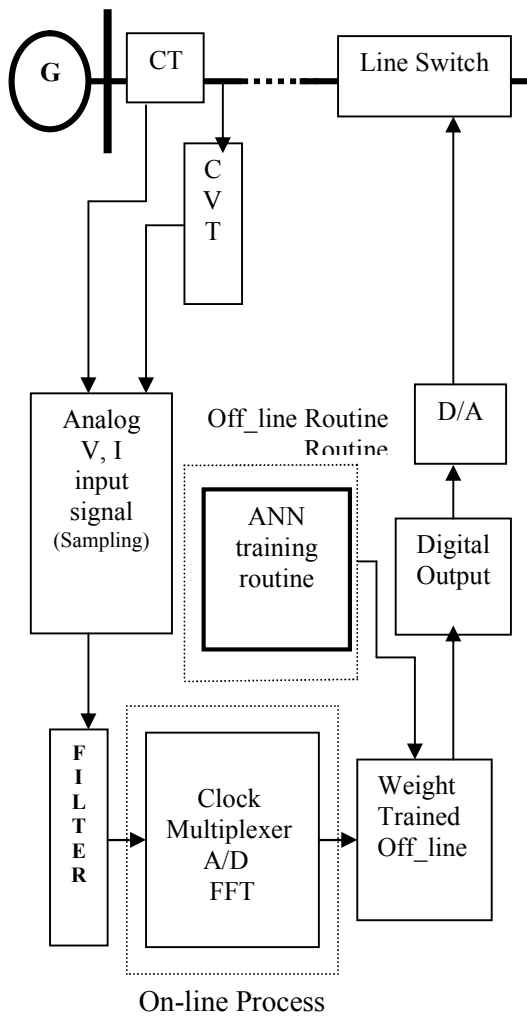
#### ۴- بلوک دیاگرام و فلو چارت رله دیستانس عصبی

سیگنالهای ولتاژ و جریان خط از خروجی PT ها و CT ها گرفته شده و از یک فیلتر پایین گذر عبور داده می‌شوند تا فقط مؤلفه اصلی آنها بدست آید و سپس مطابق بلوک دیاگرام ارائه شده در شکل ۷ پردازش اولیه روی آنها صورت می‌گیرد تا داده آماده تغذیه به شبکه عصبی بشود. شبکه فقط برای یک بار تعلیم دیده و به صورت Off\_Line در سیستم می‌باشد و به ازای هر ورودی که بگیرد خروجی متناظر را محاسبه می‌کند [۱]. مدت زمانی که لازم است تا شبکه بعد از تعلیم، یک داده را از ورودی خود بخواند و جواب بدهد بستگی به سرعت پردازش دارد. این کار با کامپیوتر پنتیوم III (550MHz) حدود ۲ میکرو ثانیه طول می‌کشد و از آنجا که تبدیل‌هایی چون فیلتر کردن و تبدیل A/D و تبدیل فوریه محاسبات نسبتاً سریعی دارند در نتیجه با کامپیوتر مذکور کل زمانی که طول می‌کشد (از وقتی که یک داده از خط خوانده شود تا وقتی که شبکه‌های عصبی خروجی مطلوب را بدهند) حدوداً ۲ میلی ثانیه (۰/۱ سیکل) باشد؛ بنابراین می‌توان زمان نمونه برداری از سیگنالهای ولتاژ و جریان خط را حدود ۲/۵ میلی ثانیه انتخاب کرد و حفاظت نسبتاً خوبی از سیستم در مقایسه با سرعت عملکرد رله‌های معمولی داشت. بلوک دیاگرام و فلوچارت رله عصبی در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است.

#### ۵- روند تعلیم و نتایج تست رله عصبی

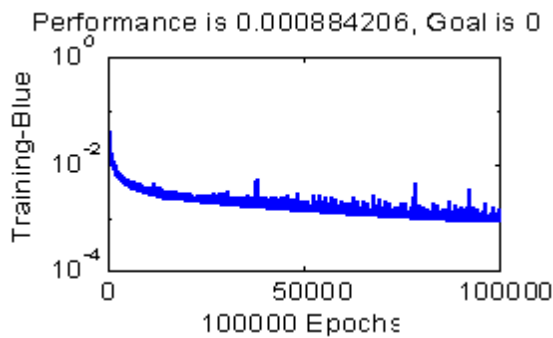
برای شبیه سازی رله عصبی از جعبه ابزار شبکه عصبی نرم افزار مطلب ۵/۳ استفاده شده است. برای تعلیم و تست شبکه‌های عصبی از ۶۰۰۰ نمونه مختلف خطا که از شبیه سازی مدار شکل ۴ بدست آمده استفاده شده است. هر ۸ شبکه عصبی موجود در شکل ۶، با توپولوژی نشان داده شده در شکل ۵ تعلیم داده شده‌اند. از آنجا که شبکه اصلی (Main Net) وظیفه تشخیص و

آشکارسازی وقوع خطا در خط را دارد و کار شبکه‌های دیگر بعد از تشخیص وجود خطا توسط این شبکه شروع می‌شود، تعلیم این شبکه از اهمیت بیشتری برخوردار است. در اینجا این شبکه با ۱۰۰ هزار بار دوره تعلیم و با میانگین مجموع مربعات خطای ۰/۰۰۰۸۸۴ آموزش دیده است. شبکه تعیین کننده فاصله محل خطا از محل رله (Net7) با ۷۰ هزار دوره تعلیم و بقیه شبکه‌ها هر کدام با ۶۰ هزار دوره تعلیم آموزش دیده‌اند.

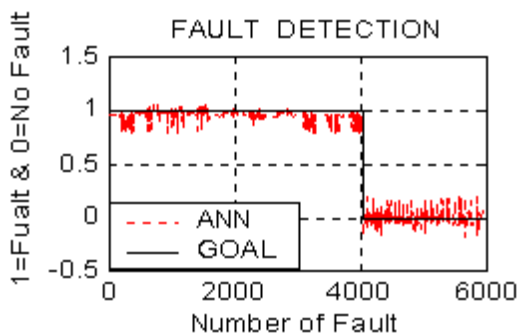


شکل ۷

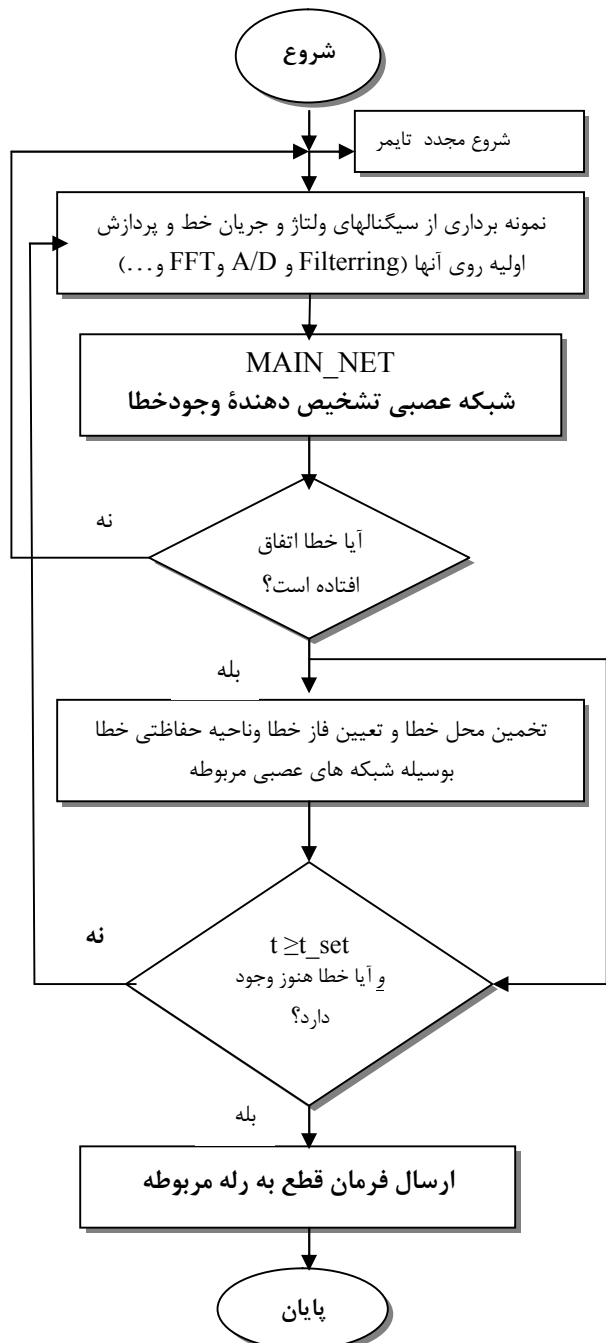
ساختار استفاده شده برای شبکه‌های عصبی بعد از آزمایش چندین شبکه با توپولوژی‌های مختلف بدست آمده است. با توجه به این که تعداد داده‌ها (نمونه‌ها) خیلی زیاد است (بعلت پوشش دادن کل حالت‌های ممکن در خطای اتصال کوتاه) و به صورت الگوهای شش تایی (6x6) است شبکه RBF زمان خیلی زیادی برای تعلیم هر کدام از شبکه‌ها نیاز دارد (حدود چند روز) و دقت لازم پس از تعلیم را نیز کسب نمی‌کنند. همچنین احتیاج به کامپیوتری با حافظه و سرعت بالاتر نیز داشت. استفاده از شبکه MLP در این شبیه سازی بعلت توانایی زیاد این شبکه در کلاسه بندی و تشخیص الگو و در نتیجه کارایی بهتر آن نسبت به سایر شبکه‌های عصبی در کاربرد مورد نظر در این مقاله است



شکل ۹-الف

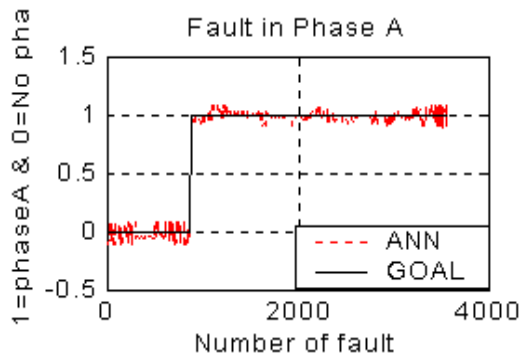


شکل ۹-ب

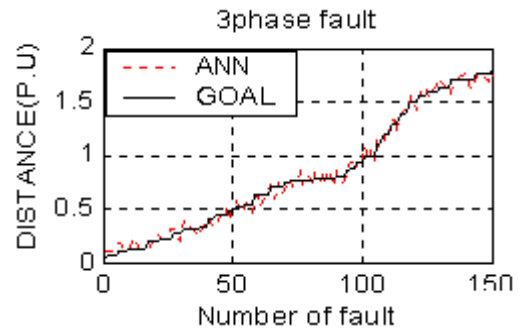


شکل ۱

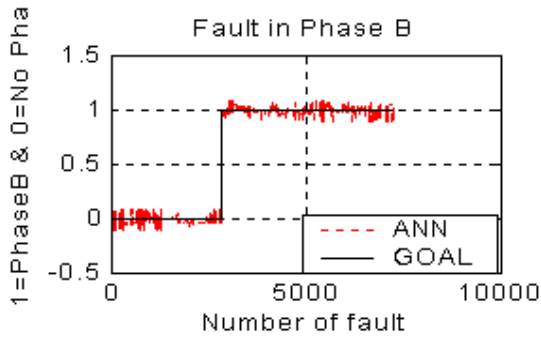
نتایج آموزش و تست هرکدام از شبکه‌ها در شکل‌های ۹-الف تا ۹-ر نشان داده شده است. جواب شبکه‌ها به کل داده‌های آزمایش در محدوده قابل قبولی می‌باشد و می‌توان با افزایش تعداد دوره‌های تعلیم و یا با افزایش تعداد لایه‌ها یا سلول‌های مخفی، دقت شبکه را بیشتر کرد.



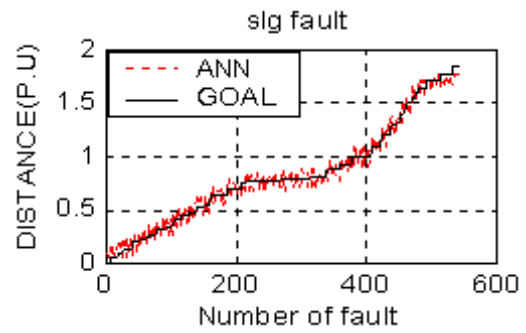
شکل ۹-ج



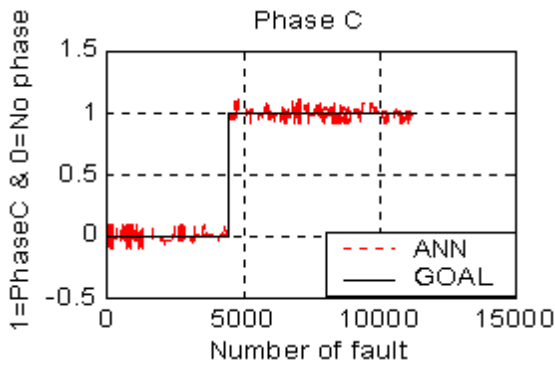
شکل ۹-پ



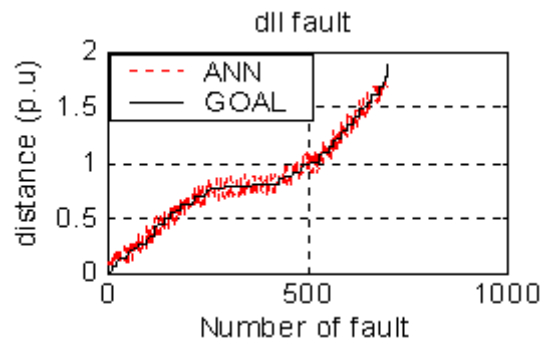
شکل ۹-ح



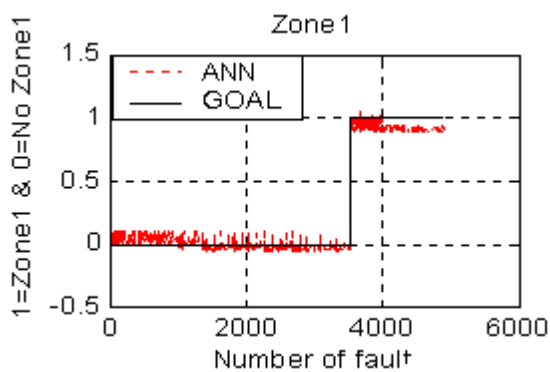
شکل ۹-ت



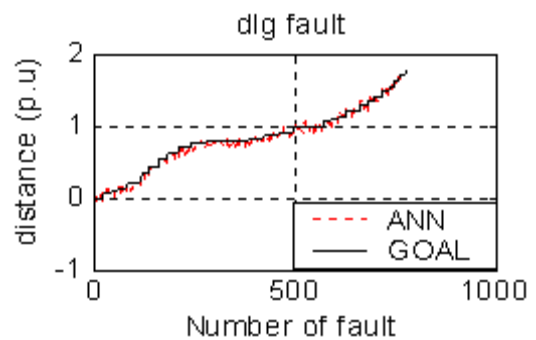
شکل ۹-خ



شکل ۹-ث

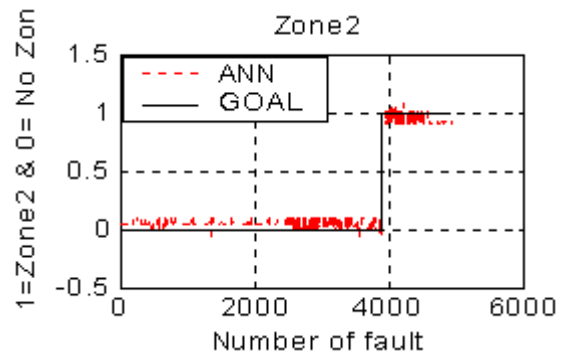


شکل ۹-د

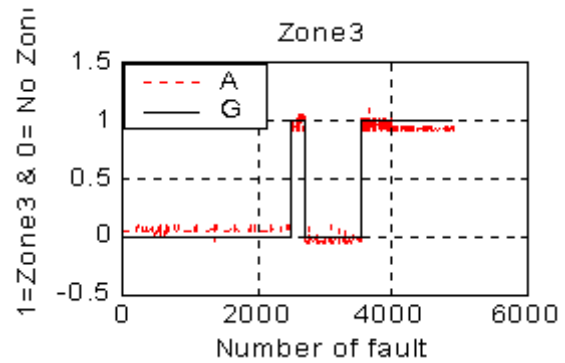


شکل ۹-ج

شکل (۹-الف) منحنی تعلیم شبکه عصبی اصلی (Main Net) را نشان می‌دهد که با ۱۰۰ هزار بار تکرار به میانگین مجذور خطای کمتر از ۰/۰۰۰۹ رسیده است. شکل‌های (۹-ب) تا (۹-ر) نمودارهای توأم پاسخ تست شبکه‌ها و پاسخ مطلوب را نشان می‌دهند. با توجه به شکل‌ها می‌توان دید که رله عصبی از دقت عملکرد بالایی بخصوص در تشخیص وجود خطا و تعیین نوع فاز و ناحیه حفاظتی خطا برخوردار است. خطاهای موجود در نتایج تست شبکه‌ها در حد قابل قبول می‌باشند. آنچه که خیلی مهم است این است که رله عصبی از کمترین اشتباه برخوردار است و از اشتباهات رله دیستانس معمولی بدور است. جدول ۱ تعدادی از خروجی‌های شبکه و خروجی‌های مطلوب را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که رله در تشخیص خطا از دقت بالایی برخوردار است.



شکل ۹-د



شکل ۹-ر

جدول ۱ -  $G2:100MVA$ ,  $FIA= 30$  (deg),  $Load\ Angle= 15$  (deg),  $R_f= 10\ Ohm$ , Parallel Lines

خروجی واقعی							خروجی شبکه (رله عصبی)								
Main Net	Net 7	Net 1	Net 2	Net 3	Net 4	Net 5	Net 6	Fault Detection	Fault Location	Phase A	Phase B	Phase C	Zone 1	Zone 2	Zone 3
.0192	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-
.0097	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-
.0145	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-
.9432	.7832	.0613	.9098	.9312	.9147	.0567	.0562	1	.78	0	1	1	1	0	0
.9568	.3243	.9457	1.071	1.016	.9362	.0163	.0475	1	.33	1	1	1	1	0	0
.9561	.7029	1.022	.0422	-.041	.9418	.0125	.0456	1	.7	1	0	0	1	0	0
.9689	.8187	1.022	.0398	-.041	-.022	.9337	.0887	1	.81	1	0	0	0	1	0
.9833	.4734	-.094	.9968	.0175	.9164	.0339	.0496	1	.48	0	1	0	1	0	0
.9540	.7076	-.039	.0033	1.064	.9383	.0133	.0483	1	.7	0	0	1	1	0	0
.9764	1.304	.9909	1.032	.0098	.0592	.9667	.0926	1	1.3	1	1	0	0	1	0
.9550	.7983	.9733	-.027	1.016	.9350	.0198	.0453	1	.79	1	0	1	1	0	0
.9566	.8188	.9550	.0198	.9813	-.027	.9219	.0492	1	.81	1	0	1	0	1	0
.9429	1.513	.9362	.9348	.0175	-.001	-.017	1.018	1	1.51	1	1	0	0	0	1
.9337	1.661	.0025	.0023	.9873	.0025	.019	1.009	1	1.65	0	0	1	0	0	1
.9322	.0043	.9939	.9811	.9897	.0186	.9228	.0496	1	.0005	1	1	1	0	1	0



## ۶- نتیجه گیری

در این مقاله اساس کار رله دیستانس معمولی و عواملی که باعث عملکرد نادرست آن می شود بررسی شد و ملاحظه گردید که این نوع رله ها عملاً دچار مشکل می شوند و بعضاً عملکرد نادرستی از خود در موقع وقوع خطا نشان می دهند. برای بهبود عملکرد رله و حفاظت بهتر خطوط انتقال از شبکه های عصبی مصنوعی استفاده شد و یک رله دیستانس عصبی پیشنهاد گردید. برای بدست آوردن اطلاعات اولیه برای تعلیم رله عصبی، یک سیستم انتقال دو مداره مورد بررسی و آزمایش قرار گرفته است و انواع خطاهای ممکن بررسی شده است. رله فوق با شبکه های عصبی MLP شبیه سازی شد و نتایج حاصل از آن نشان داد که رله عصبی نسبت به رله های معمولی از دقت عملکرد بالایی برخوردار است. این رله دارای قابلیت تشخیص وجود خطا و تعیین فاصله محل خطا از رله و نوع فاز (نوع خطا) و نیز تعیین ناحیه حفاظتی مناسب می باشد. همچنین قابلیت حفاظت همزمان هر سه فاز خط انتقال را دارد در نتیجه یک رله عصبی می تواند کار سه رله دیستانس معمولی را بطور همزمان انجام دهد. دیده شد که با استفاده از رله های عصبی

## ۷- سپاسگزاری

در پایان از زحمات آقای مهندس سیف ... سلیمانی و خانم مهندس معصومه نیاستی که ما را در تهیه این مقاله یاری کردند تشکر و قدردانی می شود.

می توان خطوط انتقال و تجهیزات مشابه سیستم قدرت را با دقت بالاتری در مقابل اتصال کوتاه و پدیده های مشابه حفاظت کرد.

## ۸- فهرست مراجع

- [1] D.V.Coury and D.C.Jorge, "Artificial Neural Network Approach to Distance Protection of Transmission Lines", IEEE Transactions of Power Delivery, vol.13, no.1, January 1998, pp.102-108 .
- [2] A.G.Jongepier and L.van der Sluis, "Adaptive Distance Protection of Double Circuit Lines Using Artificial Neural Network", IEEE Transactions of Power Delivery, vol.12, no.1, January 1999 pp.97-105 .
- [3] J.A.S.B.Jayasinghe, R.K. Aggarwal, A.T.Johns and J.Downes, "A New Approach to Condition Monitoring of High Voltage Overhead Lines Using Neural Networks", IEE Conference Publication no.467, August 1999, pp.1.33.S3-1.36.S3.
- [4] K.R.Cho and et al "An ANN Approach to Improve the Speed of Differential Equation Based Distance Relaying Algorithm", IEEE Transactions of Power Delivery, vol.14, no.2, April 1999, pp.349-355.
- [5] Raj Aggarwal and youghua Song, "Artificial Neural Networks in Power Systems", IEE Power Engineering Journal, December 1998, Part 3, pp.279-287 .