

الگوریتمی ترکیبی بر پایه سیستم های استنتاج فازی-تطبیقی (ANFIS) جهت تشخیص زود هنگام عیوب ترانسفورماتور قدرت

جواد ساده^(۱) مرتضی رجیبی^(۲)

۱- گروه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گناباد

۲- گروه برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

E-mail: sadeh@um.ac.ir mrajabi@iaugonabad.ac.ir

چکیده: یکی از روشهای مهم تشخیص زود هنگام خطاهای ترانسفورماتورهای قدرت، تحلیل گازهای محلول در روغن می باشد. در این مقاله یک سیستم ترکیبی جهت تشخیص زود هنگام خطاهای ترانسفورماتور قدرت ارائه شده است. در روش پیشنهادی تشخیص خطا به وسیله ترکیبی از شبکه های *ANFIS* طراحی شده به کمک استانداردهای مختلف موجود در زمینه تحلیل گازهای محلول در روغن انجام می شود. شبکه های *ANFIS* مورد نظر با داده های تولید شده به صورت تصادفی، آموزش دیده و با داده های واقعی تست شده اند. در روش ارائه شده از ارزش دهی به نتایج تشخیصی روشها جهت در نظر گرفتن نقاط ضعف و قوت آنها استفاده شده است. ارزیابی انجام شده نشان دهنده راندمان بالای روش پیشنهادی در تشخیص صحیح خطاهای ترانسفورماتور قدرت است.

واژه های کلیدی: حفاظت ترانسفورماتورهای قدرت، تشخیص زود هنگام عیوب، تحلیل گازهای محلول در روغن، سیستم استنتاج فازی-تطبیقی.

۱- مقدمه

استیلن (C_2H_2) می شود و تجزیه عایق جامد (سلولز) تولید منواکسید کربن (CO) و دی اکسید کربن (CO_2) می نماید. با کمک DGA^1 مقدار هر یک از گازهای حل شده در روغن محاسبه و تعیین می گردد. با مشخص کردن مقدار تک تک این گازها و یا نسبت آنها و مقایسه این مقادیر با جداول موجود می توان عیب ترانسفورماتور را تشخیص داد. خطاهای ترانسفورماتور قدرت را می توان به دو گروه تقسیم کرد:

یکی از وسایل مهم و حساس در توزیع و انتقال انرژی، ترانسفورماتورها می باشند که به خاطر نقش کلیدی در چرخه تولید تا مصرف و نیز قیمت بالا آنها نظارت دقیق و مستمری را طلب میکنند.

به وجود آمدن گاز در دستگاههای الکتریکی حاوی روغن (خصوصاً ترانسفورماتورها) بر اثر بروز اتصال کوتاه یا شرایط غیر عادی پدیده ای است که از سالها پیش شناخته شده است. در اثر تنش های حرارتی و الکتریکی ناشی از اتصال کوتاه، روغن و عایق کاغذی (سلولز)، عایق شروع به تجزیه و تصعید گاز می نماید. تجزیه روغن عایق سبب ایجاد گازهای هیدروژن (H_2)، متان (CH_4)، اتان (C_2H_6)، اتیلن (C_2H_4).

¹) Dissolved Gas Analysis

الف) عیوب الکتریکی که شامل تخلیه جزئی (Partial Discharge) و تخلیه الکتریکی (Electric Discharge) می باشد.

ب) عیوب حرارتی که شامل خطاهای با حرارت‌های مختلف می باشد.

روشها و استانداردهای متنوعی نظیر IEC, IEEE, Rogers, Dornenburg, NBR7274, Duval و روش گاز کلیدی جهت تفسیر نتایج آزمایش DGA وجود دارند. در روش گاز کلیدی تشخیص خطا بر مبنای مقدار تک تک گازها می باشد و در دیگر روش ها از نسبت این گازها استفاده می شود. در ذیل استاندارد IEC599 که از مشهورترین این روش ها می باشد به عنوان نمونه توضیح داده شده است. قابل ذکر است که جدول تشخیص عیب دیگر روش ها تنها در نوع نسبت گازهای ورودی و حدود آنها و نوع عیب تشخیصی تفاوت دارند.

استاندارد IEC599: [1]

این روش بر اساس مقدار پنج گاز که سه نسبت $R_1=C_2H_2/C_2H_4$, $R_2=CH_4/H_2$, $R_3=C_2H_4/C_2H_6$ را به وجود می آورد طراحی شده است. این روش یکی از معتبرترین روشها در زمینه تحلیل گازهای محلول در روغن ترانسفورماتور می باشد. در جدول (۱) کدهای مربوط به هر یک از نسبتهای گاز و نیز روش تشخیص خطا آمده است. با توجه به این جدول مشخص می شود که علاوه بر تشخیص حالت نرمال (سالم بودن ترانسفورماتور) شش حالت مختلف خطا نیز قابل تشخیص است.

جدول (۱) روش تشخیص عیب به روش IEC599

Codes of range ratios		Ratios of characteristic gases		
		R ₁	R ₂	R ₃
<0.1		0	1	0
0.1-1.0		1	0	0
1.0-3.0		1	2	1
> 3.0		2	2	2
fault Code	characteristic fault type	Related Code		
0	No Fault	0	0	0
1	Low temp. thermal fault < 150	0	0	1
2	Low temp. thermal fault < 300	0	2	0
3	Medium temp. thermal fault 300-700C	0	2	1
4	High temp. thermal fault > 700C	0	2	2
5	Low energy partial discharges	0	1	0
6	High energy partial discharges	1	1	0

استفاده از این روشها مشکلاتی چون قرار گرفتن بعضی مقادیر در نقاط مرزی و در نتیجه عدم تشخیص خطا، تناقض بین پاسخهای روشهای مختلف و ... را دارند.

استفاده از شبکه های عصبی و منطق فازی توانسته تا حدودی باعث بهبود روشهای تشخیص شود. اما مشکلات خاص هر کدام از این تکنیکها از جمله برای شبکه عصبی تعیین توپولوژی بهینه شبکه و برای منطق فازی تعیین توابع عضویت و پایگاه قواعد و از طرفی مزیت‌های بالای هر کدام از این روشها باعث شده است تا به دنبال روش مناسب تری جهت تشخیص زود هنگام عیوب ترانسفورماتورهای قدرت باشیم.

ترکیب هوشمندانه شبکه های عصبی و منطق فازی می تواند کارایی بیشتری نسبت به استفاده مجزای آنها داشته باشد. تلفیق شفافیت جریان اطلاعات سیستمهای فازی با قدرت آموزش شبکه های عصبی سیستمهای عصبی_فازی را به ارمغان می آورد.

۲- مروری بر پژوهشهای انجام شده :

بررسی مقالات نشان می دهد که از سه روش هوش محاسباتی برای تحلیل نتایج DGA استفاده شده است. این سه روش عبارتند از سیستمهای خبره، شبکه های عصبی مصنوعی و منطق فازی. در ذیل به بررسی برخی از پژوهشهایی که تاکنون انجام گرفته و مقالات منتشره پرداخته خواهد شد:

در [2] نخست از یک روش قاعده مبنا برای تشخیص خطا استفاده شده است. سپس با انجام برخی اصلاحات در استاندارد IEC599 و همچنین استخراج چند قاعده ویژه برای "اضافه دما"، "اضافه دمای روغن"، "اضافه دمای کاغذ"، "تخریب کاغذ" و "حالت نرمال" بر اساس ۲۰۰ نمونه گازی یک سیستم تشکیل شده است که بر اساس چهار نسبت گازی C_2H_2/C_2H_4 , CH_4/H_2 , C_2H_6/C_2H_2 , C_2H_2/CH_4 همچنین با بررسی کاملی روی ابعاد شبکه عصبی و همچنین در نظر گرفتن یک مجموعه ۲۰۰ تایی برای آموزش شبکه عصبی، ساختار بهینه ای برای شبکه عصبی پیشنهاد شده است. در [3] از روش آماری و یک ساختار شبکه عصبی خاص برای تشخیص و تحلیل DGA استفاده شده است. این روش بر پایه یک شبکه عصبی با تعلیم بدون سرپرست ویژه بنام

"نگاشت خود سازمانده" (SOM¹) بنا شده است. در این مرجع شناسایی خطا به کمک شش روش تفسیر DGA بررسی شده و بین آنها مقایسه ای به عمل آورده است.

در [4] از شبکه عصبی ویولت برای تعیین نوع خطا براساس میزان گازهای محلول استفاده شده و نتایج با کاربرد شبکه های عصبی با آموزش پس انتشار خطا (BP²) مقایسه گردیده است. برای تعلیم شبکه از ۳۰ داده DGA شامل شش گاز CO₂, H₂, CH₄, C₂H₄, C₂H₂ و C₂H₆ استفاده شده است. بعد از تعلیم، ۲۰ نمونه برای تست شبکه عصبی انتخاب شده اند و نتایج مربوط به هر دو شبکه عصبی ویولت و شبکه عصبی با تعلیم BP با یکدیگر مقایسه شده و راندمان بالاتری را برای شبکه عصبی ویولت ذکر کرده است. در [5] دو الگوریتم متفاوت جهت تشخیص خطا در عایق روغنی و عایق سلولزی ارائه شده است. در الگوریتم اول این روش چهار نرخ گازی CH₄/H₂, C₂H₂/C₂H₄, C₂H₆/CH₄ و C₂H₄/C₂H₆ استفاده شده است و پانزده حالت تشخیص در نظر گرفته شده است. متغیرهای حقیقی به چهار متغیر زبانی کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تبدیل شده است. برای توابع عضویت نیز از انواع L و Π و Λ استفاده شده است. در الگوریتم دوم روش، دو گاز CO₂ و CO، متغیرهای ورودی هستند. هدف از الگوریتم دوم تشخیص خطا های عایق سلولز جامد میباشد.

در [6] الگوریتم متفاوتی برای فازی کردن روش IEC-DGA و تلفیق آن با روش گازهای کلیدی آورده شده است. برخلاف سایر مقالات در زمینه DGA فازی که عموماً از تابع عضویت های دوزنقه ای استفاده می کنند در اینجا از تابع عضویت demi-ganchy استفاده شده است. روش پیشنهادی در این مرجع قادر است برای حالت هایی که بیش از یک خطا در ترانس رخ داده است نیز خطاها را تعیین کند. همچنین این روش از سرعت محاسباتی مطلوبی برخوردار است.

در [7] نیز از یک روش تحلیل فازی برای تشخیص خطا استفاده شده است. در این مرجع کدهای مربوط به نسبت های گازی به صورت فازی منظور شده اند. همچنین گازهای کلیدی نیز با سه متغیر زبانی (کم، متوسط و زیاد) بیان شده اند. از یک بانک اطلاعات شامل ۸۰۰ نمونه گازی برای

تنظیم توابع عضویت و قواعد فازی استفاده شده است و سپس نرم افزار حاصل بر روی ۲۰ ترانسفورماتور مورد ارزیابی قرار گرفته است.

به طور کلی مرور مقالات نگارش شده در این زمینه مشخص می نماید که عمدتاً از دو روش منطق فازی و شبکه عصبی جهت تشخیص عیوب ترانسفورماتور استفاده شده است. با توجه به مشکلات این روش ها از جمله تعیین توپولوژی بهینه در شبکه عصبی و نیز تعیین توابع عضویت و پایگاه قواعد در روش منطق فازی باعث شده است که از ترکیب این دو روش که در حقیقت بر طرف کردن معایب آنها و نیز استفاده همزمان از مزایای آنها می باشد جهت تشخیص عیوب ترانسفورماتور استفاده نماییم.

۳- سیستم استنتاج فازی - تطبیقی (ANFIS): [8]

سیستم استنتاج فازی با به کارگیری قواعد "اگر-آنگاه" قادر به مدل سازی کیفی سیستم بر اساس اطلاعات و تجربیات افراد خبره بوده و علاوه بر آن بدون داشتن مدل دقیق ریاضی قادر به انجام فرآیند استدلال (نتیجه گیری) فازی نیز می باشد. اما به دست آوردن پایگاه قواعد و تعیین توابع عضویت از مشکلات این روش به شمار می رود.

بر این اساس جهت غلبه بر این دو مشکل عمده در به کارگیری هر سیستم فازی، از سیستم استنتاج فازی- تطبیقی یا ANFIS استفاده می کنیم. ایده اصلی ANFIS تحقق روند استنتاج فازی به وسیله ساختار یک شبکه عصبی و ساختن پارامترهای استنتاج فازی به وسیله پارامترهای شبکه عصبی است.

ساختار کلی ANFIS در شکل (۱) نشان داده شده است. قوانین به کار رفته در این شبکه مدل فازی مرتبه اول Sugeno هستند. به عنوان مثال:

If x is A₁ and y is B₁ then f₁ = p₁x + q₁y + r₁
If x is A₂ and y is B₂ then f₂ = p₂x + q₂y + r₂
شبکه ANFIS از پنج لایه تشکیل یافته است. گره های موجود در هر لایه توابع فعالیت یکسانی دارند (خروجی گره k در لایه l، به صورت O_{lk} نشان داده شده است).

³) Adaptive network based fuzzy inference system

¹) Self Organization Map

²) Back Propagation

لایه اول: هر گره i در این لایه یک گره تطبیقی با خروجی تعریف شده به صورت زیر است:

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x) \quad i=1,2$$

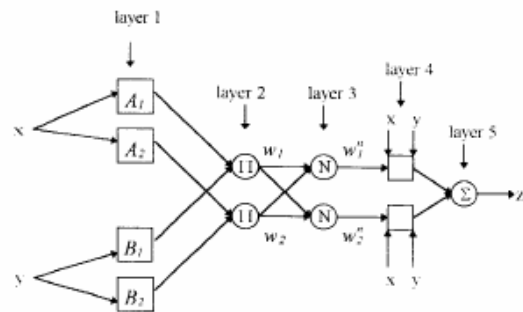
$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(x) \quad i=3,4$$

که در اینجا x (یا y) ورودی به گره، و A_i (یا B_{i-2}) یک مجموعه فازی است. بدین ترتیب می توان گفت که خروجی این لایه در واقع مقادیر توابع عضویت (درجه عضویت) بخش مقدم قواعد است. در اینجا توابع عضویت برای A_i و B_i می تواند هر نوع تابع عضویتی انتخاب شود ولی معمولا در این مطالعات توابع عضویت زنگوله ای و یا گوسی به صورت زیر با مقدار حداکثر یک و مقدار حداقل صفر مورد استفاده قرار می گیرند:

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}}$$

$$\mu_A(x) = e^{-\left(\frac{x-a}{c} \right)^{2b}}$$

در این روابط $\{a,b,c\}$ مجموعه پارامترهای این توابع عضویت است. پارامترهای موجود در لایه اول به نام پارامترهای اولیه نامیده می شوند.



شکل ۱) ساختار ANFIS برای شبکه ای با دو ورودی و یک خروجی

لایه دوم: هر گره در این لایه یک گره ثابت است و بانسانه Π مشخص می شود. این گره سیگنالهای ورودی را به صورت زیر در یکدیگر ضرب کرده و خروجی گره را به وجود می آورد:

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_i}(y) \quad i=1,2$$

خروجی هر گره در این لایه شدت تحریک یک قانون را نمایش می دهد. در حقیقت هر عملگری که AND فازی را

اجرا می کند می تواند به عنوان تابع گره در این لایه استفاده شود.

لایه سوم: هر گره در این لایه یک گره ثابت با نماد N است. i امین گره در این لایه، شدت تحریک i امین قاعده را نسبت به مجموع شدت تحریک کل قوانین تعیین می کند:

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}$$

برای سادگی خروجی این لایه شدت تحریک نرمالیزه شده نامیده می شود.

لایه چهارم: هر گره i در این لایه یک گره تطبیقی با تابع گره ای به صورت زیر است:

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i)$$

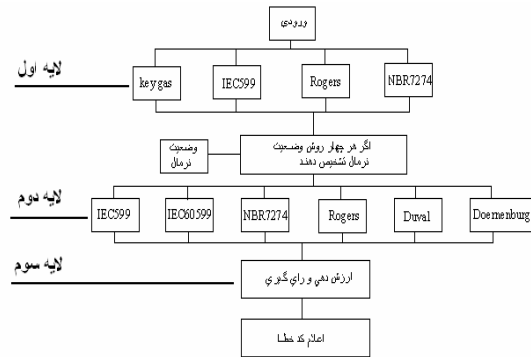
که در این رابطه \bar{w}_i خروجی لایه سوم و $\{p_i, q_i, r_i\}$ مجموعه پارامترهای این لایه هستند. پارامترهای این لایه به عنوان پارامترهای بخش تالی قواعد نامیده می شوند.

لایه پنجم: تنها گره در این لایه یک گره ثابت است که با Σ نشان داده می شود. این گره خروجی کل را به وسیله جمع همه سیگنالهای ورودی محاسبه می کند.

$$O_{5,i} = \text{Overall Output} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}$$

۴- تشریح روش پیشنهادی:

استفاده از روشهای کلاسیک تشخیص عیوب ترانسفورماتور در بعضی نمونه های DGA نتایج متفاوتی را به دنبال دارد و استفاده مجزا از آنها راندمان پایینی را در تشخیص خطا دارد. در روش پیشنهادی ابتدا با استفاده از دسته ای از استانداردهای موجود، شرط نرمال بررسی می شود و سپس با شبکه های هوشمند طراحی شده تشخیص عیب داده می شود.



شکل ۲) فلوجارت تشخیص عیب به روش پیشنهادی

از آنجا که هر کدام از روشها و استانداردها در تشخیص کد خطاهای خاصی ضعف یا قوت دارند با ارزش دهی مناسب و رای گیری، نتیجه نهایی به دست می آید.

فلوجارت تشخیص عیب به روش پیشنهادی در شکل (۲) نشان داده شده است.

در فرآیند آموزش یک شبکه ANFIS اولین قدم تعریف الگوهای ورودی و خروجی است. الگوهای ورودی از مقادیر نمونه های DGA می باشند. ممکن است که این ورودی ها مستقیماً مقادیر به دست آمده از آزمایش DGA باشد (مانند روش گاز کلیدی) و یا اینکه از نسبت آنها با یکدیگر استفاده شود. برای هر الگوی ورودی الگوی خروجی متناظری وجود دارد که نوع خطا را براساس یک معیار و استاندارد خاص بیان می کند .

این الگوها یک مجموعه آموزش شبکه ANFIS را تشکیل می دهند. اگر این الگوها به صورت مناسبی انتخاب شده باشند، شبکه ANFIS در پیش بینی نوع خطا بازدهی بالایی خواهد داشت.

داده های آموزش و تست شبکه :

برای آموزش شبکه ANFIS حدود ۱۱۰ نمونه (به استثنای شرایط نرمال) از داده های استخراجی آزمایشگاه روغن شرکت برق استان خراسان استفاده شد که بعد از اجرای شبیه سازی با شبکه ANFIS، راندمان بسیار پایین بود.

از مهمترین دلایل آن کمبود داده های واقعی به خصوص در بعضی خطاها، تفاوت داده های ترانسفورماتورهای مختلف و عدم اطمینان به نتایج تشخیصی آزمایشگاه روغن می باشد. با توجه به مشکلات بیان شده، تصمیم گرفته شد جهت تامین داده های لازم برای فرآیند آموزش شبکه ANFIS از داده های تصادفی استفاده شود.

به این ترتیب که با توجه به جداول موجود برای هر استاندارد و مرزهای عددی تعیین شده، در محیط MATLAB برای هر کد خطا ۱۰۰ نمونه داده به صورت تصادفی تولید شده و آموزش شبکه بر اساس این داده ها صورت پذیرد.

برای تست واقعی شبکه لازم است از ترانسفورماتورهای معیوب مختلف آزمایش DGA گرفته شود و سپس ترانسفورماتور باز شده و عیب واقعی آن مشخص گردد. باز کردن تک تک ترانسفورماتورهای معیوب لازمه صرف وقت و هزینه هنگفت می باشد. جهت مراحل تست در این مقاله از داده های موجود از مراجع معتبر نظیر IEC TC10 استفاده شده است [9-11] .

قابل ذکر است که در فرآیند آموزش و تست شبکه، داده ها می توانند به صورت غیر نرمالیزه، نرمالیزه خطی و نرمالیزه نمایی باشند که در لایه دوم فلوجارت روش پیشنهادی، هر مدول به هر سه صورت آزموده شده است.

لایه اول :

در این قسمت از فلوجارت از چهار روش IEC599 ، ROGERS، NBR7274 و روش گاز کلیدی جهت تشخیص وضعیت نرمال (سالم بودن ترانسفورماتور) استفاده شده است. در هر مدول با توجه به جدول هر استاندارد یا روش، ورودی لازم (نسبت های گازی مورد استفاده در هر استاندارد) را به معیارهای هر روش اعمال کرده و خروجی را به دست می آوریم (مثلاً جدول ۱). در صورتی که هر چهار روش رای به نرمال بودن دهند، گزارش وضعیت نرمال داده خواهد شد. قابل ذکر است که اگر داده ای در این مرحله وضعیت نرمال به خود اختصاص ندهد در مراحل بعدی هنوز هم می تواند این وضعیت گزارش شود.

لایه دوم :

در این قسمت، از شبکه ANFIS طراحی شده با استفاده از استانداردهای IEC599 ، IEC60599 ، NBR7274 ، ROGERS، DORNENBURG، و مثلث DUVAL جهت تشخیص نوع عیب استفاده شده است.

برای هر کدام از شش مدول این لایه، با توجه به جدول آن استاندارد یا روش، شبکه ANFIS مجزا طراحی شده که ورودی آن نسبت های گازی و خروجی آن کد خطاهای

مختلف است و سپس از تلفیق این شبکه ها استفاده می شود.

لایه سوم :

در لایه سوم از فلوچارت روش پیشنهادی، کار ارزش دهی روی خروجی مدولهای مختلف انجام می شود. به این ترتیب که اگر برای هر خطای PD¹ و D² و T³ در هر مدول درصد خطا را به دست آوریم می توان دریافت که کدام روش چه کد خطایی را خوب تشخیص نمی دهد و از این پس به آن ارزش کمتری تعلق گیرد. جهت این امر از ۳۰ نمونه داده استفاده شده و پس از اجرای شبیه سازی نتایج مقادیر ارزشی برای شبکه های مختلف مطابق با جدول (۲) به دست آمده است.

جدول (۲) مقادیر ارزشی برای روشهای مختلف

	PD	D	T
IEC599	1	2	1
IEC60599	2	1	1
NBR7274	1	1	1
Rogers	1	1	1
Dornenburg	2	2	2
Duval	0	1	1

در مرحله آخر پس از انجام ارزش دهی، کار رای گیری انجام می شود به این ترتیب که کد خطاهای مختلف که اکثریت رای را داشته باشد به عنوان خطا معرفی می شود.

ارائه نتایج :

همانطور که در قسمت قبل توضیح داده شد فلوچارت روش پیشنهادی شامل سه لایه می باشد که در لایه اول جداسازی شرایط نرمال و در لایه های بعد تشخیص خطا انجام می گیرد.

جهت تست روش پیشنهادی از ۸۹ نمونه داده استفاده شده و جهت انجام شبیه سازی های لازم نیز از محیط MATLAB استفاده شده است که در لایه دوم برای هر کدام از شش مدول، شبکه ANFIS مجزا طراحی شده و سپس خروجی آنها جهت تلفیق به لایه بعد می رود.

پس از به دست آوردن خروجی های ناشی از شبیه سازی و مقایسه آن با خروجی مطلوب تعداد خروجی های صحیح شبکه ANFIS تقسیم بر تعداد کل داده های تست به عنوان راندمان شبکه تعریف گردیده است.

نتایج شبیه سازی و راندمان به دست آمده برای هر روش در جدول (۳) آمده است.

با توجه به جدول مشاهده می شود که با نرمالیزه نمایی داده ها، راندمان بالایی برای کلیه روشها به دست آمده است. با توجه به جدول (۳) مشاهده می شود که بالاترین راندمان

جدول (۳) نتایج شبیه سازی (راندمان) مدولهای مختلف با استفاده از شبکه ANFIS (قبل از تلفیق و ارزش دهی)

راندمان شبکه با داده نرمالیزه نمایی	راندمان شبکه با داده نرمالیزه خطی	راندمان شبکه با داده غیر نرمالیزه
۹۰٪	۷۶٪	۷۹٪
۸۸٪	۸۴٪	۶۲٪
۸۸٪	۷۵٪	۷۴٪
۸۶٪	۵۶٪	۸۵٪
۹۴٪	۸۹٪	۸۴٪
۸۴٪	۸۵٪	۸۲٪

به دست آمده ۹۴٪ می باشد. جهت افزایش بیشتر راندمان، مطابق با روش پیشنهادی خروجی هر کدام از شش مدول این لایه با توجه به جدول (۲) ارزش دهی شده است و پس از تلفیق در پایان کدخطایی که اکثریت رای را داشته به عنوان کد خطا معرفی شده است.

با مقایسه خطای واقعی با خروجی روش پیشنهادی مشخص شد از ۸۹ نمونه داده تست تنها در یک مورد اشتباه بوده و در مابقی، روش پیشنهادی پاسخ صحیح داشته است. بنابراین راندمان بیشتر از ۹۸٪ برای داده های موجود حاصل شده است.

نتیجه گیری :

در این مقاله با هدف بهبود روشهای تشخیص زود هنگام عیوب ترانسفورماتورهای قدرت، روشی مبتنی بر شبکه ANFIS ارائه شد که در آن از تلفیق چندین شبکه طراحی شده به کمک استانداردهای مختلف موجود در زمینه DGA استفاده شده است. با استفاده از داده های تصادفی در

¹) Partial Discharge

²) Discharge

³) Thermal Fault

از ۹۸٪، بیانگر قابلیت اطمینان بالای روش پیشنهادی می باشد.

قسمت آموزش شبکه، بر مشکل کمبود داده های واقعی غلبه شد نرمالیزه نمایی داده ها و ارزش دهی مناسب به روشهای مختلف باعث بهبود راندمان شبکه شد. استفاده از داده های تست فراوان و نتیجه ارائه شده برای راندمان(بیش

مراجع:

- [6] Q.Su and C.Mi "A fuzzy Dissolved Gas Analysis Method for the Diagnosis of Multiple Incipient Fault in a Transformer" IEEE trans.on Power Systems, vol.15, pp593-598, 2000.
- [7] S.M.Islam and T.Wu "A Novel Fuzzy Logic Approach to Transformer Fault Diagnosis", IEEE trans.on Power System, vol7, pp177-185, 2000.
- [8] J.S.R.Jang, "ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System", IEEE Trans. On syst, Man and Cybern., vol 23, no.3, May/June, 1993.
- [9] Michel Duval and Alfonso dePabl, " Interpretation of Gas-in-Oil Analysis Using New IEC Publication 60599 and IEC TC 10 Databases", IEEE, Electrical Insulation Magazine Vol. 17, No. 2, pp.31- 41, 2001 .
- [10] Song bin and yu ping, " Study on the fault Diagnosis of Transformer Based on the Grey Relational Analysis", IEEE trans.on Power System, Vol 4, pp. 2231 – 2234, 2002 .
- [11] N.Gao and GJ. Zhang, "Diagnosis of DGA Based on Fuzzy and ANN Method", the 30th Symposium on Electrical Insulating Materials, Sept 27-30, 1998.
- [1] IEC, " IEC 599 Interpretation of the Analysis of Gases in Transformers and other Oil- Filled Electrical Equipment in Service", International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland, 1978.
- [2] Z.hang, "Artificial Intelligent Application in the Diagnosis of Power Transformer Incipient fault", PhD Thesis, University of Virginia , 2000 .
- [3] K.F.Thang and R.K.Aggarwal, D.G.Esp, "Statistical and Neural Network Analysis of Dissolved Gases in Power Transformer" IEEE Dielectric Materials, Measurement and Applications, pp324-329, 2000.
- [4] Li Honglei and Xiao Dengming "Wavelet ANN Based Transformer Fault Diagnosis using gas-in-oil analysis" IEEE Properties and Applications of Dielectric Materials ,vol.1, pp147-150, 2000
- [5] Wan Yat How and Marzuki Khalid, " Transformer Fault Diagnosis using Fuzzy Logic Interpretation", University Teknologi Malaysia.

