



تشخیص عیوب ابتدایی ترانسفورماتورهای قدرت با استفاده از سیستم هوشمند

علیرضا خواجه، ابراهیم فرجاه، علیرضا سیفی

farjah@shirazu.ac.ir seifi@shirazu.ac.ir

بخش برق - دانشکده مهندسی - دانشگاه شیراز

تلفن 0711-2303081 فاکس 0711-6287294

شده و گازهایی همچون هیدروژن (H_2)، متان (CH_4)، اتان (C_2H_6)، اتیلن (C_2H_4)، استیلن (C_2H_2)، اکسیژن (O_2)، نیتروژن (N_2)، مونوکسید کربن (CO)، دی اکسید کربن (CO_2)، پروپن (C_3H_6) و پروپان (C_3H_8) تولید کنند. [2]

در یک ترانسفورماتور، خطاهای مختلف به دلایل متنوعی رخ می دهد لذا خطاهای ابتدایی که ممکن است در ترانسفورماتورها به وجود آیند را می توان به دو گروه تقسیم نمود:

الف) عیوب الکتریکی: شامل تخلیه جزئی (partial discharge) و تخلیه الکتریکی (Electric Discharge) است که این تخلیه شامل sparkover - puncture - Sparking discharge - Tracking - Flashover می باشد.

ب) عیوب حرارتی: در اثر عواملی همچون نارسایی سیستم خنک کنندگی، جریانهای گردشی بزرگ در تانک هسته، جریانهای گردشی بیش از اندازه در هسته از قبیل جریان ادی و یا نشتی فلوی مغناطیسی به دلیل تخریب عایقی و یا اتصالات ناقص و یا جریان های گردشی میان کلمپ های یوغ و پیچها، معیوب بودن لحیم های کلمپ ها در حفاظهای مغناطیسی به وجود می آید.

تشخیص به موقع این عیوب جهت جلوگیری از بروز خطاهای شدید لازم و ضروری است. در این میان تکنیک های هوشمند توانایی بالایی در تشخیص و تفکیک دقیق این عیوب دارند. در میان تکنیکهای هوشمند، شبکه عصبی به دلیل توانایی بالا در یادگیری از نمونه ها، توانایی تشخیص الگو (pattern-recognition) و طبقه بندی الگو (pattern-classification) و توانایی نگاشت غیر خطی

چکیده: تجزیه و تحلیل گازهای محلول در روغن ترانسفورماتورهای قدرت با استفاده از گازکروماتوگرافی (GC) اطلاعات مهمی در مورد وضعیت عیوب اولیه ترانسفورماتورهای در حال بهره برداری در اختیار بهره بردار قرار می دهد و ما را قادر خواهد ساخت تا قبل از وارد آمدن خسارات سنگین بتوان نسبت به رفع عیب اقدام نمود. در این مقاله سیستم هوشمند ترکیبی و بهینه با استفاده از گازکروماتوگرافی روغن (GC) به منظور افزایش دقت و داشتن قابلیت اطمینان بالا جهت تشخیص عیوب ابتدایی ترانسفورماتورها پیشنهاد شده است.

کلمات کلیدی: تحلیل گازهای محلول در روغن (DGA)، تشخیص عیب، شبکه عصبی، ترانسفورماتورهای قدرت.

1- مقدمه:

یکی از روش های متداول تشخیص، آشکارسازی و پیش بینی شرایط کاری ترانسفورماتورها استفاده از تجزیه گاز محلول در روغن و یا روش کروماتوگرافی جهت تشخیص گازهای محلول در روغن به منظور آشکارسازی خطاهای ابتدایی در ترانسفورماتورها می باشد. [1] هنگام بروز خطا درون ترانسفورماتور، خاصیت عایقی روغن کاهش یافته و دما شروع به افزایش می کند به طوری که گازهای مختلف با آهنگ سریع تولید می شوند. این گازها با توجه به تفاوت شدت و نوع خطاهای مختلف شروع به تولید و رشد می کنند تحت این شرایط مولکولهای هیدروکربنی روغن معدنی، تجزیه شده و به شکل هیدروژن اکتیو و دیگر انواع هیدروکربنها درآمده به طوری که این هیدروکربنها می توانند با یکدیگر ترکیب

عیب قادر به تشخیص و تفکیک عیوب حرارتی و الکتریکی ترانسفورماتور می باشد.[5]

ه (روش IEC : این روش تشخیص ابتدا در سال 1978 براساس نسبتهای گازی راجرز بوده و در استاندارد IEC-60599 ویرایش شده است و جهت تشخیص و تفکیک عیب از سه نسبت گازی $C_2H_2/C_2H_4, CH_4/H_2, C_2H_4/C_2H_6$ استفاده می شود. این روش تشخیص در سال 1991 مورد تجدید نظر قرار گرفت. [9]

و (روش IEEE : در این روش چهار وضعیت مختلف جهت تشخیص مشکل در ترانسفورماتور در نظر گرفته شده است این چهار وضعیت در دو جدول یکی بر اساس وضعیت موجود گازهای هیدروکربنی و مجموع گازهای محلول قابل احتراق (TDCG)² و دیگری بر اساس میزان رشد گازهای هیدروکربنی و رشد TDCG در نظر گرفته شده است. [3]

ز) روش نمودگراف (nomograph Method) : توسط شخص church در آمریکا ابداع شده است که بر اساس نمودار و روش نمودگراف لگاریتمی عمل می کند.[7] در هر یک از روشهای ذکر شده در قبل اعم از روش گازهای کلیدی، روش نسبت و یا مقادیر حدی، نواقصی به چشم می خورد. به عنوان مثال در روش گازهای کلیدی چون معیار روابط بین گازها بر حسب مقادیر عددی بیان نمی شود میزان تشخیص تا حدود زیادی بر مبنای تجربه می باشد و یا در روشهای نسبت اعم از روش دورنبرگ، راجرز و یا IEC به دلیل محدودیت کدهای تشخیص و تنوع زیاد گازهای محلول در روغن احتمال عدم تشخیص عیب بالا می رود و در بعضی موارد اپراتور قادر به تصمیم گیری صحیح نمی باشد. استفاده از تکنیکهای هوشمند هم عیوب ذکر شده فوق را می پوشاند و هم دارای دقت و ضریب اطمینان بالاتری نسبت به موارد ذکر شده می باشد که مد نظر این مقاله است. کارهایی در این زمینه در مقالات مختلف انجام شده است به عنوان مثال در مقاله [8]، شبکه عصبی به روش BP³ و

بین بردارهای ورودی و خروجی، قدرت تعمیم دهی و عدم نیاز به مدل فیزیکی و مکانیزم مشخص، قابلیت بالایی جهت تعیین روابط نامعلوم بین نوع عیب و گازهای محلول در روغن دارد. از طرفی منطق فازی نیز به طور مؤثری جهت کار با اطلاعات ناقص، غیر دقیق و نامعلوم و افزایش دقت تحلیل به کار برده می شود.

در بخش دوم مقاله تکنیک های مختلف تشخیص عیوب ترانس مورد ارزیابی و مقایسه قرار می گیرند دربخش سوم به تشریح روش پیشنهادی اختصاص یافته است در بخش چهارم پس از ارائه فلوچارت برنامه نتایج حاصل از الگوریتم پیشنهادی آورده شده و نهایتاً جمع بندی و نتیجه گیری مقاله ذکر می گردد.

2- مقایسه روشهای مختلف و ارائه پیشنهاد:

روشهای کلاسیک تشخیص عیوب در ترانسفورماتورها عبارتند از:

الف) روش گازهای کلیدی: در این روش گاز کلیدی برای هر نوع خطایی شناسایی شده و با توجه به درصد گاز از آن برای تشخیص خطا استفاده می شود.[3]

ب) روش نسبت دورنبرگ (Dornenberg) : در این روش تفاوت میان خطاهای الکتریکی و حرارتی با استفاده از چهار نسبت گازی $C_2H_6/C_2H_2, C_2H_2/CH_4, C_2H_2/C_2H_4, CH_4/H_2$ بیعیان می شود.[3]

ج) روش نسبت راجرز (Rogers) : روش راجرز نیز بر اساس چهار نسبت گازی می باشد که توسط شرکت (CEGB)¹ ارائه شده است. هر نسبت گازی بر اساس محدوده مشخص دارای کد مخصوص به خود می باشد [4] این روش بعدها مورد تجدید نظر قرار گرفت.

د) روش مثلث دوآل (Duval Triangle) : این روش تشخیص توسط شخصی به نام دوآل و از درصد سه گاز کلیدی متان، استیلن و اتیلن در سه ضلع مثلث استفاده می شود. در این روش فقط در صورت اطمینان از وجود

¹.Central Electric generating board

². Total Dissolved combustible gases

³.Back Propagation



در مقاله [12]، نویسندگان مجموعه 755 داده جهت تربیت شبکه به روش غیر ناظر (kohnen) استفاده نموده است. خروجی شبکه شامل تخلیه الکتریکی (EDS)، مشکل حرارتی (TFS)، تلفیق مشکل حرارتی و الکتریکی و وضعیت نرمال می باشد.

در مقاله [13]، سیستم هوشمند چهار مرحله ای ارائه شده است که خروجی های سیستم حالت نرمال، مشکل حرارتی، مشکل الکتریکی و حالت بدون تشخیص می باشد. این خروجی ها حاصل یک شبکه عصبی RBF^7 و سه روش تشخیص راجرز، دورنبرگ و $NBR 7274^8$ است. نویسندگان بیان نموده که با این روش راندمان دقت تست به بیش از 80٪ رسیده است.

در این مقاله سعی می شود سیستم هوشمند ترکیبی و بهینه باهدف دقت و سرعت و قابلیت اطمینان بالا جهت تشخیص عیوب ابتدایی ترانسفورماتورها طراحی شود.

3- تشریح روش پیشنهادی و چگونگی پیاده سازی:

روش یادگیری با ناظر انتشار به عقب (BP) به طور گسترده ای در شبکه های عصبی چند لایه (شکل 1) استفاده می شود. در این روش تنظیم پارامترهای شبکه شامل وزن ها و بایاس ها در جهت منفی گرادیان انجام می گیرد. در BP تابع انتقال در لایه مخفی معمولاً تابع سیگموئیدال (Sigmodal)، که اصطلاحاً تابع فشرده کننده (squashing)، بوده و ورودی های نامحدود را به خروجی های محدود تبدیل می کند این تابع دارای این خصوصیت است که شیب آن در ورودی های بزرگ به سمت صفر میل می کند این خصوصیت در BP ایجاد مشکل می کند به نحوی که میزان گرادیان، تغییرات کمی داشته و باعث تغییرات اندکی در وزن ها و بایاس ها شده، هر چند فاصله آنها از مقدار بهینه خود زیاد باشد. بنابراین می تواند در همگرایی شبکه ایجاد مشکل کند.

variable learning rate جهت تربیت شبکه استفاده شده است. نویسندگان مقاله، تعداد داده ها را به ده گروه تقسیم بندی نموده است و متناوباً داده های هر گروه را جهت تست شبکه عصبی تربیت شده با نه گروه دیگر به کار برده است و در انتها مقایسه ای بین تعداد تکرارهای شبکه در روش BP معمولی و variable learning rate انجام داده است و سرانجام در جدول نمونه های تست شده واقعی یکی از نمونه ها به غلط وضعیت نرمال تشخیص داده شده در حالی که واقعاً مشکل حرارتی (overheating) در ترانس وجود داشته است.

در مقاله [9]، نویسندگان شبیه سازی با استفاده از شبکه عصبی بر روی اطلاعات گازکروماتوگرافی 13 نمونه مختلف ترانسفورماتورهای معیوب ارائه شده توسط کمیته ECRA⁴ انجام داده است همچنین شبکه هایی نیز بر اساس ضوابط تشخیص استاندارد IEC طراحی نموده و نهایتاً چهار شبکه حاصله بر روی 26 نمونه واقعی ترانسفورماتورهای معیوب آزمایش شده و نتیجتاً راندمان دقت تست بین 73٪-96٪ به دست آمده که بیشترین دقت مربوط به روش ECRA بوده است.

در مقاله [10]، نویسندگان شبکه های عصبی بر اساس پنج ضابطه تشخیص دورنبرگ، راجرز، راجرز تصحیح شده، IEC⁵ CSUS ارائه نموده است. ورودی و خروجی هر شبکه بر اساس ضوابط تشخیص مربوطه انتخاب شده است. مجموعه ای از 117 نمونه گازکروماتوگرافی جهت تربیت شبکه و 33 نمونه نیز جهت تست شبکه استفاده شده است در انتها نویسندگان راندمان دقت تست ضوابط تشخیص را در محدوده 87.8٪-100٪ به دست آورده است.

در مقاله [11]، نویسندگان از شبکه عصبی غیر ناظر (un-supervised) و به روش ART⁶ به دلیل توانایی بالای خود ساماندهی (self-organizing) استفاده نموده است و در انتها نیز از تعداد 19 نمونه واقعی جهت تست شبکه استفاده نموده است.

⁷.Radial Basic function

⁸.NBR 7274-Interpretation of Dissolved Gas Analysis Of Transformers in Service ,1982

⁴.Electrical Cooperative Research Association

⁵.A Guid To Transformer Maintenance, USA

⁶.Artificial resonance theory

قدرت تعمیم دهی و درون یابی از سه معیار زیر استفاده شده است:

- 1- به دست آوردن متوسط درصد خطای واقعی در حالت‌های مختلف دسته بندی خطا و خطای تابع هدف .
- 2- به دست آوردن متوسط دقت تست با استفاده از فرمول

$$Y_{Average} = 1/n \sum_{i=1}^n y(i)$$

که $y(i)$ خروجی تخمین زده مربوط به دسته بندی های خطاهای مختلف می باشد که بسته به اینکه این دسته بندیها صحیح و یا غلط باشند مقادیر 1 و 0 را انتخاب می کنیم و n تعداد داده های تست شده می باشد.

3- آنالیز رگرسیون بین پاسخ های تخمین زده و خروجی واقعی که در واقع معیاری جهت نشان دادن میزان همبستگی آنها است. دراین روش از سه پارامتر r, b, m استفاده می شود که به ترتیب m شیب، b محل تلاقی، r میزان همبستگی رگرسیون است .

توپولوژی و نتایج حاصل از شبکه ذکر شده در جدول 1 ارائه شده است. ملاحظه می کنید که دقت تست و ضرایب همبستگی در وضعیت نرمال نسبت به حالت‌های دیگر کمتر بوده ولی متوسط خطا بیشتر می باشد.

ورودی: $H_2, CH_4, C_2H_6, C_2H_4, C_2H_2$

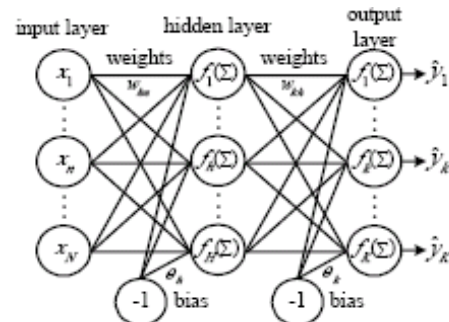
حرارتی، تخلیه جزئی، تخلیه الکتریکی، نرمال، خروجی

توپولوژی شبکه: 5,30,20,10,4

		نرمال	تخلیه الکتریکی	تخلیه جزئی	حرارتی
متوسط دقت تست		0.25	0.75	0.45	0.56
متوسط خطا		0.37	0.09	0.18	0.24
رگرسیون	m	0.529	0.89	0.745	0.715
	b	0.116	0.019	0.06	0.068
	r	0.666	0.909	0.927	0.811
خطای تابع هدف		0.0499			

جدول 1. نتایج توپولوژی شبکه با ورودی و خروجی

در شبکه دوم وضعیت نرمال از خروجی های شبکه حذف شده در این حالت دقت تست و خطای تابع هدف و ضرایب همبستگی نسبت به حالت قبل بهبود قابل ملاحظه ای یافته است از طرفی سرعت همگرایی شبکه نیز بالا می رود. نتایج حاصله در جدول 2 آورده شده است.



شکل 1- شبکه عصبی چند لایه

طبق فرمول (1) تطبیق پذیری به روش Momentum، میزان سائز پارامترهای شبکه نه تنها به نرخ یادگیری شبکه (η) بلکه به مشتق جزئی $\delta E/\delta w_{ij}$ نیز بستگی دارد. جهت رفع این مشکل از علامت مشتق جهت تنظیم وزنها و بایاسها به جای دامنه مشتق استفاده می شود. [14]

$$\Delta w_{ij}^{(t)} = -\eta \delta E/\delta w_{ij}^{(t)} + \mu \Delta w_{ij}^{(t-1)} \quad (1)$$

$$E = 1/2 \sum (d-y)^2 \quad (2)$$

جهت طراحی شبکه های عصبی از تعداد 857 نوع گازکروماتوگرافی شامل نمونه های آزمایشگاه های داخل و خارج از کشور، مقالات، نشریات و منابع مختلف استفاده شده است .

اولین شبکه ارائه شده به روش BP و الگوریتم RPROP دارای 5 ورودی شامل $H_2, CH_4, C_2H_6, C_2H_4, C_2H_2$ می باشد خروجی شبکه نیز شامل وضعیت نرمال، مشکل حرارتی، تخلیه الکتریکی و تخلیه جزئی است. جهت افزایش دقت شبکه با توجه به تفاوت فراوان حجم گازهای استخراجی ترانسفورماتورها که بستگی به شدت خطا، پیری ترانسفورماتور و شرایط بهره برداری دارد نیاز به نرمالیزه کردن داده های ورودی می باشد با بررسی حالت‌های مختلف بهترین نتیجه در به دست آوردن فراوانی داده ها و سپس نرمالیزه کردن آنها در فاصله [0 1] است.

جهت جلوگیری از مشکل over fitting شبکه و افزایش قدرت تعمیم دهی حدود 1/4 از داده ها به عنوان داده های valid استفاده می شود تا پارامترهای شبکه درمینیمم خطای valid حاصل شوند. از طرفی 1/4 از داده ها نیز جهت بررسی دقت تست به کار می رود جهت ارزیابی دقت تست توپولوژی شبکه همچنین بررسی وضعیت



ورودی: $H_2, CH_4, C_2H_6, C_2H_4, C_2H_2$, SUM GASES

نرمال، غیر نرمال؛ خروجی

توپولوژی شبکه: 6,50,30,20,2

	نرمال	غیر نرمال
متوسط دقت تست	0.72	0.86
متوسط خطا	0.12	0.07
رگرسیون	m	0.83
	b	0.08
	r	0.94
خطای تابع هدف	0.028	

جدول 4: نتایج توپولوژی شبکه با 6 ورودی و 2 خروجی

در ادامه المانهای دیگری مثل نسبتهای گازی نیز به ورودی های شبکه درحالت قبل اضافه شد که تأثیر اندکی در بهبود دقت تست و متوسط خطای شبکه دارد. (جدول 5)

ورودی: $H_2, CH_4, C_2H_6, C_2H_4, C_2H_2, C_2H_2/C_2H_4, C_2H_4/C_2H_6, CH_4/H_2$, SUM GASES

نرمال، غیر نرمال؛ خروجی

توپولوژی شبکه: 9, 50, 30, 20, 2

	نرمال	غیر نرمال
متوسط دقت تست	0.81	0.89
متوسط خطا	0.08	0.05
رگرسیون	m	0.93
	b	0.01
	r	0.96
خطای تابع هدف	0.009	

جدول 5: نتایج توپولوژی شبکه با 9 ورودی و 2 خروجی

اما با ایده گرفتن از مثلث دوآل، گازهای کلیدی آن نیز به عنوان المانهای ورودی به المانهای ورودی جدول 4 اضافه گردید که تأثیر قابل ملاحظه ای در تفکیک وضعیت نرمال از غیر نرمال و افزایش دقت تست شبکه و کاهش خطای تابع هدف و بهبود همبستگی شبکه دارد. نتایج حاصله در جدول 6 آورده شده است.

ورودی: $H_2, CH_4, C_2H_6, C_2H_4, C_2H_2$

حرارتی، تخلیه جزئی، تخلیه الکتریکی؛ خروجی

توپولوژی شبکه: 5, 30, 20, 10, 3

	تخلیه الکتریکی	تخلیه جزئی	حرارتی
متوسط دقت تست	0.96	0.94	0.98
متوسط خطا	0.03	0.04	0.02
رگرسیون	m	0.984	0.977
	b	0.004	0.006
	r	0.985	0.986
خطای تابع هدف	0.004		0.993

جدول 2: نتایج توپولوژی شبکه با 5 ورودی و 3 خروجی

بنابراین، این شبکه فقط در صورت اطمینان از وجود عیب قادر به تفکیک آن می باشد لذا جهت تشخیص عیب در مرحله بعد شبکه هایی جهت تفکیک وضعیت نرمال از غیر نرمال ارائه شده است. نظر به اینکه حجم گازها به نوعی در تشخیص عیب نقش دارند لذا جهت افزایش دقت تفکیک شبکه، مجموع گازها در این حالت به 5 المان ورودی اضافه شده است. ملاحظه می شود که دقت تست، متوسط خطا و ضرایب همبستگی در این حالت نسبت به حالتی که 5 المان ورودی دارد بهبود قابل ملاحظه ای یافته است. (جدول 3 و 4)

ورودی: $H_2, CH_4, C_2H_6, C_2H_4, C_2H_2$

نرمال، غیر نرمال؛ خروجی

توپولوژی شبکه: 5, 50, 30, 20, 2

	نرمال	غیر نرمال
متوسط دقت تست	0.28	0.55
متوسط خطا	0.35	0.17
رگرسیون	m	0.32
	b	0.33
	r	0.47
خطای تابع هدف	0.089	

جدول 3: نتایج توپولوژی شبکه با 5 ورودی و 2 خروجی

مدول 3: مقادیر گازهای قابل احتراق را با جدول محدوده نرمال پایگاه اطلاعاتی IECTC10 [15] مقایسه می کند تجاوز از این حد نشان دهنده وضعیت غیر نرمال است.

مدول 4: جدول 8 جهت تعیین سطوح آلام برگرفته از تجربیات افراد خبره (Delta-X-Reserch) و بر اساس استاندارد IEC60599 و پایگاه اطلاعاتی IECTC10 اقتباس شده است. [16], [15] به این ترتیب که اگر حداقل یکی از گازهای قابل احتراق در حد L1 و یا بیشتر و همچنین میزان رشد ماهیانه گاز در حد G1 (10% محدوده L1 به غیرازاستیلن به دلیل اهمیت آن) باشد در اینصورت بایستی به ترانسفورماتور توجه بیشتری نمود و یا بار ترانسفورماتور را کاهش داده و با کارخانه سازنده تماس گرفت و اگر میزان رشد ماهیانه گاز در حد G2 (50% حد L1) قرار گیرد ترانسفورماتور در وضعیت بحرانی است و بایستی جهت تعمیر و یا تعویض آن برنامه ریزی نمود.

GAS	L1 Limits (ppm per month)	G1 Limits (ppm per month)	G2 Limits (ppm per month)
H ₂	100	10	50
CH ₄	75	8	38
C ₂ H ₂	3	3	3
C ₂ H ₄	75	8	38
C ₂ H ₆	75	8	38
CO	700	70	350
CO ₂	7000	700	3500

جدول 8. مقادیر حدی L1, G1, G2

مدول 5: میزان رشد TCG⁹ را بر حسب ft³/day با محدوده 0.1 ft³/day مقایسه می کند. تجاوز از این حد نشانه وضعیت غیر نرمال است. [3]

طبق فلوجارت ارائه شده در صورتی که حداقل یکی از مدولها وضعیت غیر نرمال تشخیص دهد ورودی ها به شبکه عصبی جهت تشخیص عیب داده می شود خروجی های شبکه عصبی شامل سه عیب حرارتی، تخلیه الکتریکی و تخلیه جزئی می باشد. بعد از تشخیص این عیوب توسط شبکه عصبی جهت صحت دقتتر و یا حتی الا مکان تشخیص محل خطا با توجه به نوع عیب نیازمند انجام تستهای مکمل شامل تستهای فیزیکی و شیمیایی

ورودی H₂, CH₄, C₂H₆, C₂H₄, C₂H₂, SUM GASES

CH₄/(CH₄+C₂H₂+C₂H₄)

C₂H₄/(CH₄+C₂H₂+C₂H₄)

C₂H₂/(CH₄+C₂H₂+C₂H₄)

نرمال، غیر نرمال، خروجی

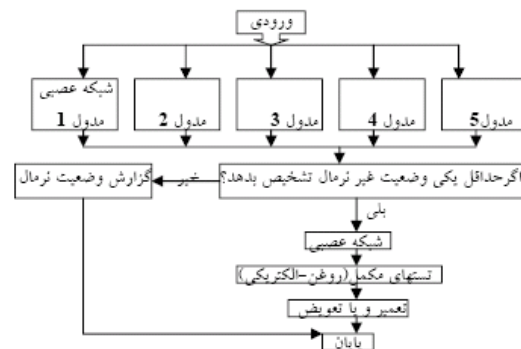
توپولوژی شبکه: 9,50,30,20,2

	نرمال	غیر نرمال
متوسط دقت تست	0.95	0.97
متوسط خطا	0.03	0.02
رگرسیون	m 0.97	0.99
	b 0.009	0.005
	r 0.987	0.992
خطای تابع هدف	0.002	

جدول 6. نتایج توپولوژی شبکه با 9 ورودی و 2 خروجی

4- ارائه نتایج

جهت تشخیص عیب با قابلیت اطمینان بالا فلوجارت تشخیص عیوب پیشنهادی در شکل 2 ارائه شده است.



شکل 2- فلوجارت تشخیص عیب

این فلوجارت شامل اجزاء زیر می باشد:

مدول 1: شبکه عصبی طراحی شده جهت تعیین و تفکیک وضعیت نرمال از غیر نرمال طبق توپولوژی ارائه شده در جدول 6.

مدول 2: مقادیر گازهای قابل احتراق را باحد L1 جدول 7 مقایسه می کند اگر حداقل یکی از گازها مساوی یا بیشتر از محدوده ذکر شده باشد در اینصورت علامت وضعیت غیر نرمال است.

Key Gases (ppm)	Concentrations L ₁
Hydrogen(H ₂)	100
Methana(CH ₄)	120
Carbon Monoxide(CO)	350
Acetylen(C ₂ H ₂)	35
Ethylene(C ₂ H ₄)	50
Ethane(C ₂ H ₆)	65

جدول 7. مقادیر حدی IEEE [3]

⁹. Total combustible Gases



مراجع:

- [1] M. Duval "Dissolved gas analysis: It can save your Transformer" IEEE Electrical insulation Magazine Vol. 5, No. 6-1989.
- [2] "Dissolved gas analysis of Mineral oil insulating fluids" written by: Joseph B. DiGiorgio.
- [3] IEEE Guide for the interpretation of gases generated in oil-immersed transformers, IEEE std. C57.104-1991, Jul. 1992.
- [4] R. R. Rogers, C. E. G. B. "IEEE and IEC Codes to interpret incipient-faults in transformers using gas in oil analysis", Transmission division, Guilford, England, Circa, 1995.
- [5] M. Duval. "fault gases formed in oil - filled Breathing E H .V power transformers. the interpretation of gas Analysis Data," IEEE - PES GOF. Paper C74-476.
- [6] IEC publication 60599-interpretation of the analysis gases in Transformers and other oil-filled electrical equipment in service, 1991.
- [7] J. O. Church et al "Analyze incipient fault with dissolved-gas nomograph", Electrical world, pp. 40-44, Oct. 1987.
- [8] N. K. Patel, P. K. Khubchandani "Ann Based power Transformer fault Diagnosis" IE(I) Journal - EL. Vol 85, June 2004.
- [9] O. Vanegas, Y. Mizuno, K. Naito "Diagnosis of oil-insulated power Apparatus by using Neural Network simulation" IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical insulation, Vol. 4, No. 3 June 1997.
- [10] J. L. Guardado, J. L. Naredo, P. Moreno, and C. R. Fuerte "A comparative study of Neural Network Efficiency in power Transformers Diagnosis using Dissolved gas analysis" IEEE Transaction on power Delivery, Vol. 16, No 4, October 2001.
- [11] N. Gao, G. J. Ihang, I. Qan, Z. Yan "Diagnosis of DGA Based on fuzzy And Ann Methods" proceedings of 1998 international symposium on electrical insulating, 1998.
- [12] K. F. Thang, R. K. Aggarwal, and A. J. McGrail, "Analysis of power transformer dissolved gas data using the self-organizing map." IEEE Trans. power Del., vol. 18, No. 4, pp. 1241-1248, Oct. 2003.
- [13] Diego Roberto Morias and Jacqueline Cisle Rolim "A Hybrid tool for Detection of incipient fault in transformers Based on the Dissolved gas Analysis of insulating oil" IEEE Transaction on power Delivery, 2006.
- [14] Martin Riedmiller and Heinrich Braun "A Direct Adaptive Method for faster Backpropagation learning: the Rprop Algorithm" proceeding of the IEEE international conference on neural Networks, San Francisco 1993.
- [15] M. Duval and A. d. Pablo, "Interpretation of gas - in-oil analysis using new IEC publication 60599 and IEC TC10 databases" IEEE Electr. Insul. Mag. Vol. 17, No. 2, pp. 31-41, Mar./Apr. 2001.
- [16] "Transformer Diagnosis" Facilities instructions Standard And Technique Volume 3-31.

روغن و مجموعه تستهای الکتریکی می باشیم. به عنوان مثال فرض کنید که خروجی شبکه عصبی مشکل حرارتی را تشخیص دهد در اینصورت اگر میزان گازهای حرارتی اتیلن، اتان و کمی متان زیاد باشد احتمال وجود یک اتصال ناقص در ترانسفورماتور می رود در نتیجه اپراتور نیاز به انجام تستهای نسبت تبدیل و مخصوصاً تست مقاومت DC جهت تشخیص اتصال ناقص در سیم پیچها و یا تپ چنجر می باشد.

جهت تست نهایی شبکه از تعداد 20 نمونه واقعی ترانسفورماتورهای معیوب استفاده شده است نتایج حاصله با روش های دیگر تشخیص عیب نیز مقایسه گردیده و در جدول 9 ضمیمه ارائه شده است به صورت کلی می توان ذکر نمود که روش پیشنهادی به خوبی قادر به تشخیص و تفکیک دقیق عوامل خطا می باشد.

نتیجه گیری:

در این مقاله با هدف افزایش دقت تشخیص و تفکیک عیوب ابتدایی ترانسفورماتورهای قدرت، توپولوژی های مختلف شبکه عصبی با ورودی های متفاوت ارائه شده و با در نظر گرفتن دقت تست، قدرت تعمیم دهی و سرعت همگرایی، شبکه ای بهینه با قابلیت اطمینان بالا ارائه شده است ضمناً فلوچارتی با مدول های مختلف جهت تفکیک عیوب به صورت مرحله ای آورده شده است. همچنین جهت تست نهایی شبکه از تعداد 20 نمونه واقعی ترانسفورماتورهای معیوب استفاده شده است نتایج حاصله با روش های دیگر تشخیص عیب مقایسه شده که بیشترین راندمان مربوط به روش پیشنهادی می باشد در مقایسه با سایر روشها، روش IEC در مرتبه بعدی قرار دارد.

تقدیر و تشکر:

از کلیه آزمایشگاه های روغن فشار قوی به خصوص آزمایشگاه شرکت تعمیرات نیروی برق منطقه ای فارس جهت در اختیار قرار دادن داده های مورد نیاز تشکر و تقدیر می گردد.



انجمن مهندسين برق و الكترونيك ايران
شاخه ي تهران



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
قطب علمی قدرت

شماره	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	روش پیشنهادی	دورننبرگ	راجرزاصلاح شده	راجرز C.E.G.B	IEC 1999	IEC 1978	تشخیص واقعی
1	743	631	197	686	228	آرکینگ	نامشخص	آرکینگ	نامشخص	نا مشخص	آرکینگ	آرکینگ
2	130	98	7	56	65	آرکینگ	آرکینگ	آرکینگ	آرکینگ	آرکینگ	آرکینگ	آرکینگ
3	65	61	16	143	3	حرارتی	نامشخص	نامشخص	نامشخص	نا مشخص	نا مشخص	حرارتی
4	3415	11455	2165	9706	58	حرارتی	حرارتی	>700حرارتی	نامشخص	>700حرارتی	>700حرارتی	حرارتی
5	16	87	75	395	30	حرارتی	نامشخص	>700حرارتی	نامشخص	>700حرارتی	>700حرارتی	حرارتی
6	64	23	19	83	1	حرارتی	نامشخص	نامشخص	نامشخص	نا مشخص	نا مشخص	حرارتی
7	127	24	1	32	81	آرکینگ	آرکینگ	آرکینگ	آرکینگ	آرکینگ	آرکینگ	آرکینگ
8	6700	900	35	2	18	تخلیه جزئی	نامشخص	نامشخص	نامشخص	نا مشخص	نا مشخص	تخلیه جزئی
9	900	82	62	15	2	تخلیه جزئی	نامشخص	نامشخص	تخلیه جزئی	نا مشخص	تخلیه جزئی انرژی زیاد	تخلیه جزئی
10	1565	93	34	47	1	تخلیه جزئی	نامشخص	نامشخص	نامشخص	نا مشخص	نا مشخص	تخلیه جزئی
11	36	30	10	93	8	حرارتی	نامشخص	نامشخص	نامشخص	نا مشخص	نا مشخص	حرارتی
12	1071	439	48	581	227	آرکینگ	نامشخص	آرکینگ	نامشخص	آرکینگ	آرکینگ	آرکینگ
13	340	40	5	40	210	آرکینگ	آرکینگ	نامشخص	آرکینگ	آرکینگ	آرکینگ	آرکینگ
14	200	700	200	500	1	حرارتی	حرارتی	<700حرارتی	نامشخص	حرارتی 300-700	حرارتی 300-700	حرارتی
15	81	70	25	68	1	حرارتی	نامشخص	حرارتی	حرارتی	نامشخص	<150حرارتی	حرارتی
16	465	3100	1221	3360	1	حرارتی	حرارتی	<700حرارتی	نامشخص	حرارتی 300-700	حرارتی 300-700	حرارتی
17	305	538	157	101	1	حرارتی	حرارتی	نامشخص	<150حرارتی	<300حرارتی	حرارتی 150-300	حرارتی
18	528	3179	320	3020	2314	آرکینگ	نا مشخص	نا مشخص	نا مشخص	نا مشخص	نا مشخص	آرکینگ
19	3091	46	17	101	239	آرکینگ	نا مشخص	نا مشخص	نا مشخص	نا مشخص	نا مشخص	آرکینگ
20	400	40	6	60	200	آرکینگ	نا مشخص	نا مشخص	نا مشخص	آرکینگ	آرکینگ	آرکینگ
تعداد جواب های صحیح						20	7	9	6	10	13	
تعداد جواب های غلط						0	0	0	0	0	0	
تعداد جواب های نامشخص						0	13	11	14	10	7	
راندمان						100%	35%	45%	30%	50%	65%	

جدول 9. نتایج تست نهایی روش پیشنهادی بر روی 20 نمونه واقعی ترانسفورماتورهای معیوب و مقایسه باروشهای کلاسیک تشخیص عیب