بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه تفرش

دانشکده مهندسی برق

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

تشخیص عیوب متداول در ترانسفورماتورهای قدرت توسط آنالیز گازهای روغن ترانسفورماتور با استفاده از شبکه عصبی

استاد راهنما:

آقای دکتر همایون مشگین کلک

آقای دکتر مجتبی پیشوایی

استاد مشاور:

آقای دکتر علی مطیع نصرآبادی

دانشجو:

ساناز فداکار

1390

سپاس بیکران بر همدلی و همراهی مادر دلسوز و پدر فداکارم که سجده ایثارشان گل محبت را در وجودم پروراند.

تقدیم به همسر مهربانم که در تمام مراحل همواره پشتیبان و حامی من بود.

قدردانی:

تشکر ایزد منان را که توانستم این مرحله از دوران تحصیلم را با موفقیت به پایان برسانم. بر خود وظیفه می دانم در پایان این مرحله یادی کنم از انسانهای وارسته ای که مرا در این مهم یاری کرده و این کوره راه تاریک را برایم روشن نموده و ناهمواریهای این مسیر را بر من هموار ساختند.

سپاسگزارم از استاد راهنمای اول خودم در این پایان نامه جناب آقای دکتر مشگین کلک که بی دریغ و مستمر مرا همراهی و راهنمایی نمودند و نیز با تشکر از استاد راهنمای دوم جناب آقای دکتر پیشوایی. با تشکر بیکران از استاد مشاور پایان نامه جناب آقای دکتر نصر آبادی که با زحمات بی شائبه خود مرا در این امر کمک نمودند و با تشکر از اساتید داور آقایان دکتر مددی و دکتر قدیمی که قبول زحمت کرده و جلسه دفاع از پایان نامه مرا زنیت بخشیدند و نیز از جناب آقای مهندس حیدرزاده که به نمایندگی از مؤسسه تحقیقات ایران ترانسفو با صبر و متانت و در اختیار قرار دادن اطلاعات فنی لازم نقش بسزایی در دقت اجرای پروژه ایفا نمودند.

فهرست مطالب

1. **فصل اول**:

مقدمه..... 1

1-1) مقدمه.....2

2-1) بررسی کارهای انجام شده در زمینه ترانسفورماتورهای قدرت.....3

3-1) نتیجه گیری.....8

2. **فصل دوم**: **عوامل ایجاد عیب در ترانسفورماتورها**

2-1)مقدمه.....10

2-2) ساختمان ترانسفورماتور.....13

2-2-1) هسته.....13

2-2-2) سیم پیچ ترانسفورماتور.....13

2-2-3) تانک اصلی روغن... 14

2-2-4) روغن عایقی ترانسفورماتور.....14

2-2-5) تپ چنجر.....15

2-2-6) ترمومترها.....15

2-2-7) نشان دهنده حرارت و روغن.....16

2-2-8) نشان دهنده سطح روغن.....16

2-2-9) رله بوخهولتز.....16

2-3) مروری بر مواد عایقی موجود در ترانسفورماتور و روند از بین رفتن آنها.....16

2-4) بررسی ساختار مواد عایقی جامد.....17

2-5) پیری در ترانسفورماتورها.....18

2-5-1) پیری حرارتی.....18

2-5-2) پیری الکتریکی.....18

2-5-3) پیری مکانیکی.....19

2-6) عوامل موثر در تخریب روغن ترانسفورماتور.....19

2-6-1) تاثیر روطوبت در روغن.....19

2-6-2) تأثیر اکسیژن بر روغن.....20

2-6-3) تخریب حرارتی مواد عایق جامد.....20

فهرست مطالب

2-7) محل ایجاد عیب در ترانسفورماتور ها.....21

2-8) عوامل ایجاد عیوب در ترانسفورماتورها.....21

2-8-1) عوامل داخلی.....22

2-8-1-1) عیوب الکتریکی.....22

2-8-1-1-1—2-8) تخلیه جزئی.....22

2-8-1-2) عیوب حرارتی.....23

2-8-2) عوامل خارجی.....24

2-9) انواع روش های تعمیر و نگهداری.....25

2-9-1) روش مبتنی بر تعمیر پس از وقوع خرابی.....26

2-9-2) روش مبتنی بر تعمیر و بازبینی در دوره‌های زمانی مشخص..... 26

2-9-3) روش مبتنی بر وضعیت دستگاه.....27

2-10) ساختار یک سیستم پایش و عیب یابی.....27

3.فصل سوم: بررسی روش های عیب یابی ترانسفورماتور و تحلیل DGA

3-1) مقدمه.....29

3-2) روش های بررسی عیوب موجود در ترانسفورماتور.....29

3-2-1) تخلیه جزئی (PD).....29

3-2-2) مدلسازی حرارتی.....30

3-2-2-1) اندازه گیری دما در آزمایشگاه و در حین بهره برداری.....30

3-2-2-1-1) ترمومترهای نصب شده روی ترانسفورماتورها.....32

3-2-2-1-1-1) ترمومتر روغن ترانسفورماتور.....32

3-2-2-1-1-2) ترمومتر سیم پیچ ترانسفورماتور.....33

3-2-3) تحلیل لرزش.....34

3-2-4) پایش وضعیت بوشینگ.....36

3-2-5) تحلیل گازهای حل شده در روغن (DGA) 36

3-2-5-1) خطاهای حرارتی.....39

3-2-5-2) خطاهای الکتریکی، تخلیه های ضعیف.....40

فهرست مطالب

3-5-2-3) خطاهای الکتریکی، تخلیه های شدید.....40

3-3) مزیت های روش تحلیل گازهای حل شده در روغن.....41

3-4) روش های تشخیص خطای ترانسفورماتور با استفاده از آنالیز گازها.....42

3-4-1) روش گازهای کلیدی.....42

3-4-1-1) اضافه حرارت روغن.....42

3-4-1-2) اضافه حرارت سلولز.....43

3-4-1-3) کرونای الکتریکی.....44

3-4-1-4) قوس الکتریکی.....44

3-4-2) روش نسبت های راجرز.....45

3-4-3) روش نسبت های دورننبرگ.....47

3-4-4) روش پیشنهادیIEC 50

3-4-5) روش ترسیمی دوال.....52

3-5) مقایسه روش های مختلف DGA.....53

3-6) ارزیابی و مقایسه فنی روشهای ذکر شده.....54

4.فصل چهارم: تشخیص عیوب داخلی ترانسفورماتور باشبکه عصبی مصنوعی

4-1) مقدمه.....57

4-2) تشخیص وضعیت ترانسفورماتور به روش کلاسیک.....57

4-3) تشخیص وضعیت ترانسفورماتور به کمک شبکه عصبی.....58

4-4- ساختمان شبکه عصبی طراحی شده.....60

4-5) مروری بر کلیات شبکه عصبی چند لایه با الگوریتم پس انتشار خطا.....60

4-6) بررسی عیوب داخلی ترانسفورماتور با استفاده از شبکه عصبیRBF 62

4-7) گزارش تحویل داده شده به موسسه ایران ترانسفو.....63

4-7-1) عیب یابی ترانسفورماتور با استفاده از شبکه عصبی پس انتشار خطا و نمونه های بدست آمده از مقاله.....65

4-7-1-1) استفاده از مقادیر مطلق گازهای H_2، CH_4، C_2H_6، C_2H_4 و C_2H_2 به عنوان دیتای ورودی.....65

فهرست مطالب

4-7-1-2) استفاده از نسبت گازهای به عنوان دیتای ورودی.....66

4-7-2) عیب یابی ترانسفورماتور با استفاده از شبکه عصبی RBF و نمونه های بدست آمده از مقاله.....76

4-8) بررسی عیوب داخلی ترانسفورماتور با استفاده از شبکه عصبی پس انتشار خطا با استفاده از دیتای واقعی.....67

4-8-1) آموزش شبکه عصبی پس انتشار خطا با استفاده از مقادیر مطلق پنج گاز 68

4-8-2) آموزش شبکه عصبی پس انتشار خطا با استفاده از مقادیر نسبت های گازی.....71

4-8-3) مقایسه نتایج عیب یابی ترانسفورماتور با شبکه پس انتشار خطا در ورودی های مختلف.....۷۵

4-9-1) آموزش شبکه عصبی RBF با استفاده از مقادیر مطلق گازها 77

4-9-2) آموزش شبکه عصبی RBF با استفاده از مقادیر نسبت های گازی 79

4-9-3) مقایسه نتایج عیب یابی ترانسفورماتور با شبکه RBF در ورودی های مختلف.....81

4-10) مقایسه نتایج عیب یابی ترانسفورماتور با شبکه پس انتشار خطا و شبکهRBF، زمانی که در ورودی مقادیر مطلق گازهای $\mathbf{H_2}$،$\mathbf{CH_4}$،$\mathbf{C_2H_6}$،$\mathbf{C_2H_4}$ و $\mathbf{C_2H_2}$ را داریم.....83

4-11) مقایسه نتایج عیب یابی ترانسفورماتور با شبکه پس انتشار خطا و شبکهRBF، زمانی که در ورودی مقادیر نسبت گازهای را داریم.....85

4-12) بررسی روش ارائه شده با روش استاندارد IEC 87

5.فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات.....92

6.فصل ششم: مراجع.....94

فهرست جدول ها

1-1) نتایج عیب یابی شبکه ها.....3
2-1) انواع ورودی های اعمال شده.....4
3-1) دسته بندی 820 خطای واقعی.....4
4-1) تعداد نورون ها.....4
5-1) درصد تشخیص درست در نمونه های ورودی آموزش و تست.....5
6-1) مقایسه درصد صحت روش IEC و شبکه عصبی طراحی شدهCMAC 5
7-1) درصد صحت تشخیص خطا برای روش شبکه عصبی و فازی.....6
8-1) نتایج درصد صحت حاصل در خطاهای مختلف.....7
9-1) نتایج شبکه .SVM+FRS 8
10-1) تعداد نمونه های آموزش برای هر خطا.....9
11-1) درصد صحت تست برای حالت تک خطایی با سه روش.....9
12-1) درصد صحت تست برای حالت دو خطایی.....9
13-1) تعداد نمونه های خطا در تست و آموزش.....10
1-2) عوامل وقوع خرابی در ترانسفورماتورها..... 21
2-2) خطاهای مهم ایجاد شده در ترانسفورماتور و عوامل ایجاد کننده آن.....25
1-3) انواع خطاهای ممکن در ترانسفورماتورهای قدرت با توجه به گازهای حاصله.....41
2-3) جدول روش نسبت راجرز.....45
3-3) جدول روش نسبت دورننبرگ.....47
4-3) الگوریتم روش IEC.....47
5-3) مقایسه روش های مختلف عیب یابی در شناسایی نوع عیب.....51
6-3) مقایسه روش های مختلف عیب یابی در تشخیص تخلیه جزئیPD.....54
7-3) مقایسه روش های مختلف عیب یابی در تشخیص تخلیه الکتریکی D 54
8-3) مقایسه روش های مختلف عیب یابی در تشخیص عیوب گرمایی نوع اول T<700.....54
9-3) مقایسه روش های مختلف عیب یابی در تشخیص عیوب گرمایی نوع دوم T>700.....55
1-4) نمونه های آنالیز گازهای ترانسفورماتور مورد استفاده در گزارش تحویلی به موسسه تحقیقات ایران ترانسفو.....63
2-4) نمونه های آزمایشی گزارش.....64
3-4) نتایج تست شبکه با پنج ورودی و با استفاده از نمونه های مقاله.....75
4-4) نتایج تست شبکهBP با سه ورودی و با استفاده از نمونه های مقاله.....66
5-4) نتایج شبکهRBF 66
6-4) کدگذاری خطاها..... 67
7-4) تعیین تعداد نورون در لایه میانی در شبکه BP با پنج ورودی مقادیر مطلق گازها.....68
8-4) درصد صحت پاسخ شبکه به ورودی آموزش پنج گاز H_2،CH_4،C_2H_6،C_2H_4 و C_2H_2 69

فهرست جدول ها

4-9) درصد صحت پاسخ شبکه به ورودی تست پنج گاز H_2، CH_4، C_2H_6، C_2H_4 و C_2H_2 69

4-10) تعیین تعداد نورون در لایه میانی در شبکه عصبی پس انتشار خطا با سه ورودی مقادیر نسبت گازها 71

4-11) درصد صحت پاسخ شبکه به ورودی آموزش نسبت گاز ها. 72

4-12) درصد صحت پاسخ شبکه به ورودی تست نسبت گاز ها. 72

4-13) مقایسه پاسخ آموزش شبکه عصبی پس انتشار خطا به ورودی آموزش در حالتی که نسبت گازها را به شبکه می دهیم با حالتی که مقادیر خالص پنج گاز را می دهیم 75

4-14) مقایسه پاسخ شبکه عصبی پس انتشار خطا به ورودی تست زمانی که نسبت گازها را به شبکه می دهیم با حالتی که مقادیر خالص پنج گاز را به شبکه اعمال می کنیم..... 76

4-15) درصد صحت پاسخ شبکه عصبی RBF به ورودی آموزش پنج گاز 77

4-16) درصد صحت پاسخ شبکه عصبی RBF به ورودی تست پنج گاز 77

4-17) درصد صحت پاسخ شبکه عصبی RBF به ورودی آموزش نسبت های گازی. 79

4-18) درصد صحت پاسخ شبکه عصبی RBF به ورودی تست نسبت های گازی 79

4-19) مقایسه پاسخ آموزش شبکهRBF در حالتی که نسبت گازها را به شبکه می دهیم با حالتی که مقادیر خالص پنج گاز را به ورودی می دهیم..... 81

4-20) مقایسه پاسخ تست شبکهRBF در حالتی که نسبت گازها را به شبکه می دهیم با حالتی که مقادیر خالص پنج گاز را به ورودی می دهیم..... 82

4-21) مقایسه پاسخ آموزش شبکه عصبی BP با پاسخ آموزش شبکه عصبیRBF زمانی که مقادیر مطلق گازهای H_2، CH_4، C_2H_6، C_2H_4 و C_2H_2 به ورودی هر دو شبکه اعمال می شود 83

4-22) مقایسه پاسخ تست شبکه عصبی BP با پاسخ تست شبکه عصبیRBF زمانی که مقادیر مطلق گازهای H_2، CH_4، C_2H_6، C_2H_4 و C_2H_2 به ورودی هر دو شبکه اعمال می شود..... 84

4-23) مقایسه پاسخ آموزش شبکه عصبی BP با پاسخ آموزش شبکه عصبیRBF زمانی که مقادیر نسبت های $R_1 = \frac{CH_4}{H_2}$، $R_2 = \frac{C_2H_2}{C_2H_4}$ و $R_3 = \frac{C_2H_4}{C_2H_6}$ به ورودی هر دو شبکه اعمال می شود..... 85

4-24) مقایسه پاسخ تست شبکه عصبی BP با پاسخ تست شبکه عصبیRBF زمانی که مقادیر نسبت های $R_1 = \frac{CH_4}{H_2}$، $R_2 = \frac{C_2H_2}{C_2H_4}$ و $R_3 = \frac{C_2H_4}{C_2H_6}$ به ورودی هر دو شبکه اعمال می شود..... 86

4-25) مقایسه نتیجه حاصل از روش پیشنهادی با نتایج عیب یابی توسط استانداردIEC 87

4-26) مقایسه تشخیص خطاها توسط دو روش IEC و BP 91

فهرست شکل ها

شکل2-1) شماتیک تغییرات عمر ترانسفورماتور بر اثر وقوع خطا..... 11
شکل2-2) میزان ترانسفورماتورهای افزوده شده در آمریکا بر حسب ظرفیت(گیگا ولت آمپر)..... 12
شکل2-3) منحنی احتمال خرابی ترانسفورماتورها..... 12
شکل2-4) درصد خرابی در ترانسفورماتورها بر اساس مکان عیب..... 21
شکل3-1) نمونه ای از منحنی جهش حرارتی روغن بالای یک ترانسفورماتورMVA 27 و 132/11/5KV..... 31
شکل3-2) روش اندازه گیری دمای روغن بالای ترانسفورماتو..... 33
شکل3-3) روش اندازه گیری دمای سیم پیچ ترانسفورماتور.....34
شکل3-4) نمونه‌ای از تشخیص عیب توسط تحلیل لرزش..... 35
شکل3-5) نمایی از برش یک بوشینگ و لایه‌های آن..... 36
شکل3-6) مخزن ترانسفورماتور، رله بوخهلتز، منبع انبساط روغن و ارتباط روغن با هوای خارج..... 38
شکل3-7) تبادل گاز با هوای خارج..... 38
شکل3-8) فشارهای جزئی تابع تولیدی به صورت تابعی از دما..... 40
شکل3-9) گازهای تولید شده در اثر اضافه حرارت در ورغن ترانسفورماتور..... 43
شکل3-10) گازهای تولید شده در اثر اضافه حرارت در عایق سلولزی ترانسفورماتور..... 44
شکل3-11) گازهای تولید شده در اثر کرونای الکتریکی در ترانسفورماتور..... 44
شکل3-12) گازهای تولید شده در اثر قوس الکتریکی در ترانسفورماتور..... 46
شکل3-13) فلوچارت روش راجرز..... 46
شکل3-14) فلوچارت روش دورننبرگ..... 49
شکل3-15) الگوریتم روش دوال..... 52

شکل4-1) شبکه چند لایه..... 61

شکل4-2) شبکه سه لایه..... 61

شکل4-3) شبکه عصبیRBF 62

شکل4-4) خروجی مطلوب شبکه در مقایسه با پاسخ شبکه به ورودی آموزش در شبکه عصبی پس انتشار خطا با ورودی پنج گاز H_2،CH_4،C_2H_6،C_2H_4 و C_2H_2 70

شکل4-5) خروجی مطلوب شبکه در مقایسه با پاسخ شبکه به ورودی تست در شبکه عصبی پس انتشار خطا با ورودی پنج گاز H_2،CH_4،C_2H_6،C_2H_4 و C_2H_2 70

شکل4-6) تابع کارآیی شبکه عصبی پس انتشار خطا با ورودی مطلق گازها 71

شکل4-7) خروجی مطلوب شبکه در مقایسه با پاسخ شبکه به ورودی آموزش در شبکه عصبی پس انتشار خطا با ورودی نسبت گازها..... 73

شکل4-8) خروجی مطلوب شبکه در مقایسه با پاسخ شبکه به ورودی تست در شبکه عصبی پس انتشار خطا با ورودی نسبت گازها..... 73

شکل4-9) تابع کارآیی شبکه عصبی پس انتشار خطا با ورودی نسبت گازها..... 74

فهرست شکل ها

شکل4-10) خروجی مطلوب شبکه در مقایسه با پاسخ شبکه به ورودی آموزش در شبکه عصبی RBF با ورودی مقادیر مطلق گازهای H_2،CH_4،C_2H_6،C_2H_4 و C_2H_2 77

شکل4-11) خروجی مطلوب شبکه در مقایسه با پاسخ شبکه به ورودی تست در شبکه عصبی RBF با ورودی مقادیر مطلق گازهای H_2،CH_4،C_2H_6،C_2H_4 و C_2H_2 77

شکل4-12) خروجی مطلوب شبکهRBF در مقایسه با پاسخ شبکه به ورودی آموزش در شبکه عصبی RBF با ورودی مقادیر مطلق گازهای $R_1 = \frac{CH_4}{H_2}$،$R_2 = \frac{C_2H_2}{C_2H_4}$ و $R_3 = \frac{C_2H_4}{C_2H_6}$ 80

شکل4-13) خروجی مطلوب شبکهRBF در مقایسه با پاسخ شبکه به ورودی تست در شبکه عصبی RBF با ورودی مقادیر مطلق گازهای $R_1 = \frac{CH_4}{H_2}$،$R_2 = \frac{C_2H_2}{C_2H_4}$ و $R_3 = \frac{C_2H_4}{C_2H_6}$. 80

فهرست فرمول ها

فرمول (3-1).....32
فرمول (3-2).....32
فرمول (3-3).....35
فرمول (4-1).....61
فرمول (4-2)..... 63
فرمول (4-3).....63

فهرست ضمیمه ها

ضمیمه1..... 99
ضمیمه2..... 100
ضمیمه3..... 102

چکیده

ترانسفورماتورهای قدرت نقش مهمی را در یک سیستم قدرت ایفا می کنند و بروز خطا در آنها می تواند وقفه های طولانی در سرویس دهی و نیز هزینه های سنگین تعمیرات را باعث گردد. تضعیف خاصیت عایقی ترانسفورماتور از جمله علل خروج آن از شبکه می باشد. این خطاها می تواند خسارات زیادی به بار آورد و در بعضی از مواقع موجب توقف ترانسفورماتور شود. بنابراین اطمینان لازم در عملکرد صحیح ترانسفورماتورها امری ضروری در یک سیستم قدرت محسوب می شود. روش های بسیاری برای ارزیابی وضعیت گوناگون ترانسفورماتور (اضافه دما، تخلیه جزئی و...) پیشنهاد شده است، تاکنون مطمئن ترین و عملی ترین آنها آنالیز گازهای حل شده در روغن می باشد. از آنجا که وجود خطا در ترانسفورماتور باعث ظهور علائمی بر روی سیستم عایقی ترانسفورماتور از جمله روغن آن می شود، لذا با ارزیابی روغن ترانسفورماتور می توان به وجود یا عدم وجود خطا در ترانسفورماتور پی برد.

نگاهی به مقالات مختلف در مورد تشخیص خطاهای ترانسفورماتور ما را به این مطلب می رساند که استفاده مستقیم از روشهای مرسوم آنالیز گاز مانند روش نسبت گازها(دورننبرگ، مثلث و IEC) دارای مشکلاتی از جمله عدم قدرت تصمیم گیری در همه حالات می باشند. تکنیک های مختلف هوش مصنوعی می تواند به حل این مشکل کمک کند. در این پایان نامه یک مطالعه اصولی از کاربرد هوش مصنوعی در تشخیص مراحل اولیه شکل گیری خطاهای ترانسفورماتور قدرت انجام می گیرد بدین منظور از شبکه عصبی برای تشخیص عیب استفاده شده است. مقادیر استفاده شده در دیتای ورودی از موسسه تحقیقات ایران ترانسفو گرفته شده است. خطایابی توسط شبکه عصبی با استفاده از شبکه عصبی پس انتشار خطا و شبکه عصبی RBF انجام شد. هر کدام از این شبکه ها برای ورودی مقادیر مطلق گازهای H_2، CH_4، C_2H_6، C_2H_4 و C_2H_2 و ورودی مقادیر نسبت گازهای $R_1 = \frac{CH_4}{H_2}$، $R_2 = \frac{C_2H_2}{C_2H_4}$ و $R_3 = \frac{C_2H_4}{C_2H_6}$ طراحی شد و نتایج حاصل بطور جداگانه بررسی شد.

کلمات کلیدی: ترانسفورماتور(Transformer)- آنالیز گازهای محلول در روغن Dissolved Gas Analysis(DGA)) - تشخیص عیب (Fault Diagnosis) – شبکه عصبی(Neural Network)

فصل اول

مقدمه

1-1- مقدمه

ترانسفورماتورهای قدرت در انتقال انرژی از جایگاه ویژه ای برخوردارند. ساده ترین خطاها و عیوب در ترانسفورماتورها باعث ایجاد اتفاقات ناگوار در کل سیستم قدرت می شود. اگرچه طول عمر ترانسفورماتور در حین بهره برداری به مرور کاهش می یابد، لیکن ممکن است در اثر عواملی نظیر رطوبت، خطاهای اتصال کوتاه و حرارت روند آن سریعتر شود. روش های بسیاری برای ارزیابی وضعیت های گوناگون ترانسفورماتور (اضافه حرارت، تخلیه جزئی و ...)پیشنهاد شده است که تاکنون مطمئن ترین و عملی ترین آنها آنالیز گازهای حل شده در روغن[1] شناخته شده است. از آنجا که وجود خطا در ترانسفورماتور باعث ظهور علائمی بر روی سیستم عایقی ترانسفورماتور از جمله روغن آن می شود، لذا با ارزیابی روغن ترانسفورماتور به وجود یا عدم وجود خطا در ترانسفورماتور می توان پی برد.

یکی از تکنیک های کاملا موثر در تشخیص زود هنگام خطاها، روش آنالیز گازهای محلول در روغن می باشد. این تکنیک بیش از 30 سال است که در عمل مورد استفاده قرار می گیرد. بطور معمول فرآیند نمونه برداری روغن، جداسازی گازهای محلول درآن و انجام کروماتوگرافی گاز و تفسیر نتایج هر سال یک بار انجام می شود.

مقدار گازهای تولیدی و نرخ تولید آنها از فاکتورهای مهم در تشخیص خطا و چگونگی گسترش و توسعه آن خطا می باشد. برای هر یک از این گازها که به گازهای کلیدی معروفند مقادیر نوعی در نظر گرفته می شود که این مقادیر، بنا به نوع و شرایط خاص یک ترانسفورماتور تعیین می شوند و در ترانسفورماتورهای مختلف متفاوتند. از جمله استانداردهای مناسب که می توان از آن به عنوان راهنما در زمانیکه ترانسفورماتور هیچگونه سابقه کاری (یا تاریخچه کاری) ندارد، نام برد استاندارد IEEE و IEC است. با این حال این روش ها دارای مشکلاتی از جمله قرار گرفتن نسبت ها در خارج از محدوده تشخیص عیب و نیز قرار گرفتن نسبت ها در مناطق مرزی می باشند.

---

[1] Dissolved Gas Analysis(DGA)

۱-2- بررسی کارهای انجام شده در زمینه عیب یابی ترانسفورماتورهای قدرت

تاکنون چندین روش شامل شبکه های عصبی، فازی و ژنتیک جهت شناسایی عیوب در ترانسفورماتورها مورد مطالعه قرار گرفته اند که در ادامه چندین مورد از مراجع به همراه نتایج حاصل آنها ارائه می گردد.

در مرجع[1] با استفاده از ترکیب سه شبکه عصبی به بررسی عیب های موجود در ترانسفورماتور پرداخته شده است. شبکه های استفاده شده به ترتیب برابرند با:

ANN1: تشخیص می دهد که در ترانسفورماتور خطایی وجود دارد یا نه.

ANN2-1: برای تشخیص دو نوع خطای دشارژ بکار می رود.

ANN2-2: برای تشخیص خطاهای حرارتی می باشد.

برای هر شبکه 100 نمونه برای آموزش و 40 نمونه برای تست استفاده شده است.

در آنالیز گازهای ترانسفورماتور بین بعضی از گازهای موثر در تشخیص خطا از نظر مقدار مطلق تفاوت زیادی وجود دارد. به عنوان مثال مقدار C_2H_2 در روغن ترانسفورماتور معمولا پایین می باشد، ولی وقتی این گاز ظاهر می شود تاثیر آن در خطا زیاد می باشد، برعکس مقدار H_2 معمولا زیاد است اما تغییرات آن به ازای خطاهای مختلف کمتر می باشد. بنابراین اساس کار را نرخ تغییر مقدار گازهایی که در خطاهای مختلف رنج تغییراتی بالایی را دارند تشکیل می دهند. توجه شود که در این مرجع در ورودی از مقادیر نرمالیزه شده پنج گاز C_2H_2،C_2H_4،C_2H_6،CH_4وH_2 استفاده شده است. مقادیر ورودی به سه مدل نرمالیزه شده اند و نتایج بطور جداگانه در هر مدل بررسی شده اند.

نتایج بدست آمده از این روش در جدول زیر خلاصه شده است:

جدول۱-۱-نتایج عیب یابی شبکه ها

مدل نرمالیزه ورودی	ANN1	ANN2	ANN3
مدل ۱	%۹۰	%۸۲/۵	%۹۰
مدل ۲	%۷۵	%۷۰	%۷۷/۵
مدل ۳	%۹۷/۵	%۸۰	%۹۵

همانطور که مشاهده می شود با اینکه تعداد خطای تشخیص داده شده برای هر شبکه کم می باشد ولی نتایج غیر از حالت سوم زیاد مطلوب نمی باشد.

در مرجع[2] از الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی با تکیه بر نتایج آنالیز گازهای محلول در روغن ترانسفورماتور به بررسی عیب ها موجود پرداخته شده است.

از چهار نوع ورودی متفاوت استفاده شده است که این ورودی ها طبق جدول 1-2 می باشند:

جدول 1-2- انواع ورودی های اعمال شده

نوع	پارامتر های ورودی
1	$\frac{CH_4}{H_2}, \frac{C_2H_2}{C_2H_4}, \frac{C_2H_2}{CH_4}, \frac{C_2H_6}{C_2H_2}$
2	$\frac{CH_4}{H_2}, \frac{C_2H_2}{C_2H_4}, \frac{C_2H_4}{C_2H_6}$
3	$H_2, CH_4, C_2H_6, C_2H_4, C_2H_2$
4	$\frac{CH_4}{H_2}, \frac{C_2H_2}{C_2H_4}, \frac{C_2H_4}{C_2H_6}, H_2, CH_4, C_2H_6, C_2H_4, C_2H_2$

خطاهای مورد بررسی و تعداد نمونه های آموزشی برای هر خطا طبق جدول زیر می باشد:

جدول1-3- دسته بندی 820 خطای واقعی

کد خطا	نوع خطا	نمونه های آموزشی
0	خطا وجود ندارد	600
1و2	خطای حرارتی کمتر از 300 درجه	58
3	خطای حرارتی 300-700 درجه سانتیگراد	55
4	خطای حرارتی بزرگتر از 700 درجه سانتیگراد	50
5	تخلیه جزئی با انرژی پایین	57
	کل	820

شبکه عصبی که در مقاله استفاده شده است یک شبکه عصبی سه لایه با الگوریتم پس انتشار خطا[1]، سرعت یادگیری 0/25 و ضریب مومنتم 0/8 می باشد.

جدول1-4- تعداد نورون ها

شبکه عصبی	الگوریتم ژنتیک	نوع
10	7	1
8	6	2
12	9	3
20	14	4

[1] Back propagation(BP)

بنابراین نتایج آموزش و تست برای هر ورودی به صورت زیر می باشد:

جدول1-5-درصد تشخیص درست در نمونه های ورودی آموزش و تست

درصد تشخیص درست در تست		درصد تشخیص درست در آموزش		
شبکه عصبی	الگوریتم ژنتیک	شبکه عصبی	الگوریتم ژنتیک	نوع
%۸۱/۴۶	%۸۶/۵۹	%۸۰/۴۹	%۸۴/۲۴	۱
%۸۶/۸۳	%۹۲/۸۰	%۸۵/۶۱	%۹۱/۴۶	۲
%۸۹/۸۸	%۹۵/۶۱	%۸۸/۶۶	%۹۴/۲۷	۳
%۸۵/۴۹	%۹۰/۸۵	%۸۴/۲۷	%۸۹/۵۱	۴

توجه شود که درصد تشخیص درست در الگوریتم ژنتیک نسبت به شبکه عصبی بهتر می باشد و در حالتی که نسبت سه گاز IEC و راجرز به شبکه اعمال می شود درصد صحت برابر 86% می باشد که نتیجه زیاد مطلوبی نمی باشد.

در مرجع[3] از شبکه عصبی CMAC با سه ورودی که برابر نسبت های گازی IEC می باشد استفاده شده است، تعداد 9 خطایی که در استاندارد IEC معرفی شده است تشخیص داده می شود بنابراین این شبکه دارای 9 لایه موازی می باشد که در هر لایه یک نورون برای تشخیص خطای مربوطه وجود دارد.

درصد تشخیص درست خطا برای 20 نمونه تست در نویزهای مختلف طبق جدول زیر می باشد:

جدول 1-6- مقایسه درصد صحت روش IEC و شبکه عصبی طراحی شده CMAC

روشIEC	شبکه عصبی CMAC	درصد نویز
%۸۷/۵	%۱۰۰	±%۰
%۸۷/۵	%۹۰	±%۱۰
%۸۲/۵	%۹۵	±%۲۰
%۷۷/۵	%۹۰	±%۳۰
%۷۲/۵	%۸۵	±%۵۰

در [4] از یک روش فازی KP و یک روش شبکه عصبی برای خطایابی استفاده شده است و نتایج با هم مقایسه شده است. در طراحی شبکه عصبی از پنج ورودی استفاده شده است که این ورودی ها مقادیر گازهای $H_2, CH_4, C_2H_6, C_2H_4, C_2H_2$ می باشند. همچنین ورودی ها به صورت نرمالیزه شده به شبکه اعمال شده اند. چهار نوع خطای: دشارژ با انرژی پایین(F1)، دشارژ با انرژی بالا(F2)، خطای حرارتی پایین یا متوسط(F3) و خطای حرارتی با دمای بالا(F4) توسط این شبکه تشخیص داده می شود. لایه مخفی شامل 12 نورون می باشد. از الگوریتم پس انتشار برای آموزش استفاده شده است. تعداد دیتاهای DGA برابر 453 می باشد که 250 نمونه برای آموزش و 203 نمونه برای تست استفاده شده است.

نتایج بدست آمده از این روشها طبق جدول زیر می باشد.:

جدول1-7-درصد صحت تشخیص خطا برای روش شبکه عصبی و فازی

نوع خطا	نرمال	F3	F4	F1	F2
تعداد نمونه های آموزش	50	50	50	50	50
تعداد نمونه های تست	26	44	65	33	35
درصد درستی شبکه عصبی	%84/6	%87/1	%86/8	%88/3	%82/9
درصد درستی روش فازی	%92/3	%90/9	%92/3	%90/9	%85/7

در [5] از روش فازی برای خطایابی استفاده شده است. 711 نمونه DGA برای آموزش شبکه به منظور تشخیص هشت نوع عیب استفاده شده است. به ورودی نسبت های سه گاز $\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$, $\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$, $\frac{CH_4}{H_2}$ اعمال شده است. خطاهای مورد بررسی عبارتند از:

- نرمال
- خطای حرارتی با دمای پایین
- خطای حرارتی 300-700 درجه سانتیگراد
- خطای حرارتی بزرگتر از 700 درجه سانتیگراد
- تخلیه جزئی با انرژی پایین
- تخلیه جزئی با انرژی بالا
- تخلیه الکتریکی با انرژی پایین
- تخلیه الکتریکی با انرژی بالا

درصد صحت تست میانگین برابر 92/16% بدست آمده است.

در مرجع[6] از سه روش IAFSO[1] با الگوریتم پس انتشار، AFSO[2] همراه با الگوریتم پس انتشار و شبکه عصبی با الگوریتم پس انتشار برای عیب یابی استفاده شده است. در ورودی مقادیر نسبت گاز های استاندارد IEC، $\frac{CH_4}{H_2}, \frac{C_2H_2}{C_2H_4}, \frac{C_2H_4}{C_2H_6}$ را داریم. این شبکه ها هفت حالت ترانسفورماتور را تشخیص می دهند که عبارتند از:

- (A_1) نرمال
- (A_2) خطای حرارتی کمتر از 300 درجه سانتیگراد
- (A_3) خطای حرارتی 300-700 درجه سانتیگراد
- (A_4) خطای حرارتی بزرگتر از 700 درجه سانتیگراد
- (A_5) تخلیه جزئی
- (A_6) تخلیه الکتریکی با انرژی پایین
- (A_7) تخلیه الکتریکی با انرژی بالا

در لایه مخفی از 12 نورون استفاده شده است.

[1] Improved Artificial Fish Swarm Optimization

[2] Artificial Fish Swarm Optimization