ارائه روشی به منظور تحلیل نتایج آنالیز گازهای محلول در روغن ترانسفورماتور

مطالعه موردی: ترانسفورماتورهای شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر سیرجان

علیرضا فروغی، مصطفی فیروزآبادی، ابوالفضل احمدی پور و رحیم ستوده بحرینی
شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر سیرجان

چکیده — ترانسفورماتورهای قدرت از مهمترین تجهیزات صنایع بزرگ می‌باشند و بروز هرگونه عیب در ترانسفورماتورها می‌تواند سبب بی برق شدن تجهیزات، توقف خطوط تولید و تحمیل هزینه‌های سنگین گردد. بنابراین پایش وضعیت ترانسفورماتورها و تشخیص و رفع به موقع ایراد آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. آنالیز گازهای حل‌شده در روغن یکی از روش‌های اصلی پایش وضعیت ترانسفورماتورها می‌باشد. به منظور آنالیز گازهای روغن تاکنون روش‌های زیادی معرفی‌شده است. در مواردی ممکن است نتایج حاصل از این روش‌ها با یکدیگر مطابقت نداشته باشد. این مقاله به ارائه روشی جهت تصمیم‌گیری نهایی در مورد نوع خطای معرفی‌شده در روش‌های مختلف گازکروماتوگرافی می‌پردازد. این روش پیشنهادی بر روی ترانسفورماتورهای شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر پیاده‌سازی شده و نتایج حاصل از آن ارائه گردیده است.

واژه‌های کلیدی — ترانسفورماتور، آنالیز روغن، آنالیز گازهای محلول در روغن، گاز کروماتوگرافی

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر با پیشرفت تکنولوژی، نیاز به قابلیت اطمینان در سیستم‌های دینامیکی ساخت بشر رو به افزایش بوده است. آگاهی زود هنگام از وقوع عیب در یک سیستم باعث می‌شود که بتوان در زمان مناسب اقدامات لازم را جهت بهبود و تعمیر سیستم به انجام رساند و مانع از خرابی و از کارافتادگی آن سیستم گردید. امروزه با رشد صنایع و پیچیدگی و وابستگی سیستم‌ها به یکدیگر، متوقف شدن یک تجهیز می‌تواند سبب متوقف‌شدن فرآیندهای صنعتی از جمله صنایع معدنی گشته و مسائل و لطمات اقتصادی فراوانی را به همراه داشته باشد. در نیروگاه‌های تولید برق، پست‌های فشار قوی و مراکز صنعتی بزرگ نظیر شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر سیرجان، ترانسفورماتورهای قدرت از حیاتی‌ترین تجهیزات به شمار رفته و لذا پایش صحیح وضعیت آن‌ها از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. در صورتی که در هریک از ترانسفورماتورهای تغذیه کننده تجهیزات برقی خطایی رخ دهد، امکان متوقف شدن خط تولید صنایع بسیار زیاد می‌باشد. در یک ترانسفورماتور قدرت خطاهای مختلفی به دلایل گوناگونی ممکن است رخ دهد. به طور کلی می‌توان خطاهای ترانسفورماتور را به دو دسته الکتریکی و حرارتی تقسیم‌بندی کرد. عیوب الکتریکی عیوب مخربی بوده و سبب نفوذ در مواد عایقی می‌گردند. این عیوب عمدتا به سه دسته آرک، تخلیه جزئی و پدیده کرونا تقسیم‌بندی می‌شوند. عیوب حرارتی نیز شامل افزایش دمای روغن و یا عایق کاغذی می‌باشند. بروز هریک از این خطاها باعث تجزیه روغن ترانسفورماتور و عایق سلولزی آن گشته و گازهای مختلفی را تولید می‌نماید. بنابراین با نمونه‌گیری از روغن ترانسفورماتور و بررسی کمی گازهای موجود در آن می‌توان از وضعیت ترانسفورماتور آگاهی یافت که به این عمل گازکروماتوگرافی (DGA[1]) می‌گویند[1].

پس از انجام عملیات گازکروماتوگرافی بر روی روغن ترانسفورماتور، بایستی تحلیل نتایج و عیب‌یابی خطای ترانسفورماوتر انجام پذیرد. تاکنون برای این امر روش‌های مختلفی معرفی شده است که هر کدام از این روش‌ها

[1] Dissolved Gas Analysis

دارای مزایا و معایبی می‌باشند [2,3]. در شرایط مختلف امکان عدم تطابق نتایج روش‌های مختلف آنالیز گازکروماتوگرافی وجود خواهد داشت. در زمینه تشخیص دقیق نوع خطا و میزان دقت هریک از روش‌های گوناگون گازکروماتوگرافی تاکنون مطالعات زیادی انجام شده است[4]. در مقاله حاضر، ابتدا روش‌های مختلف تحلیل و عیب‌یابی نتایج گازکروماتوگرافی روغن ترانسفورماتور شرح داده خواهند شد. سپس به منظور تصمیم گیری نهایی در مورد نوع خطای رخ داده در ترانسفورماتور روشی ارائه خواهد شد. ترانسفورماتورهای کارخانه‌های فراوری شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر سیرجان به عنوان مورد مطالعاتی معرفی می‌گردند و روش پیشنهادی بر روی آن‌ها اجرا خواهد گردید.

۲.روش‌های آنالیز گازهای محلول در روغن ترانسفورماتور

مطالعه در زمینه تولید گازهای حاصل از تجزیه روغن و یا کاغذ عایقی در ترانسفورماتور قدرت تحت فشارهای الکتریکی و حرارتی به سال ۱۹۳۰ برمی‌گردد. پیشرفت قابل توجه در این مبحث در سال ۱۹۷۳ توسط هالستد[2] صورت پذیرفت. قبل از هالستد دانشمندان پی برده بودند که تحت فشارهای حرارتی و الکتریکی روغن معدنی به هیدروژن اکتیو و مولکول‌های هیدروکربن تجزیه شده و این مولکول‌ها می‌توانند با یکدیگر ترکیب شوند و گازهای مختلفی مانند هیدروژن، متان، اتان، اتیلن و استیلن تولید نمایند.

هالستد یک مدل ترمودینامیکی پیشنهاد نمود که ارتباط میان دمای خطا و مشخصات گازها را بیان می‌کرد. این مدل با این فرض که هیدروکربن‌های موجود در روغن به فرآورده‌های مشابه تجزیه شده و هر فرآورده با سایر فرآورده‌ها در تعادل باشد، ارائه شده است. براساس مدل ارائه شده، ارتباط بین میزان تولید گاز و دما بدست می‌آید. مطالعه روی این موضوع نشان می‌دهد که با افزایش دما تولید گازها از الگوی زیر پیروی می‌کند:

$$H_2 \rightarrow CH_4 \rightarrow C_2H_6 \rightarrow C_2H_4 \rightarrow C_2H_2$$

هیدروژن در دمای پایین‌تر تولیدشده و مقدار آن با افزایش دما به طور پیوسته افزایش می‌یابد. درصورتی که استیلن در دمای بالا (حدود ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد) تولید شده و میزان آن نیز با افزایش دما به طور پیوسته افزایش می‌یابد. همچنین تجزیه عایق جامد ترانسفورماتور می‌تواند مطابق مقدار و نرخ گازهای مونواکسیدکربن و دی‌اکسیدکربن محلول در روغن، مشخص شود. این گازها به طور مشخص هنگامی که دما از یک حد آستانه (بین ۱٤۰ تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد) بالاتر رود افزایش می‌یابند. ولی میزان این گازها به تنهایی نمی‌تواند روش تشخیص صحیحی برای خطای سلولزی ترانسفورماتور باشد، زیرا این گازها در ترانسفورماتور می‌توانند در اثر اکسیداسیون حرارتی طولانی مدت روغن نیز ایجاد گردند. این گازها پس از تولید می‌توانند در عایق کاغذی نفوذ کرده و باعث تغییر میزان این گازها در اندازه‌گیری‌ها شوند. در سال‌های بعد مطالعات بیشتری در این زمینه صورت گرفت و روش‌هایی ارائه شد که برخی از مهم‌ترین آن‌ها در ادامه معرفی خواهند شد.

۲.۱. روش نسبت دورننبرگ[3]

یکی از روش‌های مهم تشخیص خطا در ترانسفورماتور قدرت، روش نسبت گازهای محلول است. اولین تلاش‌ها درباره استفاده از نسبت گازها در سال ۱۹٦۰ در CECG صورت گرفت. دورننبرگ جزء اولین نفرات در یک کمیته مهندسی بود که تکنیکی برای تشخیص خطاهای ترانسفورماتور قدرت با استفاده از نتایج DGA پیشنهاد نمود. او در سال ۱۹۷۰، تفاوت میان خطاهای الکتریکی و حرارتی را با استفاده از چهار نسبت گازی، نشان داد. روش او قادر به تشخیص سه نوع خطای کلی شامل تجزیه حرارتی، کرونا یا تخلیه جزئی با انرژی کم و قوس یا تخلیه جزئی با انرژی زیاد می‌باشد.

نکته قابل توجه در به کارگیری این روش این است که مقادیر گازهای حاصل از گازکروماتوگرافی روغن ترانسفورماتور بایستی از یک سطح بحرانی که در استاندارد IEEE مشخص شده و محدودیت L1 نامیده می‌شود، بیشتر باشد و در غیر این صورت نمی‌توان نسبت به نتایج این روش اطمینان داشت و از آن استفاده نمود. شرح کامل عیب یابی ترانسفورماتور به روش دورننبرگ در [5] ارائه شده است.

۲.۲. روش نسبت راجرز[4]

پیرو مدل ترمودینامیکی هالستد، روش نسبت راجرز اولین بار در سال ۱۹۷۳ پیشنهاد شد. این روش در سال ۱۹۷۵ و سپس در سال ۱۹۷۷ تصحیح شد. در سال ۱۹۷۸ نظریه او تحت تست‌های آزمایشگاهی، آزمون‌های صنعتی

[2] Halstead

[3] Dornenburg's ratio method

[4] Rogers ratio method

و ارزیابی‌های تئوری قرار گرفت و سپس به صورت استاندارد IEC599 تغییر یافت [6].

در تشخیص خطا به روش راجرز، از نسبت ٤ گاز برای تشخیص خطا استفاده می شود. این گازها شامل CH4/H2، C2H6/CH4، C2H4/C2H6 و C2H2/C2H4 می باشند. بعد از مشخص‌شدن نسبت گازهای معرفی‌شده، روش راجرز از یک جدول برای عیب یابی ترانسفورماتورها استفاده می نماید. ویرایش بعدی استاندارد IEC599 در سال ۱۹۹٦ مطرح و نهایی گردید.

۲.۳. روش استاندارد IEC 60599

این روش از ترکیبی از نسبت‌ها مبنی بر روش نسبت راجرز، غلظت گازها و نرخ رشد گاز استفاده می‌کند. استاندارد IEC 60599 شش نوع خطا را مشخص می‌کند که این خطاها شامل تخلیه جزئی، تخلیه با انرژی کم، تخلیه با انرژی زیاد و خطای حرارتی می باشند [7].

۲.٤. روش گازهای کلیدی[5]

مطالعه بر روی روش گازهای کلیدی در آزمایشگاه‌های Doble آغاز گردید و نخستین بار این روش، در سال ۱۹۷٤ پیشنهاد شد. در این روش، گاز کلیدی برای هر نوع خطایی شناسایی شده و با توجه به درصد گاز، از آن برای تشخیص خطا استفاده می‌شود. این روش، نتایج حاصل از DGA را بر پایه مجموعه‌ای از حقایق تفسیر می‌نماید. برای مثال، در تخلیه جزئی با انرژی کم یا کرونا، اصولاً H_2 به همراه نسبت ناچیزی از گازهای هیدروکربنی تولید می-شود، بنابراین گاز کلیدی برای تخلیه جزئی یا کرونا، H_2 است که اگر درصد آن در یک نمونه روغن، بزرگ باشد، آن خطا تخلیه جزئی یا کرونا است.

گازهای مهم تولید شده بر اثر تخریب سلولز و روغن در دماهای مختلف معیاری برای شناسایی نوع خطا از روی مقایسه مقدار گازهای تولید شده با این گازهای کلیدی هستند. برای عیوب مختلف گازهای کلیدی به صورت زیر مشخص شده اند [8]:

- خطای حرارتی به دلیل اضافه حرارت در روغن که اتیلن گاز کلیدی آن می‌باشد. مواد حاصل از تخریب روغن شامل اتیلن و متان به همراه مقادیر کم هیدروژن و اتان می باشند. درصورت شدید بودن خطا امکان تولید استیلن نیز وجود دارد.
- خطای حرارتی به دلیل اضافه حرارت عایق کاغذی که مونوکسید کربن گاز کلیدی آن می‌باشد. در این حالت بر اثر اضافه حرارت بر روی عایق سلولزی مقادیر زیادی دی اکسیدکربن و مونوکسیدکربن تولید می‌شود. در صورت گسترش خطا به روغن ترانسفورماتور امکان تولید متان و اتیلن نیز وجود دارد.
- خطای الکتریکی به دلیل تخلیه الکتریکی کم‌انرژی در روغن و گاز کلیدی آن هیدروژن است. تخلیه‌های الکتریکی کم‌انرژی، مقادیر قابل توجهی هیدروژن و متان و مقادیر کمی اتان و اتیلن تولید می‌کنند. مقایسه مقادیر دی‌اکسید کربن و مونوکسید تولیدشده می‌تواند نشانگر میزان تخلیه در عایق کاغذی باشد.
- خطای الکتریکی به دلیل جرقه و گاز کلیدی آن استیلن است. در این حالت مقادیر زیادی هیدروژن و استیلن و مقادیر کمی متان و اتیلن تولید می‌شود. اگر خطا، عایق سلولزی را هم شامل شود دی‌اکسید کربن نیز تولید می‌شود.

۲.۵. روش گازهای محلول قابل اشتعال

یکی دیگر از روش‌هایی که از داده‌های DGA و گازکروماتوگرافی استفاده می‌کند، روش آنالیز گازهای محلول قابل اشتعال می‌باشد. در این روش با تست مقدار گازهای حل‌شده در روغن و مقایسه آن با مقادیر از قبل تعیین‌شده، می‌توان وقوع یک خطا را در صورت غیرنرمال بودن سطوح گازها در روغن ترانسفورماتور حدس زد. در صورتی که داده‌ها وقوع یک خطا را نشان دهند، کارشناس نگهداری میبایست برای اطلاع از آنچه در ترانسفورماتور اتفاق افتاده به جداول چاپ شده توسط مؤسسه IEEE مراجعه نماید [9].

[5] Key Gas Method

۲.٦. روش مثلث دوال[6]

روش تشخیص مثلث دوال با تحقیقات و آزمایشات مایکل دوال[7] در شرکت کانادایی Hydroquebec بیان گردیده است. در این روش درصد هر یک از گازهای متان، اتیلن و استیلن محاسبه می‌گردد. سپس این درصدها به صورت نقطه‌ای روی محورهای نمودار مثلثی مشخص می‌گردد. این مثلث توسط خطاها به نواحی مختلف تقسیم شده است و محل قرارگیری نقطه مذکور می‌تواند نوع عیب را مشخص نماید. اطلاعات کامل روش مثلث دوال به همراه جداول عیب یابی آن در [10] بیان شده است.

۲.۷. روش‌های هوش مصنوعی

از سال ۱۹۹۰ تحقیقات ارزشمندی در خصوص استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی برای تحلیل نتایج حاصل از DGA صورت گرفته است. روش‌های هوش مصنوعی شامل سیستم‌های خبره (EPS)، منطق فازی، الگوریتم‌های تکاملی و شبکه عصبی مصنوعی می‌باشند.

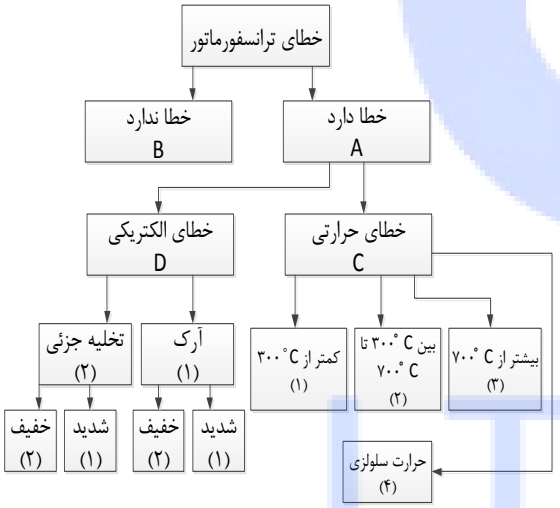
سیستم خبره، یک سیستم پشتیبانی تصمیم گیرنده شامل تشخیص خطا و توصیه‌های بهره‌برداری می‌باشد. روش‌های مختلف DGA به عنوان قسمت اعظم این سیستم مورد استفاده قرار گرفته و دیگر تجربیات صنعتی نیز به عنوان قواعد تشخیص خاص به کار گرفته می‌شوند. در این سیستم اطلاعاتی مانند نوع ترانسفورماتور، سطح ولتاژ و تاریچه بهره‌برداری با سایر اطلاعات ترکیب می‌شوند. تعداد محدودی سیستم خبره جهت استفاده در تشخیص خطای داخلی ترانسفورماتور گسترش یافته است.

مؤثربودن یک سیستم خبره به دقت و کامل‌بودن پایگاه دانش که معمولاً پیچیده بوده و به صورت دستی تهیه می‌شود، بستگی دارد. بزرگ‌ترین مشکل سیستم خبره این است که قابلیت تطبیق خودکار قواعد تشخیص را نداشته و قادر نیست در یک پروسه خودآموزشی از داده‌های نمونه‌گیری جدید برای بدست‌آوردن دانسته‌های تازه بهره گیرد.

[6] Duval Triangle
[7] Michel Duval

۳.روش پیشنهادی برای تعیین نوع خطای ترانسفورماتور

همانطور که در بخش مقدمه مقاله ذکر گردید، در برخی از موارد، نتایج بدست‌آمده از روش‌های مختلف گازکروماتوگرافی ممکن است با یکدیگر تطابق نداشته باشند. لذا تشخیص نهایی نوع خطای رخ داده ممکن است با مشکل مواجه شود. تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه میزان دقت هریک از این روش‌ها انجام شده است. برای تشخیص نوع خطای ایجادشده در ترانسفورماتور ابتدا به معرفی درخت تصمیم‌گیری نوع خطا که در شکل ۱ نشان داده شده است می‌پردازیم. درخت تصمیم‌گیری نشان داده شده در شکل ۱، با توجه به تشخیص روش‌های DGA کد مربوط به نوع خطای ایجاد شده را انتخاب می‌کند. به عنوان مثال ترانسفورماتوری که دارای خطای حرارتی کمتر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد باشد، دارای کد C1 خواهد بود. همچنین در صورتی که ترانسفورماتوری سالم تشخیص داده شود کد B برای آن در نظر گرفته می‌شود.

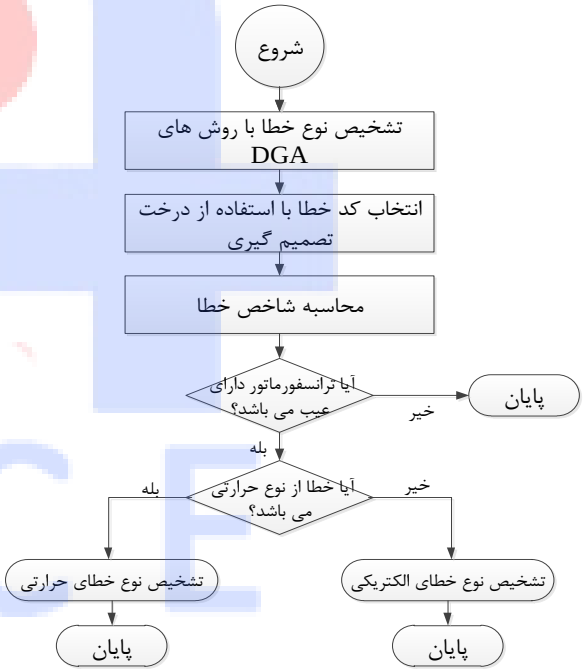


شکل ۱: درخت تصمیم‌گیری خطای ترانسفورماتور

در مرحله بعد بایستی میزان دقت هریک از روش‌های DGA در تشخیص نوع خطا مشخص شود. برای این منظور از نتایج بدست آمده در [4] استفاده می‌شود. در این مرجع، دقت بدست آمده برای هریک از روش-های راجرز، گازهای کلیدی، مثلث دوال و استاندارد IEC به ترتیب ۷۶٪، ۸۵٪، ۹۱٪ و ٦۹٪ بدست آمده است. در نهایت با معرفی شاخص خطای ایجاد شده در ترانسفورماتور توسط (۱) می‌توان نوع خطایی ایجاد شده را تشخیص داد:

$$F = (K_1 \times F_R) + (K_2 \times F_K) + (K_3 \times F_D) + (K_4 \times F_I) \quad (۱)$$

در (۱)، F شاخص کلی خطای ترانسفورماتور است. همچنین F_R کد مربوط به خطای بدست آمده از روش راجرز، F_K کد مربوط به خطای بدست آمده از روش گازهای کلیدی، F_D کد مربوط به خطای بدست آمده از روش مثلث دوال و F_I کد مربوط به خطای بدست آمده از روش استاندارد IEC می‌باشند که از درخت تصمیم‌گیری بدست می‌آیند. ضرایب K_1 الی K_4 با توجه به میزان دقت هر روش بدست می‌آیند که در اینجا با توجه به [4] این ضرایب به ترتیب ۰/۷٦، ۰/۸۵، ۰/۹۱ و ۰/٦۹ در نظر گرفته شده‌اند. در صورتی که چند روش DGA تشخیص یک نوع خطا را داده باشند، این خطاها با ضرایب در نظر گرفته‌شده در (۱) با یکدیگر جمع شده و احتمال وجود آن نوع خطا را قویت می‌نمایند. پس از محاسبه شاخص کلی خطا توسط (۱)، خطایی که بیشترین مقدار را داشته باشد به عنوان خطای نهایی ترانسفورماتور معرفی می گردد. شکل ۲ فلوچارت کلی روش پیشنهادی جهت تشخیص نهایی عیب ترانسفورماتور را نشان می‌دهد.



شکل ۲: فلوچارت روش پیشنهادی جهت تعیین عیب ترانسفورماتور

٤.نتایج روش پیشنهادی

روش پیشنهاد شده برای تشخیص نوع عیب ترانسفورماتور بر روی ترانسفورماتورهای کارخانه‌های فرآوری شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر پیاده‌سازی گردید. در مجموع تعداد ۲۰ ترانسفورماتور مورد آزمایش گازکروماتوگرافی قرار گرفتند. مشخصات این ترانسفورماتورها در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات ترانسفورماتورهای مورد آزمایش

ترانسفورماتور	سطح ولتاژ (KV)	ظرفیت (KVA)
TR1	20/6.3	7000
TR2	20/0.4	1000
TR3	20/0.4	1600
TR4	20/0.4	1600
75ET1	20/6.3	5000
75ET2	20/6.3	5000
74ET1	20/6.3	8000
74ET2	20/6.3	8000
18ET101	20/6.3	12500
13ET101	20/6.3	10000
13ET201	20/6.3	10000
300TR02	20/6.3	8000
110TR01	20/6.3	2500
110TR02	20/0.4	1600
110TR03	20/0.4	1600
410TR01	20/0.4	1600
300TR01	20/6.3	8000
300TR03	20/0.4	2700
300TR04	20/0.4	2700
300TR05	6.3/0.71	2000

نتایج حاصل از گازکروماتوگرافی این ترانسفورماتورها با استفاده از روش‌های نسبت راجرز، استاندارد IEC، گازهای کلیدی و مثلث دوال در جدول ۲ ارائه شده است. همانطور که در این جدول ملاحظه می‌گردد، در بسیاری از موارد تشخیص نوع خطای رخ داده در ترانسفورماتور توسط روش‌های گوناگون یکسان نمی‌باشد. اما این تفاوت تنها در شدت خطای مربوطه و یا عدم رخداد خطا می‌باشد و مربوط به نوع کلی خطا نیست. در هنگام رخ دادن خطای آرک، مقادیر گازهای استیلن و هیدروژن در روغن ترانسفورماتور بالا می‌روند و قابلیت تشخیص آن برای همه روش‌های DGA وجود خواهد داشت. همانطور که در جدول ملاحظه می‌گردد، با استفاده از روش پیشنهادی می‌توان نوع و شدت کلی خطا را در مواردی که در نتایج روش‌های DGA متفاوت است بدست آورد.

جدول ۲: نتایج آنالیز گازکروماتوگرافی ترانسفورماتورهای مورد آزمایش

ترانسفورماتور	نسبت راجرز	استاندارد IEC	گازهای کلیدی	مثلث دوال	نتیجه کلی (روش پیشنهادی)
TR1	C1	C1	C1	C2	C1
TR2	C2	C1	C1	C2	C2
TR3	C1	C1	C1	C1	C1
TR4	C1	C1	C1	C1	C1
75ET1	C1	C1	B	C2	C1
75ET2	B	C1	B	C1	B
74ET1	C2	C1	B	C2	C2
74ET2	C2	C1	B	C2	C2
18ET101	C1	B	B	C2	B
13ET101	C1	C1	C1	C1	C1
13ET201	C1	B	C1	C1	C1
300TR02	C2	C1	B	C2	C2
110TR01	C1	B	C1	C2	C1
110TR02	C1	C1	C1	C2	C1
110TR03	C1	C1	C1	C2	C1
410TR01	C1	C2	C1	C2	C2
300TR01	C2	C1	B	C2	C2
300TR03	C2	C1	B	C2	C2
300TR04	C2	C1	B	C2	C2
300TR05	C2	C1	C2	C3	C2

۵.نتیجه‌گیری

ترانسفورماتورهای قدرت از اساسی‌ترین تجهیزات صنایع می‌باشند و پایش وضعیت آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. استفاده از روش آنالیز روغن و گازکروماتوگرافی ترانسفورماتورها یکی از روش‌های رایج پایش وضعیت آن‌ها می‌باشد. روش‌های ارائه‌شده جهت تحلیل نتایج گازکروماتوگرافی عمدتا در تشخیص کلی عیب تجهیز دچار خطا نمی‌گردند. اما در موارد زیادی تشخیص شدت عیب رخ داده در ترانسفورماتور با استفاده از روش‌های مختلف DGA نتایج متفاوتی را بدست می‌دهد. در این مقاله روشی ارائه گردید که بتوان به خوبی از نتایج روش‌های مختلف تحلیل گازکروماتوگرافی نتیجه‌گیری لازم را به عمل آورد و نوع عیب رخ داده را تشخیص داد. روش پیشنهادی برروی ۲۰ ترانسفورماتور شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر سیرجان پیاده گردید و نتایج آن ارائه شد. استفاده از این روش می‌تواند کمکی به تحلیلگر نتایج آنالیز روغن ترانسفورماتورها برای تصمیم‌گیری مناسب باشد.

منابع

[1] M.Duval and J.Dukarm, “Improving the Reliability of Transformer Gas-in-Oil Diagnosis”, IEEE Elec.Insul.Mag., Vol.21, No.4, pp. 21-27, 2005

[2] N.A. Muhamad, B.T. Phung, T.R. Blackburn, K.X Lai," Comparative Study and Analysis of DGA Methods for Transformer Mineral Oil", Journal of Electrical Engineering & Technology, Vol. 2, No. 2, pp. 157~164, 2007.

[۳] مرتضی اسلامیان، وحید نبئی، ابراهیم ولدخانی "ارزیابی وضعیت ترانسفورماتور با استفاده از آنالیز گازهای محلول در روغن" اولین نمایشگاه و کنفرانس بین المللی ترانسفورماتور، ۱۳۹۳

[4] Ali Saeed Alghamdi, Nor Asiah Muhamad, Abubakar A. Suleiman " DGA Interpretation of Oil Filled Transformer Condition Diagnosis" TRANSACTIONS ON ELECTRICAL AND ELECTRONIC MATERIALS, Vol. 13, No. 5, pp. 229-232, October 25, 2012

[5] .D.Stebbins, J.J.Kelly. S.D.Myers,"Power Hansformer Fault Diagnosis', 1997 IEEE PESWM, Panel Session, New York, Feb.6, 1997.

[6] IEC Publication 60599, Interpretation of the analysis of gases in transformer and other oil med electrical equipment in &, Geneva, Switzerland, 1999.

[7] N. A. Muhamad, et al., "Dissolved gas analysis of faults in biodegradable oil transformer insulating systems," International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, pp. 663-666, 2008 [DOI: http://dx.doi.org/10.1109/CMD.2008.4580373].

[8] ANSI/IEEE Std C57.104-1991, IEEE Guide for The Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers, IEEE Power Engineering Society, 1992.

[9] FIST 3-30 “Transformer Maintenance Facilities Instruction, Standards, and Teqniques” October 2000.

[10] M. Duval and A. de-Pabla, "Interpretation of gas-in-oil analysis using new IEC publication 60599 and IEC TC 10 databases," IEEE Dielectrics and Electrical Insulation Society Electrical Insulation Magazine vol. 17, 2001 [DOI: http://dx.doi. org/10.1109/57.917529]