

# مقایسه هفت روش مختلف تحلیل نتایج آنالیز گاز کروماتوگرافی روغن

## ترانسفورماتورهای اصلی نیروگاه سیکل ترکیبی جهرم

مهسا حسینی نژاد<sup>1</sup>

1- شرکت مدیریت تولید برق جنوب فارس - نیروگاه سیکل ترکیبی جهرم

چکیده:

در این مقاله ابتدا در خصوص خواص مختلف روغن های عایقی و گازهای محلول در روغن و انواع خطاها صحبت شده است و سپس به روش آنالیز گازهای تولیدی به روش کروماتوگرافی گازی اشاره و به طور خلاصه به بیان هفت روشهای تحلیلی آنالیز نتایج شامل TDCG، بکارگیری گازهای کلیدی، روشهای مختلف بکارگیری نسبت گازها پرداخته و سعی می گردد این روشها با یکدیگر مقایسه گردد و توانایی آنها در تحلیل و پیش بینی مشکلات و عیوب ترانس و هم خوانی آنها مورد بررسی قرار گیرد.

واژه های کلیدی: کروماتوگرافی گازی، روغن عایقی، ترانسفورماتور

### 1- مقدمه:

ترانس باشد. تاکنون روشهای مختلفی جهت تحلیل نتایج و تشخیص خطای موجود در ترانس ارائه گردیده است. روش متداولی که امروزه مورد استفاده قرار می گیرد روش آنالیز گازهای غیر محلول در روغن ترانس است. گازهای محلول در روغن در شرایط بهره برداری عادی از ترانسفورماتورها از طریق هوا جذب شده و بخشی از آن نیز در اثر پیری طبیعی عایقی تولید می گردد و در روغن تجمع می نماید. در هنگام بروز یک عیب مواد عایقی جامد (سلولزی) و روغن تخریب و در اثر تجزیه آن گازهای مختلف که ناشی از شکسته شدن زنجیره های هیدروکربور و اکسیده شدن آنها می باشد تولید و در روغن حل می گردد. میزان قابلیت حل هر نوع گاز در روغن تابع نوع گاز، حرارت و فشار وارد بر آن می باشد. در چنین مواردی فقط پاره ای اوقات برخی گازها متناسب با شدت عیب و میزان غلظت آنها در روغن و نیز محل قرار گرفتن عیب فرصت پیدا می کنند وارد رله بوخهلتس شوند. مطلب مهم در غیر واقعی نسبت به گازهای تولید شده در محل عیب بوده و لذا از لحاظ گاز کروماتوگرافی فاقد اعتبار می باشند ولی از لحاظ سرعت رشد عیب و نوع گاز های کلیدی حائز اهمیت خواهند بود. آنالیز روغن ترانسفورماتور

کاهش خسارات ناشی از وقوع خطاها در شبکه های قدرت همواره یکی از اهداف شرکت های برق بوده و بر این اساس تجهیزات حفاظتی با مکانیزمهای گوناگون برای تجهیزات و تاسیسات الکتریکی بکار گرفته می شود. ترانسفورماتورهای قدرت بی تردید از مهمترین تجهیزات بخش سرمایه گذاری در شبکه برق محسوب شده و نقش کلیدی را در سیستم قدرت ایفا می کنند. خارج شدن یک ترانسفورماتور قدرت از سرویس به طور معمول یک اختلال جدی در شبکه بوده، پایداری و قابلیت اطمینان شبکه را مختل ساخته، می تواند پیامدهای جبران ناپذیر اقتصادی بدنیاال داشته باشد.

شکست الکتریکی مواد عایقی درون ترانسفورماتور منجر به آزاد سازی گاز در درون ترانسفورماتور می گردد، که چگونگی توزیع این گازها می تواند بیانگر نوع خطا بوده و نرخ تولید آناه نیز بیانگر شدت خطای موجود در این زمینه آنست که گازهای جمع شده در رله بوخهلتس بدلیل اختلاف در حلالیت هریک از آنها در روغن نسبت به یکدیگر و اختلاف در تبادل حباب ها خارج شده نسبت به حبابهای باقیمانده در روغن دارای ترکیب

های در حال بهره برداری از طریق تجزیه و تحلیل گازهای محلول در روغن می تواند اطلاعات مهمی را در وضعیت آنها در اختیار قرار دهد. اشکالات موجود با استفاده از این روش به موقع شناسایی و قابل تعقیب خواهد بود و ما را قادر خواهد ساخت تا قبل از آسیب دیدن ترانسفورماتور و وارد آمدن خسارات سنگین نسبت به رفع عیب اقدام نماییم تا بهره برداری بدون وقفه ادامه یابد. در حقیقت مهمترین مزیت این روش تشخیص خطا در مراحل اولیه شکل گیری آن می باشد که باعث پیشگیری بموقع از پیشرفت خطا در داخل تجهیزات الکتریکی می گردد. مهمترین مساله در این روش رسیدن به رویه ای است که خطا را به شکل صحیحی تشخیص دهد

## 2- روغن های عایقی:

ویژگی روغن های عایقی از دو جهت حائز اهمیت است: 1- کیفیت روغن که تاثیر مهمی در عملکرد تجهیزات فشار قوی دارد. 2- تغییر ویژگی های روغن که ممکن است بیانگر نقصی در ساختمان این تجهیزات باشد. از نظر پارامترهای مورد آنالیز تستهای روغن به سه گروه زیر تقسیم می شوند. 1- تستهای الکتریکی شامل: تست ولتاژ شکست- تست  $\tan\delta$  تست مقاومت عایقی، تست جذب و رهاسازی گاز تحت میدان الکتریکی 2- تستهای فیزیکی شامل: ویسکوزیته، کشش سطحی، نقطه اشتعال، نقطه ریزش، ضریب شکست نوری، رنگ و خواص ظاهری، ضریب انبساط حرارتی، وزن مخصوص، ضریب حرارتی ویژه، نقطه انبلین 3- تستهای شیمیایی شامل: اسیدیته، ساختار کربنی، سازگاری با مواد ساختمانی ادوات فشار قوی، مس موجود در روغن، آنالیز گازهای محلول در روغن، مقدار گاز محلول، کلراید و سولفات غیر عادی، میزان آنتی اکسیدان های موجود در روغن، مقاومت در برابر اکسیداسیون، میزان PCB در روغن، لجن محلول و ته نشین شده، گوگرد خورنده، رطوبت روغن

## 3- گاز کروماتوگرافی:

گاز کروماتوگرافی یکی از مهمترین ابزارها جهت آنالیزهای مختلف مواد روغنی است و کاربردهای گسترده ای در صنعت برق دارد. کاربردهای آن در بررسی روغن عایقی به سه قسمت عمده زیر تقسیم می شود. 1- بررسی ترکیبات سازنده روغن، در این تست روغن عایقی در دمای بالا

تبخیر گردیده و کلیه مواد هیدروکربنی آن جداسازی می شود 2- تست اندازه گیری PCB که در این تست روغن مناسب نباید دارای PCB باشد. 3- اندازه گیری گازهای محلول در روغن که این تست مهمترین تست دوره ای روغن عایقی بوده و برخلاف تستهای دیگر که کیفیت روغن عایقی را مشخص می نماید، جهت بررسی خطاهای ترانسفورماتور بکار می رود.

## 4- شناسایی خطا و انواع خطاها:

تشکیل گاز هرچند به مقدار کم در حالتی که ترانسفورماتور تحت بار است نشانگر وجود نوعی تنش در اثر عملکرد عادی دستگاه می باشد حتی این تنش می تواند در اثر پیری نرمال حرارتی عایق صورت پذیرد. در صورتیکه میزان تشکیل گاز کمتر از مقادیر نرمال باشد نباید آنرا نشانه ای از وقوع خطا در نظر گرفت بلکه باید آنرا روند عادی تشکیل گاز به حساب آورد. طبقه بندی خطاهای قابل روئیت در ترانسفورماتور به شرح زیر است: الف: خطاهای الکتریکی در روغن یا کاغذ: 1- تخلیه جزئی از نوع پلاسمای سرد (کرونا) که منجر به تشکیل X-wax در عایق کاغذی یا تولید جرقه و ایجاد حفره های کربنی هادی در کاغذ می شود که پیدا کردن محل آن دشوار است. 2- تخلیه با انرژی کم در روغن و یا کاغذ که ایجاد حفره های بزرگ کربنی در کاغذ یا کربنیزه کردن سطح آن یا تشکیل ذرات کربن در کاغذ می شود. 3- تخلیه با انرژی زیاد در روغن یا کاغذ که منجر به تخریب شدید و کربنیزه شدن کاغذ، گداختگی فلز در حد نهایی تخلیه، کربنیزه شدن روغن و در برخی موارد از مدار خارج شدن ترانسفورماتور بر اثر اضافه جریان می شود. ب: خطای حرارتی در روغن و یا کاغذ: 1- خطای حرارتی در دماهای پایینتر از 300 درجه سانتی گراد که در آن رنگ کاغذ متمایل به قهوه ای می شود. 2- خطاهای حرارتی در دماهای بالاتر از 300 و پایین تر از 700 درجه سانتی گراد که در آن کاغذ کربنیزه می شود. 3- خطاهای حرارتی در دمای بالاتر از 700 درجه سانتی گراد که در آن روغن شدیداً کربنیزه شده یا فلز تغییر رنگ می دهد.

## 5- گازهای محلول در روغن:

مواد عایقی مایع (روغن) و جامد (سلولزی) در اثر تنشهای حرارتی و الکتریکی تجزیه می شوند. در اثر این تجزیه گازهای مختلف با غلظت های متفاوت که بستگی به شدت تنش وارده دارد، تشکیل شده و در

روغن حل می شوند (قبلاً باید متذکر شد که مایع قادر است مقدار قابل توجهی گاز را در خود حل کند. مقدار گاز حل شده در مایع مثلاً روغن ترانسفورماتور را با پی پی ام ( PPM ) می سنجند. البته بین پی پی ام حجمی و پی پی ام وزنی تفاوت هست که در این مورد از پی پی ام حجمی استفاده می شود) نوع و مقدار هر یک از گازهای تولید شده نشاندهنده نوع خطا و تغییر در مقدار هر گاز و نرخ افزایش آن عامل تشخیص شدت خطا در ترانسفورماتور می باشد. وجود برخی از گازهای کلیدی نیز می تواند به تنهایی نشاندهنده وقوع خطای خاص باشد. در اثر تجزیه روغن گازهایی از قبیل هیدروژن ( $H_2$ )، متان ( $CH_4$ )، اتان ( $C_2H_6$ )، اتیلن ( $C_2H_4$ )، استیلن ( $C_2H_2$ ) و ... ظاهر می شود و در اثر تجزیه مواد عایقی جامد (سلولزی) گازهای دی اکسید کربن و مونوکسید کربن تشکیل می شود. گازهای نیتروژن و اکسیژن گازهای غیر خطا هستند که ممکن است در اثر عواملی که خطا محسوب نمی شوند در روغن موجود باشند. اصولاً تشخیص عیب بر مبنای وسعت و سرعت تولید و انتشار گاز صورت می گیرد. از طریق تحقیق در مورد روند تغییرات میزان گازهای محلول در روغن طی مدتی معین می توان نسبت به شدت عیب و نوع آن اظهار نظر نمود. نتایج بررسیها به اپراتور آزمایشگاه و مسئولین سرویس و نگهداری از ترانسفورماتورها این امکان را می دهد تا با توجه به شیب رشد گاز لحظه بحرانی و خطر ساز را برای ترانسفورماتور مورد نظر پیش بینی نماید و اقدامات احتیاطی لازم را به عمل آورد. در اثر عیوب خفیف مانند گرمای موضعی یا تخلیه جزئی مستم که سرعت تولید گاز بطئی می باشد، گازهای تولید شده ابتدا جذب روغن می گردند. گازهای جذب شده توسط روغن به همراه انبساط و انقباض روغن در اثر تغییرات دما به مرور جابجا شده و در داخل تانک اصلی منتشر می شوند. تا زمانی که روغن در مجاورت هوای آزاد قرار نگرفته است گازهای محلول در آن به حالت خود باقی می مانند ولی در هنگامیکه این روغن به آهستگی شروع به آزاد شدن می نماید. میزان و شدت آزاد شدن گازها در این مرحله تابع غلظت هریک از گازها در روغن و میزان سطح روغن مجاور با هوا (در کنسرواتور) می باشد. بجز این دو عامل، نوع گاز نیز در این آزاد سازی مهم می باشد. بنابراین میزان گازهایی که در گاز کروماتوگرافی اندازه گیری می شوند معمولاً کمتر از آن میزانی است هستند که در واقع تولید شده اند. تنها راه جلوگیری از این مسئله استفاده از کنسرواترهایی است که مجهز به بالشتک هوا و یا کیسه

نیتروژن می باشند و روغن هرگز در تماس مستقیم با هوا قرار نمی گیرد. در کنسرواتورهای باز بدلیل نواسانات مکرر حجم روغن در اثر عواملی از قبیل میزان بار، تغییرات حرارت شبانه روز و وزش باد، بطور شبانه روزی هوا در حال ورود و خروج به داخل کنسرواتور می باشد و به این ترتیب هوای محتوی گاز خارج شده و هوای تازه جایگزین آن می گردد. لذا ترانسفورماتورهایی که در طول شبانه روز دارای بار ثابت می باشند (مانند ترانسفورماتورهای نیروگاهها و صنایع) روغن آنها حاوی میزان بیشتری گاز خواهد بود که سبب افزایش دقت اندازه گیری می شود.

## 6- آنالیز گازهای محلول در روغن:

یک روش مهم برای تشخیص خطا در ترانسفورماتور ها آنالیز گازهای محلول می باشد. تجزیه و تحلیل گازهای قابل احتراق محلول در روغن که در آزمایش گاز کروماتوگرافی روغن بدست می آیند اطلاعات مهمی را از وضعیت ترانسفورماتورهای در حال بهره برداری در اختیار قرار می دهد. اشکالات موجود در ترانسفورماتورها با استفاده از این روش به موقع شناسایی و روند گسترش آنها قابل تعقیب بوده و ما را قادر خواهد ساخت تا قبل از آسیب دیدن ترانسفورماتور و وارد آمدن خسارات سنگین نسبت به رفع عیب اقدام نماییم تا بهره برداری از ترانسفورماتورها بدون اشکال ادامه یابد. تشکیل گاز در روغن ترانسفورماتور در حال کار نشانگر تنش در داخل ترانسفورماتور است. این آنالیز یک ماه بعد از هر سرویس و حداقل یک بار در سال انجام می شود و در صورت بروز مشکل در ترانسفورماتور می توان آنرا چندین بار تکرار نمود. استفاده از این روش یکی از مهمترین ابزار تعیین سلامت ترانسفورماتور بوده و در سه حالت زیر نیز روشی غیر قابل اعتماد است اگر: 1- ترانسفورماتور بدون برق و سرد باشد. 2- ترانسفورماتور جدید باشد. 3- ترانسفورماتور کمتر از یک یا دو هفته پس از تصفیه روغن بصورت پیوسته در مدار باشد. انواع خطاها با توجه گازهای تولیدی بصورت زیر می باشد:

الف: خطای حرارتی: تجزیه روغن در دماهای از 150 تا 500 درجه سانتی گراد مقادیر نسبتاً زیادی از گازهای با وزن مولکولی کم همچون هیدروژن و متان تولید می کند. همچنین در این محدوده دمایی، مقادیر ناچیزی از گازهای با وزن مولکولی زیاد افزایش می یابد. در این دما حتی استیلن نیز تولید می شود. بر خلاف تجزیه حرارتی روغن، تجزیه حرارتی

سلولز در دماهای خیلی کمتری از دماهای مربوط به تجزیه روغن، مونوکسید کربن، دی اکسید کربن و بخار آب تولید می کند لذا در شرایط کار نامی ممکن است صدها پی پی ام مونوکسید کربن و هزارها پی پی ام دی اکسید کربن ایجاد شود. اغلب نسبت  $CO_2/CO$  به عنوان یک شاخص برای تجزیه حرارتی کاغذ استفاده می شود. این نسبت معمولاً بزرگتر از 7 بوده و در صورتی قابل اعتماد است که مقادیر  $CO_2$  و  $CO$  به ترتیب بیشتر از 5000 و 500 باشند. ب: خطاهای الکتریکی، تخلیه های ضعیف همچون تخلیه های جزئی و قوسهای متناوب کم انرژی مقدار بیشتری هیدروژن، مقدار کمی متان و مقدار ناچیزی استیلن تولید می کنند. با افزایش شدت تخلیه مقادیر استیلن و اتیلن بطور قابل ملاحظه ای افزایش می یابند.

ج: خطاهای الکتریکی، تخلیه های شدید: با افزایش شدت تخلیه های الکتریکی و تبدیل آنها به قوس و یا تخلیه پیوسته که مربوط به محدوده دمایی 700 تا 1800 درجه سانتی گراد می باشد مقدار استیلن قابل ملاحظه است.

## 7- ارزیابی وضعیت ترانسفورماتور:

در این بخش برخی از روشهای متداول ارزیابی گازهای اندازه گیری شده محلول در روغن جهت نتیجه گیری در خصوص وضعیت ترانسفورماتور را مورد بحث قرار می دهیم. هر کدام از این روشها در صنعت بوفور استفاده می شوند و امروزه به عنوان روشهای شناخته شده ای مطرح هستند.

## 7-1 روش بکار گیری کل گازهای قابل احتراق محلول

### در روغن و غلظت گازها:

تعیین اینکه آیا ترانسفورماتور بصورت نرمال کار می کند یا نه، بدون داشتن سوابق DGA کار آسانی نیست. بعلاوه در مورد کارکرد نرمال ترانسفورماتور و مقادیر گازهای محلول در روغن اختلاف نظر وجود دارد. در استاندارد IEEE چهار حالت به منظور طبقه بندی حوادث احتمالی ارائه شده است که ترکیب غلظت هر گاز به تنهایی و غلظت کل گازهای قابل اشتعال استفاده می کند. حالت اول: مقادیر گازها در این سطح به عنوان مقادیر شاخص گازهای محلول محسوب می شوند. اگر مجموع گازهای قابل اشتعال محلول در روغن (TDCG) کمتر از این محدوده

باشد ترانسفورماتور در وضعیت نرمال قرار دارد. افزایش هر یک از گازها نیاز به بررسی دارد. حالت دوم: مقدار TDCG در این محدوده نشاندهنده بیشتر شدن مقدار گاز قابل احتراق نسبت به حالت عادی است و احتمال وجود خطا در ترانسفورماتور وجود دارد. هرگونه افزایش بیش از حد در هر کدام از گازها بازرسی بیشتر و دقیقتر را ضروری می نماید. حالت سوم: مقدار TDCG در این محدوده نشان دهنده تخریب زیاد در روغن و عایق سلولزیست. احتمال وجود یک یا چند خطا وجود دارد. در این صورت باید از روغن مجدداً نمونه برداری نمود. حالت چهارم: TDCG در این محدوده بیانگر تخریب شدید روغن و عایق سلولزی می بشد و بالطبع ادامه بهره برداری می تواند باعث از کار افتادن ترانسفورماتور شود. از آنجایی که گاز  $CO_2$  قابل اشتعال نیست لذا در مجموع گازهای قابل اشتعال قرار نمی گیرد (جدول شماره 1).

## 7-2 روش بکار گیری گازهای کلیدی:

با توجه به اطلاعات آماری بدست آمده در خصوص تجزیه حرارتی روغن، عایقهای سلولزی، گازهای استخراج شده و بر اساس عیوب مختلفی که بطور معمول بر روی ترانسفورماتور رخ می دهد می توان تعیین نوع خطا را با توجه به مقادیر گازها در دماهای مختلف پایه ریزی کرد. برخی از گازها بسته به نوع خطا در محدوده مشخصی غالب و شاخص می شوند. اینگونه گازهای کلیدی محسوب شده و به شرح زیر مشخصه عیب مربوط به خود هستند. در بکار گیری این روش از مقادیر حالت اول روش کارگیری TDCG بعنوان شاخص کلیدی استفاده می شود.

1- خطای حرارتی (اضافه حرارت در روغن): گاز اصلی اتیلن مواد حاصل از تخریب روغن شامل اتیلن و متان به همراه مقادیر کم هیدروژن و اتان می باشند. در صورت شدید بودن خطا امکان تولید استیلن نیز وجود دارد. 2- خطای حرارتی (اضافه حرارت عایق سلولزی): گاز اصلی: مونوکسید کربن بر اثر حرارت اضافی روی سلولز مقادیر زیادی دی اکسید کربن و مونوکسید کربن تولید می شود. در صورت گسترش خطا به روغن امکان تولید متان و اتیلن وجود دارد. 3 - خطای الکتریکی (تخلیه الکتریکی در روغن): گاز اصلی: هیدروژن تخلیه های الکتریکی کم انرژی تولید هیدروژن و متان و مقدار کمی اتان و اتیلن می کند. مقایسه مقادیر دی اکسید کربن و مونوکسید کربن تولید شده می تواند نشانگر میزان تخلیه در عایق کاغذی باشد.

4- خطای الکتریکی (قوس الکتریکی): گاز اصلی: استیلن در این حالت مقدار زیادی هیدروژن و استیلن و مقدار کمی متان و اتیلن تولید می شود. اگر خطای عایق سلولزی را هم شامل شود دی اکسید کربن هم تولید می شود کربونیزاسیون روغن نیز ممکن است اتفاق بیفتد.

### 7-3 بکارگیری روشهای نسبت گازها:

بکارگیری نسبت گازها برای شناسایی یک عیب احتمالی، یک روش تجربی بر اساس کارهای تحقیقاتی و صنعتی متنوع انجام شده روی تعداد زیادی از ترانسفورماتورهاست که اولین بار توسط دورنبرگ و راجرز بنیان گذاری گردید. در این روش بر اساس تجزیه حرارتی روغن و عایق سلولزی، نسبتهای گازهای کلیدی به عنوان شاخص های عیب مورد استفاده قرار می گیرند. این روشها شامل روش دورنبرگ، راجرز، استاندارد IEC، استاندارد ASTM و DGA می باشد که هر کدام به اختصار در جداول مربوطه آورده شده است و در این مقاله این روشها به همراه دو روش گازهای کلیدی و کل گازهای قابل اشتعال جهت تحلیل نتایج آنالیز گاز کروماتوگرافی ترانس های اصلی نیروگاه چهارم در بازه زمانی سالهای 93 و 94 استفاده و مقایسه گردیده است.

#### روش دورنبرگ:

در این روش با استفاده از نسبت های گازهای  $CH_4/H_2$ ،  $C_2H_2/C_2H_4$ ،  $C_2H_6/C_2H_2$  و  $C_2H_2/CH_4$  نوع عیب با توجه به جدول شماره 2 استخراج می گردد.

#### روش راجرز:

در این روش با استفاده از نسبت های گازهای  $CH_4/H_2$ ،  $C_2H_2/C_2H_4$ ،  $C_2H_4/C_2H_6$  و  $C_2H_6/CH_4$  نوع عیب احتمالی ترانس با توجه به جدول 3 مشخص می گردد.

#### استاندارد IEC 599:

کمیته بین المللی الکتریک با استفاده از روش توسعه یافته راجرز بدنبال تشکیل یک کد 3 رقمی با توجه به 3 نسبت گازهای  $CH_4/H_2$ ،  $C_2H_4/C_2H_6$ ،  $C_2H_2/C_2H_4$  میباید که کدهای مزبور به همراه

عیوب در جدول 4 آورده شده است. با تشکیل کد 3 رقمی حاصله عیب موجود در ترانس را می توان تشخیص داد.

#### استاندارد ASTM:

در این استاندارد نیز با استفاده از روش راجرز و تعیین چهار نسبت گازهای  $CH_4/H_2$ ،  $C_2H_2/C_2H_4$ ،  $C_2H_4/C_2H_6$  و  $C_2H_6/CH_4$  با توجه به جدول شماره 5 و تعیین کد چهار رقمی عیب ترانس از جدول 6 تشخیص داده می شود.

#### روش تفسیر ساده DGA:

هر یک از انواع خطاهای اساسی، نمونهی مشخصی از ترکیب گاز هیدروژن را ایجاد میکند، به طوری که میتواند در یک جدول تفسیر DGA (آنالیز گازهای محلول در روغن) بیان گردد، نظریه های مبنی بر استفاده از سه نسبت گازهای اصلی  $CH_4/H_2$ ،  $C_2H_4/C_2H_6$ ،  $C_2H_2/C_2H_4$  میباشد. جدول 7 برای همهی انواع تجهیزات با تفاوت های کمی در حدود نسبت گازها، با توجه به نوع تجهیزات، به کار میرود.

#### 8- نتیجه گیری:

بررسی و مقایسه روشهای مختلف تحلیلی و ارزیابی وضعیت ترانسفورماتورها از طریق آنالیز گازهای غیر محلول نشان می دهد این روشها هر یک به تنهایی نمی توانند وضعیت و شرایط آنها را به خوبی مشخص کنند هر کدام مزایا و معایبی دارند که شاید استفاده ترکیبی از آنها بتواند نتایج بهتری را باعث گردد. در مواردی که مونوکسید کربن و دی اکسید کربن تولیدی که مشخصه اضافه حرارت در عایق سلولزی است افزایش قابل ملاحظه ای داشته باشد روشهای بکارگیری نسبت گازها قادر به شناسایی عیوب نخواهند بود. عدم تطابق نتایج حاصل از روشهای تحلیلی کل گازهای قابل احتراق و گازهای کلیدی با روشهای نسبت گازها در نتایج استخراج شده کاملاً مشخص می باشد و در روشهای بکارگیری نسبت گازها روش راجرز و استانداردهای مبتنی بر آن نتایج دقیقتر و مشخص تری را گزارش می نمایند. روش راجرز در مقادیر کوچک با خطای بسیاری همراه است و استانداردهای مذکور در برخی موارد خطای یکسانی را برای یک ترانس مشخص نمی کنند.

جدول 1: روش بکارگیری کل گازهای قابل احتراق روغن و غلظت هر گاز

TDCG	دی اکسید کربن (CO <sub>2</sub> )	مونوکسید کربن (CO)	اتان (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	اتیلن (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	استیلن (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	متان (CH <sub>4</sub> )	هیدروژن (H <sub>2</sub> )	حالت
720	2500	350	65	50	35	120	100	1
721-1920	2500-4000	351-570	66-100	51-100	36-50	121-400	101-700	2
1921-4630	4001-10000	571-1400	101-150	101-200	51-80	401-1000	701-1800	3
4630<	10000<	1400<	150<	200<	80<	1000<	1800<	4

جدول شماره 2: روش دورنبرگ

CH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub>	نوع عیب
1<	0.75>	0.4<	0.3>	تجزیه حرارتی (نقطه داغ)
0.1< 1>	0.75<	0.4>	0.3<	تجزیه الکتریکی (بجز کرونا)
1>		0.4<	0.3>	کرونا

جدول شماره 3: روش راجرز

CH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> /CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	نوع عیب
>0.1 <1	<1	<1	<0.5	نرمال
≤0.1	<1	<1	<0.5	تخلیه ناقص - کرونا
≤0.1	<1	<1	≥0.5 یا ≤3 یا >3	تخلیه ناقص - کرونا با گذاشتن اثر
>0.1 <1	<1	≥3.0	≥3.0	تخلیه مداوم
>1 <1	<1	≥1 یا ≤3 یا >3	≥0.5 یا ≤3 یا >3	قوس - همراه با انتقال انرژی
>1 <1	<1	<1	≥0.5 یا >3	قوس - بدون انتقال انرژی
<3 یا ≤1 یا ≤3 یا >3	<1	<1	<0.5	حرارت اضافی کم تا 150 درجه سانتی گراد
<3 یا ≤1 یا ≤3 یا >3	≤1	<1	<0.5	حرارت اضافی 150 تا 200 درجه سانتی گراد
>0.1 <1	≤1	<1	<0.5	حرارت اضافی 150 تا 200 درجه سانتی گراد
>0.1 <1	≤1	<1	<0.5	حرارت اضافی 200 تا 300 درجه سانتی گراد
>0.1 <1	>1	≥1 یا >3	<0.5	حرارت اضافی در هادی معمولی
≥1 یا >3	<1	≥1 یا >3	<0.5	جریانهای گردشی در سیم پیچی
≥1 یا >3	<1	≥3	<0.5	جریانهای گردشی در هسته و تانک، بار اضافی در اتصالات

جدول شماره 4: استاندارد IEC

نسبت گازها	C2H2/C2H4	CH4/H2	C2H4/C2H6	
<0.1	0	1	0	عیب
0.1-1	1	0	0	
1-3	1	2	1	
>3	2	2	2	
CODE	0	0	0	نرمال
	0	1	0	تخلیه ناقص با انرژی کم
	1	1	0	تخلیه ناقص با انرژی زیاد
	1-2	0	1-2	تخلیه با انرژی کم
	1	0	2	تخلیه با انرژی زیاد
	0	0	1	خطای حرارتی کمتر از 150 درجه سانتیگراد
	0	2	0	خطای حرارتی 150 تا 300 درجه سانتیگراد
	0	2	1	خطای حرارتی 300 تا 700 درجه سانتیگراد
0	2	2	خطای الکتریکی بیشتر از 700 درجه سانتیگراد	

جدول شماره 5: استاندارد ASTM (معیار تعیین کدها)

نسبت گازی	مقادیر نسبتها	شماره کد
W= CH4/H2	0<W<0.1	1
	0.1<W<0	2
	W=0	3
	1<W<3	4
X=C2H6/CH4	X<1	0
	X>1	1
Y=C2H4/C2H6	Y<1	0
	1<Y<3	1
	Y>3	2
Z=C2H2/C2H4	Z<0.5	0
	0.5<Z<3	1
	Z>3	2

جدول شماره 6: تشخیص خطا بر اساس کدهای استاندارد ASTM

شماره کد				نوع خطا
W	X	Y	Z	
2	0	0	0	عادی
1	0	0	0	تخلیه جزئی
3	0	0	0	افزایش دمای 150 درجه سانتیگراد
4	0	0	0	افزایش دمای جزئی کمتر از 150 درجه سانتیگراد
3	1	0	0	افزایش دمای 150-200 درجه
4	1	0	0	افزایش دمای 150-200 درجه
4	1	0	0	افزایش دمای 200-300 درجه
2	0	1	0	افزایش دما در تمام هادیها
3	0	1	0	جریان چرخشی در سیم پیچ
3	0	2	0	جریان چرخشی در بین هسته، تانک و افزایش دما در اتصالات
2	0	0	1	جرقه با چگالی بسیار کم
2	0	1	1	جرقه زیاد با چگالی انرژی بالا
2	0	1	2	جرقه با چگالی انرژی بالا
2	0	2	1	جرقه با چگالی انرژی بالا
2	0	2	2	جرقه ممتد
1	0	0	1	تخلیه جزئی با ترکیب
1	0	0	2	تخلیه جزئی

جدول شماره 7: تفسیر ساده DGA

C2H2/C2H4	CH4/H2	C2H4/C2H6	مشخصه خطا	نوع خطا
0	<0/1	<0/2	تخلیههای جزئی	PD
>1	-0/5	>1	تخلیههای انرژی پایین	D1
0/6-2/5	1-0/1	>2	تخلیههای انرژی بالا	D2
0	>1	<1	خطای حرارتی (t < 300 درجه سانتیگراد)	T1
<0/1	>1	1-4	خطای حرارتی (t < 300 درجه سانتیگراد)	T2
<0/2	>1	>4	خطای حرارتی (t > 700 درجه سانتیگراد)	T3

جدول شماره 8: نتایج آنالیز گاز کروماتوگرافی ترانس اصلی

سال 1394										سال 1393										شماره ترانس
TDGC	CO	CH4	N2	O2	H2	C2H6	C2H2	C2H4	CO2	TDGC	CO	CH4	N2	O2	H2	C2H6	C2H2	C2H4	CO2	
1013	567	74	65590	1865	34	152	0	186	2530	805	451	56	52772	1701	18	133	0	147	1824	TGN-11BAT-TF
713	351	76	72071	14100	5	154	0	127	2217	729	408	64	44729	2027	7	131	0	119	1585	TGN-12BAT-TF
591	268	95	51546	2516	6	187	0	35	2699	464	203	68	42680	2424	5	154	0	34	1910	TGN-13BAT-TF
914	600	94	48394	1389	28	174	0	18	1762	647	423	61	50465	5390	19	128	0	16	1222	TGN-14BAT-TF
470	226	66	48660	1875	6	157	0	15	1160	312	149	41	31026	1712	3	111	0	8	765	TGN-15BAT-TF
534	212	76	69234	2356	6	230	0	10	1383	372	152	48	55129	2494	5	159	0	8	890	TGN-16BAT-TF

جدول شماره 9: مقایسه روشهای مختلف تحلیلی

روش بکارگیری گازهای کلیدی	روش بکارگیری TDCG		روش بکارگیری نسبت گازها												شماره ترانس	
	94		93		ASTM		استاندارد IEC-599		روش دورنبرگ		روش راجرز		DGA			
	TDCG	وضعیت	TDCG	وضعیت	94	93	94	93	94	93	94	93	94	93		
خطای حرارتی (روغن و عابین)	خطای حرارتی (روغن و عابین)	1013	احتمال وجود خطا	805	احتمال وجود خطا	افزایش دمای 300-200	افزایش دمای 300-200	با درجه حرارت متوسط 300- 700	با درجه حرارت متوسط 300- 700	تجزیه حرارتی	تجزیه حرارتی	خطای حرارتی 700-300	خطای حرارتی 700-300	خطای حرارتی 700-300	خطای حرارتی 700-300	TGN-11BAT-TF
خطای حرارتی (روغن و عابین)	خطای حرارتی (روغن و عابین)	713	نرمال	729	احتمال وجود خطا	افزایش دمای 300-200	افزایش دمای 300-200	با درجه حرارت کم 300-150	با درجه حرارت کم 300-150	تجزیه حرارتی	تجزیه حرارتی	خطای حرارتی 200-150	خطای حرارتی 200-150	خطای حرارتی 300>	خطای حرارتی 300>	TGN-12BAT-TF
نرمال	نرمال	591	نرمال	464	نرمال	افزایش دمای 300-200	افزایش دمای 300-200	با درجه حرارت کم 300-150	با درجه حرارت کم 300-150	تجزیه حرارتی	تجزیه حرارتی	خطای حرارتی 200-150	خطای حرارتی 200-150	خطای حرارتی 300>	خطای حرارتی 300>	TGN-13BAT-TF
خطای حرارتی (عابین)	خطای حرارتی (عابین)	914	احتمال وجود خطا	647	نرمال	افزایش دمای 300-200	افزایش دمای 300-200	با درجه حرارت کم 300-150	با درجه حرارت کم 300-150	تجزیه حرارتی	تجزیه حرارتی	خطای حرارتی 200-150	خطای حرارتی 200-150	خطای حرارتی 300>	خطای حرارتی 300>	TGN-14BAT-TF
نرمال	نرمال	470	نرمال	312	نرمال	افزایش دمای 300-200	افزایش دمای 300-200	با درجه حرارت کم 300-150	با درجه حرارت کم 300-150	تجزیه حرارتی	تجزیه حرارتی	خطای حرارتی 200-150	خطای حرارتی 200-150	خطای حرارتی 300>	خطای حرارتی 300>	TGN-15BAT-TF
نرمال	نرمال	534	نرمال	372	نرمال	افزایش دمای 300-200	افزایش دمای 300-200	با درجه حرارت کم 300-150	با درجه حرارت کم 300-150	تجزیه حرارتی	تجزیه حرارتی	خطای حرارتی 200-150	خطای حرارتی 200-150	خطای حرارتی 300>	خطای حرارتی 300>	TGN-16BAT-TF

9- مراجع:

- [1] Lynn Hamrick, "Dissolved gas Analysis for transformer", NETA WORLD, 2010
- [2] I.A.R. GARY, "A Guide to transformer oil analysis" Transformer Chemistry services.
- [3] "Transformer Diagnostics" book, united state Department on the interior, 2003.
- [4] N.K. DHOTE, "Diagnosis of power transformer fault based on five fuzzy ratio method" WSEAS Transformers on power systems, 2012.
- [5] C. E. Lin, J.M. Ling, C. L. Hung, "An Expert system for transformer fault Diagnosis, using Dissolved gas Analysis", IEEE. Trans on power Delivery, Vol8, No.1, 1993.

[6] مهدی رمضانی "راهنمای آزمایشها و تعمیر و نگهداری ترانسفورماتورهای قدرت" بر اساس استاندارد IEEE ، 1389.