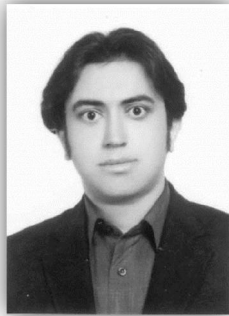


## ارزیابی وضعیت ترانسفورماتور با استفاده از آنالیز گازهای محلول در روغن (DGA)



نویسندگان: مرتضی اسلامیان، وحید نبئی، ابراهیم ولدخانی

پست الکترونیکی: [eslamian@aut.ac.ir](mailto:eslamian@aut.ac.ir)

واژه های کلیدی: آنالیز گازهای محلول (DGA)؛  
روغن؛ ترانسفورماتور خطای داخلی

### چکیده

آنالیز گازهای حل شده در روغن یکی از روش‌های اصلی مانیتورینگ ترانسفورماتور می‌باشد. با بررسی گازهای حل شده در روغن و شناخت ارتباط انواع عیوب با گازهای تولیدی در اثر آنها، می‌توان عیب احتمالی ترانسفورماتور را تخمین زد. در این مقاله روش‌های مختلف ارزیابی گازهای محلول در روغن به طور خلاصه مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجایی که هر یک از روش‌های موجود دارای قابلیت خاص مربوط به خود می‌باشد، بنابراین شناخت این روش‌ها به منظور بکارگیری مناسب آنها برای تشخیص عیوب از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد.

### مقدمه

یک روش مهم برای تشخیص خطا در ترانسفورماتورها آنالیز گازهای محلول در روغن (Dissolved Gas Analysis) می‌باشد [۸] - [۱]. تشکیل گاز در روغن ترانسفورماتور در حال کار نشانگر وجود عیب در داخل ترانسفورماتور است. البته ترانسفورماتور سالم نیز گاز تولید می‌کند که شامل هیدروژن و هیدروکربن‌ها مانند اتان، متان، اتیلن، استیلن و غیره می‌باشد. ولی اگر اشکالی در ترانسفورماتور موجود باشد، یک یا چند نوع بخصوص گاز بیشتر تولید شده و مقدار آنها در روغن بیشتر می‌شود. تخلیه کرونا، جرقه‌های کم انرژی، اضافه بارهای شدید، افزایش غیر عادی دما در عایق و

قوس‌های الکتریکی نمونه‌هایی از پدیده‌هایی می‌باشند که باعث تولید گازهای معینی در روغن می‌شوند. این پدیده‌ها ممکن است به تنهایی و یا همزمان با هم روی دهند. اگر به موقع از ادامه این پدیده‌ها ممانعت نشود، ممکن است به خروج از مدار ترانسفورماتور منجر شده و خسارات زیادی به بار آورد. آنالیز DGA یک ماه بعد از هر سرویس و حداقل یک بار در سال بر روی ترانسفورماتور انجام می‌شود. در صورت بروز مشکل در ترانسفورماتور، آنالیز گازهای محلول در روغن را می‌توان چندین بار تکرار نمود. نمونه‌برداری از روغن بدون خارج کردن ترانسفورماتور از مدار یکی از مزایای استفاده از این روش به عنوان ابزاری برای ارزیابی وضعیت کلی ترانسفورماتور می‌باشد.

از طریق آنالیز گازهای محلول در روغن (و گازهای آزاد موجود در رله بوخه‌لترس) می‌توان به وجود یا عدم وجود عیب در ترانسفورماتور پی برد. با وجود اینکه اندازه‌گیری نوع و میزان گازهای محلول در روغن (یا گازهای آزاد) براحتی امکان پذیر است، اما تفسیر نتایج حاصل از گاز کروماتوگرافی و پی بردن به عیب واقعی دستگاه چندان آسان نبوده و بیشتر به تجربه شخص تفسیر کننده و نحوه کار ترانسفورماتور بستگی دارد.

یک معیار مناسب برای تعیین و تخمین عیب در روش DGA استفاده از تجربیات قبلی است و لذا حجم زیادی از اطلاعات پیشین در این زمینه لازم می‌باشد. مقایسه نتایج حاصل از آنالیز گازهای محلول در روغن با نتایج حاصل از آنالیزهای قبلی می‌تواند نرخ و روند تولید گاز در ترانسفورماتور را مشخص نماید. در حالتی که اطلاعات قبلی موجود نیستند، معیارهای دیگری استفاده می‌شوند که در آنها از بررسی گازهای کلیدی، نسبت این گازها (روش درنبرگ و روش راجرز) و یا روش مثلث دوال استفاده می‌شود.

### مکانیزم تولید گاز در روغن

دو علت اصلی تشکیل گاز در یک ترانسفورماتور در حال انتقال انرژی برق، تنش‌های الکتریکی و حرارتی می‌باشند. تلفات اهمی ناشی از بار، با تجزیه حرارتی روغن و عایق جامد باعث تولید چند نوع گاز می‌شود. همچنین ممکن است در اثر حرارت‌های تولیدی انواع گوناگونی از قوس‌ها، روغن‌ها، عایق جامد تجزیه و انواع مختلفی از گازها تولید شود. در برخی موارد نیز بمباران یونی باعث تولید گاز می‌گردد. در این حالتها، نقش حرارت کم و ناچیز بوده و تولید گازها عمدتاً در اثر تخلیه‌های کم انرژی و کرونا می‌باشد. به طور کلی می‌توان گفت که از تخریب روغن و عایق کاغذی ترانسفورماتور، گازهای کلیدی زیر بوجود می‌آیند:

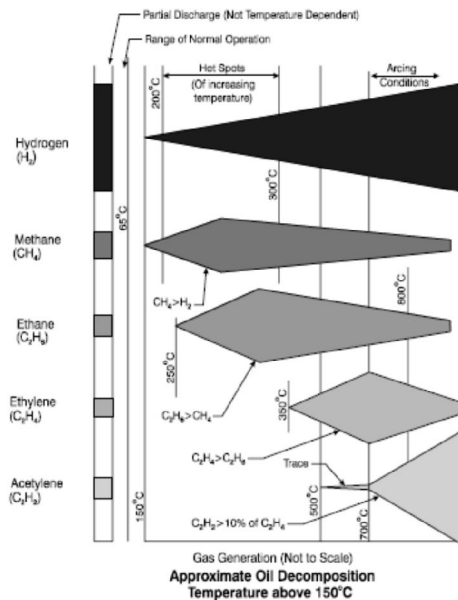
الف) تخریب روغن ترانسفورماتور:

هیدروژن ( $H_2$ ) - متان ( $CH_4$ ) - اتان ( $C_2H_6$ ) - اتیلن ( $C_2H_4$ ) - استیلن ( $C_2H_2$ )

ب) تخریب عایق سلولزی:

مونوکسید کربن ( $CO$ ) - اکسیژن ( $O_2$ ) - دی اکسید کربن ( $CO_2$ )

نمودار تولید گازهای قابل احتراق برحسب دما در شکل ۱ نشان داده شده است. خطاهایی با انرژی کم مانند PD باعث تولید مولکول هیدروژن در روغن می‌گردد. گاز هیدروژن و متان در دمای بالاتر از  $150^\circ C$ ، گاز اتان در دمای بالاتر از  $250^\circ C$ ، اتیلن در دمای بالاتر از  $350^\circ C$  و گاز استیلن در دمای بالاتر از  $500^\circ C$  تولید می‌گردد. گاز هیدروژن و استیلن متناسب با افزایش دما افزایش می‌یابند ولی بقیه گازها تا دمای خاصی افزایش و پس از آن کاهش می‌یابند. قوس‌های داخلی باعث ایجاد دماهایی در محدوده  $700^\circ C$  به بالا می‌شوند.



شکل ۱. نمودار تولید گازهای قابل احتراق برحسب دما

نقاط داغ در ترانسفورماتورها باعث ایجاد

دماهایی در محدوده  $200^\circ C$  تا  $300^\circ C$  می‌گردند. این نکته قابل توجه می‌باشد که مقادیر کمی از گازهای متان، هیدروژن و مونوکسید کربن بر اثر پیرشدگی تولید می‌گردند. همچنین تجزیه حرارتی سلولز نیز باعث تولید متان، اکسیژن، دی اکسید کربن و مونوکسید کربن می‌گردد. تجزیه عایق سلولزی در دمای کمتر از  $100^\circ C$  آغاز می‌گردد، بنابراین عملکرد ترانسفورماتورها در دماهای زیر  $90^\circ C$  مناسب می‌باشد.

اغلب اتان و اتیلن گازهای فلز داغ نامیده می‌شوند. در صورت تولید این گازها و در نبود گاز استیلن معمولاً عیب داخل ترانسفورماتور مربوط به فلز داغ می‌باشد و یا ممکن است یک اتصال نادرست در تپ چنجر یا در هر جایی از مدار اصلی

ترانسفورماتور وجود داشته باشد. همچنین جریانهای سرگردان با برخورد به تانک ممکن است گازهای فلز داغ تولید نمایند. شیلدها نیز ممکن است شل شده و مدار باز گردند. در این صورت الکتریسیته ساکن در آنها جمع شده که می تواند در سطح زمین تخلیه شده و گازهای فلز داغ تولید نماید.

### ارزیابی وضعیت ترانسفورماتور

در این بخش روش های مختلف ارزیابی گازهای اندازه گیری شده جهت تشخیص وضعیت ترانسفورماتور مورد بررسی قرار می گیرد [۳].

#### آنالیز گازهای قابل احتراق محلول در روغن (TDCG)

یک راهنمای DGA چهار سطحی مطابق جدول ۱ به منظور طبقه بندی عیوب احتمالی در ترانسفورماتور در استاندارد IEEE ارائه شده است. این راهنما از ترکیب غلظت هر گاز به تنهایی و غلظت کل گازهای قابل اشتعال استفاده می کند. این راهنما در تمام دنیا قابل قبول نبوده و تنها معیاری برای ارزیابی ترانسفورماتورها محسوب می گردد.

مطابق جدول ۱، اگر مجموع گازهای قابل اشتعال محلول در روغن (TDCG) کمتر از محدوده مشخص شده در سطح ۱ باشد در این صورت ترانسفورماتور در وضعیت نرمال قرار دارد. چنانچه TDCG در سطح ۲ قرار گیرد، احتمال بروز خطا در ترانسفورماتور وجود داشته و بنابراین افزایش هر یک از گازهای قابل اشتعال از مقدار تعیین شده در جدول ۱ نیاز به بررسی بیشتر دارد. قرار گرفتن TDCG در سطح ۳، نشان دهنده تخریب زیاد در روغن و عایق سلولزی بوده و بالطبع سطح افزایش هر گاز قابل اشتعال نیاز به بررسی مجزا و دقیق تر دارد. مقدار TDCG در سطح ۴ نیز بیانگر تخریب شدید روغن و یا عایق سلولزی بوده و ادامه بهره برداری می تواند باعث از کار افتادن ترانسفورماتور و خارج شدن آن از مدار گردد.

در جدول ۱ فرض شده است که هیچ تست DGA قبلی بر روی ترانسفورماتور انجام نشده است یا حتی روند جدیدی از تغییر گازها هم وجود ندارد. اگر DGA های قبلی موجود باشند، باید بازبینی شوند و مشخص شود که آیا وضعیت پایدار است (گازها افزایش چشمگیری ندارند) یا ناپایدار است (گازها افزایش چشمگیری دارند). قضاوت در مورد وضعیت ترانسفورماتور با توجه به شدت افزایش گازها برای هر ترانسفورماتور خاص منحصر به فرد می باشد. اگر شدت تولید هر یک از گازهای کلیدی بر حسب ppm با مقایسه DGA های فعلی با DGA قبلی در هر روز و یا مقدار کل گازهای قابل اشتعال

محلول بر حسب ppm افزایش ناگهانی یابد، خطایی فعال در ترانسفورماتور وجود دارد. دستورالعمل پیشنهادی بر اساس مقدار کل گازها بر حسب ppm و شدت تولید هر گاز در روز بر حسب ppm استاندارد [۳] ارائه شده است. اگر مقدار هر گاز به تنهایی یا مجموع گازهای قابل اشتعال سطح بالاتری برای ترانسفورماتور ایجاد نماید، در این صورت احتمال وجود خطا در آن سطح بالاتر بوده و ریسک خرابی در آن بیشتر می‌باشد. برای مثال اگر مقدار TDCG نشان دهد که ترانسفورماتور در سطح ۳ و مقدار یکی از گازها در سطح ۴ قرار داشته باشد، ترانسفورماتور در سطح ۴ می‌باشد. همیشه باید محافظه کارانه عمل نمود و بدترین حالت را در نظر گرفت مگر خلاف آن ثابت شود. تصمیم‌گیری هرگز نباید بر اساس تنها یک DGA انجام شود زیرا نمونه براحتی می‌تواند در تماس تصادفی با هوا آلوده گردد یا درج برچسب اشتباهی می‌تواند به هنگام نمونه‌گیری رخ داده و یا در آزمایشگاه، تست به درستی انجام نشود. اگر از روی DGA مشخص گردید که عیبی در ترانسفورماتور وجود دارد اولین کار، گرفتن نمونه‌های دیگر برای مقایسه است.

### آنالیز گازهای آزاد قابل احتراق (TCG)

نرخ تولید گاز متناسب با انرژی آزاد شده در حین خطا می‌باشد. در صورتی که انرژی آزاد شده در حین خطا زیاد باشد (مثل وقوع قوس الکتریکی)، می‌تواند باعث رشد زیاد گاز و در نتیجه عملکرد رله بوخهلتس گردد. حبابهای گاز ایجاد شده به سرعت به رله بوخهلتس رسیده و کمتر در روغن حل می‌شوند. در این صورت گازهای جمع شده در رله در حالت موازنه با گازهای حل شده در روغن نمی‌باشند. هر چند اگر این گازها برای مدت زیادی در رله باقی بمانند برخی از آنها در روغن حل می‌شوند که میزان حل شدن آنها بستگی به نوع گاز جمع شده در رله دارد. به عنوان مثال استیلن که بر اثر قوس الکتریکی به مقدار زیاد تولید می‌شود قابلیت حلالیت بالایی در روغن داشته و ما را به نتایج گمراه کننده رهنمون می‌سازد. در کل نحوه تجزیه و تحلیل گازهای جمع شده در رله بوخهلتس مشابه آنالیز گازهای حل شده در روغن می‌باشد. در هر صورت اگر رله عمل کرده و گاز به مقدار زیاد در آن جمع شده باشد، باید انتظار یک خطای جدی را داشت و از روی آنالیز این گازها باید به نوع خطا پی برد. رله بوخهلتس ممکن است پس از چند روز گرم و سپس کاهش شدید دمای هوا در شب، در نتیجه تجمع هوا به اشتباه اعلام آلام کند. از این رو لازم است که از گاز و روغن داخل رله و روغن داخل مخزن اصلی به سرعت نمونه برداری شود. اگر تجمع گاز در رله تدریجی و آهسته باشد، آنالیز گازهای حل شده در روغن بسیار سودمندتر از آنالیز گازهای آزاد خواهد بود. اگر در ترانسفورماتور تحت

بارگیری مقدار گازهای آزاد قابل احتراق یا رشد آنها افزایش قابل ملاحظه‌ای یافت، احتمالاً خطایی در داخل ترانسفورماتور وجود دارد. فواصل زمانی جهت نمونه‌گیری و اقدامات لازم بر اساس گازهای آزاد قابل احتراق در استاندارد مشخص شده است.

### جدول ۱- مقدار غلظت گازهای محلول در روغن بر حسب (ppm)

وضعیت	$H_2$	$CH_4$	$C_2H_2$	$C_2H_4$	$C_2H_6$	$CO$	$CO_2$	TDCG
سطح ۱	۱۰۰	۱۲۰	۳۵	۵۰	۶۵	۳۵۰	۲۵۰۰	۷۲۰
سطح ۲	۱۰۱-۷۰۰	۱۲۱-۴۰۰	۳۶-۵۰	۵۱-۱۰۰	۶۶-۱۰۰	۳۵۱-۵۷۰	۲۵۰۰-۴۰۰۰	۷۲۱-۱۹۲۰
سطح ۳	۷۰۱-۱۸۰۰	۴۰۱-۱۰۰۰	۵۱-۸۰	۱۰۱-۲۰۰	۱۰۱-۱۵۰	۵۷۱-۱۴۰۰	۴۰۰۱-۱۰۰۰۰	۱۹۲۱-۴۶۳۰
سطح ۴	>۱۸۰۰	>۱۰۰۰	>۸۰	>۲۰۰	>۱۵۰	>۱۴۰۰	>۱۰۰۰۰	>۴۶۳۰

از آنجایی که گاز  $CO_2$  قابل اشتعال نمی‌باشد در مجموع گازهای قابل اشتعال قرار نمی‌گیرد.

### روش گازهای کلیدی

گازهای مهم تولید شده بر اثر تخریب سلولز و روغن در دماهای مختلف (گازهای کلیدی) 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 شده‌اند:

- 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 می‌باشند. در صورت شدید بودن خطا امکان تولید استیلن نیز وجود دارد.
- خطای حرارتی (اضافه حرارت عایق کاغذی): گاز اصلی: مونوکسید کربن  
بر اثر اضافه حرارت بر روی عایق سلولزی مقادیر زیادی دی‌اکسید کربن و مونوکسید کربن تولید می‌شود. در صورت گسترش خطا به روغن ترانسفورماتور امکان تولید متان و اتیلن نیز وجود دارد.
- خطای الکتریکی (تخلیه الکتریکی کم انرژی در روغن): گاز اصلی: هیدروژن  
تخلیه‌های الکتریکی کم انرژی، مقادیر قابل توجهی هیدروژن و متان و مقادیر کمی اتان و اتیلن تولید می‌کنند. مقایسه مقادیر دی‌اکسید کربن و مونوکسید تولید شده می‌تواند نشانگر میزان تخلیه در عایق کاغذی باشد.
- خطای الکتریکی (جرقه): گاز اصلی: استیلن  
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.

### روش درنبرگ (Doernenburg)

استفاده از نسبت گازها برای مشخص کردن خطای احتمالی یک روش تجربی بوده که به مهارت شخصی بستگی دارد. در روش دورنبرگ نسبت گازهای قابل احتراق کلیدی  $C_2H_2/C_2H_4$ ،  $CH_4/H_2$ ،  $C_2H_6/C_2H_2$  و  $C_2H_2/CH_4$  به عنوان معیاری جهت شناسایی عیب بکار می‌رود. مقادیر این گازها ابتدا با یک مقادیر حداقلی مقایسه شده تا از وجود عیب در دستگاه و مقدار کافی گازهای تولید شده جهت استفاده از نسبتها اطمینان حاصل شود سپس نسبتها با مقادیر ذکر شده در جدول ۲ مقایسه شده تا عیب به وجود آمده شناسایی شود. جدول ۳ حداقل مقدار گازها را برای استفاده از روش درنبرگ نشان می‌دهد.

### جدول ۲. نسبت گازهای کلیدی، روش دورنبرگ برای گازهای حل شده در روغن و برای گازهای حاصله از رله گاز

نسبت چهارم $R_4 = C_2H_6/C_2H_2$		نسبت سوم $R_3 = C_2H_2/CH_4$		نسبت دوم $R_2 = C_2H_2/C_2H_4$		نسبت اول $R_1 = CH_4/H_2$		عیب احتمالی
نمونه گاز	نمونه روغن	نمونه گاز	نمونه روغن	نمونه گاز	نمونه روغن	نمونه گاز	نمونه روغن	
>۰/۲	>۰/۴	<۰/۱	<۰/۳	<۱	<۰/۷۵	>۰/۱	>۱	۱- تخریب حرارتی
>۰/۲	>۰/۴	<۰/۱	<۰/۳	ناچیز	ناچیز	<۰/۰۱	<۰/۱	۲- کرونا
<۰/۲	<۰/۴	>۰/۱	>۰/۳	>۱	>۰/۷۵	>۰/۰۱	>۰/۱	۳- قوس الکتریکی

### جدول ۳. حداقل مقادیر گازهای محلول (روش درنبرگ)

حداقل مقدار گاز (ppm)	گاز کلیدی
۱۰۰	هیدروژن ( $H_2$ )
۱۲۰	متان ( $CH_4$ )
۳۵۰	مونوکسید کربن ( $CO$ )
۳۵	استیلن ( $C_2H_2$ )
۵۰	اتیلن ( $C_2H_4$ )
۶۵	اتان ( $C_2H_6$ )

### روش راجرز (Rogers)

روش راجرز از نسبت‌های  $C_2H_4/C_2H_6$  و  $CH_4/H_2$ ،  $C_2H_2/C_2H_4$  استفاده می‌کند [۵]. برای اینکه عیب‌یابی معتبر باشد، گازهای مورد استفاده در نسبتها باید حداقل 50 ppm برای هیدروژن و حداقل 10 ppm برای سایر گازها باشد. هر چقدر مقدار گازها بیشتر باشد تشخیص نوع خطا با روش نسبت راجرز مطمئن‌تر خواهد بود. اگر گاز استفاده شده در مخرج یک کسر صفر باشد یا در نتایج DGA مشخص نشده باشد، از حد مشخص شده برای آن گاز در مخرج کسر استفاده می‌شود. در جدول ۴ مقادیر نسبت‌های گاز مورد نظر برحسب نوع خطا داده شده‌اند.

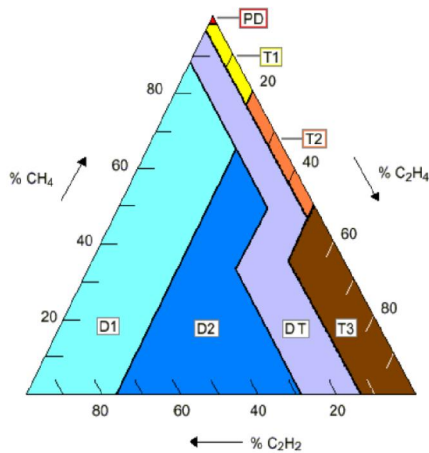
جدول ۴. نسبت گازهای کلیدی، روش راجرز

وضعیت ترانسفورماتور	$R_5$	$R_1$	$R_2$	حالت
بدون عیب	$< 1/0$	$0/1-1/0$	$< 0/1$	۰
تخلیه‌های کم انرژی	$< 1/0$	$< 0/1$	$< 0/1$	۱
قوس الکتریکی	$> 3/0$	$0/1-1/0$	$0/1-3/0$	۲
اضافه باری کم دما	$1/0-3/0$	$0/1-1/0$	$< 0/1$	۳
خطای حرارتی	$1/0-3/0$	$> 1/0$	$< 0/1$	۴
خطای حرارتی (بیشتر از $700^\circ C$ )	$> 3/0$	$> 1/0$	$< 0/1$	۵

### روش مثلث دوال (Dual Triangle)

اساس این روش استفاده از سه گاز متان ( $CH_4$ )، اتیلن ( $C_2H_4$ ) و استیلن ( $C_2H_2$ ) می‌باشد [۶]. این روش دقیق بوده و درستی آن در طول سال‌ها اثبات شده و روز به روز استفاده از آن رایج‌تر می‌شود. برای استفاده از مثلث دوال که در شکل ۲ نشان داده شده است ابتدا باید با استفاده از روش IEEE و یا جدول ۵ تعیین نمود که عیبی در ترانس وجود دارد یا خیر. حداقل یکی از گازهای هیدروکربن و یا هیدروژن باید در وضعیت سوم IEEE و در نرخ افزایش G2 از جدول ۵ قرار داشته باشند. برای استفاده از جدول ۵ بدون روش IEEE، حداقل یکی از گازها باید در سطح L1 یا بالاتر و نرخ تولید آن حداقل در G2 باشد. حدود L1 و نرخ‌های تولید گاز از جدول ۵ قابل اطمینان‌تر از روش IEEE می‌باشند. با اینحال هر دو روش برای تایید وجود عیب باید مورد بررسی قرار بگیرند.





شکل ۲. مثلث دوال

زمانی که خطایی وجود دارد، مجموع گازهای مثلث دوال را محاسبه کرده و درصد هر یک از گازها تعیین می‌شود. با مشخص کردن درصد گازها بر روی اضلاع مثلث و تعیین نقطه تلاقی آنها، ناحیه مورد نظر مشخص و در نتیجه نوع عیب تعیین می‌گردد. انواع عیوب قابل تشخیص به صورت زیر می‌باشند:

- تخلیه جزئی (PD)
- خطای حرارتی کمتر از ۳۰۰ درجه سانتیگراد (T1)
- خطای حرارتی مابین ۳۰۰ و ۷۰۰ درجه سانتیگراد (T2)
- خطای حرارتی بزرگتر از ۷۰۰ درجه سانتیگراد (T3)
- جرقه‌های کم انرژی (D1)
- قوس‌های پر انرژی (D2)
- ترکیبی از خطاهای حرارتی و الکتریکی (DT)

همچنین مقدار سه گاز مورد استفاده در مثلث دوال تولید شده از زمان افزایش ناگهانی گازها محاسبه می‌شود. این کار با تفریق میزان گاز تولید شده قبل از افزایش ناگهانی گازها از مقدار کل

#### جدول ۵. حدود L1 و نرخ تولید در ماه

Gas	L1 Limits	G1 Limits (ppm per month)	G2 Limits (ppm per month)
H <sub>2</sub>	100	10	50
CH <sub>4</sub>	75	8	38
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	3	3	3
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	75	8	38
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	75	8	38
CO	700	70	350
CO <sub>2</sub>	7,000	700	3,500

گاز تولید شده انجام می‌شود. عیب ناشی از مجموع گازهای تولیدی و عیب بدست آمده تنها توسط گازهای افزایشی مقایسه می‌شوند. اگر عیب برای مدتی وجود داشته و یا نرخهای تولید بالا باشد، نتیجه دو عیب یابی یکسان خواهد بود. در غیر اینصورت چنانچه نتیجه دو عیب یابی یکسان نبود، عیب یابی بدست آمده از افزایش گازهای تولید شده مورد استفاده قرار می‌گیرد که معمولاً شدیدتر می‌باشد.

توجه شود که در بیشتر موارد میزان استیلین صفر می‌باشد و بنابراین نقطه تلاقی در سمت راست مثلث دوال خواهد بود. قابل ذکر است که مثلث دوال برای اینکه تعیین کند عیبی در ترانسفورماتور وجود دارد یا خیر مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. توجه شود که بر روی مثلث ناحیه‌ای که در آن ترانس بدون عیب باشد وجود ندارد. مثلث برای هر ترانسفورماتور چه سالم و چه معیوب، عیبی را نشان می‌دهد. بنابراین قبل از استفاده از مثلث دوال باید توسط روش IEEE و یا جدول ۱ تعیین شود که عیبی در ترانسفورماتور وجود دارد یا خیر. مثلث دوال تنها برای تعیین نوع خطا بکار می‌رود و نه برای تشخیص عیب. مطابق روش‌های دیگر مقدار مشخصی از گاز باید قبل از استفاده از مثلث دوال وجود داشته باشد.

### نتیجه‌گیری

در این مقاله روش‌های مختلف ارزیابی گازهای محلول در روغن جهت شناسایی وضعیت ترانسفورماتور مورد بررسی قرار گرفت. بکارگیری مقادیر TCG و TDCG، استفاده از گازهای کلیدی و بکارگیری نسبت گازها از مهمترین این روش‌ها می‌باشد. در حالیکه هیچگونه اطلاعاتی از پیشینه مقادیر گازهای ترانسفورماتور وجود نداشته باشد، معمولاً بررسی مقادیر TCG، TDCG و گازهای کلیدی ملاک ارزیابی قرار می‌گیرد. در برخی تحلیل‌ها نیز از نسبت گازها استفاده می‌شود. روش مثلث دوال نیز از روش‌هایی است که درستی آن در طول سال‌ها اثبات شده و روز به روز استفاده از آن رایج‌تر می‌شود.

### منابع

1. M. Dual, "A Review of Faults Detectable by Gas-in-Oil Analysis in Transformers," IEEE Electrical Insulation Magazine, May/June 2002, Vol.18, No.3, pp.8-17.
2. M. Dual and A. DePablo, "Interpretation of Gas-in-Oil Analysis using new IEC Publication 60599 and IEC TC 10 Databases," IEEE Electrical Insulation Magazine, March/April 2001, Vol.17, No.2, pp.31-41.
3. IEEE Std, "IEEE Guide for the interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers," IEEE Std C57.104-1991.
4. IEC Publication 60599, "Interpretation of the Analysis of Gases in Transformers and other Oil-Filled Electrical Equipment in Service", 1999.

5. R.R. Rogers, "IEEE and IEC Codes to Interpret Incipient Faults in Transformers, using Gas in Oil Analysis," IEEE Transactions on Electrical Insulation, October 1978, Vol.13, No.5, pp.349-354.
6. M. Dual, "Dissolved Gas Analysis: It can save your transformer," IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol.5, No.6, pp.22-27, 1989.
۷. ح. محسنی، «مهندسی فشار قوی الکتریکی پیشرفته»، انتشارات دانشگاه تهران، شماره استاندارد بین المللی کتاب ۲-۳۴۱۶-۰۳-۹۶۴، فروردین ۱۳۷۳، تهران، ایران
۸. ا. رحیم پور و ح. محسنی، «روش‌های نوین مانیتورینگ ترانسفورماتور»، انتشارات دانشگاه زنجان، ۱۳۸۵.