

# مروری بر الزامات روغن عایقی برای استفاده در ترانسفورماتورهای توزیع

طبق آخرین ویرایش دستورالعمل الزامات، معیارهای ارزیابی و آزمون های روغن ترانسفورماتور توزیع توانیر

محمد دهقانی سانجی، بهروز پهلوانپور و جعفر شریفی

شرکت توزیع نیروی برق استان یزد، Ninas Petroleum، شرکت الوند توان انرژی

استانداردهای اصلی در دنیا در زمینه روغن ترانسفورماتور، IEC60296 و ASTM D3487 می باشد. استاندارد ASTM یک استاندارد آمریکایی بوده و مرجع اصلی برای کشورهای آمریکای شمالی است ولی می تواند برحسب نیاز در سایر مناطق مورد استفاده قرار گیرد. خواستگاه استاندارد IEC منطقه اروپاست اما امروزه در تمام نقاط دنیا مورد استفاده قرار می گیرد. هر دو استاندارد بر اساس تجربیات فنی و اقتصادی و کار علمی در کمیته های بین المللی تهیه گردیده است.

در استانداردها پارامترها معمولاً به صورت موارد حداقلی و حداکثری ذکر شده و برخی مشخصات وابسته به پایه روغن و نحوه تصفیه آن می باشند. ما می توانیم از روغنی استفاده کنیم که حداقل ها را رعایت کند یا اینکه از حدود مشخص شده بسیار بالاتر باشد. این انتخاب بستگی به حساسیت تجهیزات، توانایی مالی و اهمیت موضوع نزد خریداران دارد و بر عهده شرکت های توزیع نیروی برق است که از کدام روغن با چه ویژگی هایی استفاده نمایند.

به اختصار می توان گفت مشخصات روغن ترانسفورماتور برای همه جا یکسان نیست و متناسب با نیازها، مشخصات فنی تجهیز مورد استفاده و توانایی مالی خریدار متفاوت خواهد بود. در ایران با توجه به نقش محوری شرکت مادر تخصصی تولید، انتقال و توزیع نیروی برق ایران (توانیر)، در سال ۱۳۸۹ دستورالعمل «الزامات، معیارهای ارزیابی فنی و آزمون های روغن ترانسفورماتور» با تکیه بر IEC296 تصویب گردید و در سال های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۶ مورد بازنگری قرار گرفت. در ویرایش دوم دستورالعمل با توجه به تغییرات اساسی در مرجع مورد استناد (IEC60296)، در دستورالعمل تغییرات ایجاد گردید.

چکیده — خرید روغن های عایقی نامناسب و ترانسفورماتورهای با روغن عایقی نامرغوب هر ساله هزینه های زیادی را بابت سرویس و نگهداری به شرکت های توزیع برق در سراسر کشور تحمیل می کند که یکی از اصلی ترین دلایل آن عدم اطلاع کافی از ویژگی ها و نحوه ارزیابی روغن ترانسفورماتور می باشد. در این مقاله سعی گردیده با توجه به استاندارد IEC60296-2012 و همچنین دستورالعمل های توانیر درخصوص روغن ترانس، به طور خلاصه ویژگی های روغن عایقی مناسب برای استفاده در ترانسفورماتورهای توزیع بیان شود.

واژه های کلیدی: روغن ترانسفورماتور، الزامات فنی، ترانسفورماتور توزیع،

## ۱. مقدمه

ترانسفورماتورها مهمترین تجهیزات به کار رفته در شبکه های توزیع نیروی برق می باشند که سالیانه هزینه زیادی صرف خرید و سرویس و نگهداری آن می شود. حدود ۷۰ درصد از عیوب ترانسفورماتور در حین بهره برداری مربوط به روغن می باشد [۱]. بنابراین روغن باید برای برآوردن نیازهای ترانسفورماتور دارای خواص فیزیکی و شیمیایی خاصی باشد. سه خاصیت اصلی که روغن ترانسفورماتور باید برآورده نماید عبارت اند از [۲]:

- ۱- عایق الکتریکی قوی باشد.
  - ۲- عاملی برای تبادل گرمایی با محیط بیرون باشد.
  - ۳- ترانسفورماتور را در طول زمان بهره برداری محافظت نماید.
- برای تامین این نیازها روغن باید دارای مشخصاتی باشد که این مشخصات براساس تجربیات و خواسته های بازار در طول زمان بهبود یافته است [۲].

## ۲. انواع روغن‌های مورد استفاده در ترانسفورماتور

روغن دو وظیفه حیاتی در ترانسفورماتورهای روغنی بر عهده دارد: خنک کاری و عایق بندی. انواع زیادی از خنک کننده ها برای استفاده در ترانسفورماتور وجود دارد [۳]:

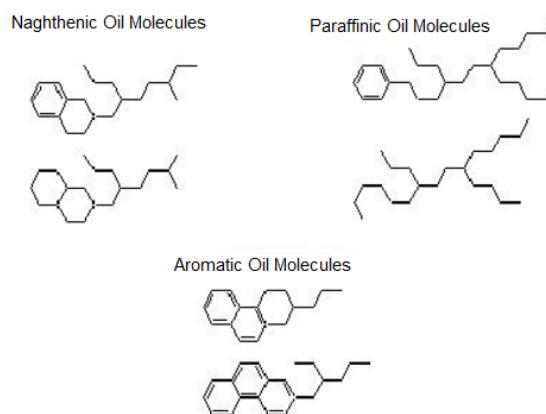
- روغن های معدنی (Mineral Oil)
- آسکارل ها (PCB)
- هیدروکربن های با درجه حرارت بالا (HTHC)
- سیلیکون ها (Silicones)
- مایع هالوژن (Halogenated Fluids)
- استرها (Esters)

که در حال حاضر در کشور ما فقط از روغن های عایقی معدنی در ترانسفورماتورهای توزیع استفاده می شود. در ادامه به معرفی پارامترهای مهم روغن ترانسفورماتور مورد استفاده در شبکه های توزیع نیروی برق می پردازیم.

## ۳. پارامترهای روغن ترانسفورماتور

روغن ترانسفورماتور معدنی از ترکیبات هیدروکربنی تشکیل شده است. به طور کلی سه نوع مختلف از ترکیبات هیدروکربن در روغن موجود است: پارافینیک ها، نفتانیک ها و آروماتیک ها که روغن معدنی تمام این ترکیبات را دارا بوده اما درصد هرکدام در روغن های مختلف متفاوت است.

درصد ترکیبات، خواص فیزیکی روغن را مانند ویسکوزیته، چگالی، نقطه ریزش و نقطه انجماد تعیین می نماید.



شکل ۱- مولکول های هیدروکربن های تشکیل دهنده روغن

از منظر خریداران خواص الکتریکی و عایقی روغن بسیار مهم هستند [۴] که با روش های مختلفی که در پتروشیمی وجود دارد می توان خواص دلخواه را کسب کرد. اما مساله مهم این است که این ویژگی ها در طول زمان بهره برداری تا حدود زیادی برقرار باشد.

### ۳.۱. پارامترهای اصلی روغن

همانطور که اشاره شد مهمترین پارامتر های روغن از دید خریداران ولتاژ شکست روغن بوده که نقش اساسی در طراحی ابعاد ترانس دارد. علاوه بر ولتاژ شکست سایر پارامترهای اساسی روغن شامل موارد زیر می باشد:

گرانروی (ویسکوزیته):

گرانروی روغن تأثیر زیادی بر روی انتقال حرارت و از اینرو افزایش دما در دستگاه دارد. گرانروی کمتر باعث تسهیل گردش روغن شده و انتقال حرارت را بهبود می بخشد. دمای پایین منجر به افزایش گرانروی روغن می شود که این شرایط عامل بحران در هنگام آغاز به کار ترانسفورماتورهایی است که روغن در آنها دارای گردش کم یا بدون گردش است [۵]. در استاندارد IEC296 روغن ترانسفورماتور در دو کلاس I و II که کلاس I مخصوص مناطق با دمای بالا (گرمسیر) و کلاس II مخصوص مناطق با دمای متوسط پایین (سردسیر) ارائه گردیده بود که بر اساس آن در نسخه اول دستورالعمل، برخی ویژگی ها متناسب با سه منطقه گرمسیر، معمولی و سردسیر ارائه گردیده بود که در جدول شماره (۱) این ویژگی ها مشخص شده است [۶]. در ویرایش جدید با تبعیت از IEC روغن ترانسفورماتور فقط در یک نوع و با عنوان «روغن عایقی برای استفاده در ترانسفورماتور» مورد تایید قرار گرفته و تفاوتی بین مناطق سردسیر و گرمسیر، ترانسفورماتورهای نیروگاه، انتقال و یا توزیع، ظرفیت و اهمیت ترانسفورماتور و ... قائل نشده است. اما بدیهی است که مشخصات ارائه شده در استاندارد حداقل ها بوده و در خصوص ترانسفورماتورهای گران قیمت مانند نیروگاه ها و پست های انتقال، سخت گیری بیشتری در خصوص مشخصات روغن انجام می گیرد.

ویسکوزیته یا گرانروی جنبشی روغن در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد در دستورالعمل قبل با ۳ عدد برای مناطق مختلف مشخص می شد که در ویرایش جدید این مقدار حداکثر  $12 \text{ mm}^2/\text{s}$  می باشد.

ولتاژ شکست:

### ۳.۲. پارامترهای مربوط به تصفیه و پایداری روغن

آن دسته از پارامترهایی که در این بخش ارائه می گردد متاثر از کیفیت، نوع تصفیه و مواد افزودنی روغن رانسفورماتور می باشد.

#### ظاهر روغن:

اولین و ساده ترین پارامتری که از روی آن می توان وضعیت روغن را تا حدودی حدس زد ظاهر روغن می باشد. طبق استاندارد و دستورالعمل توانیر ظاهر روغن باید شفاف، بدون مواد ته نشین و ذرات معلق باشد.

#### عدد اسیدی:

روغن ترانسفورماتور باید فاقد هرگونه ترکیب اسیدی باشد. اسیدی بودن روغن باعث خوردگی فلزات ترانسفورماتور از جمله سیم پیچ ها و بدنه شده و با آزاد شدن ناخالصی ناشی از خوردگی، پارامترهای حساس روغن مانند ولتاژ شکست تضعیف می شود. در استاندارد مقدار عدد اسیدی برای روغن ترانسفورماتور نو (بعد از تصفیه فیزیکی)  $0.01 \text{ mg KOH/g Oil}$  تعیین شده است.

#### کشش سطحی

این پارامتر گاهی اوقات نشان دهنده وجود ترکیبات قطبی در روغن می باشد. کشش سطحی به شدت به وجود ناخالصی در روغن بسیار حساس بوده و در صورت عدم رعایت دقت در انجام آزمایش، تست کشش سطحی پاس نخواهد شد. مقدار مورد قبول در ویرایش جدید دستورالعمل از 35 به 40 mN/m افزایش یافته است.

#### گوگرد خورنده و گوگرد با پتانسیل خورنده

برخی از ترکیبات گوگردی مانند مرکاپتانها بر روی سطوح فلزات فولاد، مس و نقره اثر بسیار خورنده ای دارند و نباید در روغن نو وجود داشته باشند. گونه های دیگر از ترکیبات گوگردی مانند DBDS ممکن است سبب ایجاد رسوب سولفید مس (Cu<sub>2</sub>S) در کاغذهای عایق و کاهش خواص عایق الکتریکی شوند. بهترین روش موجود برای تعیین ترکیبات گوگردی دارای پتانسیل خوردنگی در روغن (برای روغن های فاقد مواد افزودنی غیر فعال کننده فلزات) استاندارد IEC62535 می باشد [۵].

به واسطه خاصیت خوردنگی گوگرد، وجود هرگونه ترکیبات گوگردی در روغن ترانسفورماتور در دستورالعمل ممنوع گردیده است.

#### مواد افزودنی

مواد افزودنی در روغن شامل سه دسته می باشد:

ولتاژ شکست یکی از مهمترین پارامترهای روغن ترانسفورماتور بوده که به شدت وابسته به عدم وجود ذرات معلق و رطوبت محلول در روغن می باشد. در الزامات در خصوص ولتاژ شکست ۲ عدد ذکر گردیده، استقامت الکتریکی هنگام تحویل که مقدار حداقل آن 30 kv/2.5mm بوده و تغییری نکرده است.

مقدار بعدی حداقل استقامت الکتریکی پس از تصفیه فیزیکی می باشد، که در استاندارد جدید مقدار آن از 50 kv/2.5mm به 70 kv/2.5mm افزایش یافته است.

#### نقطه ریزش (دمای خمیری شدن):

نقطه ریزش حداقل دمایی است که روغن در آن نقطه هنوز دارای حرکت بوده که در مناطق سردسیر این پارامتر بسیار دارای اهمیت می باشد. در صورتی که نقطه ریزش بالا باشد و روغن بدون حرکت شود، احتمال افزایش غیر عادی دمای سیم پیچ و سوختن ترانسفورماتور وجود دارد.

در دستورالعمل قبل حداکثر نقطه ریزش برای هر منطقه مقدار متفاوتی تعیین گردیده بود که در ویرایش جدید برای تمام مناطق  $40^{\circ}\text{C}$  - مورد پذیرش می باشد.

#### چگالی روغن:

در صورتی که چگالی ترانسفورماتور از حد مشخصی بیشتر باشد ممکن است نشان دهنده وجود آسکارل در روغن باشد. در استاندارد مقدار چگالی روغن حداکثر ۰.۸۹۵ تعیین گردیده است.

#### مقدار آب محلول در روغن:

یکی از عواملی که به شدت روی ولتاژ شکست روغن اثر سوء دارد میزان آب محلول در روغن می باشد. هرچه میزان آب بیشتر باشد ولتاژ شکست پایین تر بوده و به طبع آن احتمال خطا در داخل ترانسفورماتور افزایش می یابد.

#### ضریب تلفات عایقی روغن:

بالا بودن میزان DDF در روغن نشان دهنده آلودگی روغن به آلاینده های قطبی یا کیفیت نامناسب تصفیه می باشد. در دستورالعمل جدید مقدار حداکثر DDF مانند ویرایش قبل به ۰.۰۰۵ محدود گردیده است.

فورفورال و ترکیبات مربوطه در روغن های عایق معدنی کارنکرده می تواند ناشی از تقطیر مجدد نامناسب پس از عملیات استخراج با حلال در طی فرایند تصفیه یا آلودگی با روغن کارکرده باشد.

روغن عایق معدنی کارنکرده باید دارای مقدار کمی ۲-فورفورال و ترکیبات مربوطه باشد. این ترکیبات طبق استاندارد IEC61198 اندازه گیری می شود. ترکیبات مربوطه فورفورال عبارتند از: ۵-هیدروکسی متیل-۲-فورفورال (5HMP)، ۲-فورفوریل الکل (2FOL)، ۲-استیل فوران (2ACF) و ۵-متیل-۲-فورفورال (5MEF). [۵]

### ۳.۳. پارامترهای مربوط به بهره برداری روغن

در این بخش پارامترهایی بررسی می گردد که رفتار روغن را در بهره برداری طولانی مدت و واکنش آن به شوک های الکتریکی زیاد و دمای بالا نشان می دهد.

#### پایداری اکسیداسیون

اکسایش روغن باعث افزایش اسیدیته و تشکیل لجن می شود. در روغن های با پایداری اکسیداسیون بالا، لجن کمتر تشکیل شده و دارای طول عمر بالاتری هستند و از اینرو از آنها بعنوان روغن های عایقی در مدت زمان بیشتری می توان استفاده نمود.

مدت زمانی که روغن های بدون افزودنی آنتی اکسیدان تحت اکسیداسیون قرار می گیرند ۱۶۴ ساعت (یک هفته) بوده که بعد از این مدت برخی پارامترهای حساس زیر اندازه گیری می شوند. در صورتی که هر کدام از این پارامترها از حدود مجاز تجاوز نماید روغن در تست اکسیداسیون مردود می گردد. این پارامترها به شرح زیر می باشند:

- اسیدیته: حداکثر مقدار قابل قبول  $1.2 \text{ mgKOH/g}$  می باشد.
- لجن: حداکثر مقدار لجن ایجاد شده نباید از ۰.۸٪ بیشتر باشد.
- ضریب تلفات عایقی (DDF): تجاوز مقدار اندازه گیری شده آن در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد از ۰.۵ موجب مردود شدن روغن می گردد.

الف- مواد افزودنی آنتی اکسیدان

ب- غیر فعال کننده فلزات

ج- مواد کاهش دهنده نقطه ریزش

الف- مواد افزودنی آنتی اکسیدان

یکی از راهکارهای مهم و اساسی در تشخیص کیفیت روغن، انجام تست های پایداری اکسیداسیون در مدت ۱۶۴ ساعت می باشد. در صورتی که سازنده از مواد افزودنی برای جلوگیری از اکسیداسیون استفاده نموده باشد باید مدت زمان انجام آزمایش را متناسب با میزان مواد افزودنی تا ۵۰۰ ساعت افزایش داد که وجود افزودنی های فراوان و نبود امکان شناسایی این مواد در روغن، در کنار عدم اطلاع کافی خریداران از این موضوع می تواند خسارات زیادی را به واسطه خرید روغن های بی کیفیت به شرکت های توزیع وارد نماید.

ب- غیر فعال کننده فلزات:

برخی از این مواد افزودنی لایه ای بر روی مس تشکیل داده و مانع از اثر کاتالیزوری مس در روغن و تشکیل رسوبات سولفید مس مضر در لایه های کاغذ می شوند که در اثر واکنش ترکیبات گوگردی خورنده موجود در روغن حاصل می شوند.

برخی دیگر از این دسته مواد، محافظ روغن در برابر واکنشهای کاتالیزوری فلزات شده و سرعت اکسایش روغن را کاهش می دهد. از اینرو غیرفعال کننده ها فرایند اکسایش را کند کرده و سطوح فعال سیم های مسی را در برابر واکنش های کاتالیزوری غیرفعال می کنند و از اینرو منجر به حصول نتایج مطلوبی در آزمون پایداری اکسیداسیون می شوند. برخی دیگر از این دسته مواد بمنظور کاهش تمایل ایجاد بار الکتروستاتیکی روغن ها استفاده می شوند [۷].

ج- مواد کاهش دهنده نقطه ریزش:

از مواد افزودنی کاهش دهنده نقطه ریزش به منظور بهبود گرانیروی در سرما و نقطه ریزش روغن ها استفاده می شود. دو دسته مهم از این مواد افزودنی پلی نفتالن ها و پلی متاکریلات ها هستند.

با توجه به این موارد و طبق دستورالعمل توانیر استفاده از هرگونه ماده افزودنی آنتی اکسیدان در روغن ممنوع گردیده است.

فورفورال و ترکیبات وابسته:

جدول شماره ۱- مقایسه مشخصات فنی روغن ترانسفورماتور در ویرایش جدید و قدیم دستورالعمل

مقدار اجباری				واحد	مشخصه
ویرایش ۰۲ (۹۶)	ویرایش ۰۱ (۹۰)				
	سردهسیر	معمولی	گرمسیر		
12	12	16.5	16.5	mm <sup>2</sup> /s	حداکثر گرانیروی جنبشی در ۴۰+ درجه سانتی گراد
1800	1800	*---	*---	mm <sup>2</sup> /s	حداکثر گرانیروی جنبشی در ۳۰- درجه سانتی گراد
-40	-40	-30	-21	°C	حداکثر نقطه ریزش
30	30			PPM	حداکثر مقدار آب غیر مظروف (میلی گرم در کیلو گرم)
40	40			PPM	حداکثر مقدار آب بشکه (میلی گرم در کیلو گرم)
30	30			kV/2.5mm	حداقل استقامت الکتریکی هنگام تحویل
70	50			kV/2.5mm	حداقل استقامت الکتریکی بعد از تصفیه فیزیکی
0.895	0.895			g/ml	حداکثر چگالی وزنی (دانسیته) در ۲۰ درجه سانتی گراد
0.005	0.005			---	حداکثر ضریب تلفات عایقی در ۹۰ درجه سانتی گراد
0.01	0.01			mg KOH / g Oil	حداکثر عدد اسیدی
40	35			mN/m	حداقل کشش سطحی
0.05	*---			PPM	حداکثر مقدار فورفورال و ترکیبات وابسته به آن
0.8	0.8			%	حداکثر لجن در پایداری اکسیداسیون
1.2	1.2	0.4	0.4	mg KOH / g Oil	حداکثر اسیدیته کل در پایداری اکسیداسیون
0.500	0.500			---	حداکثر ضریب تلفات عایقی در ۹۰°C+ در پایداری اکسیداسیون
135	135	140	150	°C	حداقل نقطه اشتعال
3	3			%	حداکثر میزان PCA
2	غیر قابل تشخیص			PPM	حداکثر میزان PCB
نداشته باشد	*---			---	گوگرد خورنده و گوگرد با پتانسیل خورنده
غیر قابل تشخیص	*---			---	مواد افزودنی آنتی اکسیدان
(کمتر از ۰.۰۱٪)	*---			%	حداکثر میزان بازدارنده ها برای روغن
(کمتر از ۵)	*---			PPM	حداکثر مقدار غیر فعال کننده های فلزات
(کمتر از ۵)	*---			PPM	حداکثر میزان دی بنزیل دی سولفید

\* موارد ستاره دار در دستورالعمل قبل مقداری ذکر نگردیده است.

یکی از تخریفات که تولیدکنندگان و تامین کنندگان روغن انجام می دهند عدم اطلاع وجود مواد افزودنی در روغن به خریدار می باشد. در این صورت روغن باید تست اکسیداسیون را در ۱۶۴ ساعت بگذرانند که این روغن های دارای مواد افزودنی این تست را پاس می نمایند در حالی که

نکته بسیار مهم درخصوص تست پایداری اکسیداسیون عدم وجود هرگونه مواد افزودنی در روغن ترانسفورماتور می باشد. در صورتی که در روغن مواد افزودنی وجود داشته باشد متناسب با درصو مواد افزودنی، زمان تست به ۳۳۲ یا ۵۰۰ ساعت افزایش می یابد. بنابراین قبل از انجام این تست باید از عدم وجود مواد افزودنی اطمینان حاصل کرد.

ساخته و به کار گرفته شد. اگر چه تولید این روغن‌ها در سال ۱۹۷۲ میلادی از طرف مجامع علمی سازمان ملل ممنوع و در سال ۱۹۷۷ از رده خارج گردیده است ولی در حال حاضر در کشورهای در حال توسعه و در تجهیزاتی که به این کشورها وارد شده است کاربرد داشته و موجود می باشد.

این روغن‌ها با نام‌های تجاری مختلفی مانند کلرکستول، کلوفن، دیکانول، آپرونیک، فنکلر، پیرانول، آروکلر، اینرتین، کانکلر، نوفلامول، فنوکلر، سانتوترم، ساوتل و سلول در بازار موجود و استفاده می شده است.

این روغن‌ها از آب سنگین تراست و در گلیسرین و گلیکون‌ها حل نمی شود، در مقابل آرک و آتش مقاوم بوده و از خود گازهای قابل اشتعال و انفجار منتشر نمی کند، تا درجه حرارت ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ درجه سانتی گراد نمی سوزد، خاصیت دی الکتریک بالا دارد، در مقابل اکسیداسیون مقاوم بوده و در دماهای خیلی بالا در مجاورت هوا تغییر رنگ می دهد.

اما آسکارل با توجه به خواص ذکر شده و اعلام آن به عنوان یک ماده سمی نباید مورد استفاده قرار گیرد و در مواردی که از آن استفاده می گردد باید طبق برنامه خاص جمع اوری و معدوم شود.

روغن های عایقی معدنی مورد استفاده در ترانسفورماتور باید فاقد PCB باشند و این آزمایش طبق استاندارد IEC61619 انجام می گیرد.

#### ۴. جمع بندی

مطالب بیان شده در این مقاله در خصوص روغن معدنی عایقی برای استفاده در ترانسفورماتورهای روغنی بوده و این الزامات تا زمانی قابل قبول می باشد که در ترانسفورماتور ریخته نشده باشد. برای روغنی عایقی که در ترانسفورماتور ریخته شده و در حال بهره برداری می باشد مقادیر باید طبق استاندارد IEC60422 مورد سنجش قرار بگیرد

#### ۵. نتیجه گیری

روغن ترانسفورماتور نقش حیاتی در دوام ترانسفورماتور و در نتیجه دوام شبکه های توزیع برق دارد. از آنجا که استانداردهای بین المللی با توجه به خواسته های خریداران و پیشرفت تکنولوژی در حال به روز رسانی بوده و معمولاً سخت گیرانه تر می شوند لازم است شرکت های توزیع نیز خریدهای خود را بر اساس آخرین ویرایش استاندارد و دستورالعمل ها انجام دهند. در این مقاله سعی گردید تا با معرفی ویژگی های مهم روغن

وجود مواد افزودنی در مشخصات فنی روغن عایقی برای ترانسفورماتورهای توزیع ممنوع گردیده است.



شکل ۲- نمونه ای از دستگاه انجام تست پایداری اکسیداسیون

#### ۳.۴ پارامترهای زیست محیطی و ایمنی روغن

خصوصیات روغن که به مسائل ایمنی هنگام نگهداری، جابه جایی و حفاظت از محیط زیست مربوط می شود در این قسمت بررسی می گردد.

##### نقطه اشتعال:

دمایی که در آن در صورت عبور شعله از روی روغن برای لحظه کوتاهی سطح روغن آتش گرفته و دوباره شعله خاموش شود نقطه اشتعال گویند. نکته قابل توجه اینکه با توجه به اینکه کلاس حرارتی کاغذ مورد استفاده در سیم پیچ ترانسفورماتور پایین تر از روغن می باشد، در صورت افزایش دمای سیم پیچ و قبل از رسیدن به دمای اشتعال روغن عایق کاغذ از بین خواهد رفت.

##### مقدار پلی سایکلک آروماتیک ها (PCA)

ترکیبات آروماتیک چند حلقه ای گاهی می توانند سرطانزا باشند و به همین دلیل کنترل میزان آنها در روغن ترانسفورماتور ضروری است. در الزامات جدید این مقدار در حدود ۳ درصد محدود گردیده است که می توان از طریق استخراج با DMSO اندازه گیری کرد.

##### مقدار پلی کلرینیتند بای فتیل ها (PCB)

PCB روغن های نسوز مصنوعی با نام تجاری آسکارل (Askarel) اولین بار در سال ۱۹۱۹ و با هدف جلوگیری از آتش سوزی در مناطق حساس مثل محموله های مهمات، اسکله های نفتی و توسط آمریکایی ها

## عنوان مقاله

چهارمین کنفرانس بین المللی ترانسفورماتور ۱۳۹۶ - تهران، ایران

ترانسفورماتور، الزامات توانیر در مورد روغن های معدنی به کار رفته در ترانسفورماتور های توزیع بررسی گردد.

### جدول ۲: لغتنامه

واژه انگلیسی	معادل فارسی
Viscosity	گرانروی جنبش
Pour point	نقطه ریزش
Dielectric dissipation factor (DDF)	ضریب تلفات عایقی
acidity	عدد اسیدی
Interfacial tension (IFT)	کشش سطحی
Oxidation stability	پایداری اکسیداسیون
Sludge	لجن
Flash point	حداقل نقطه اشتعال
Polycyclic aromatic content	PCA
Polychlorinated biphenyl content	PCB
Corrosive sulphur	گوگرد خورنده
Potentially corrosive sulphur	گوگرد با پتانسیل خورنده
Antioxidant additives	مواد افزودنی آنتی اکسیدان
Inhibitor	بازدارنده ها
Metal passivators	غیر فعال کننده های فلزات
dibenzylsulphide (DBDS)	دی بنزیل دی سولفید
high-temperature hydrocarbons (HTHC)	هیدروکربن های با درجه حرارت بالا

## منابع

- [1] م. مجیدنیا، ترانسفورماتورهای توزیع، ۱۳۹۱.
- [2] J. Weesmaa, P. Wiklund, B. Pahlavanpour, L. Bergeld, and J. Nunes, "Transformer oil specifications and important properties for optimal in-service life." pp. 1-4.
- [3] E. Csanyi. "What is the best transformer coolant?" <http://electrical-engineering-portal.com/what-is-the-best-transformer-coolant>
- [4] M. Kohtoh, G. Ueta, S. Okabe, and T. Amimoto, "Transformer insulating oil characteristic changes observed using accelerated degradation in consideration of field transformer conditions," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 17, no. 3, 2010.
- [5] استاندارد ملی ایران به شماره ۲۶۶۱- سیالات مورد استفاده در تجهیزات الکتریکی- روغن های عایق معدنی کارنکرده برای ترانسفورماتورها و کلیدهای قطع و وصل - ویژگی ها، ۱۳۹۲.
- [6] دستورالعمل «الزامات، معیارهای ارزیابی فنی و آزمون های روغن ترانسفورماتور»، توانیر، ۱۳۹۶.
- [7] IEC60296, "Fluids for electrotechnical applications - Unused mineral insulating oils for transformers and switchgear," 2012.