بررسی عوامل مؤثر در فرسودگی روغن ترانسفورماتورها

شهریار عمومی
شرکت توزیع برق جنوبشرق تهران ـ منطقه برق افسریه

واژه های کلیدی: *فرسودگی - روغن ترانسفورماتور - عوامل مؤثر*

مقدمه:

ترانسهای برق دارای مقدار قابل ملاحظه ای روغن می باشند. برای نمونه یک ترانس ۴۰۰ کیلو ولت ممکن است ۱۵۰۰۰۰ لیتر روغن معدنی داشته باشد. با توجه به نقش مهمی که روغن در عمر ترانس ایفا می کند و با مقایسه قیمت روغن که بین ۱/۳۰ تا ۱/۴۰ قیمت خود ترانس است لذا رسیدگی به روغن کاملاً منطقی و اساسی به نظر می رسد.

روغن دارای دو نقش اساسی، یکی عایقی و دیگری خنک کنندگی، است. برای اینکه روغن خنک کننده خوبی باشد باید ویسکوزیته پایینی داشته باشد. همچنین دارای قابلیت هدایت گرمایی خوبی نیز باشد. ضمناً بررسی قابلیت اشتعال آنها نیز بحث مهمی است که باید بدان توجه کافی شود.

با توجه به اینکه تولید روغن های ترانس از مواد نفتی صورت می گیرد، نوع نفت خامی که در ساخت وتولید استفاده میشود و همچنین طریق تولید آن بسیار مهم است.

در سطح دنیا تعداد انگشت شماری تولید کننده روغن ترانس وجود دارد که از میان آنها شرکت هایی که از نفت خام خاورمیانه استفاده می کنند به لحاظ پارافنیک بودن آن از سطح کیفیت مطلوبی برخوردار نبوده و در عوض شرکت هایی که از نفت خام کشور و نزوئلا استفاده می کنند به خاطر نفتنیک بودن آن در زمره شرکت های موفق تولید کننده روغن ترانس قرار گرفته اند. [۱]

شرح مقاله:

در گذشته روغن های اولیه که در ترانسها بکار می رفت از نفت خام با پایه پارافینی بود که چون از اکسیداسیون آنها لایه ای از لجن غیر حلال در کف ترانس تولید می شد، این امر موجب افزایش ویسکوزیته روغن و کاهش سیالیت آن می گردید و تبادل گرمایی را کاهش می داد و باعث گرم شدن ترانس و افت باردهی آن می گشت بنابراین روغن های پارافینی جای خود را رفته رفته به روغن های نفتنیک داد.[۱و۳]

این نوع روغن علیرغم اینکه سرعت اکسیداسیون آنها در مقایسه با نوع قبلی بیشتر است اما لجنی که حاصل می شود در روغن نفتنیک حلال بوده و در کاغذ رسوب نمی کند و همچنین تغییرات سریع ویسکوزیته نفتنیک ها با درجه حرارت (با رابطه مستقیم) و کاهش ویسکوزیته بر اثر کاهش دما و در نتیجه گردش با سرعت بیشتر آن و خنک شدن ترانس، اشکالات کمتری را بوجود می آورد. [۴]

اصولاً روغنهای معدنی به سه دسته زیر تقسیم می شوند:

۱- پارافنیکها PARAFINICS : این نوع روغنها که هیدروکربورهای پارافینی هستند دارای غلظت خوب در دمای پائین و لغزندگی بسیار خوب برای بعضی از قسمتهای ترانس مثل تپ چنجر ترانس می باشد. نفت خام کشور ایران از این نوع بوده که مناسب استفاده درساخت وتولید روغن ترانس نمی باشد. زیرا همانگونه که ذکر شد لجن را در خود حل ننموده و در کف ترانس ته نشین شده و تولید رسوب می نماید.

هیدروکربورهای پارافینی دارای وزن مخصوص کمتری در مقایسه با هیدروکربورهای معطر با همان نقطه جوش میباشند و ثبات آنها در مقابل تغییرات شیمیایی واکسایش خیلی زیاد است و دمای شعله وری آنها نسبتاً پایین است.

۲- نفتنیکها NAFTANICS : این نوع روغنها از ترکیبات حلقوی اشباع شده تشکیل می شوند و دارای چگالی (دانسیته)

و چسبندگی (ویسکوزیته) بسیار خوبی بوده ولجن حاصل ازکاغذ ولاک و... رادرخود حل می نماید که رنگ ارغوانی حاکی از همین امر میباشد. این نوع روغن از تولید رسوب جلوگیری می کند و تنها اشکال آنها تجزیه شدن در حرارت خیلی زیاد است.

۳- آروماتیکها AROMATICS : که از ترکیبات حلقوی هستند و به دلیل چسبندگی بسیار خوبی که دارند گازهای ایجاد شده در ترانسفورماتور را در خود حل می نمایند. از معایب این نوع روغن ایجاد ضایعات زیست محیطی و انسانی و ایجاد سرطان است خصوصاً وقتی که ترکیبات آنها حلقوی با پیوند سه گانه یا بیشتر است.

هیدروکربورهای معطر دارای وزن مخصوص بیشتری نسبت به گروههای قبلی بوده و در برابر حرارت خیلی پایدار است و در دمای محیط فعال می باشد. این نوع هیدروکربورها دارای درصد کربن بیشتری هستند. [۱و۷]

با افزایش درجه حرارت ، روغن ترانس از بین رفته و کاغذ مصرف شده نیز تخریب می گردد و همچنین رطوبت در ترانس تولید می نماید. رطوبت حاصله به همراه اکسیژن (هوا) موجب از بین رفتن خواص فیزیکی، شیمیایی و الکتریکی روغن می شود. [۶]

اکسیژن در تماس با روغن تولید اسید وترکیبات قطبی نموده و سرعت این فرآیند با ازدیاد گرما بیشتر می شود و ایجاد لجن محصول نهایی اکسید شدن روغن می باشد که منجر به از بین رفتن ثبات دی الکتریک ترانس می شود.[۷و۱۰]

اولین علامت تغییر وضعیت روغن، تغییر رنگ آن است. وقتی که روغن اکسید شد اسیدهایی تولید می شوند که باعث ایجاد تغییرات ملکولی شده و کشش سطحی روغن را کاهش می دهد. حضور آب در روغن بصورت یک کاتالیزور جلوه گر شده و مقاومت عایقی را کاهش داده و باعث افزایش تانژانت دلتا می گردد.

رطوبت روغن و ذرات معلق در آن با تصفیه فیزیکی حذف می شود که این عمل با استفاده از فیلتر، حرارت و در خلاء صورت می گیرد. گازهای حل شده در روغن نیز در عمل سیرکولاسیون گرفته می‌شود و یا با تصفیه شیمیایی می توان ناخالصیهای موجود در روغن را از بین برد و روغنی که به رنگ کاملاً تیره (سیاه) است را به حالت شفاف رسانید. [۶و۹]

یکی از روشهای تعیین سلامت روغن ترانس آنالیز گازهای محلول در آن است. زیرا قدمت ترانس و عدم بهره برداری مناسب از آن و همچنین عبور جریانهای مکرر اتصال کوتاه همگی موجب ایجاد نقاط داغ وتولید گاز درروغن میگردندوپیری آن را سبب میشوند.

با بررسی این گازها می توان به احتمال وجود عیب داخلی ـ تعیین نوع و وسعت عیب و تصمیم گیری در مورد چگونگی رفع عیوب پی برد.

اصولاً علت تولید گاز در روغن بصورت زیر دسته بندی میشود.

عامل ایجاد کننده	کرونا	حرارت زیاد روغن	حرارت زیاد کاغذ	حرارت بالای ۱۲۰ درجه روغن

ضمناً عبور جریانهای شدید اتصال کوتاه مکرر و در فواصل زمانی کم (پی در پی) از سیم پیچهای ترانس بعلت سرعت زیاد افزایش دامنه و بزرگی اندازه آن به شدت باعث ازدیاد درجه حرارت سیم پیچها و به تبع افزایش دمای روغن ترانس می شود. این درجه حرارت که خیلی زود از مرز ۱۵۰ درجه سانتی گراد می گذرد چون بعد از قطع حفاظتی کلیدها با سرعت کمتری تقلیل می یابد (بین ۱۰ تا ۱۵ دقیقه) اگر قبل از خنک شدن عایقهای ترانس (از جمله روغن) جریان اتصال کوتاه دیگری مجدداً برقرار شود دما تندتر از گذشته افزایش پیدا کرده و باعث کاهش کیفیت فیزیکی روغن و کاغذ (مانند جذب بیشتر رطوبت) و کیفیت شیمیایی (اکسید شدن روغن ـ ایجاد نقاط داغ HOTSPOT و تولید گاز ـ تجزیه روغن) میگردد. [۴]

اما یکـــی از جـالب تریـن نتـایج بدسـت آمـــده از بررسی روغـن رابطه بین ضریب دی الکتریک روغن در فرکـانس هـای خیلـی زیـاد (حـدود فرکـانس نـور) و فرکانس‌های خیلی پایین است.

این رابطه تعیین کننـده ذرات معلـق قطبـی در روغـن است که در فرکانس پایین همراه با تغییرات سینوسـی ولتـاژ در جـهت میـــدان مـی چرخـد (ایـن ذرات در فرکانسهای بالا فرصت چرخش پیدا نمـی کننـد) و بـا عدد پولاریزاسیون تعریف میشود. با اکسید شدن روغن ذرات پولار (polar) یا قطبی بوجود می آید که بـاعث ازدیاد اسید روغن می شود.[۲]

این ذرات کشش سطحی بین آب و روغن را زیاد کـرده و رنگ روغن را تیره می کند و لـذا بـرای تعییـن عمـر روغن ترانس و میزان پیری آن می تواند بکار رود.

اما هیچکدام از عوامل عنوان شده به اندازه دمای زیـاد روی اکسید شدن روغـن و پیرشـدن آن تـأثیر ندارنـد. مخصوصاً اگر در مجاورت اکسیژن بوده و کاتالیزورهـای مـس و آهن نیز حضور داشته باشند. [۳]

در حال حـــاضر ترانسهایی که در شبکه مورد استفاده قرار می گیرند از کلاس عایقی A برخـوردار هسـتند در این کلاس عایقی حداکثر درجـه حـرارت گرمـترین قسمت ترانس که سیم پیچها می باشند نباید بیشـتر از ۱۰۵^{oC} شود. طبق اسـتاندارد I E C مقـادیری بـه عنوان استاندارد برای درجه حرارت محیط و ترانـس در نظر گرفته شده که به شرح زیر می باشد: [۳]

شرایط محیطی:

a) حداکثر درجه حرارت مطلق محیط: ۴۰^{oC}

b) حداکثر درجه حرارت متوسط روزانه: ۳۰^{oC}

c) حداکثر درجه حرارت وزنی سالیانه: ۲۰^{oC}

d) حداکثر ارتفاع از سطح دریا: ۱۰۰۰m

شرایط ترانس:

e) حداکثر حرارت روغن بالای ترانس: ۶۰^{oC}

f) حداکثر حرارت سیم پیچ ترانس: ۶۵^{oC}

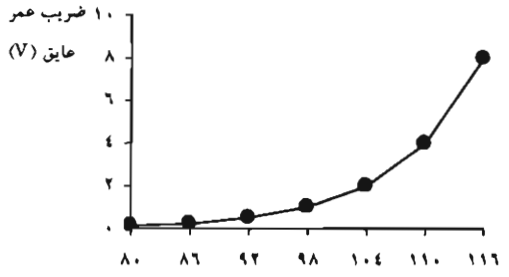
g) متوسط افزایش حرارت روغن = e ۰/۸ ۴۸^{oC}

h) گرادیان سیم پیچی = $\Delta\theta_{\omega} = f - g$ ۱۷^{oC}

i) گرادیان گرمترین نقطه سیم پیچ = $\Delta\theta_{\omega}$ ۰/۱ $۱/۷^{oC}$

J) حـرارت گرمـترین نقطـه ترانـــس در بارنـامی = c+e+h+i $۹۸/۷^{oC}$

(مانند نمودار زیر)



جدول تغییرات فساد عایقی نسبت به تغییرات درجه حرارت سیم پیچی بصورت زیر است:

ضریب عمر عایق (V)	درجه حرارت
۰/۱۲۵	۸۰
۰/۲۵	۸۶
۰/۵	۹۲
۱	۹۸
۲	۱۰۴
۴	۱۱۰
۸	۱۱۶
۱۶	۱۲۲
۳۲	۱۲۸
۶۴	۱۳۴
۱۲۸	۱۴۰

از روی منحنی فوق پیداست که بـر طبـق اسـتاندارد در درجـه حـــرارت سیم پیچی ۹۸^{oC} فساد عـــایقی نـامی بـرای ترانـس اتفاق می افتد و در یک محدوده دمایی تا ۱۴۰^{oC} فساد عایقی افزایش می یابد و به ازای هر ۶^{oC} دو برابر می شود و هـر چـه کاهش حرارت از مقدار نامی کمتر باشد کاهش شـیب منحنـی فساد عایقی بـه مـیزان افزایـش آن نخواهـد بـود و بـالاخره در ۸۰^{oC} فساد عایقی به $\frac{۱}{۸}$ برابر مقدار نامی خواهد رسید.

ضریب عمر عایقی = $\frac{\text{ضریب عمر عایقی در درجه حرارت } \theta_C}{\text{ضریب عمر عایقی در درجه حرارت } \theta_{C_r}} = V$

$$\frac{\theta_{cr}-\theta_c}{6} = 2 = \text{ضریب عمر عایقی}$$

یعنی :

$$\theta_c = 98 + 19/93\ \text{LogV}$$

یعنی:

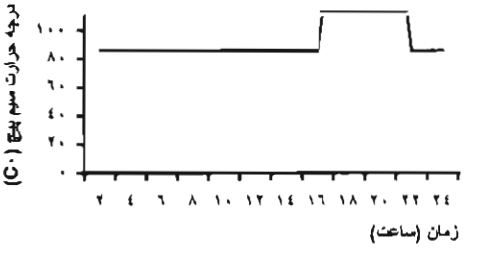
θ_c = گرمترین درجه حرارت سیم پیچ

θ_{cr} = گرمترین درجه حرارت سیم پیچ که فساد عایقی نامی اتفاق می افتد که $98^{\circ}C$ است.

همانگونه که ملاحظه شد منحنی فساد عایقی ترانس یک منحنی غیر خطی است که تغییر درجه حرارت محیط در حوالی مقدار متوسط در یک پریود مشخص (و با یک ضریب ثابت) موجب تغییر درجه حرارت نقطه داغ سیم پیچ شده که به همان نسبت روی پیری عایقی ترانس اثر می گذارد به عنوان مثال اگر ترانسی ۱۸ ساعت با حرارت سیم پیچ زیر مقدار نامی (مثلاً $86^{\circ}C$) کار کند و ۶ ساعت در شرایط پیک بار با حرارت سیم پیچ بالاتر ($104^{\circ}C$) کارکند عمر آن ۴۵٪ بیشتر از حد نرمال خود خواهد شد یعنی:

$$V = \frac{(18 \times 0/25) + (6 \times 2)}{24} = 0/687$$

$$1 \div 0/687 = 1/45$$



تحت این شرایط اگر سطح زیر منحنی را بر کل زمان باردهی ترانس که ۲۴ ساعت است تقسیم کنیم درجه حرارت متوسط روزانه سیم پیچ برابر $90^{\circ}C$ بدست می آید و از روی رابطه θ_2 می توان حرارت وزنی سیم پیچ را حساب نمود یعنی:

$$\theta_c = 98 + 19/93 \log(0/687) = 95^{\circ}C$$

که از حرارت متوسط روزانه به مقدار $5^{\circ}C$ بیشتر است.

برای بدست آوردن درجه حرارت وزنی محیط ابتدا درجه حرارتهای متوسط ماهیانه را باید بدست آورد اگر θ'_a درجه حرارت وزنی محیط و θ_a درجه حرارت متوسط محیط باشد رابطه زیر بدست می آید:

$$\theta'_{a2} = \frac{1}{t}\int_{2}^{1} \theta_{a2}\, dt$$

که با تقسیم زمان به n قسمت مساوی رابطه ساده زیربه دست می‌آید:

$$\theta'_{a2} = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n} \theta_{a2}$$

چنانچه n را برابر ۱۲ ماه قرار دهیم و θ_a را که طبق استاندارد درجه حرارت متوسط سالیانه است برای تمام ماهها برابر $20^{\circ}C$ فرض کنیم درجه حرارت وزنی محیط استاندارد برابر $20^{\circ}C$ می شود یعنی:

$$\theta'_a = 20 \log\left(\frac{1}{12}\sum_{1}^{12} 10^{\frac{\theta_a}{20}}\right) = 20 \log\left(\frac{1}{12}\sum_{1}^{12} 10^{\frac{20}{20}}\right) = 20$$

طبقه بندی روغنها:

روغنها بسته به اینکه در چه درجه حرارتی و چه نوع شرایط آب و هوایی استفاده می شوند به سه دسته و دو کلاس بشرح زیر تقسیم میشود : [۸و۱۰]

۱- گروه A برای نقاطی که حداقل درجه حرارت محیط آنها ۲۰- درجه سانتی است.

۲- گروه B برای نقاطی که حداقل درجه حرارت محیط آنها ۳۰- درجه سانتی است.

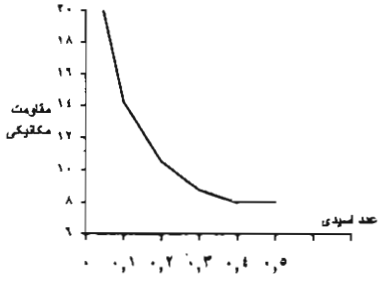
۳- گروه C برای نقاطی که حداقل درجه حرارت محیط آنها ۴۰- درجه سانتی است که

مشخصات آنها در جداول انتهای مقاله آمده است. (جداول ۱ و ۲)

یکی دیگر از عوامل ایجاد حرارت در ترانس وجود تلفات بی باری – بارداری و پراکندگی است که در اینجا بحث نمی شود ولی می توان با بارگذاری وبهره برداری مناسب درجه حرارت روغن را کنترل و از پیر شدن زود هنگام آن را حفاظت نمود.

از آنجایی که ضریب دی الکتریک و عایقی ترانس با وجود کاغذ به همراه روغن به سطح مطلوبی می‌رسد (۲۳٪ افزایش دارد) لذا در اینجا مناسب به نظر می رسد بحث مختصری نیز در عوامل مؤثر در عمر کاغذ بعمل آید:

گرما - رطوبت – اسید و فورفورال (furfural) در کاهش عمر کاغذ بکار رفته در ترانس نقش بسزائی دارد با عنایت بر این امر که برخلاف روغن وقتی کاغذ فاسد شد چون قابل احیاء نیست، عمر ترانس نیز به پایان رسیده و غیر قابل استفاده می گردد. پیری کاغذ یعنی کاهش استقامت مکانیکی و کاهش تحمل آن در برابر جریانهای اتصال کوتاه نمودار اثر اسید تولیدی در روغن روی مقاومت مکانیکی کاغذ به صورت زیر است.



یکی دیگر از عوامل تأثیر گذار روی کاغذ ترانس همانطوریکه گفته شد فورفورال است:

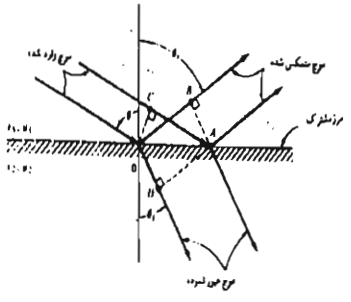
فرایند فرسودگی کاغذ محصولات متعددی ایجاد میکند که همگی در روغن حلال هستند که مهمترین آنها ترکیبات فرانوئید می باشند که با علامت اختصاری (FFA) نشان داده می شوند با استفاده از نمونه برداری سالیانه از روغن ترانس و به کمک روش کروماتوگرافی مایع (HPLC)[1] که جهت تجزیه روغن بکار می رود می توان برای تعیین فرانوئیدها استفاده کرد.

رایج ترین فرانوئیدهایی که از طریق HPLC شناسایی شده است عبارتند از:

۲- فورفورال[2]، ۲- استیل فوران، ۲- فروئیک –۵- میتل –۲- فورافورلدئید، ۲- فورافورال الکل و ۵- هیدروکسی میتل -۲- فورافورالدئید

عموماً ۲- فوفورال ترکیب اصلی نمونه روغن(Oil sample) بوده و بقیه در سطح بسیار اندک وجود دارند. این ترکیب با استفاده از طیف سنجی اندازه گیری می شود این شیوه بسیار سریع و دقیق بوده و شیوه ای است که فقط ماده ۲- فورفورال روغن را اندازه گیری می کند. [۱و۹]

قبلاً گفته شد که عدد پولاریزاسیون یکی دیگر از مشخصه های روغن ترانس است. که می توان مقدار پیری روغن را از روی آن تعیین کرد. اندازه گیری ضریب دی الکتریک روغن در فرکانسهای نوری با استفاده از شکست نور در عبور از هوا به روغن که با دستگاه رفراکتومتر (Refractometer) انجام می شود. صورت می گیرد. (مطابق شکل زیر)



با توجه به شکل و برای اجسامی که ضریب نفوذ پذیری مغناطیسی یکسانی دارند خواهیم داشت:

---

[1] HPLC = High Performance liquid chromatography

[2] ۲-furfural, ۲- acetyl furan, ۲- furoic, ۵-methyl, ۲- furfuraldehyde, ۲- furfural alchol and ۵- hydroxymethyl

۲- furfuraldehyde.

$$\frac{\sin\theta}{\sin\theta'} = \frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}\right)^{\frac{1}{2}}$$

که: V_1 و V_2 سرعت نور در محیطهای اول و دوم و $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ ضریب دی الکتریک دو محیط هستند.

با استفاده از قانون کلازیوس - موزوتی (Clausisus – Mosotti) عدد پولاریزاسیون در فرکانسهای خیلی بالا و پائین بر حسب ضریب دی الکتریک روغن بصورت زیر خواهد شد.

$$z = \frac{(\varepsilon' - \varepsilon'')}{(\varepsilon' + 2)(\varepsilon'' + 2)}$$

ε' = ضریب دی الکتریک روغن در فرکانس خیلی پایین

ε'' = ضریب دی الکتریک روغن در فرکانس خیلی بالا

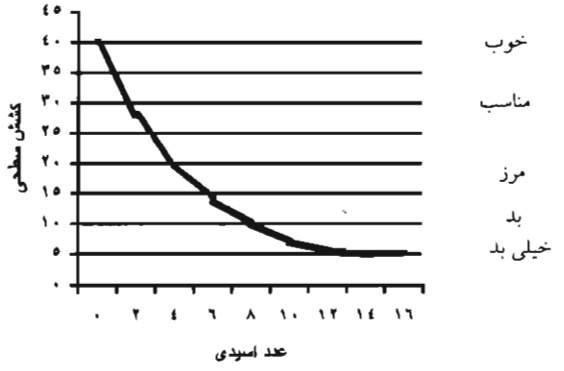
کشش سطحی که بر حسب دین بر سانتی متر $\left(\frac{Dyn}{Cm}\right)$ یا نیوتن بر متر $\left(\frac{N}{m}\right)$ بیان می شود.

یکی دیگر از پارامترهای تعیین کننده می باشد و همانگونه که گفته شد معرف آلودگیهای قطبی و محصولات حاصل از زوال روغن ترانس است که باعث کاهش نیروهای جاذبه ملکولی روغن و آب می شود هر چه کشش سطحی بیشتر باشد روغن سالم تر است [۲].

عدد اسیدی میزان اسیدهای آزاد آلی و غیر آلی موجود در روغن است که بر حسب میلی گرم ئیدروکسید پتاسیم بر گرم روغن $\left(\frac{mg.KOH}{g.oil}\right)$ معرفی میشود که ناشی از واکنش بین هیدروکربنهای موجود روغن و اکسیژن است (اکسیژن موجود بعلت هواگیری ناقص از روغن و یا تماس آن با محیط است). اسید داخل روغن با اضافه نمودن باز (KOH) خنثی می شود که میزان باز لازم برای خنثی کردن یک گرم روغن را عدد اسیدی می گویند. و آنرا با NN (یعنی Neutralization Number) نشان می‌دهند.

نقطه ریزش که در واقع معرف سیالیت روغن (ویسکوزیته یا چسبندگی) می باشد دمایی را نشان می‌دهد که در آن دما روغن بصورت روان باقی می ماند و می تواند یکی از وظایف اصلی خود که خنک کنندگی است را انجام دهد. همچنین تنش ها و امواج روغن بر اثر نوسانات شدید ولتاژ و جریان توسط این عامل بررسی می شود.

بنابراین عاملی بنام کیفیت روغن مطرح می شود که چون کشش سطحی و عدد اسیدی عوامل مهمی در تعیین پیری روغن هستند و با پیر شدن روغن کشش سطحی کم و عدد اسیدی زیاد می شود لذا نسبت این دو را بدست آورده و کیفیت روغن می نامند (oil Quality Index) منحنی زیر رابطه بین عدد اسیدی و کشش سطحی که بصورت تابع $f(x) = \frac{1}{x}$ است را بیان می کند. جدول بررسی نهایی در انتهای مقاله آمده است. (جدول شماره ۳) [۴و۵]



افزودن بر موارد فوق امروزه از روش تصمیم گیری فازی در مورد کیفیت روغن ترانسها که به صورت مجموعه ای از روابط به فرم (IF – THEN) تعریف شده اند و از استانداردهای جهانی معتبر، کتب تخصصی مرتبط و تجربیات متخصصین خبره بدست آمده اند نیز استفاده های بسیار میشود. مثلاً : [۵]

(interfacial – tension) is (high) and

(color) is (dark - brown) then

(conclusion) is (replacement)

c) if (dissipation – power – factor) is (low) and

(dielectric – strength) is (high) and

(water – content) is (high) and

(neutralization–number) is (not very–high) and

(interfacial – tension) is (high) and

(color) is (not black) then

(conclusion) is (reconditioning)

a)if (dissipation – power – factor) is (not extra –high) and

(dielectric – strength) is (not extra – low) and

(water - content) is (low) and

(neutralization - number) is (low) and

(interfacial - tension) is (very - high) and

(color) is (light - yellow) then

(conclusion) is (acceptable)

b)if (dissipation – power – factor) is (very– high) and

dielectric – strength) is (extra – low) and

(water – content) is (extra - high) and

(neutralization – number) is (very– high) and

جدول مقایسه ای مشخصات کلاسهای ۱ و ۲ روغنها

غلظت روغن:			
۴۰ درجه	Cst	≥ ۱۶/۵	≥ ۱۱
۲۰ درجه		≥ ۴۰	≥ ۲۵
۱۵- درجه		≥ ۸۰۰	-
۳۰- درجه		-	≥ ۱۸۰۰
نقطه اشتعال	درجه سانتیگراد	≥ ۱۴۰	≤ ۱۳۰
نقطه ریزش	درجه سانتیگراد	≥ ۳۰-	≥ ۴۵-

(جدول شماره ۱)

جدول مشخصات عوامل مشترک کلاسهای ۱ و ۲ روغنها

شکل ظاهری	-	شفاف، بدون ذرات معلق، بدون رسوب
دانسیته	(۲۰) Kg /dm	≥ ۰/۸۹۵
کشش سطحی	(۲۵) N/m	≤ ۴×۱۰
درجه خنثی بودن	mg (koH) /g(oil)	≥ ۰/۰۳
خورندگی گوگردی	-	NON
میزان رطوبت	mg (w) /g (oil)	≥ ۴۰
درجه خنثی بودن بعد از اکسید شدن	mg (koH) /g (oil)	≥ ۰/۴۰
مقدار لجن روغن	درصد وزنی روغن	≥ ۰/۱۰
ولتاژ شکست عایقی:		
روغن تازه قبل از تصفیه	K V	≤ ۳۰
روغن بعد از تصفیه		≤ ۵۰
ضریب تلفات برای نمونه روغن خشک و فیلتر نشده (۵۰۰-۱۰۰۰ V/mm)	۹۰ درجه ۴۰-۶۲ Hz	≥ ۰/۰۰۵

جدول بررسی نهایی وضعیت روغن ترانسفورماتور

وضعیت روغن	عدد اسیدی $\frac{mgKOH}{g.oil}$	کشش $\frac{dyn}{cm}$			
خوب	۰/۰۳-۰/۱	۳۰-۴۵	۱۵۰۰-۳۰۰	شفاف	بدون اشکال
مناسب	۰/۰۵-۰/۱	۲۷-۳۰	۶۰۰-۲۷۰	زرد روشن	وجود ذرات معلق و لجن در روغن و اسیدهای چرب
متوسط	۰/۱۱-۰/۱۵	۲۴-۲۷	۲۴۵-۱۶۰	زرد	لجن معلق آماده ته نشین شدن
بد	۰/۱۶-۰/۴	۱۸-۲۴	۱۵۰-۴۵	زرد پررنگ	لجن سطح هسته و سیم پیچ را پوشانده و سخت شده است
خیلی بد	۰/۴۱-۰/۶۵	۱۴-۱۸	۴۴-۲۲	زرد کهربائی	کاغذ جمع شده است و احتمال سوختن ترانس می باشد
خراب	۰/۶۶-۱/۵	۹-۱۴	۲۱-۶	قهوه ای تیره	مجاری تهویه با لجن مسدود شده درجه حرارت کاغذ افزایش یافته است
کاملاً خراب	<۱/۵	۶-۹	-	سیاه	شستشوی ترانس مشکل شده است ایجاد گاز به علت گرمای ناشی از عدم تهویه

نتیجه گیری:

نظـــــارت مستمر بر شرایط روغـــن و تجـهیزات الکتریکی که در آنها از روغن استفاده می شـــود مـی توانـد عمر مفید آنها را افزایش دهد. اصلی ترین قسمتی که عمـر آن بستگی زیاد به روغـن دارد ترانسـفورماتورها هسـتند. از این رو بهره برداران نیازمند بـه شـناخت اسـلوب هـــــای قابل اطمینان و اثر بخشـــی برای بررسی شرایط حـاکم بـر روغن ترانسها می باشند. تحلیل اطلاعـات بدسـت آمـده از گازهای حل شده در روغن و نتـایج حاصلـه از مقـدار مـاده فورفورال تا بررسی شکست عایقی، رطوبت و اکسیژن هـوا و سایر عوامل می‌تواند در تعیین عمر و پیری روغن ترانـــس و مقدار باردهی آن کمک قابل ملاحظه ای باشد و به وســیله این اطلاعات می توان ضمن جلوگیری از سوختن و از بیـن رفتن ترانس عمر آن را افزایش داد و از طریـق یـک برنامـه ریزی دقیق و انجام اقدامات اصلاحـی و پیشـگیرانه از بـروز حوادث احتمالی به مقدار چشمگیری جلوگیری نمود.

مراجع و منابع :

۱- سمینار آموزش بهره برداری روغن ترانسـفورماتورها – دکتر پهلوان پور – معاونت تولید و انتقال

۲- مهندسی عایقها و فشار قـوی پیشـرفته – حسـین محسنی - انتشارات دانشگاه تهران

۳- بارگذاری بهینه ترانسفورماتورهای توزیع در منـاطق سردسیری – حسین کاظمیان

۴- مجموعه مقالات ششمین کنفرانس سراسری شبکه های توزیع – ۱۳۷۵

۵- مجموعه مقالات نـهمین کنفرانـس مهندسـی بـرق ایران ـ ۱۳۸۰

۶- دســـتورالعمل ســـــرویس و بـــــهره بـــــرداری ترانسفورماتورهای توزیع

۷- IEEE ۵۷۰۱۰۶ , IEC ۵۷۳۰ , IEC ۷۶ , IEC ۲۹۶ , BS ۵۷۳۰

۸-ANSI / IEEE C.۱۰۶-۱۹۷۷ , IEEE Guide for Acceptance and Maintenance of oil in Equipment.۱۹۴۸

۹-IEC Pubilication ۴۲۲ , Maintenance and Supervision for Insulating Oils in Service.۱۹۴۳

۱۰-S – D Meyers , J.J.Kelly , R.H>Parish , A Guide to Transformr Maintenance , IMI , ۱۹۸۱