# احیاء روغن ترانسفورماتور

فریبرز موجبی
شرکت برق منطقه‌ای گیلان

حسین محسنی
دانشگاه تهران

## چکیده:

روغن ترانسفورماتور در طول زمان و با توجه به درجه حرارت کار آن و وجود رطوبت و کاتالیزاتورهائی مانند مس، دستخوش تغییراتی می گردد. مهمترین این تغییرات، کاهش استقامت الکتریکی و ایجاد لجن است. این تغییرات، کارکرد روغن را به عنوان عایق و خنک کننده تحت تأثیر قرار می دهد و باعث سوختن ترانسفورماتور می گردند.

در این مقاله ضمن بررسی مختصر مشخصات روغن ترانسفورماتور که مبین پیری روغن می‌باشند، یک روش ساده برای تشخیص پیری روغن بیان می‌گردد و روشهای تصفیه و احیاء روغن و لجن زدائی از ترانسفورماتورهای توزیع و انتقال شرح داده می‌شوند. با وجود استاندارد بودن این روش و علی‌رغم انجام موفق آن در چند مورد و سادگی روش کار، متأسفانه هنوز این کار در ایران معمول نشده است. عدم دقت به این مسئله باعث کاهش عمر ترانسفورماتورها می‌گردد.

## ۱ - شرح مقاله

روغن در ترانسفورماتور دارای نقشهای اصلی و فرعی است. نقشهای اصلی روغن یکی عایقکاری و دیگری خنک کنندگی است. نقشهای فرعی روغن شامل جلوگیری از انتشار صدا، جلوگیری از نفوذ آلودگی و رطوبت به سیم پیچ، و جلوگیری از زنگ زدگی هسته می باشد. برای اینکه روغن بتواند نقشهای اصلی خود را انجام دهد باید از طرفی یک عایق خوب و از طرف دیگر سیال و روان باشد.

پیر شدن روغن به معنی کاهش قابلیت انجام نقشهای اصلی آن است. استقامت الکتریکی به‌دلیل وجود رطوبت و ذرات معلق کاهش می یابد [۱]. با اندازه گیری ولتاژ شکست روغن می‌توان مستقیماً به‌وضعیت عایقی آن پی برد. مشخصات دیگری مانند مقاومت مخصوص و ضریب تلفات عایقی نیز وضعیت عایق را مشخص می‌کنند. وجود ذرات معلق در روغن، تعداد و بزرگی آنها را می‌توان مشخص نمود و مقدار رطوبت روغن را می‌توان مستقیماً تعیین کرد.

رطوبتِ روغن و ذرات معلق در آن را می توان با تصفیه فیزیکی جذب نمود. در این عمل که با استفاده از فیلتر، حرارت و خلاء انجام می شود، گازهای حل شده در روغن نیز گرفته می شوند. این عمل در ایران از سالها قبل معمول بوده است که ابتدا توسط پیمانکاران خارجی همزمان با نصب ترانسفورماتورها انجام می شده است و سپس ایرانیان نیز از این روش استفاده می نمودند.

اکسیده شدن روغن باعث ایجاد لجن، گرفتگی مجاری تبرید و کاهش عمل خنک کنندگی می‌گردد. لجن می تواند به صورت لایه ای برروی عایقهای جامد بنشیند و مانع عبور حرارت از هادی به روغن گردد. وجود لجن در روغن یا آمادگی روغن به ایجاد لجن را می توان از رنگ روغن متوجه شد و البته می توان با اندازه گیری مشخصات روغن مانند عدد اسیدی و کشش بین سطحی به اکسیده شدن و آمادگی روغن به ایجاد پی برد.

رابطه بین ضریب دی الکتریک روغن در فرکانس های خیلی بالا، مثلاً فرکانس نوری و ضریب دی‌الکتریک روغن در فرکانس های خیلی پائین مثلاً ۵۰ هرتس، یکی از مشخصات جالب روغن است. این رابطه مشخص کنندهٔ وجود ذرات معلق دو قطبی در روغن است که در فرکانس پائین همراه با تغییرات سینوسی ولتاژ در جهت میدان می چرخند ولی در فرکانس های بالا فرصت چرخش با ولتاژ را نمی یابند. با داشتن ضرایب دی الکتریک نسبی روغن در فرکانس های خیلی بالا و خیلی پائین عدد پولاریزاسیون تعریف می شود که بعداً خواهد آمد.

مشخصات دیگری از روغن وجود دارند که به نوبهٔ خود مهم هستند ولی ربطی به پیری روغن ندارند. برای مثال ویسکوزیتهٔ روغن یا سیلانی بودن آن برای حرکت و نقش خنک کنندگی آن مهم است. ویا وزن مخصوص روغن از آن نظر اهمیت دارد که ورقه های عایق چوبی، درصورتی که به هر دلیل آزاد شوند، نباید در روغن معلق بمانند. نقطهٔ اشتعال به دلیل خطر آتش سوزی و نقطهٔ ریزش، یعنی درجه حرارتی که روغن از حالیت ماسیده به حالت مایع در می آید و ریزش می کند، در نقاط سردسیر دارای اهمیت است.

## ۲ - عوامل پیری روغن

مهمترین عاملِ پیری روغن اکسیده شدن آن است که به دلیل درجه حرارت بالا، وجود اکسیژن و کاتالیزاتورهای مس و آهن انجام می شود. از وجود اکسیژن، مس و آهن نمی توان جلوگیری نمود. با بهره‌برداری مناسب می توان درجه حرارت روغن را کاهش داد و از پیر شدن بی مورد آن جلوگیری نمود. نقش درجه حرارت در پیر شدن روغن از همه مهمتر است. درجه حرارت در کاهش عمر کاغذ نیز اهمیت دارد که دراینجا مورد بحث نیست. ولی باید توجه داشت که روغن را می توان احیاء یا تعویض نمود ولی احیاء کاغذ ممکن نیست. با پیر شدن کاغذ ارزش ترانسفورماتور کلاً از بین می‌رود. پیری کاغذ به معنی کاهش استقامت مکانیکی آن است. این کاهش استقامت مکانیکی باعث می‌شود که کاغذ نیروی جریان اتصال کوتاه را تحمل نیاورد. درصورتی که روغن درطول زمان قابلیتهای خود را از دست بدهد باید احیاء شود.

## ۳ - مشخصات روغن پیر

با اکسیده شدن روغن در آن ذرات پولار (polar) یا قطبی به وجود می آیند و میزان اسید روغن افزایش می یابد. ذرات پولار باعث کاهش کشش بین سطحی آب و روغن می گردند. لذا یکی از راههای پی بردن به پیری روغن تعیین عدد اسیدی آن است. روش دیگر اندازه گیری کشش بین سطحی آب و روغن است. رنگ روغن نیز به‌دلیل وجود ذرات پولار تیره می شود. لذا از رنگ روغن نیز می توان کیفیت آن را تا حدودی بازشناخت. روش دیگر عدد پولاریزاسیون است که در بالا به آن اشاره شد و در زیر در باره آن بیشتر صحبت می شود.

درهرصورت هیچ یک از روشها صددرصد مبین کیفیت روغن نیستند و معمولاً همهٔ آنها مورد

نوجه قرار می گیرند. با افزایش ذرات پولار رفته رفته لجن تولید می‌شود و خاصیت روغن به‌عنوان خنک کننده ازبین می رود.

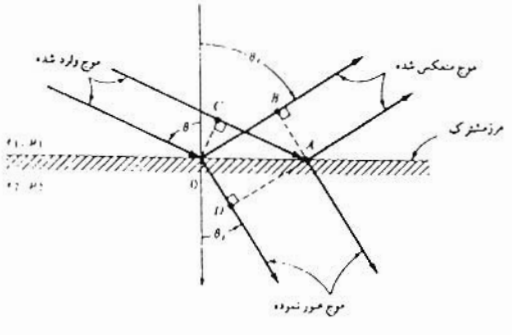
### ۳ - ۱ عدد پولاریزاسیون

همانگونه که اشاره شد عدد پولاریزاسیون یکی دیگر از مشخصه های روغن عایق است و مبین وجود ذرات پولار در روغن یعنی پیری آن می باشد. این مشخصه از ضرایب دی‌الکتریک نسبی روغن در فرکانس های خیلی پائین و خیلی بالا تعریف می شود. جزئیات اندازه گیری این ضرایب در مرجع [۱] و یا استانداردهای مربوطه آمده است. اندازه گیری ضریب دی الکتریک روغن در فرکانس‌های نوری با استفاده از شکست نور در عبورِ آن از هوا به مایع عایق انجام می‌شود. مطابق شکل ۱ برای موادی که در آنها ضرایب نفوذ مغناطیسی برابر هستند می‌توان نوشت:

$$\frac{\sin\theta}{\sin\theta_t} = \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\varepsilon_2/\varepsilon_1} \qquad (۱)$$

در این رابطه $v_2$ و $v_1$ سرعت سیر نور در دو ماده و $\varepsilon_1$ و $\varepsilon_2$ ضرایب دی الکتریک دو ماده است. باداشتن ضرایب دی الکتریک نسبی روغن در فرکانس های خیلی بالا ($\varepsilon_\infty$) و فرکانس‌های خیلی پائین ($\varepsilon_o$)، با استفاده از قانون کلازیوس موزوتی (Clausius - Mosotti) [1]، عدد پولاریزاسیون که مبین میزان مواد پولار روغن است، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Z = \frac{(\varepsilon_o - \varepsilon_\infty)}{(\varepsilon_o + 2)(\varepsilon_\infty + 2)} \qquad (۲)$$




**شکل(۱) : عبور نور از فصل مشترک دو عایق**

اندازه‌گیری ضریب شکست نور (refraction index) یعنی $\sin\theta/\sin\theta_t$ با استفاده از دستگاه رفراکتومتر (refractometer) انجام می شود.

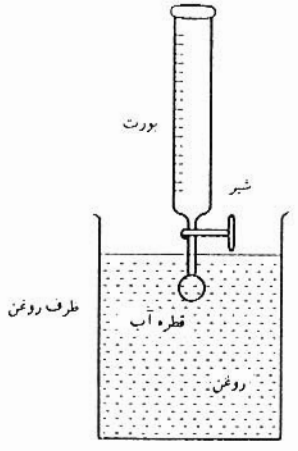
### ۳ - ۲ کشش بین سطحی

اندازه‌گیری کشش بین سطحی آب و روغن با یک ترازوی حساس انجام می‌گیرد که مخصوص این اندازه‌گیری ساخته شده است. به این ترازو یک حلقه از جنس پلاتین با قطر معین آویزان می‌شود. این حلقه از مرز بین آب مقطر و روغن عبور داده و نیروی لازم برای عبور از این مرز اندازه‌گیری و به محیط حلقه تقسیم می شود. لذا واحد کشش بین سطحی برحسب دین بر سانتیمتر (dyn/cm) یا نیوتون بر متر (N/m) است. همانطور که می دانیم نیوتون $10^5$ دین است.

درصورتی که دستگاه اندازه‌گیریِ کشش بین سطحی موجود نباشد، می توان از روش ساده‌ای استفاده نمود که برای مقایسه بسیار مفید است. در این روش از یک قطره چکان یا بورت (burette) استفاده می شود و آهسته قطرات آب از نوک بورت وارد روغن می شود.

شکل ۲ قطرهٔ آب را در لحظهٔ جدا شدن از نوک بورت نشان می دهد. در این لحظه نیروی جاذبهٔ زمین وارد شده به قطره برابر نیروی کششی نوک بورت است. نیروی جاذبه برابر است با حجم قطره ضرب در تفاضل وزن مخصوص آب و روغن. درصورتی که وزن مخصوص دو نوع روغنِ مختلف برابر باشد، حجمِ قطراتِ آبِ جدا شده از نوک بورت متناسب است با کشش بین سطحی آب و آن دو نوع روغن. از این طریق مقایسه کشش بین سطحی دو نوع روغن بسیار ساده می شود. اگر وزن مخصوص دو نوع روغن مساوی نباشد، باید وزن مخصوص را در محاسبه منظور نمود.

هرچه وزن مخصوص روغن بیشتر ویاکشش بین سطحی آب و روغن بزرگتر باشد، حجم قطرهٔ آب جدا شده از نوک بورت بزرگتر است. معمولاً حجم یک قطره اندازه گیری نمی‌شود، بلکه حجم چند قطره اندازه گیری شده و به تعداد قطرات تقسیم می‌گردد تا دقت اندازه گیری بیشتر شود. البته می توان تعداد قطراتی راکه حجم آنها یک یا دو سانتیمتر مکعب می‌شود اندازه گرفت.




**شکل(۲) : اندازه گیری کشش بین سطحی آب و روغن با استفاده از قطره چکان**

این روش ساده و ارزان است و وسائل آن را با هزینهٔ کم می توان تهیه نمود. وزن مخصوص روغن را می توان با استفاده از شناور مدرج به دست آورد.

### ۲ - ۳ عدد اسیدی

اندازه گیری عدد اسیدی را باید متخصصین شیمی شرح دهند. در اینجا اشاره می شود که اسیدِ داخلِ نمونهٔ روغن را با افزایش باز (KOH) خنثی می کنند و میزان باز لازم برای خنثی کردن یک گرم روغن را عدد اسیدی گویند. که برحسب میلی گرم باز برای هر گرم روغن (mg KOH/g Oil) تعیین می شود. عدد اسیدی را (Neutralization Number) گویند و با (NN) نمایش می دهند.

### ۳ - ۴ ضریب کیفیت روغن

از آنجا که کشش بین سطحی و عدد اسیدی کمیات مهمی برای تشخیص پیری روغن هستند و با پیر شدن روغن اولی کاهش و دومی افزایش می یابد، لذا نسبتُ این دو کمیت را تعیین و ضریب کیفیت روغن (Oil Quality Index) می خوانند. جدول ۱ که مستقیماً از مرجع [۲] آورده شده است ضریب کیفیت روغن را با توجه به رنگ آن نشان می دهد.

جدول ۱ : ضریب کیفیت روغن[۲]

| TRANSFORMER OIL CLASSIFICATIONS* | |
|---|---|
| 1. Good Oils<br>NN 0.00 - 0.10<br>IFT 30.0 - 45.0 | (Pale yellow)<br>M.I.N. 300-1500 |
| 2. Proposition A Oils<br>NN 0.05 - 0.10<br>IFT 27.1 - 29.9 | (Yellow)<br>M.I.N. 271 - 600 |
| 3. Marginal Oils<br>NN 0.11 - 0.15<br>IFT 24.0 - 27.0 | (Bright yellow)<br>M.I.N. 160-318 |
| 4. Bad Oils<br>NN 0.16 - 0.40<br>IFT 18.0 - 23.9 | (Amber)<br>M.I.N. 45 - 159 |
| 5. Very Bad Oils<br>NN 0.41 - 0.65<br>IFT 14.0 - 17.9 | (Brown)<br>M.I.N. 22 - 44 |
| 6. Extremely Bad Oils<br>NN 0.66 - 1.50<br>IFT 9.0 - 13.9 | (Dark brown)<br>M.I.N. 6-21 |
| 7. Oils In Disastrous Condition<br>NN 1.51 or more | (Black) |

با توجه به این جدول ضریب کیفیت روغن ازحدود ۱۵۰۰تا۳۰۰ برای روغن خوب،به حدود ۱۵۹ تا ۴۵ برای روغن بد و به ۲۱ تا ۶ برای روغن خراب می رسد. روغن بد ممکن است باعث سوختن ترانسفورماتور گردد و یا زحمات زیادی را در رابطه با تمیز کردن آن ایجاد نماید. جدول ۲ اثر روغن بد را بر روی ترانسفورماتور بیان می‌کند. جالب توجه است که رابطهٔ بین کشش بین سطحی و عدد اسیدی روغنهای مختلف منحنی مشابه $\frac{1}{x}$ را به دست می‌دهد. شکل ۳ این منحنی را از مرجع [۲] نشان می‌دهد.

جدول ۲ : اثرات سوء روغن در کارکرد ترانسفورماتور [۲]

| وضعیت روغن | عدد اسیدی $\frac{mg\ KOH}{g\ Oil}$ | کشش بین سطحی $\frac{dyn}{cm}$ | ضریب کیفیت روغن | اثرات سوء روغن در کارکرد ترانسفورماتور |
|---|---|---|---|---|
| خوب | ۰/۰۳ - ۰/۱ | ۳۰ - ۴۵ | ۱۵۰۰ - ۳۰۰ | بدون اشکال |
| مناسب | ۰/۰۵ - ۰/۱ | ۲۷ - ۳۰ | ۶۰۰ - ۲۷۰ | وجود ذرات پولار(لجن معلق) در روغن<br>اسیدهای چرب سیم پیچ را پوشانده‌اند |
| متوسط | ۰/۱۱ - ۰/۱۵ | ۲۴ - ۲۷ | ۲۴۵ - ۱۶۰ | لجن معلق آماده برای ته نشست<br>احتمال وجود لجن در حفره ها |
| بد | ۰/۱۶ - ۰/۴ | ۱۸ - ۲۴ | ۱۵۰ - ۴۵ | لجن سطح هسته وسیم پیچ را پوشانده است<br>لجن بر روی هسته وسیم پیچ سخت شده است |
| خیلی بد | ۰/۴۱ - ۰/۶۵ | ۱۴ - ۱۸ | ۴۴ - ۲۲ | کاغذ خود را جمع کرده است<br>احتمال سوختن ترانسفورماتور هست |
| خراب | ۰/۶۶ - ۱/۵ | ۹ - ۱۴ | ۲۱ - ۶ | مجاری تبرید بالجن مسدود شده‌اند<br>درجه حرارت کاغذ افزایش یافته است |
| کاملاً خراب | <۱/۵ | ۶ - ۹ | - | شستشوی ترانسفورماتور مشکل شده است<br>ایجاد گاز بدلیل گرمای ناشی از عدم تبرید |

درصورتی که ضریب کیفیت روغن پائین بیاید بر روی هسته وسیم پیچ لجن به صورت سخت شده می نشیند وباعث جمع شدن کاغذ می گردد. تمیز کردن هسته وسیم پیچ دراین مرحله مشکل ویا غیر ممکن می شود. مناسب است که کیفیت روغن ترانسفورماتورها تحت نظر باشند و قبل از آنکه به حد خطرناک برسند با احیاء روغن از خطرات احتمالی جلوگیری شود.

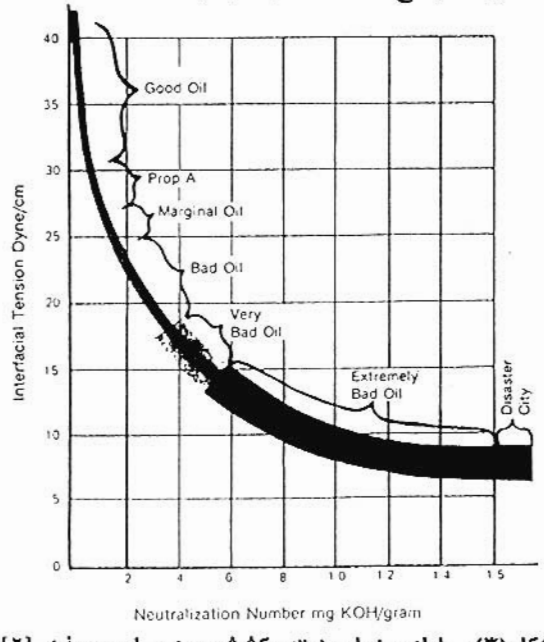
## ۴ - احیاء روغن ترانسفورماتور

اگر مشخصات روغن به حد نامطلوب برسد، احیاء آن لازم می شود. حد نا مطلوب روغن برای احیاء در استاندارد IEEE عدد اسیدی معادل ۰/۴ میلی گرم KOH برای خنثی کردن هر گرم

روغن و ۱۸ دین بر سانتیمتر کشش بین سطحی آب و روغن است. در استاندارد IEC این حد را ۰/۵ میلی گرم KOH برای هر گرم روغن و ۱۵ دین بر سانتیمتر تعیین کرده اند [۳] و [۴].

ساده ترین روش احیاء، طبق دستورالعمل IEEE استفاده از خـاک رنگـبر (fuller's earth) است. مرجع [۲] نیز دقیقاً این روش را شرح داده است. خاک رنگبر یک خاک طبیعی است که در ایران یافت می‌شود. این خاک در یک یا دو ظرف قرار می‌گیرد و روغن که قبلاً گرم شده است از آن عبور داده می‌شود. این ظرف را می توان به دستگاه تصفیه روغن که در تمام شرکتهای برق منطقه‌ای موجود است اضافه نمود و همزمان با تصفیهٔ فیزیکی، روغن را احیاء کرد.

یکی از محسنات این روش این است که روغن ترانسفورماتور آلوده نمی شود. زیرا این عمل در یک مدار بسته انجام می گیرد. و روغنهای مختلف با یکدیگر مخلوط نمی شوند. از طرف دیگر اگر روغن ترانسفورماتور تخلیه شود، برای تزریق مجدد روغن حتماً باید ترانسفورماتور را تحت خلاء قرار داد. این امر برای ترانسفورماتورهای توزیع که بدنهٔ آنها تحمل خلاء را ندارد به‌سادگی ممکن نیست. در این روش چون روغن تخلیه نمی شود، خلاء لازم نیست. جالب توجه است که عمل تصفیهٔ فیزیکی و احیاء روغن می تواند در زمانی انجام شود که ترانسفورماتور درحـال کـار می‌باشد. در این رابطه نیز در مراجع [۲] و [۳] گزارش گردیده‌وشده است.



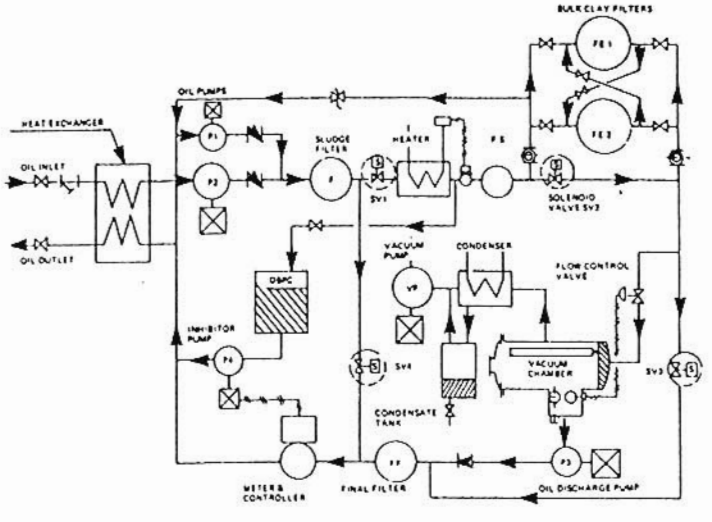

**شکل(۳) : رابطه بین اسیدینه و کشش بین سطحی روغن [۲]**

مشخصات روغن پس از احیاء بستگی به میزان خاک استفاده شده و مشخصات روغن قبل از احیاء دارد. با استفاده از ۷ درصد وزن روغن، عدد اسیدی یک نوع روغن از ۰/۰۷ به ۰/۰۲ میلی‌گرم KOH برای هر گرم روغن تنزل نمود و کشش بین سطحی آب و روغن از ۲۴ به ۳۸ دین بر سانتیمتر افزایش یافت. عدد پولاریزاسیون از $۲/۳\times۱۰^{-۳}$ به $۱/۰۴\times۱۰^{-۳}$ تغییر کرد. ضریب کیفیت روغن در این احیاء از ۳۴۰ به ۱۹۰۰ افزایش یافت. این مقدار خاک قدری بیش از حد لزوم است.

با توجه به اینکه امکان احیاء روغن همراه با تصفیه فیزیکی وجود دارد، می توان با استفاده از مقدار کمی خاک رنگبر (درحدود ۱ درصد) همیشه روغن ترانسفورماتورهای مهم را درحد خوب نگه‌داشت.

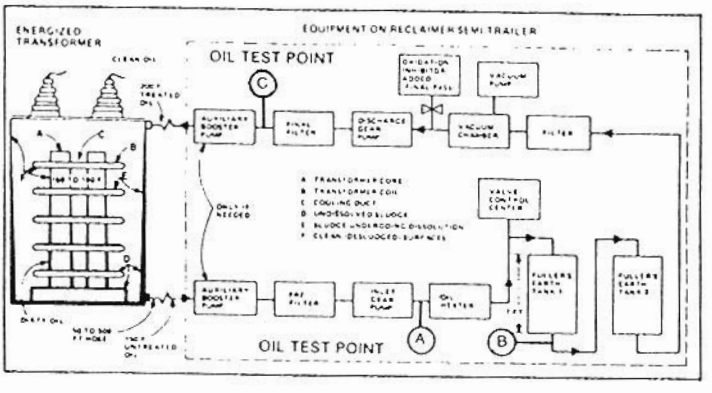
## ۵ - دستگاه سیار احیاء روغن ترانسفورماتور

شکل ۴ ترتیب تصفیهٔ فیزیکی و احیاء روغن با خاک رنگبر را نشان می‌دهد. چنانچه ذکر شد، برای ترانسفورماتورهای بزرگ با حجم زیاد روغن و برای ترانسفورماتورهای مهم، مناسب است که احیاء روغن همزمان با تصفیهٔ فیزیکی و مستقیماً در کنار ترانسفورماتور انجام گیرد. همانطور که تصفیهٔ فیزیکی نیز در کنار ترانسفورماتور و به صورت مدار بسته انجام می‌شود.




**شکل(۴) : جریان روغن در دستگاه تصفیهٔ فیزیکی و احیاء روغن با خاک رنگبر[۲]**

شکل ۵ ارتباط این دستگاه با ترانسفورماتور را نشان می دهد. برای لجن زدائی از داخل ترانسفورماتور باید هسته و سیم پیچ و بدنه ترانسفورماتور تا حدود ۸۰ درجه سانتیگراد گرم شوند. این درحالی است که برای جلوگیری از تبخیر مواد ضد اکسیداسیون در روغن، درجه حرارت روغن در خلاء نباید از ۶۰ درجه سانتیگراد تجاوز نماید. به این نکته باید در انجام تصفیه دقت داشت.




**شکل(۵) : تصفیهٔ فیزیکی و احیاء روغن با خاک رنگبر در محل نصب ترانسفورماتور[۲]**

تعویض یا احیاء روغن، بدون لجن زدائی از داخل ترانسفورماتور نتیجه ای ندارد. زیرا وجود لجن باعث خرابی سریع روغن جدید می گردد. از آنجا که داخل ترانسفورماتور به‌صورت کامل از لجن پاک نمی شود، روغن نو در داخل ترانسفورماتورِ کهنه خیلی زود پیر می‌شود. اگر میزان لجن زیاد باشد، لازم است روغن به یک ظرف جداگانه منتقل و ترانسفورماتور شستشو داده شود. در این رابطه می‌توان از داخل ترانسفورماتور نیز بازدید به‌عمل آورد. بدیهی است تزریق مجدد روغن نیاز به خلاء دارد.

مخلوط کردن چند نوع روغن بدون بررسی مجاز نیست و لذا بهتر است تصفیه و احیاء روغنِ هر ترانسفورماتور مستقیماً در کنار همان ترانسفورماتور انجام شود. در مورد ترانسفورماتورهای توزیع که بدنه تحمل خلاء را ندارد، تعویض روغن باید با استفاده از یک منبع انجام شود. در رابطه با ترانسفورماتورهای توزیع بعضاً منبع خاصی با استفاده از دو شیر به ترانسفورماتور وصل می شود تا در حین کار و با حرکت طبیعی روغن و با استفاده از گرمای ناشی از کار، احیاء روغن صورت پذیرد.

## ۶ - سابقه احیاء روغن ترانسفورماتور در وزارت نیرو

در اینجا مناسب است مختصری درباره سابقهٔ احیاء روغن با خاک رنگبر در وزارت نیرو صحبت شود. طبق صورتجلسه ای که موجود است، در سال ۱۳۶۱ در رابطه با احیاء روغن با خاک رنگبر در شرکت توانیر صحبت شده است. در همان سال دستگاه تصفیه فیزیکی روغن همراه با ظرف خاک رنگبر جهت احیاء روغن همراه با مقداری خاک رنگبر توسط مدیریت منطقه یک شرکت توانیر از خارج خریداری شده است.

پس از ادغام مناطق یک و دو در شرکت توانیر، این دستگاه به نیروگاه طرشت منتقل و سالها بدون استفاده ماند. در سالهای اخیر آقای مهندس اسدا... دهقان چند مورد روغن ترانسفورماتور را با خاک رنگبر احیاء نموده‌اند و گزارش مفصلی نیز توسط ایشان تهیه شده است که بسیاری از مسائل مربوط به روغن ترانسفورماتور را در بر می گیرد و جا دارد مورد توجه واقع شود. اخیراً شرکت برق منطقه‌ای تهران در رابطه با روغن ترانسفورماتورهای شبکه انتقال و شرکت برق منطقه ای گیلان در رابطه با احیاء روغن ترانسفورماتورهای توزیع تحقیقاتی را شروع نموده اند. متأسفانه علی رغم وجود آمادگی علمی و تجهیزاتی در کشور، این مسئله جای خود را هنوز کاملاً باز نکرده است.

## ۷ - نتیجه گیری

روغن ترانسفورماتور درطول زمان قابلیت خود را از دست می دهد. تصفیه فیزیکی، یعنی جذب رطوبت و ذرات معلق از دیر باز در ایران معمول بوده است که ابتدا توسط پیمانکاران خارجی همزمان با نصب ترانسفورماتور انجام می شده است و سپس ایرانیان نیز از این روش استفاده می‌نمودند. ولی احیاء روغن ظاهراً به این دلیل که لزوم انجام آن توسط پیمانکاران خارجی وجود نداشته است در ایران مورد توجه قرار نگرفته است.

نظر به توصیه های صریح استانداردهای مختلف و دستورالعمل مرجع [۲] ، احیاء روغن ترانسفورماتور با خاک رنگبر مناسب و در خارج معمول است. در ایران این عمل برای ترانسفورماتورهای شبکه انتقال، همراه با تصفیه فیزیکی، با موفقیت تجربه شده ولی معمول نگردیده است. برای ترانسفورماتورهای توزیع باید با کسب تجربه، مناسبترین راه را پیدا نمود.

ساخت و اضافه کردن ظرف خاک رنگبر به دستگاه تصفیه روغن به سادگی امکان پذیراست. مناسب است در این زمینه فعالیت بیشتری انجام گرفته و امکان استفاده از خاک رنگبر داخلی مورد بررسی قرار گیرد.

## ۸ - تشکر و قدردانی

بررسیهای انجام شده در این مقاله در طول سالها با کمک دوستان و همکاران و مساعدت مسئولین در شرکتهای مختلف انجام گرفته است. در اینجا لازم می دانیم از آقایان مهندس افسری، مهندس رمزی و مهندس مالکی از برق منطقه‌ای تهران، آقای مهندس ولایت و آقای مهندس دهقان از شرکت توانیر، آقای مهندس علیرضا ثابت از شرکت ایران ترانسفو وخانم مهندس فاطمه همداد از گروه آموزشی مهندسی برق و کامپیوتر دانشکده فنی دانشگاه تهران تشکر نمائیم و از دوستانی که نام آنها را از قلم انداخته‌ایم عذرخواهی کنیم.

## مراجع:

[۱] حسین محسنی: مهندسی عایقها و فشارقوی الکتریکی پیشرفته
انتشارات دانشگاه تهران ، ۱۳۷۳

[2] S. D. Meyers et al: A guide to Transformer Maintenance
ISBN 0-939320-00-2

[3] IEEE Guide for Acceptance and Maintenance of Oil in Equipments
ANSI C59.131

[4] IEC Maintenance and Supervision Guide for Insulating
Oils in service IEC Publication 422