

مقایسه فنی و اقتصادی ترانسفورماتورهای نوع خشک رزینی و روغنی

علی موسوی^۱ محسن فریدی^۱ کریم میرعلیخانی^۱
ali.sam2006@gmail.com mo.faridi@iran-transfo.com miralikhani@iran-transfo.com

^۱موسسه تحقیقات ترانسفورماتور ایران ^۲دانشگاه تهران
واژه‌های کلیدی: ترانسفورماتور خشک، ترانسفورماتور روغنی، تلفات بار، تلفات بی‌باری، هزینه انرژی

چکیده

هزینه اولیه و بهره‌برداری کمتری داشته باشند، از لحاظ اقتصادی بسیار حائز اهمیت است.

تفاوت اساسی انواع ترانسفورماتورهایی که در شبکه توزیع مورد استفاده قرار می‌گیرند در ساختار عایقی و سیستم خنک‌کنندگی آن است. از این لحاظ می‌توان آنها را به دو دسته کلی ترانسفورماتورهای روغنی و خشک، تقسیم نمود [۱]. مشکلات زیست محیطی، خطر آتش‌سوزی و انفجار ناشی از استفاده از روغن، اصلی‌ترین مشکل ترانسفورماتورهای روغنی است. در شکل (۱) یک نمونه از ترانسفورماتورهای توزیع که دچار انفجار و آتش‌سوزی شده است را ملاحظه می‌کنید.



شکل ۱- خطر انفجار و آتش‌سوزی ترانسفورماتورهای روغنی

امروزه محیط زیست و صرفه‌جویی در هزینه‌ها بیش از پیش مورد توجه بوده و در مجامع علمی، فنی و بین‌المللی مورد بحث و تبادل نظر قرار می‌گیرد. با توجه به گسترش روزافزون شبکه برق و مصرف انرژی الکتریکی و در نتیجه افزایش تعداد ترانسفورماتورهای نصب شده، هزینه‌های مرتبط با آن قابل تأمل است. از سوی دیگر مسائل ایمنی و هزینه‌های غیرمستقیم نظیر قیمت زمین جهت احداث پست در محل‌های خاص پراهمیت شده است. در این مقاله به مقایسه فنی و اقتصادی ترانسفورماتورهای خشک رزینی و روغنی پرداخته شده است. ترانسفورماتورهای مورد مطالعه از دیدگاه بهره‌برداری دارای مشخصات کلی مشابه بوده و می‌توانند بدون تغییر سایر تجهیزات شبکه جایگزین یکدیگر شوند.

۱- مقدمه

ترانسفورماتورها یکی از مهمترین تجهیزات شبکه انتقال انرژی می‌باشند. می‌توان گفت تمامی انرژی تولیدی در نیروگاه‌ها با عبور از ۵ تا ۶ ترانسفورماتور در سطوح ولتاژ مختلف به مصرف کننده نهایی می‌رسد. از این رو استفاده از ترانسفورماتورهایی که

تکنولوژی ساخت ترانسفورماتورهای خشک، بر اساس استفاده از عایق‌های جامد و مقاوم در برابر آتش‌سوزی بنا نهاده شده است. این مزیت سبب می‌شود تمام محدودیت‌هایی که استفاده از روغن ایجاد می‌کرد برطرف شود.

سازگاری با محیط زیست، عدم خطر آتش‌سوزی و انفجار از مهمترین مزایای ترانسفورماتورهای خشک می‌باشد. به دلیل تکنولوژی ساخت و مواد مصرفی گران‌تر، هزینه اولیه ترانسفورماتورهای خشک در مقایسه با نمونه روغنی مشابه بین ۱۳۰٪-۲۰۰٪ بیشتر است [۲]. از اینرو ترانسفورماتور خشک بیشتر در موارد خاص که استفاده از ترانسفورماتور روغنی مشکل آفرین است، به کار برده می‌شود. شکل (۲) یک نمونه از ترانسفورماتورهای خشک رزینی را نشان می‌دهد.



شکل ۲- ترانسفورماتور خشک رزینی

هزینه نهایی ترانسفورماتور شامل قیمت اولیه و هزینه‌های تلفات انرژی، نصب و راه‌اندازی و تعمیر و نگهداری در طول عمر مفید ترانسفورماتور می‌باشد [۳]. در این مقاله با بررسی پارامترهای مذکور در ترانسفورماتورهای خشک و روغنی نشان داده می‌شود که به رغم قیمت اولیه بالاتر، ترانسفورماتورهای خشک می‌توانند حتی از نظر قیمت نهایی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی، مقرون به صرفه‌تر از نمونه مشابه روغنی خود باشند. همچنین مزیت امکان نصب این ترانسفورماتور در نزدیکی مصرف‌کننده سبب می‌شود بتوان از طرح‌های جدید برای توزیع انرژی استفاده نمود و در نتیجه هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم مربوط به تجهیزات تاسیسات الکتریکی را نیز کاهش داد. این موارد نشان می‌دهد که علاوه بر ایمنی، عدم ایجاد آلودگی و سازگاری با محیط زیست، جایگزینی ترانسفورماتورهای خشک

به جای ترانسفورماتورهای روغنی از لحاظ اقتصادی نیز می‌تواند موجه باشد.

در این مقاله مقایسه بین ترانسفورماتورهای نرمال روغنی و خشک صورت گرفته است، توان، سطح ولتاژ و امپدانس اتصال کوتاه در هر دو مورد یکسان در نظر گرفته شده است. ترانسفورماتورهای خشک مورد بررسی دارای کلاس عایقی F و جهش حرارتی ۱۰۰ درجه کلون بر اساس استاندارد IEC 60726 می‌باشد [۴]. مقایسه انجام شده در این مقاله، بر اساس اطلاعات ترانسفورماتورهای نرمال ساخته شده در شرکت ایران ترانسفو صورت پذیرفته است.

۲- بررسی تلفات انرژی

تلفات ترانسفورماتور را می‌توان به تلفات بی‌باری و تلفات بار تقسیم نمود. تلفات بی‌باری ناشی از تلفات مغناطیسی هسته آهنی ترانسفورماتور می‌باشد، این تلفات از دو جزء تشکیل شده است، بخش اول تلفات هیستریزس که متناسب با فرکانس و سطح داخلی منحنی هیستریزس و در نتیجه مربوط به جنس هسته و چگالی شار ماکزیمم می‌باشد. بخش دوم، تلفات جریان گردابی هسته است که ناشی از تغییرات شار می‌باشد. این تلفات نیز به مجذور فرکانس، چگالی شار ماکزیمم و ضخامت ورق هسته، همین‌طور به مقاومت الکتریکی آن بستگی دارد. استفاده از مواد مغناطیسی با حلقه هیستریزس نازک‌تر و هسته‌های مورق با ضخامت کم و مقاومت بالا به ترتیب تلفات هیستریزس و جریان گردابی را کاهش می‌دهد [۵].

تلفات بار جزئی از تلفات ترانسفورماتور است که توسط جریان بار ایجاد می‌شود و متناسب با مجذور آن است، این تلفات را می‌توان به سه بخش تقسیم نمود:

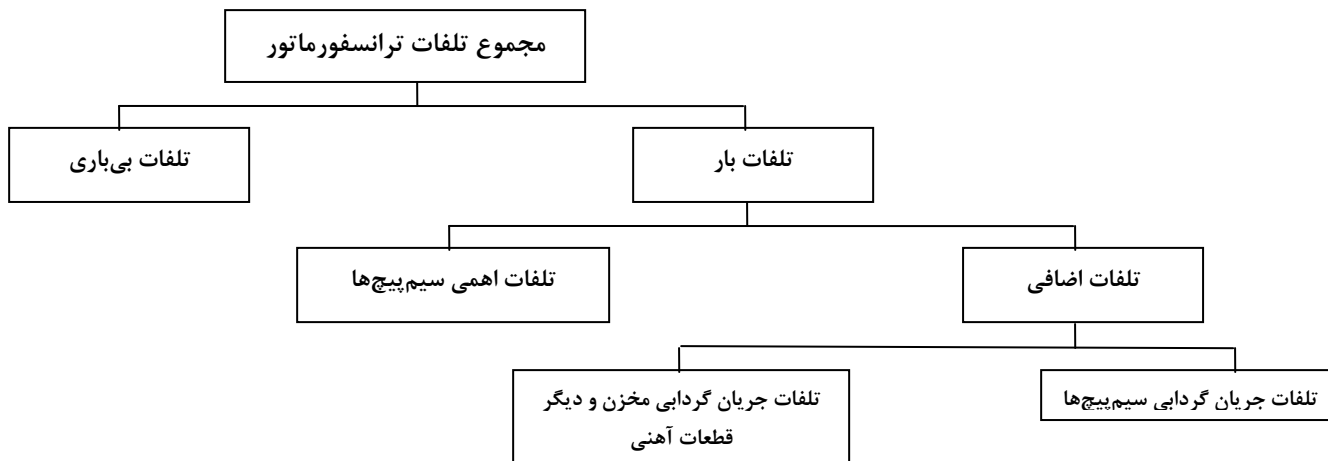
- ✓ تلفات اهمی سیم‌پیچی‌ها
- ✓ تلفات جریان گردابی سیم‌پیچی‌ها
- ✓ تلفات جریان گردابی در مخزن و قطعات آهنی ترانسفورماتور

دو قسمت اخیر را معمولاً تلفات اضافی می‌نامند [۵].

تلاقی شار پراکندگی با سیم‌پیچی‌ها، سبب القاء ولتاژ در آنها می‌شود که جریان‌های گردابی را به وجود می‌آورد. این

بخش‌های آهنی ترانسفورماتور مانند دیواره مخزن نگهدارنده‌های هسته و دیگر متعلقات آهنی ترانسفورماتور می‌شود، بخش دیگر تلفات اضافی نیز به این طریق ایجاد می‌گردد. شکل (۳) نمودار تقسیم‌بندی تلفات ترانسفورماتور را نشان می‌دهد.

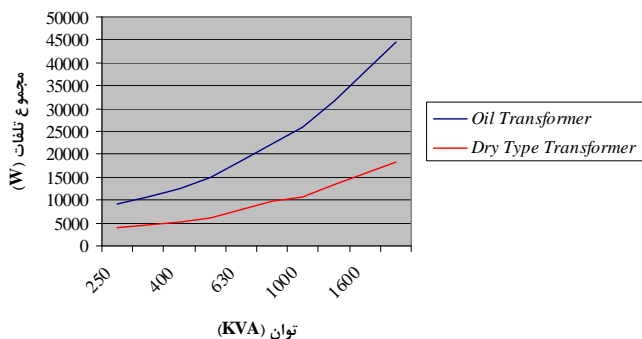
جریان‌ها به نوبه خود سبب ایجاد تلفات در سیم‌پیچی می‌شوند. چگونگی توزیع شارهای پراکندگی به هندسه و ساختار ترانسفورماتور بستگی دارد. مسیر عبور جریان‌های گردابی در سیم‌پیچ‌ها نیز بسیار پیچیده است [۵]. به طور کلی هر چه نسبت ضخامت به عمق نفوذ در هادی حامل جریان کمتر باشد، اثر پوستی و مجاورتی کاهش می‌یابد و تلفات مربوط به جریان‌های گردابی در سیم‌پیچی‌ها کمتر می‌شود [۶]، شارهای پراکندگی همچنین سبب ایجاد جریان‌های گردابی در



شکل ۳- نمودار تقسیم‌بندی تلفات ترانسفورماتور

دارای برتری محسوس نسبت به ترانسفورماتورهای روغنی مشابه هستند. تلفات کل ترانسفورماتورهای خشک نیز نسبت به نمونه روغنی، کمتر می‌باشد. شکل (۴) نمودار مربوط به مجموع تلفات را در ترانسفورماتورهای نوع خشک و روغنی نرمال، نشان می‌دهد.

تکنولوژی ترانسفورماتورهای خشک بر اساس ساختار فویلی به جای سیم‌پیچی‌های معمول در ترانسفورماتورهای روغنی می‌باشد. ساختار فویلی سبب کاهش تاثیر منفی اثر پوستی و مجاورتی که باعث افزایش تلفات می‌شوند، می‌گردد. عدم نیاز به مخزن نگهدارنده روغن، تلفات جریان گردابی مربوط به این بخش را در ترانسفورماتور خشک حذف می‌کند. عامل دیگر در میزان تلفات دمای کار سیم‌پیچی‌ها است. تلفات اندازه‌گیری شده باید به یک دمای استاندارد، ارجاع داده شوند. این دما بر اساس [۴] برای ترانسفورماتور روغنی ۷۵ درجه کلوین و برای ترانسفورماتور خشک ۱۲۰ درجه کلوین می‌باشد.



شکل ۴- نمودار مربوط به مجموع تلفات در ترانسفورماتورهای نوع خشک و روغنی نرمال

مقادیر تلفات بی‌باری و بار کامل ترانسفورماتورهای روغنی نرمال و ترانسفورماتورهای خشک با سطح ولتاژ و توان مشابه برای مقایسه در جدول (۱) نشان داده شده است.

همان طور که در جدول (۱) ملاحظه می‌گردد، تلفات بی‌باری ترانسفورماتورهای خشک و روغنی نزدیک به هم می‌باشند ولی از لحاظ تلفات بار، ترانسفورماتورهای خشک

جدول ۱- مقایسه تلفات بین ترانسفورماتورهای خشک و روغنی مشابه

توان [KVA]	ترانسفورماتور روغنی			ترانسفورماتور خشک		
	تلفات بی‌باری [W]	تلفات بار در 75° [W]	وزن [Kg]	تلفات بی‌باری [W]	تلفات بار در 120° [W]	وزن [Kg]
۲۵۰	۶۱۰	۴۴۵۰	۹۶۹/۲	۶۵۰	۳۴۰۰	۱۱۰۰
۳۱۵	۷۲۰	۵۴۰۰	۱۱۸۹	۷۸۰	۳۸۰۰	۱۲۶۰
۴۰۰	۸۵۰	۶۴۵۰	۱۴۵۳/۴	۹۴۰	۴۲۰۰	۱۴۲۰
۵۰۰	۱۰۰۰	۷۸۰۰	۱۶۳۳/۷	۱۱۰۰	۵۱۰۰	۱۶۲۰
۶۳۰	۱۲۰۰	۹۳۰۰	۱۹۹۵/۶	۱۲۵۰	۶۸۰۰	۱۸۹۰
۸۰۰	۱۴۵۰	۱۱۰۰۰	۲۳۶۶/۵	۱۵۰۰	۸۲۰۰	۲۱۵۰
۱۰۰۰	۱۷۵۰	۱۳۵۰۰	۲۸۶۸/۷	۱۸۰۰	۹۰۰۰	۲۴۸۰
۱۲۵۰	۲۱۰۰	۱۶۴۰۰	۳۶۵۶/۹	۲۱۰۰	۱۱۲۰۰	۲۹۶۰
۱۶۰۰	۲۵۵۰	۱۹۸۰۰	۴۵۱۹/۸	۲۴۰۰	۱۳۵۰۰	۳۸۰۰
۲۰۰۰	۳۲۰۰	۲۳۰۰۰	۴۸۱۲	۲۹۰۰	۱۵۴۰۰	۴۶۸۰

• سطح ولتاژ در تمامی ترانسفورماتورهای جدول (۱)، $0.4 \text{ KV} / 20 \text{ KV}$ می‌باشد.

۳- بررسی هزینه تلفات

۵ (یورو بر وات) می‌باشد [۳]. برای تخمین A و B در ترانسفورماتورهای توزیع رابطه زیر پیشنهاد شده است [۳]:

$$A = \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \times C_{KWh} \times 8760 \quad (2)$$

$$B = \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \times C_{KWh} \times 8760 \times \left(\frac{I_l}{I_r} \right)^2 \quad (3)$$

که در روابط (۲) و (۳) داریم:

i : درصد سالیانه تفاضل بهره و تورم

n : مدت زمان بهره‌برداری، بر حسب (سال)

C_{KWh} : قیمت انرژی، بر حسب (واحد پول بر کیلو وات ساعت)

8769: تعداد ساعت‌ها در یکسال

I_l : جریان بار، بر حسب (آمپر)

I_r : جریان نامی، بر حسب (آمپر)

در رابطه (۱)، قیمت انرژی و بار ترانسفورماتور در مدت بهره‌برداری ثابت فرض شده است. در جدول (۲) میزان تلفات کل بر اساس کیلو وات ساعت، در بارهای مختلف برای ترانسفورماتورهای خشک و روغنی مقایسه شده است.

در محاسبه قیمت واقعی ترانسفورماتور، هزینه تلفات انرژی به قیمت اولیه ترانسفورماتور افزوده می‌شود. هزینه تلفات، از رابطه زیر به دست می‌آید [۳]:

$$(1) \quad \text{هزینه تلفات انرژی} = (A \times P_0) + (B \times P_K)$$

که در رابطه (۱) داریم:

P_0 : تلفات بی‌باری در ولتاژ نامی، بر حسب (وات)

P_K : تلفات بار در بار نامی، بر حسب (وات)

A : ضریب ارزش تلفات بی‌باری، بر حسب (هزینه بر وات)

B : ضریب ارزش تلفات بار، بر حسب (هزینه بر وات)

P_0 و P_K جزء مشخصات ترانسفورماتور محسوب می‌شوند ولی ضرایب A و B به شرایط بارگیری، قیمت انرژی و مسائل اقتصادی بستگی دارند. تعیین دقیق این ضرایب کار مشکلی است و نیازمند پیش‌بینی مناسب بار و ارزش انرژی در مدت زمان بهره‌برداری از ترانسفورماتور می‌باشد. این ضرایب از کشوری به کشور دیگر تغییر می‌کند. در کشورهای اروپایی ضریب A معمولاً بین ۱ تا ۶ (یورو بر وات) و B بین ۰/۲ تا

جدول ۲- مقایسه تلفات ترانسفورماتورهای روغنی و خشک بر اساس بارهای مختلف

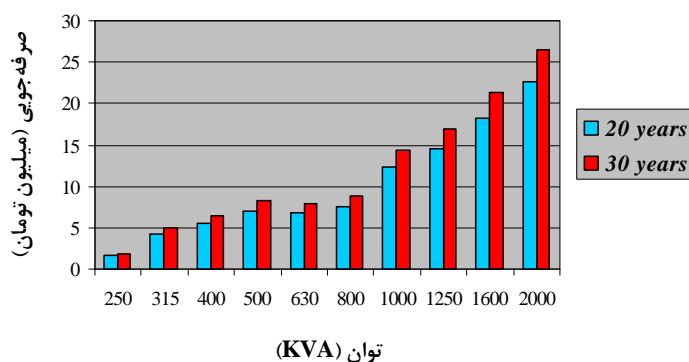
توان [KVA]	تلفات در ترانسفورماتور روغنی [W]				تلفات در ترانسفورماتور خشک [W]			
	۱۰۰٪	۸۰٪	۶۰٪	۴۰٪	۱۰۰٪	۸۰٪	۶۰٪	۴۰٪
۲۵۰	۵۰۶۰	۳۴۵۸	۲۲۱۲	۱۳۲۲	۴۰۵۰	۲۸۲۶	۱۸۷۴	۱۱۹۴
۳۱۵	۶۱۲۰	۴۱۷۶	۳۹۶۰	۱۵۸۴	۴۵۸۰	۳۲۱۲	۳۰۶۰	۱۳۸۸
۴۰۰	۷۳۰۰	۴۹۷۸	۴۷۲۰	۱۸۸۲	۷۷۴۰	۵۲۹۲	۵۰۲۰	۲۰۲۸
۵۰۰	۸۸۰۰	۵۹۹۲	۵۶۸۰	۲۲۴۸	۶۲۰۰	۴۳۶۴	۴۱۶۰	۱۹۱۶
۶۳۰	۱۰۵۰۰	۷۱۵۲	۶۷۸۰	۲۶۸۸	۸۰۵۰	۵۶۰۲	۵۲۳۰	۲۳۳۸
۸۰۰	۱۲۴۵۰	۸۴۹۰	۸۰۵۰	۳۲۱۰	۹۷۰۰	۶۷۴۸	۶۴۲۰	۲۸۱۲
۱۰۰۰	۱۵۲۵۰	۱۰۳۹۰	۹۸۵۰	۳۹۱۰	۱۰۸۰۰	۲۳۷۶	۲۳۴۰	۱۹۴۴
۱۲۵۰	۱۸۵۰۰	۱۲۵۹۶	۱۱۹۴۰	۴۷۲۴	۱۳۳۰۰	۹۲۶۸	۸۸۲۰	۳۸۹۲
۱۶۰۰	۲۲۳۵۰	۱۵۲۲۲	۱۴۴۳۰	۵۷۱۸	۱۵۹۰۰	۱۱۰۴۰	۱۰۵۰۰	۴۵۶۰
۲۰۰۰	۲۶۲۰۰	۱۷۹۲۰	۱۷۰۰۰	۶۸۸۰	۱۸۳۰۰	۱۲۷۵۶	۱۲۱۴۰	۵۳۶۴

* درصدها بر اساس بار نامی می‌باشند.

صورت قابل ملاحظه‌ای بیشتر از ترانسفورماتورهای روغنی است. همچنین ارزش اقتصادی این صرفه‌جویی با توجه به قیمت انرژی می‌تواند سبب شود که قیمت واقعی ترانسفورماتور خشک قابل رقابت و حتی ارزانتر از ترانسفورماتور روغنی باشد.

به عنوان نمونه با فرض $i = 0.07$ و $C_{KWh} = 500^{Rial}$ در رابطه (۲) و (۳)، در شکل (۲) صرفه‌جویی اقتصادی ترانسفورماتور خشک نسبت به نوع روغنی مشابه برای مدت بهره‌برداری ۲۰ و ۳۰ سال و بار ۶۰٪ بار نامی، نشان داده شده است.

امروزه، انرژی از ارزش و اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است، نتایج بررسی‌های انجام شده در این مقاله نشان می‌دهد، صرفه‌جویی انرژی با استفاده از ترانسفورماتورهای خشک به



شکل ۲- صرفه‌جویی اقتصادی ترانسفورماتور خشک نسبت به نوع روغنی مشابه برای مدت بهره‌برداری ۲۰ و ۳۰ سال

۴- نصب و راه اندازی

ملاحظه می‌شود که از نظر تعمیر و نگهداری ترانسفورماتورهای خشک در مقابل ترانسفورماتورهای روغنی بدون هزینه و زحمت می‌باشند و این مزیت قابل توجهی محسوب می‌گردد.

۶- کاربردهای صنعتی

همانطور که اشاره شد ترانسفورماتورهای خشک در مکان‌هایی که ترانسفورماتورهای روغنی مشکل آفرین هستند می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند، مانند داخل ساختمان‌های تجاری و مسکونی، تونل‌ها، کشتی‌ها، جرثقیل‌ها، سکوها نفتی، واحدهای صنایع غذایی، متروها و ... علاوه بر این قابلیت نصب ترانسفورماتورهای نوع خشک در نزدیکی مصرف امکان استفاده از طرح‌های جدید تاسیسات الکتریکی برای کاهش تلفات و هزینه کابل‌ها و تجهیزات جانبی را فراهم ساخته است. به عنوان نمونه می‌توان به پست‌های کمپکت که مستقیماً در محل مصرف نصب می‌شوند، اشاره کرد. از کاربردهای آن برق‌رسانی در ساختمان‌ها و برج‌های بلند تجاری و مسکونی می‌باشد. چنانچه در این موارد از ترانسفورماتورهای روغنی استفاده کنیم، توان آن باید در حد توان مصرفی کل مجموعه باشد. طبیعی است که حجم و وزن این ترانسفورماتور بالا است. بنابراین به همراه تجهیزات جانبی مورد نیازش فضای زیادی اشغال می‌کند و این موضوع در مناطق تجاری که قیمت فضا زیاد است حائز اهمیت می‌باشد. از طرف دیگر برق‌رسانی به کل مجموعه که از طرف ثانویه ترانسفورماتور تامین می‌شود باید با کابل‌های جریان بالا انجام گیرد. این موضوع هم هزینه کابل و هم تلفات آن را افزایش می‌دهد و ممکن است زیان‌های اقتصادی فراوانی را سبب شود. از سوی دیگر مسیر طولانی کابل موجب افت ولتاژ در محل مصرف می‌گردد.

با نصب پست‌های کمپکت و ترانسفورماتورهای خشک، به ازاء هر چند طبقه در داخل ساختمان می‌توان این مشکلات را حل کرد. شکل (۳) مقایسه خوبی از این دو طرح دارد.

به دلیل ایجاد آلودگی و خطر آتش‌سوزی و انفجار در نصب ترانسفورماتورهای روغنی در محیط‌های بسته، نیاز به ظرف جمع‌آوری روغن و تجهیزات اطفاء حریق می‌باشد. همچنین از نصب این ترانسفورماتورها در نزدیکی محل کار یا سکونت افراد و تجهیزات گران قیمت خودداری می‌شود. از سوی دیگر ترانسفورماتورهای خشک به علت پاک بودن و عدم خطر آتش‌سوزی نیازی به تجهیزات جانبی ندارند. به علاوه وزن و ابعاد کمتر آنها نیز عامل دیگری است که نصب و راه‌اندازی آنها را در مقایسه با نوع روغنی ساده‌تر می‌کند. معمولاً در کاربردهای فضای آزاد، از محفظه (enclosure) برای محافظت ترانسفورماتور خشک از آلودگی‌های محیطی استفاده می‌گردد.

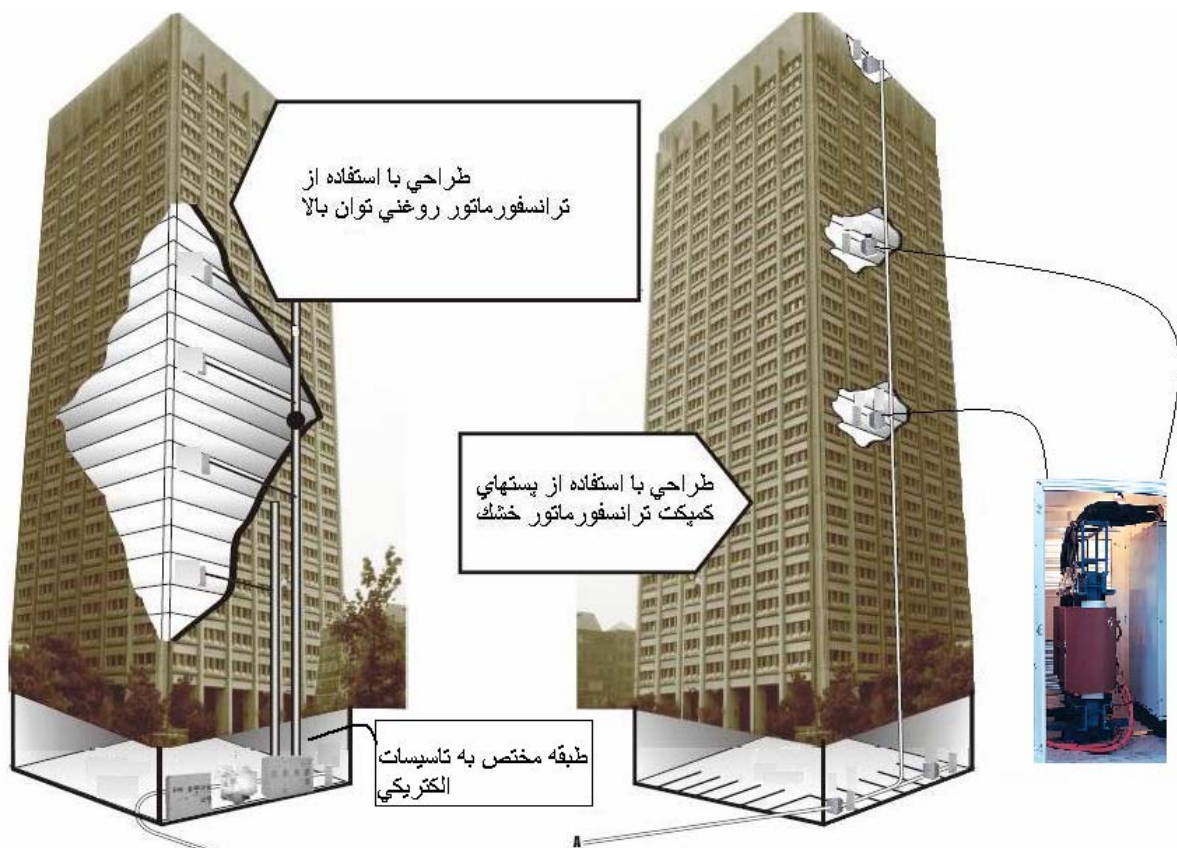
۵- تعمیر و نگهداری

ترانسفورماتورهای خشک نیازی به هیچگونه عیب‌یابی و نگهداری پیشگیرانه ندارند و تنها بنا به میزان آلودگی محیط نصب در محیط‌های بسته لازم است به صورت دوره‌ای گردزدایی شوند [۲]. در ترانسفورماتورهای روغنی عیب‌یابی و مانیتورینگ یک امر کاملاً ضروری می‌باشد. آنالیز روغن ترانسفورماتور از لحاظ عایقی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن، یکی از بهترین راه‌های بررسی وضعیت سلامت ترانسفورماتورهای روغنی است. تشخیص احتمال وقوع عیب بسیار مهم است، زیرا گاهی هزینه خروج پیش‌بینی نشده ترانسفورماتور از شبکه، از قیمت خود ترانسفورماتور هم بیشتر است [۲]. مهمترین اقدامات در تعمیر و نگهداری ترانسفورماتورهای روغنی را می‌توان در جدول (۳) خلاصه نمود [۷].

جدول ۳- مهمترین اقدامات و حدود هزینه‌های آنها در

ترانسفورماتورهای روغنی

دوره	نوع سرویس‌ها
سالانه	بررسی سیلیکاژل، تست مگر، تست نسبت تبدیل، تست مقاومت dc سیم‌پیچ
هر ۵ سال	تست روغن و گاز کارماتوگرافی، سیرکوله و خشک کردن روغن
هر ۱۵ تا ۳۰ سال	تعویض روغن



شکل ۳- مقایسه بین دو طرح بکار برده شده از ترانسفورماتورهای روغنی و خشک

۷- نتیجه گیری

• قابلیت نصب در سکوهاى نفتى، واحدهاى صنايع غذايى، بیمارستانها، متروها، تونلها، کشتىها و ...

• استفاده در ساختمانهاى بزرگ تجارى، مسكونى که نسبت به طرح برق رسانی نوع روغنى مزایای زیر را دارد:

- ✓ تلفات مسی کمتر در کابلها
- ✓ صرفه جویی در هزینه کابل، کابلکشی و ... و تجهیزات جانبی کمتر
- ✓ عدم اشغال فضای اضافی
- ✓ قابلیت اطمینان بیشتر

۸- سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از مسئولین و کارشناسان محترم شرکت ایران ترانسفو و موسسه تحقیقات ترانسفورماتور ایران برای همکاری در انجام این تحقیق کمال تشکر و قدردانی را دارند.

امروزه مسایل زیست محیطی و صرفه جویی در هزینه ها و انرژی اهمیت بیشتری پیدا کرده است. ترانسفورماتورهای توزیع یکی از پرکاربردترین تجهیزات در سیستم برق رسانی می باشند. این ترانسفورماتورها را می توان به دو نوع خشک و روغنی تقسیم نمود. اگرچه نوع خشک پاک، سازگار با محیط زیست و از لحاظ انفجار و آتش سوزی ایمن است، ولی قیمت اولیه آن بالاتر از نوع روغنی است.

در این مقاله با بررسی صرفه جویی اقتصادی ترانسفورماتورهای خشک، از لحاظ تلفات انرژی و هزینه نصب و راه اندازی و تعمیر و نگهداری نشان داده شده که استفاده از نوع خشک می تواند حتی از لحاظ اقتصادی نیز موجه باشد. از لحاظ مزایای ترانسفورماتورهای خشک در کاربردهای صنعتی نیز می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- قابلیت نصب در نزدیکی محل مصرف

- [1] T.Nunn, "A Comparison of Liquid-Filled and Dry-Type Transformer Technologies", IEEE-IAS Comment Industry Committee, 2000, PP.105-112
- [2] J.L.Goudie and W.J.Chatterion, "Environmental and Life Cycle Considerations for Distribution and Small Power Transformer Selection and Specification", Conference Record of the 2002 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Boston, MA USA, April 7-10, 2001, PP. 354-358
- [3] W.T.Y.Hulshorst, J.F.Groeman, "Energy Saving in Industrial Distribution Transformers", KEMA, May 2002
- [4] IEC 60726 and IEC 60076
- [5] M.J.Heathcote, "J & P Transformer Book", Twelfth Edition 1998
- [6] J.H.Harlow, "Electric Power Transformer Engineering", Ninth Edition 2004
- [7] Hydro Electric Research and Technical Services Group, "Transformer Maintenance", United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, Denver Colorado, October 2000