

فصل ششم

ترانسفورماتورهای روغنی قدرت و توزیع

و

تأثیرات شرایط محیطی در مناطق خاص

کمیسیون استاندارد مناطق خاص شبکه‌های انتقال و توزیع
نیروی برق کشور

فصل ششم: ترانسفورماتورهای قدرت و توزیع روغنی و تاثیرات شرایط محیطی بر آنها در مناطق خاص

سمت یا نمایندگی	مدیر
پژوهشگاه نیرو	رضایی، مجید
	اعضاء
پژوهشگاه نیرو	اسکویی، محمد
پژوهشگاه نیرو	هوشمندخوی، علی
پژوهشگاه نیرو	ابیضی، سیامک
پژوهشگاه نیرو	بهزادی، روزبه
پژوهشگاه نیرو	شریعتی، محمد رضا
پژوهشگاه نیرو	باصری، علیرضا
پژوهشگاه نیرو	طالبی، محمد علی
	مشاور فنی کمیسیون
پژوهشگاه نیرو	مرادیان، علیرضا

فهرست مندرجات

صفحه

پیشگفتار	۴
مقدمه	۵
۱ هدف	۶
۲ دامنه کاربرد	۶
۳ مراجع الزامی	۶
۴ تعاریف و اصطلاحات	۷
۵ شرایط محیطی مؤثر بر عملکرد ترانسفورماتورهای روغنی	۱۲
۱-۵ شرایط محیطی کارکرد ترانسفورماتورها مطابق با IEC 60076	۱۲
۱-۱-۵ شرایط کارکرد عادی	۱۲
۲-۱-۵ شرایط کارکرد غیرعادی	۱۲
۲-۵ طبقه‌بندی شرایط محیطی کارکرد ترانسفورماتورها مطابق با شرایط اقلیمی کشور	۱۴
۱-۲-۵ شرایط محیطی برای مناطق طبقه‌بندی شده ۱:	۱۵
۲-۲-۵ شرایط محیطی برای مناطق طبقه‌بندی شده ۲:	۱۵
۳-۲-۵ حداکثر افزایش درجه حرارت در قدرت نامی	۱۵
۶ تاثیرات پارامترهای محیطی بر عملکرد ترانسفورماتورهای روغنی	۱۶
۱-۶ دما	۱۶
۱-۱-۶ تاثیر دما بر عمر سیستم عایقی ترانسفورماتور	۱۶
۲-۱-۶ تاثیر دما بر توان خروجی ترانسفورماتورها	۱۹
۱-۲-۱-۶ میزان بارگذاری مجاز پیوسته ترانسفورماتورها در دماهای مختلف محیط	۲۱
۲-۲-۱-۶ میزان بارگذاری مجاز دوره‌ای ترانسفورماتورها در دماهای مختلف محیط	۲۲
۲-۱-۶ بهبود کلاس عایقی حرارتی ترانسفورماتورها	۳۲
۳-۱-۶ سیستم‌های خنک‌کنندگی ترانسفورماتور	۳۲
۱-۳-۱-۶ ترانسفورماتورهای توزیع روغنی	۳۲

۳۳	..... ترانسفورماتورهای قدرت	۲-۳-۱-۶
۳۴	..... تاثیر ارتفاع از سطح دریا	۲-۶
۳۴	..... تاثیر ارتفاع از سطح دریا بر توان خروجی ترانسفورماتور	۱-۲-۶
۳۵	..... تاثیر ارتفاع از سطح دریا بر ایزولاسیون خارجی	۲-۲-۶
۳۶	..... تاثیر باد بر استقامت مکانیکی ترانسفورماتورها	۳-۶
۳۶	..... ترانسفورماتورها و تاثیر آلودگی محیط بر پوشینگها	۴-۶
۳۹	..... تاثیر رطوبت و خوردگی اتمسفری و رنگ آمیزی بدنه ترانسفورماتورها	۵-۶
۴۰	..... ملاحظات نصب در مناطق زلزله خیز	۶-۶
۴۱	..... سایر شرایط محیطی	۷-۶
۴۱	..... حفاظتهای جلوگیری کننده از ورود حیوانات	۱-۷-۶
۴۱	..... فواصل عایقی جرقه در ارتباط با پرندگان و جانوران	۲-۷-۶
۴۱	..... چکیده مطالب	۷
۴۴	..... مراجع اطلاعاتی	
۴۵	..... پیوست الف. استفاده از ترانسفورماتورهای هرمتیک در شبکه توزیع	
۴۶	..... پیوست ب. برآورد سطوح آلودگی مناطق مختلف	
۴۷	..... پیوست ج. مشخصات روغن ترانسفورماتور	
۵۱	..... پیوست اطلاعاتی د. افزایش سطح خنک کننده	
۵۲	..... پیوست اطلاعاتی ه. اتصالات سخت لوله-شمش در پستها	

پیشگفتار

استاندارد مناطق خاص شبکه‌های انتقال و توزیع نیروی برق کشور- فصل ششم- ترانسفورماتورهای قدرت و توزیع روغنی و تاثیرات شرایط محیطی بر آنها در مناطق خاص- توسط وزارت نیرو- سازمان توانیر- معاونت توسعه و امور اقتصادی - دفتر استانداردها و کنترل کیفیت و در کمیسیون مربوط، مطابق دستور کار شماره ۸/۵-۷۹-۲۷۵ در سال ۱۳۸۴ تهیه و تنظیم شده و به عنوان استاندارد مناطق خاص کشور منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای مذکور در مواقع لزوم تجدید نظر خواهند شد و هرگونه پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استانداردها ارائه شود، در هنگام تجدید نظر توسط کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین برای مراجعه به استانداردهای ایران باید همواره از آخرین تجدید نظر آنها استفاده نمود. در تهیه و تدوین این استاندارد سعی شده است که تا حد امکان و با رعایت ملاحظات مربوطه نسبت به بومی نمودن استانداردهای معتبر بین‌المللی با شرایط اقلیمی کشور اقدام گردد.

مقدمه

استاندارد مناطق خاص کشور برای شبکه‌های انتقال و توزیع نیروی برق کشور بر اساس استانداردهای موجود که با هدف کاهش معضلات و مشکلات صنعت برق در مناطق خاص ایران با بررسی تاثیرات شرایط محیطی بر روی عملکرد تجهیزات صنعت برق و ارائه راهکارهای لازم تهیه گردیده است، از قسمت‌های مختلفی به شرح ذیل تشکیل شده که می‌بایستی همراه مراجع الزامی آنها مورد استفاده قرار گیرند:

فصل اول: پارامترهای محیطی تاثیرگذار بر تجهیزات برقی (اثرات- آمار و اطلاعات- طبقه‌بندی اقلیمی)

فصل دوم: مقره‌ها و تاثیرات شرایط محیطی بر آنها در مناطق خاص

فصل سوم: برقگیرهای اکسید فلزی و تاثیرات شرایط محیطی بر آنها در مناطق خاص

فصل چهارم: تابلوهای الکتریکی شبکه فشار متوسط و تاثیرات شرایط محیطی بر آنها در مناطق خاص

فصل پنجم: کات‌اوت فیوزهای توزیع و تاثیرات شرایط محیطی بر آنها در مناطق خاص

فصل ششم: ترانسفورماتورهای قدرت و توزیع روغنی و تاثیرات شرایط محیطی بر آنها در مناطق خاص

فصل هفتم: هادی‌ها و تاثیرات محیطی بر آنها در مناطق خاص

فصل هشتم: کابل‌های فشار متوسط توزیع و تاثیرات شرایط محیطی بر آنها در مناطق خاص

فصل نهم: سرکابل‌های توزیع و تاثیرات شرایط محیطی بر آنها در مناطق خاص

فصل دهم: بوشینگ‌ها و تاثیرات شرایط محیطی بر آنها در مناطق خاص

فصل یازدهم: راکتورها و تاثیرات شرایط محیطی بر آنها در مناطق خاص

فصل دوازدهم: خازنها و تاثیرات شرایط محیطی بر آنها در مناطق خاص

فصل سیزدهم: ترانسفورماتورهای زمین و تاثیرات شرایط محیطی بر آنها در مناطق خاص

فصل چهاردهم: ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان و تاثیرات شرایط محیطی بر آنها در مناطق خاص

فصل پانزدهم: تیرها و کراس آرم‌های چوبی و تاثیرات شرایط محیطی بر آنها در مناطق خاص

در این استاندارد پارامترهای محیطی تاثیرگذار بر ترانسفورماتورهای قدرت و توزیع روغنی مورد مطالعه قرار می‌گیرند.

۱ هدف

هدف از ارائه این استاندارد، بررسی تاثیرات شرایط محیطی بر عملکرد ترانسفورماتورهای روغنی و ارائه راهکارهای موجود به منظور کاهش اثرات نامطلوب عوامل محیطی مذکور می‌باشد.

۲ دامنه کاربرد

این استاندارد کلیه ترانسفورماتورهای روغنی قدرت و توزیع مورد استفاده در شبکه‌های انتقال و توزیع نیرو را شامل می‌گردد.

۳ مراجع الزامی

استفاده از مراجع و منابع ذیل به همراه این استاندارد الزامی است:

- [1] IEC 60076 (1993) - "Power transformers"- Part 1 & 2
- [2] IEC 600354 (1991) - "Guide for loading Oil-Immersed power transformer"
- [3] "IEEE guide for acceptance and maintenance of insulating oil in equipment-1977."
- [4] ANSI- C57.92-1962- "Guide for loading oil-Immersed distribution and power transformers".
- [5] ANSI- C57.12-1973- General requirements for distribution, power and regulating transformers.
- [6] IEEE Std C57.12.00- 1993- "IEEE Standard General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power and Regulating transformers.
- [7] استاندارد مشخصات فنی ترانسفورماتورهای روغنی توزیع- جلد اول و دوم- ۱۳۷۴.
- [8] ترانسفورماتورهای قدرت ۲۳۰/۶۳/۲۰ کیلوولت - مشخصات استاندارد- جلد اول و دوم- ۱۳۷۴
- [9] استاندارد طراحی بهینه پستهای ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت- جلد ۲۰۱- معیارهای طراحی و مهندسی انتخاب ترانسفورماتور قدرت

۴ تعاریف و اصطلاحات

۱-۴ ترانسفورماتورهای توزیع^۱

ترانسفورماتورهای با حداکثر توان نامی ۲۵۰۰ کیلوولت-آمپر سه‌فاز و یا با حداکثر توان نامی ۸۳۳ کیلوولت-آمپر در هر فاز و با سطح ولتاژی حداکثر ۳۳ کیلوولت که دارای سیستم خنک‌کنندگی ON بوده و فاقد تپ چنجر تحت بار می‌باشند در این طبقه‌بندی جای می‌گیرند.

۲-۴ ترانسفورماتورهای قدرت متوسط^۲

ترانسفورماتورهای دارای سیم‌بندی‌های مجزا با حداکثر توان نامی ۱۰۰ مگاواولت-آمپر سه‌فاز و یا با حداکثر توان نامی ۳۳/۳ مگاواولت-آمپر در هر فاز در این طبقه‌بندی جای می‌گیرند.

۳-۴ ترانسفورماتورهای قدرت بزرگ^۳

ترانسفورماتوری است که توان آن بیش از ۱۰۰ مگاواولت آمپر می‌باشد.

۴-۴ ترانسفورماتورهای نوع غوطه‌ور در روغن

ترانسفورماتورهایی هستند که مدار مغناطیسی و الکتریکی آنها در روغن (به عنوان عایق) غوطه‌ور می‌باشند.

۵-۴ سیستم حفظ روغن^۴

سیستمی در ترانسفورماتورهای غوطه‌ور در روغن می‌باشد که بوسیله آن فضای کافی برای انبساط روغن ترانسفورماتور مهیا می‌گردد. در این سیستم می‌توان تماس میان روغن و هوا را کاهش داده و یا حذف نمود.

۶-۴ سیستم‌های خنک‌کنندگی ترانسفورماتورها

در ترانسفورماتورهای توزیع و قدرت، بسته به نوع ترانسفورماتور، قدرت نامی و شرایط محیطی، از سیستم‌های مختلفی جهت خنک‌کنندگی استفاده می‌شود. معمولاً سیستم خنک‌کنندگی هر ترانسفورماتور با یک عبارت چهار حرفی بیان می‌شود که نشانگر نوع ماده خنک‌کننده و سیستم خنک‌کنندگی می‌باشد. توضیحات مربوطه به شرح ذیل می‌باشد.

¹ Distribution Transformer

² Medium Power Transformer

³ Large Power Transformer

⁴ Oil Reserved System

حرف اول:

نمایانگر نوع محیط خنک‌کننده که در تماس مستقیم با سیم‌پیچ‌ها در داخل تانک ترانسفورماتور قرار دارد، می‌باشد. در ترانسفورماتورهای روغنی حرف اختصاری O نشانگر روغن معدنی¹ و یا مایع عایقی مصنوعی² با نقطه آتش³ کوچکتر از ۳۰۰ درجه سانتیگراد می‌باشد.

حرف دوم:

نمایانگر مکانیزم گردش برای مایع خنک‌کننده داخلی (روغن) می‌باشد.

N: گردش طبیعی روغن F: گردش اجباری روغن

D: گردش اجباری روغن با جهت‌دهی از طرف تجهیزات خنک‌کننده به سمت حداقل سیم‌پیچ‌های اصلی

حرف سوم:

بیانگر محیط خنک‌کننده خارجی می‌باشد.

A: هوا W: آب

حرف چهارم:

بیانگر مکانیزم گردش برای عامل خنک‌کننده خارجی می‌باشد.

N: به صورت همرفت طبیعی F: به صورت گردش اجباری از طریق فن‌ها، پمپ‌ها و ...

۷-۴ دمای متوسط ماهانه

نصف مجموع متوسط حداکثر دمای روزانه و متوسط حداقل دمای روزانه در طول یک ماه معین، می‌باشد.

۸-۴ دمای متوسط سالانه

یک دوازدهم مجموع متوسط دماهای ماهانه می‌باشد.

¹ Mineral Oil

² Synthetic Insulating Liquid

³ Fire Point

۹-۴ طبقه‌بندی حرارتی مواد عایقی

طبقه‌بندی حرارتی مواد عایقی مطابق جدول (۱) می‌باشد.

جدول (۱): طبقه‌بندی حرارتی مواد عایقی

مواد عایقی مشمول	محدوده حرارتی (درجه سانتیگراد)	کلاس حرارتی
مواد و یا ترکیبات، در صورتی که تجربیات و یا آزمایشات تاییدشده‌ای، قابلیتشان را به منظور استفاده در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد نشان دهند، در این طبقه گنجانده خواهند شد.	کمتر از ۹۰	۷۰
مواد و یا ترکیبات، در صورتی که تجربیات و یا آزمایشات تاییدشده‌ای قابلیتشان را به منظور استفاده در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد نشان دهند، در این طبقه گنجانده خواهند شد.	بیشتر از ۹۰ کمتر از ۱۰۵	۹۰ (Y)
مواد و یا ترکیباتی مانند کتان، ابریشم و کاغذ اشباع شده یا پوشیده شده و یا غوطه‌ور در مایعی دی‌الکتریک مانند روغن را شامل می‌شود. سایر مواد یا ترکیبات، در صورتی که تجربیات و یا آزمایشات تایید شده‌ای قابلیتشان را به منظور استفاده در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد نشان دهند، در این طبقه گنجانده خواهند شد.	بیشتر از ۱۰۵ کمتر از ۱۲۰	۱۰۵ (A)
مواد و یا ترکیباتی مانند رزین یا صمغ، مرکب از پلی وینیل یا اپوکسی، کتان یا کاغذ مورق شده که با متراکم‌کننده‌های مناسب ترکیب شده‌اند را شامل می‌شود. سایر مواد یا ترکیبات، در صورتی که تجربیات و یا آزمایشات تایید شده‌ای قابلیتشان را به منظور استفاده در دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد نشان دهند، در این طبقه گنجانده خواهند شد.	بیشتر از ۱۲۰ کمتر از ۱۳۰	۱۲۰ (E)
مواد و یا ترکیباتی مانند میکا، شیشه، فیبر، پنبه نسوز که با متراکم‌کننده‌های مناسب ترکیب شده‌اند را شامل می‌شود. سایر مواد یا ترکیبات، (نه لزوماً غیرآلی)، در صورتی که تجربیات و یا آزمایشات تایید شده‌ای قابلیتشان را به منظور استفاده در دمای ۱۳۰ درجه سانتیگراد نشان دهند، در این طبقه گنجانده خواهند شد.	بیشتر از ۱۳۰ کمتر از ۱۵۵	۱۳۰ (B)
مواد و یا ترکیباتی مانند میکا، شیشه، فیبر، پنبه نسوز که با متراکم‌کننده‌های مناسب ترکیب شده‌اند را شامل می‌شود. سایر مواد یا ترکیبات، (نه لزوماً غیرآلی)، در صورتی که تجربیات و یا آزمایشات تایید شده‌ای قابلیتشان را به منظور استفاده در دمای ۱۵۵ درجه سانتیگراد نشان دهند، در این طبقه گنجانده خواهند شد.	بیشتر از ۱۵۵ کمتر از ۱۸۰	۱۵۵ (F)

ادامه جدول (۱): طبقه‌بندی حرارتی مواد عایقی

مواد عایقی مشمول	محدوده حرارتی (درجه سانتیگراد)	کلاس حرارتی
مواد و یا ترکیباتی مانند میکا، فیبر، پنبه نسوز که با متراکم‌کننده‌هایی از قبیل رزین و سیلیسها ترکیب شده‌اند را شامل می‌شود. سایر مواد یا ترکیبات، (نه لزوماً غیرآلی)، در صورتی که تجربیات و یا آزمایشات تایید شده‌ای قابلیت این مواد را به منظور استفاده در دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد نشان دهند، در این طبقه گنجانده خواهند شد.	بیشتر از ۱۸۰ کمتر از ۲۰۰	۱۸۰ (H)
مواد و یا ترکیبات، در صورتی که تجربیات و یا آزمایشات تایید شده‌ای قابلیت این مواد را به منظور استفاده در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد نشان دهند، در این طبقه گنجانده خواهند شد.	بیشتر از ۲۰۰ کمتر از ۲۲۰	۲۰۰
مواد عایقی که منحصراً شامل میکا، پرسلین، شیشه، کوارتز و مواد غیرآلی مشابه می‌باشند. سایر مواد یا ترکیبات، در صورتی که تجربیات و یا آزمایشات تایید شده‌ای قابلیت این مواد را به منظور استفاده در دمای ۲۲۰ درجه سانتیگراد نشان دهند، در این طبقه گنجانده خواهند شد.	بیشتر از ۲۲۰ کمتر از ۲۵۰	۲۲۰
مواد و یا ترکیبات، در صورتی که تجربیات و یا آزمایشات تایید شده‌ای قابلیت این مواد را به منظور استفاده در دمای بالاتر از ۲۵۰ درجه سانتیگراد نشان دهند، در این طبقه گنجانده خواهند شد.	بیشتر از ۲۵۰	بالاتر از ۲۵۰

در ارتباط با طبقه‌بندی حرارتی مواد عایقی جدول (۱) بایستی به چند نکته توجه داشت:

الف) عایق‌ها هنگامی "اشباع شده" خوانده می‌شوند که یک ماده مناسب، با ایجاد پیوند میان مولفه‌های ساختاری عایق، چنان درجه‌ای از خاصیت پرکنندگی و پوشش‌دهندگی سطح را بوجود آورد که حصول اطمینان از عملکرد مناسب آن تحت شرایطی همانند دمای شدید، آلودگی سطحی شدید (رطوبت، مواد آلوده کننده و ...) و نیز تنش‌های مکانیکی هنگام کارکرد، امکان پذیر باشد. ماده اشباع‌کننده نباید در دمای کاری، حالت خود را از دست داده و یا خراب شود بگونه‌ای که کارایی تجهیز را شدیداً تحت تاثیر قرار دهد.

ب) خواص الکتریکی و مکانیکی عایق نباید بواسطه استفاده طولانی مدت در حداکثر دمای عایقی مجاز برای کلاس حرارتی عایقی مربوطه "آسیب"^۱ ببیند. منظور از "آسیب"، هر گونه تغییر می‌باشد که ممکن است کیفیت ماده عایقی را برای عملکرد دائم تحت تاثیر قرار دهد.

^۱ Impaired

ج) در تعاریف بالا، منظور از "آزمایشات تایید شده"^۱، فرآیندهایی هستند که به منظور تخمین حرارتی مواد عایقی و یا ترکیباتشان انجام می‌شود.

د) هر شاخص دمایی که به یک ماده عایقی نسبت داده می‌شود، بیانگر دمای مناسب کاری، تعداد ساعات مناسب برای کارکرد در دمای مذکور و عمر باقیمانده^۲ است. بسته به عمر باقیمانده و مشخصه‌های کاری موردنظر، ممکن است بتوان به یک عایق، چندین شاخص دمایی نسبت داد. به این معنی که ماده‌ای که برای استفاده در یک دمای خاص طبقه‌بندی می‌شود ممکن است به منظور بکارگیری در دمایی بالاتر یا دمایی پایین‌تر نیز بوسیله آزمون‌های عایقی، مناسب تشخیص داده شود.

ه) تشخیص این نکته که غیر از مشخصه حرارتی، مشخصه‌های دیگری نیز مانند استحکام مکانیکی، مقاومت در برابر رطوبت و قدرت تحمل کرونا به منظور بهره‌گیری مطلوب از ماده عایقی، مورد نیاز هستند، اهمیت زیادی دارد.

و) نرخ زوال حرارتی مواد، متاثر از شرایط محیطی و عوامل دیگری می‌باشد. مشخصه حرارتی یک ماده عایقی ممکن است بطور اساسی تحت تاثیر تشعشعات و یا سایر فرآیندها تغییر کند. به همین علت طبقه‌بندی واقعگرایانه حرارتی مواد عایقی باید بر اساس اطلاعات بدست آمده از آزمونهای میدانی و یا آزمونهای پیرشدگی حرارتی انجام گرفته باشد.

ی) طول عمر مواد عایقی که در ترانسفورماتورها مورد استفاده قرار می‌گیرند، به دماهایی که ترانسفورماتورها در معرض آن هستند و نیز طول مدت چنین دماهایی بسیار وابسته است. با توجه به اینکه دمای واقعی، مجموع دمای محیط و افزایش دمای سیم‌بندی می‌باشد، واضح است که دمای محیط بر روی طول عمر مواد عایقی مورد استفاده در ترانسفورماتورها بسیار تاثیرگذار خواهد بود.

¹ Accepted Tests

² End-of-Life-Criteria

۵ شرایط محیطی مؤثر بر عملکرد ترانسفورماتورهای روغنی

۱-۵ شرایط محیطی کارکرد ترانسفورماتورها مطابق با IEC 60076

۱-۱-۵ شرایط کارکرد عادی

- حداکثر درجه حرارت هوا ۴۰ درجه سانتیگراد
- حداقل درجه حرارت هوا ۲۵- درجه سانتیگراد
- حداکثر دمای متوسط ماهانه هوا در گرمترین ماه ۳۰ درجه سانتیگراد
- حداکثر میانگین دمای سالیانه ۲۰ درجه سانتیگراد
- ارتفاع محل نصب ۱۰۰۰ متر از سطح دریا
- حداکثر افزایش درجه حرارت در قدرت نامی
- سیم‌پیچی‌ها در سیستم‌های OF.. یا ON..
- سیم‌پیچی‌ها در سیستم‌های OD..
- روغن قسمت بالای تانک ۶۰ درجه سانتیگراد

یادآوری ۱- شدت آلودگی منطقه در آن حدی نمی‌باشد که تدابیر ویژه‌ای را چه به لحاظ بوشینگ‌ها و چه به لحاظ خود ترانسفورماتور اقتضا نماید.

یادآوری ۲- محیط در معرض اغتشاشات لرزه‌ای که نیاز به اتخاذ تدابیر ویژه‌ای در هنگام نصب باشد، قرار ندارد. (فرض می‌شود که سطح شتاب زمین، کمتر از ۲ متر بر مجذور ثانیه می‌باشد)

۲-۱-۵ شرایط کارکرد غیرعادی

چنانچه شرایط محیط نصب ترانسفورماتور با شرایط محیطی استاندارد مطابقت نداشته باشد، آنگاه محدوده مجاز افزایش دمای ترانسفورماتور بایستی مجدداً تعیین گردد.

الف- در ترانسفورماتورهای نوع روغنی که با هوا خنک می‌گردند، محدوده دمای شرایط کارکرد عادی ۲۵- تا ۴۰+ درجه سانتیگراد مطابق با IEC 60076-2 می‌باشد.

با توجه به اینکه این نوع از ترانسفورماتورها با هوا خنک می‌گردند، شرایط دمایی محل نصب آنها در شرایط کارکرد عادی نبایستی از مقادیر ذیل نیز تجاوز کند:

- میانگین دمای ماهانه ۳۰ درجه سانتیگراد در گرمترین ماه سال
- میانگین دمای سالانه حداکثر ۲۰ درجه سانتیگراد

یادآوری ۱- چنانچه شرایط دمایی محیط نصب از این مقادیر بیشتر شود، محدوده مجاز افزایش دمای سیم‌پیچی‌ها و روغن بالای تانک ترانسفورماتور در قدرت نامی به همان میزان نرخ افزایش دمای محیط از محدوده مجاز، کاهش پیدا خواهد نمود.

یادآوری ۲- این امر در مناطقی نظیر استانهای حاشیه خلیج فارس و دریای عمان و نواحی کویری مرکزی کشور که این شرایط دمایی در آنجا صدق می‌کند بایستی مورد توجه قرار گیرد.

ب- چنانچه محل نصب ترانسفورماتور در ارتفاعی بیش از ۱۰۰۰ متر از سطح دریا قرار داشته باشد ولیکن ارتفاع از سطح دریای محل کارخانه سازنده در ارتفاعی کمتر از ۱۰۰۰ متر باشد، محدوده مجاز افزایش دما در هنگام انجام آزمونهای کارخانه‌ای بایستی مطابق ذیل کاهش یابد:

- برای ترانسفورماتورهای با گردش طبیعی هوای خنک کننده (AN)، به ازاء هر ۴۰۰ متر افزایش ارتفاع از سطح مجاز ۱۰۰۰ متر، ۱ درجه کاهش محدوده مجاز افزایش دما باید در نظر گرفته شود.
- برای ترانسفورماتورهای با گردش اجباری هوای خنک‌کننده (AF)، به ازاء هر ۲۵۰ متر افزایش ارتفاع از سطح مجاز ۱۰۰۰ متر، ۱ درجه کاهش محدوده مجاز افزایش دما باید در نظر گرفته شود.

یادآوری ۱- چنانچه حد مجاز افزایش دمای ترانسفورماتور خواه به علت افزایش دما و خواه به علت افزایش ارتفاع محل نصب نسبت به سطح دریا کاهش یابد، مقادیر مجاز ترانسفورماتور بایستی در پلاک آن اشاره گردد.

ج- برای ترانسفورماتورهایی که با آب خنک می‌گردند، دمای آب خنک‌کننده بایستی از ۲۵ درجه سانتیگراد تجاوز نکند. چنانچه دمای آب خنک‌کننده از این مقدار تجاوز نماید به همان میزان محدوده افزایش دمای مجاز کاهش پیدا خواهد نمود.

د- سایر شرایط کارکرد غیرعادی که ملاحظات ویژه‌ای را در طراحی ترانسفورماتورها اقتضا می‌نمایند و بایستی در هنگام سفارش و اعلام مشخصات مورد نیاز توسط خریدار بیان گردد به شرح ذیل می‌باشند:

شرایط آب و هوایی کارکرد در مناطق رطوبتی گرم استوایی و حاره‌ای، شرایط آلودگی بسیار زیاد، شرایط لرزه‌ای و زلزله‌خیزی شدید، شرایط انبارداری و حمل و نقل نامتعارف و شرایط کارکرد در دماهای بسیار بالا و بسیار پایین.

۲-۵ طبقه‌بندی شرایط محیطی کارکرد ترانسفورماتورها مطابق با شرایط

اقلیمی کشور

مطابق آنچه که در استاندارد ترانسفورماتورهای ۲۰/۶۳/۲۳۰ کیلوولت ارائه گردیده است، شرایط محیطی کارکرد ترانسفورماتورهای قدرت به دو دسته کلی که مشخصات آنها در ادامه بیان می‌گردد تقسیم می‌شود.

یادآوری - آنچه باید در این رابطه ذکر شود این است که کشور ایران با داشتن شهرهایی همانند شهر اهواز با شرایط محیطی:

درجه حرارت حداکثر مطلق	بالای ۵۰ درجه سانتیگراد
حداکثر متوسط دمای سالیانه	بالای ۲۵ درجه سانتیگراد
حداکثر معدل روزانه دمای هوا	۳۵ درجه سانتیگراد
حداقل درجه حرارت مطلق	-۷ درجه سانتیگراد

و شهر همدان با شرایط محیطی:

درجه حرارت حداکثر مطلق	۴۰ درجه سانتیگراد
حداکثر متوسط دمای سالیانه	حدود ۱۰ درجه سانتیگراد
حداکثر معدل روزانه دمای هوای	۲۳/۷ درجه سانتیگراد
حداقل درجه حرارت مطلق	کمتر از ۳۳- درجه سانتیگراد

در برخی مناطق دارای شرایط دمایی محیطی مطابق با استاندارد IEC نمی‌باشد.

از لحاظ ارتفاع نیز به غیر از استانهای ساحلی جنوب و شمال کشور شامل مازندران، گیلان، خوزستان، بوشهر و هرمزگان و بخشهایی از استان سیستان و بلوچستان و کویر مرکزی کشور، ارتفاع در سایر استانها در طیفی بالاتر از ۱۰۰۰ متر از سطح دریا قرار می‌گیرد که در چارچوب شرایط طراحی مطابق با استاندارد IEC قرار ندارد.

۱-۲-۵ شرایط محیطی برای مناطق طبقه‌بندی شده ۱:

- ارتفاع از سطح دریا: ۱۰۰۰ متر
- حداکثر درجه حرارت هوا: +۵۵ درجه سانتیگراد
- حداقل درجه حرارت هوا: -۱۰ درجه سانتیگراد
- حداکثر دمای متوسط روزانه: ۴۵ درجه سانتیگراد
- سطح آلودگی مطابق با استاندارد IEC 60815: سبک / متوسط / سنگین / فوق سنگین / ویژه
- نوع روغن عایقی مورد نظر: نوع یک

۲-۲-۵ شرایط محیطی برای مناطق طبقه‌بندی شده ۲:

- ارتفاع از سطح دریا: ۱۰۰۰ متر
- حداکثر درجه حرارت هوا: +۴۰ درجه سانتیگراد
- حداقل درجه حرارت هوا: -۳۵ درجه سانتیگراد
- حداکثر دمای متوسط روزانه: +۳۰ درجه سانتیگراد
- سطح آلودگی مطابق با استاندارد IEC 60071-2: سبک / متوسط / سنگین / فوق سنگین / ویژه
- نوع روغن عایقی مورد نظر: نوع یک یا نوع دو (مطابق با نیاز هر محل)

۳-۲-۵ حداکثر افزایش درجه حرارت در قدرت نامی

- برای مناطق طبقه‌بندی شده ۱:
 - سیم‌پیچی‌ها: ۵۰ درجه سانتیگراد
 - روغن قسمت بالای تانک: ۴۵ درجه سانتیگراد
- برای مناطق طبقه‌بندی شده ۲:
 - سیم‌پیچی‌ها: ۶۵ درجه سانتیگراد
 - روغن قسمت بالای تانک: ۶۰ درجه سانتیگراد

همانطور که ملاحظه می‌گردد مناطق طبقه‌بندی شده ۱ عمدتاً مناطق گرم جنوبی کشور، حاشیه خلیج فارس و دریای عمان و مناطق کویری مرکز کشور را شامل می‌گردد. با توجه به اینکه اکثر این نواحی در ارتفاعی کمتر از ۱۰۰۰ متر قرار دارند به نظر می‌رسد که بتوان شرایط حداکثر افزایش درجه حرارت

قسمتهای مختلف ترانسفورماتور ارائه شده در فوق را تا حدودی تعدیل نمود. مناطق طبقه‌بندی شده ۲ نیز سایر نقاط کشور را تحت پوشش خود قرار می‌دهند.

یادآوری ۱- از آنجا که این مناطق غالباً در نقاطی واقع در ارتفاعات بالاتر از ۱۰۰۰ متر از سطح دریا قرار دارند، اثرات افزایش ارتفاع در کاهش میزان افزایش دمای مجاز قسمتهای مختلف ترانسفورماتور در قدرت نامی بایستی مدنظر قرار گیرد.

یادآوری ۲- از آنجا که طراحی ترانسفورماتورهای توزیع و قدرت فعلی بر اساس استاندارد IEC 60076 صورت می‌پذیرد لذا بسیاری از نقاط کشور را نمی‌توانند تحت پوشش مستقیم قرار دهد و بایستی با اجرای دقیق دستورالعمل‌های بهره‌برداری که بر مبنای کاهش حداکثر توان خروجی مجاز ترانسفورماتور در شرایط دما و ارتفاع زیاد می‌باشد تا حدودی اثرات این شرایط محیطی را بهبود بخشید. (در حال حاضر طراحیها بر اساس کارکرد در شرایط استاندارد و بیشتر مناسب جهت کاربرد در مناطق طبقه‌بندی شده ۲ انجام می‌پذیرد)

۶ تاثیرات پارامترهای محیطی بر عملکرد ترانسفورماتورهای

روغنی

۱-۶ دما

۱-۱-۶ تاثیر دما بر عمر سیستم عایقی ترانسفورماتور

کلیات- بطور کلی یک سیستم عایقی حتی اگر هیچ پدیده خارجی دیگری نیز بر آن تاثیرگذار نباشد، به علت خواص ذاتی خود که ناشی از رفتار مواد شیمیایی در طبیعت می‌باشد از یک روند پیرشدگی طبیعی در طول زمان برخوردار است.

یادآوری ۱- از آنجا که این فرآیند از روندی تجمعی برخوردار می‌باشد در نهایت زمانی فرا می‌رسد که سیستم عایقی دیگر به لحاظ مشخصات عملکردی قابل قبول نخواهد بود. بنابراین برای هر سیستم عایقی نظیر سیستم‌های عایقی ترانسفورماتورها، عمر مفیدی متصور بوده و پیش بینی می‌گردد.

یادآوری ۲- مطابق با قانون آرنوس، طول دوره زمانی انجام این واکنش‌های شیمیایی که یک سیستم عایقی را به مرز چنین شرایط پیرشدگی می‌رساند، با رابطه (۱) بیان می‌شود:

$$\text{طول عمر مفید یک سیستم عایقی} = e^{\alpha + \beta/T} \quad (1)$$

که در این رابطه، α و β مقادیر ثابت و T دمای مطلق می‌باشد.

رابطه (۱) را به فرم ساده شده ذیل می‌توان تقریب زد:

$$\text{طول عمر مفید یک سیستم عایقی} = e^{-p\theta} \quad (2)$$

که در این رابطه، P ثابت و θ دما بر حسب درجه سلسیوس می‌باشد.

یادآوری ۳- از آنجا که معیارهای کمی ساده و منحصر بفردی برای تشخیص پایان عمر مفید یک سیستم عایقی موجود نمی‌باشد، به جهت انجام مقایسه و ارزیابی منطقی عمر مفید سیستم‌های عایقی ترانسفورماتورها، محاسبات را بر مبنای نرخ پیرشدگی^۱ سیستم عایقی آنها انجام می‌دهند. چنانچه محدود تغییرات دما محدود باشد، نرخ پیرشدگی یک سیستم عایقی را می‌توان بصورت رابطه ذیل تعریف نمود:

$$\text{نرخ پیر شدگی} = e^{-p\theta} * \text{مقدار ثابت} \quad (3)$$

که در آن:

۱- مقدار ثابت معادله وابسته به پارامترهای زیادی همچون کیفیت اولیه مواد سلولزی (ترکیبات مواد خام اولیه و نوع افزودنی‌های شیمیایی) و شرایط محیطی (میزان رطوبت و اکسیژن آزاد موجود در سیستم) می‌باشد.

۲- ضریب تغییرات دمایی (p) را در محدوده دمایی ۸۰ الی ۱۴۰ درجه سانتیگراد (محدوده تغییرات دما در ترانسفورماتورهای روغنی) می‌توان مستقل از این پارامترها و به صورت ثابت در نظر گرفت. مقدار این ضریب بگونه‌ای است که نرخ پیرشدگی سیستم عایقی به ازای تقریباً هر ۶ درجه سانتیگراد افزایش دما، دو برابر می‌شود.

¹ Rate of Aging

یادآوری ۴- در استانداردها نرخ پیرشدگی حرارتی ترانسفورماتورها به دمای نقطه داغ سیم‌پیچی‌های آن ارجاع داده می‌شود.

یادآوری ۵- در ترانسفورماتورهایی که مطابق با استاندارد IEC 60076 طراحی می‌گردند، مقدار کمی دمای نقطه داغ ترانسفورماتورها در بار نامی و محدوده دمایی شرایط کارکرد عادی برابر با ۹۸ درجه سانتیگراد به عنوان معیار مرجع در نظر گرفته می‌شود. در این شرایط نرخ پیرشدگی نسبی سیستم عایقی ترانسفورماتور برابر با ۱ فرض می‌گردد.

یادآوری ۶- نرخ پیرشدگی نسبی

طراحی ترانسفورماتورها مطابق با استاندارد IEC 60076 بر اساس افزایش دمای مجاز ۷۸ درجه سانتیگراد نقطه داغ در متوسط دمای محیط ۲۰ درجه سانتیگراد و یا حد نهایی دمای نقطه داغ برابر با ۹۸ درجه سانتیگراد در بار نامی انجام می‌پذیرد و نرخ پیرشدگی نسبی سیستم عایقی ترانسفورماتور در شرایط دمایی کارکرد دیگر بر مبنای نرخ پیرشدگی در این دمای پایه، مطابق با رابطه ذیل مورد ارزیابی قرار می‌گیرد:

$$V = 2^{(\theta_h - 98)/6} = \frac{\text{نرخ پیرشدگی در دمای } \theta_h}{\text{نرخ پیرشدگی در دمای } 98 \text{ درجه سانتیگراد}} \quad (4)$$

در جدول (۲) مقدار ضریب نرخ پیرشدگی بر حسب دمای نقطه داغ نشان داده شده است.

جدول (۲): مقادیر ضریب پیرشدگی بر حسب دمای نقطه داغ

۱۴۰	۱۳۴	۱۲۸	۱۲۲	۱۱۶	۱۱۰	۱۰۴	۹۸	۹۲	۸۶	۸۰	دمای نقطه داغ
۱۲۸	۶۴	۳۲	۱۶	۸	۴	۲	۱	۰/۵	۰/۲۵	۰/۱۲۵	ضریب نرخ پیرشدگی

یادآوری ۷- با توجه جدول، واضح است که نرخ پیرشدگی سیستم عایقی ترانسفورماتور نسبت به تغییرات دمای نقطه داغ سیم‌پیچی‌ها، بسیار حساس می‌باشد. لذا در دماهای بالای محیط، به منظور حفظ روند پیرشدگی نرمال سیستم عایقی ترانسفورماتور، میزان بارگذاری مجاز ترانسفورماتورها بایستی کاهش یابد. در غیر این صورت نرخ پیرشدگی سیستم عایقی ترانسفورماتور به نحو محسوسی افزایش می‌یابد.

۶-۱-۲ تاثیر دما بر توان خروجی ترانسفورماتورها

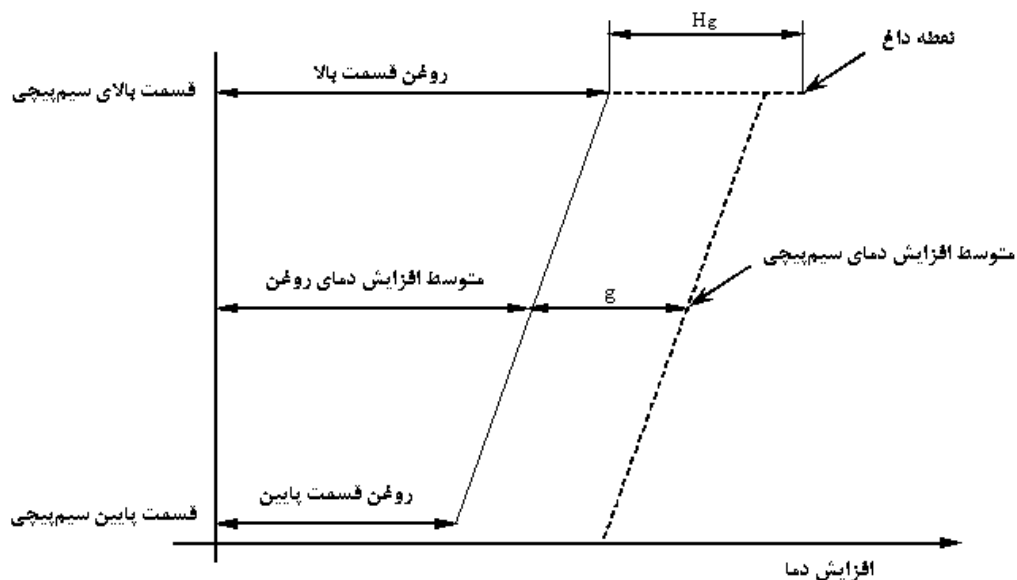
نمودار توزیع حرارتی افزایش دمای روغن و سیم پیچی‌های ترانسفورماتورها مطابق با استاندارد IEC 60354 در شکل (۱) نمایش داده شده است.

یادآوری ۱- از آنجا که بدست آوردن نمودار واقعی توزیع دما در نقاط مختلف ترانسفورماتورها امری بسیار پیچیده و مشکل می‌باشد، باید خاطر نشان نمود که نمودار ارائه شده بر اساس یک سری مفروضات اولیه جهت ساده‌سازی مساله و صرفاً بیان کلی رفتار حرارتی ترانسفورماتورها انجام پذیرفته است. فرضیات در نظر گرفته شده در این نمودار به شرح ذیل می‌باشند:

۱- افزایش دمای روغن داخل سیم‌پیچی‌های ترانسفورماتور مستقل از نوع سیستم خنک‌کنندگی آن، بصورت خطی از سمت پایین سیم‌پیچی‌ها به طرف بالای سیم‌پیچی‌ها افزایش می‌یابد.

۲- افزایش دمای هادی هر قسمت از سیم پیچی، بصورت خطی و به موازات افزایش دمای روغن افزایش از سمت پایین سیم‌پیچی‌ها به طرف بالای سیم‌پیچی‌ها افزایش می‌یابد.

۳- مقدار اختلاف دمای مابین متوسط افزایش دمای سیم‌پیچی و متوسط افزایش دمای روغن برابر با مقدار ثابت g می‌باشد



شکل (۱) : نمودار توزیع حرارتی در ترانسفورماتورهای روغنی

۴- به جهت در نظر گرفتن اثرات حرارتی ناشی از جریانهای سرگردان در ترانسفورماتورها، مطابق با شکل (۱) میزان افزایش دمای نقطه داغ بیشتر از حد افزایش دمای هادی در بالاترین قسمت سیم‌پیچی در نظر

گرفته می‌شود. برای در نظر گرفتن این عامل غیر خطی، اختلاف دمای میان دمای نقطه داغ و دمای روغن در بالاترین قسمت سیم‌پیچی برابر Hg در نظر گرفته می‌شود.

یادآوری ۲- محاسبات حداکثر افزایش درجه حرارت در قدرت نامی سیم‌پیچی‌ها و روغن قسمت بالای تانک ترانسفورماتور بایستی با عنایت به شرایط جغرافیایی و محیطی منطقه مورد نظر انتخاب گردد.

یادآوری ۳- در مشخصات فنی ترانسفورماتورها بایستی حداکثر درجه حرارت ماهیانه که مورد نیاز جهت محاسبه نقطه داغ سیم‌پیچی می‌باشد، جزء شرایط محیطی و اطلاعات اولیه ارائه گردد.

یادآوری ۴- وزش باد، تابش تشعشعات خورشیدی و بارش‌های جوی می‌توانند ظرفیت بارگذاری ترانسفورماتورهای توزیع نصب شونده در فضای آزاد را تحت تاثیر قرار دهند ولیکن از آنجا که این عوامل محیطی طبیعی غیر قابل پیش‌بینی دارند در نظر گرفتن این عوامل در بارگذاری ترانسفورماتورها کاربردی و عملی نمی‌باشد.

یادآوری ۵- در مبحث شرایط محیطی از جمله حداکثر و حداقل و نیز متوسط درجه حرارت دمای هوا، کارشناس باید بر اساس شرایط منطقه نصب، موارد مناسب را انتخاب و ذکر نماید. این شرایط علاوه بر اینکه در طراحی مشخصات ترانسفورماتور تاثیر دارد، در انتخاب روغن عایقی آن نیز موثر است.

یادآوری ۶- در جدول (۳) برخی از مشخصات پایه دمایی استاندارد شده مورد استفاده در محاسبات طراحی و بارگذاری ترانسفورماتورها ارائه گردیده است. (منحنی‌ها و جداول بارگذاری ارائه شده در استاندارد بر این اساس تهیه گردیده‌اند).

جدول (۳) مشخصه حرارتی مورد استفاده در محاسبات بارگذاری ترانسفورماتورها

نوع ترانسفورماتور و نوع سیستم خنک‌کنندگی				پارامتر
ترانسفورماتورهای قدرت متوسط و بزرگ		ترانسفورماتورهای توزیع		
OD..	OF..	ON..	ONAN	
۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	دمای محیط
۱/۳	۱/۳	۱/۳	۱/۱	ضریب نقطه داغ
۷۸	۷۸	۷۸	۷۸	افزایش دمای نقطه داغ
۶۸	۶۳	۶۳	۶۵	متوسط افزایش دمای سیم‌بندی
۴۶	۴۶	۴۳	۴۴	متوسط افزایش دمای روغن
۴۹	۵۶	۵۲	۵۵	افزایش دمای روغن بالای سیم‌بندی
۴۳	۳۶	۳۴	۳۳	افزایش دمای روغن قسمت پایین
۲۹	۲۲	۲۶	۲۳	اختلاف دمای میان افزایش دمای نقطه داغ و افزایش دمای روغن بالای سیم‌بندی (Hg)

۱-۲-۱-۶ میزان بارگذاری مجاز پیوسته ترانسفورماتورها در دماهای مختلف محیط

چنانچه جریان بار ترانسفورماتور در یک دوره زمانی معین (معمولاً دوره‌های ۲۴ ساعته مدنظر می‌باشد) تغییرات قابل توجهی نداشته باشد، می‌توان آن را بصورت جریان بار پیوسته معادل و ثابتی در نظر گرفت. جدول (۴) میزان مجاز ضریب بارگذاری پیوسته بیست و چهار ساعته ترانسفورماتورها (K) را در دماهای مختلف محیط و با رعایت حفظ روند پیرشدگی نرمال سیستم عایقی ترانسفورماتورها نشان می‌دهد.

ضریب K نشانگر نسبت میزان حداکثر بارگذاری پیوسته مجاز به توان نامی ترانسفورماتور در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد می‌باشد.

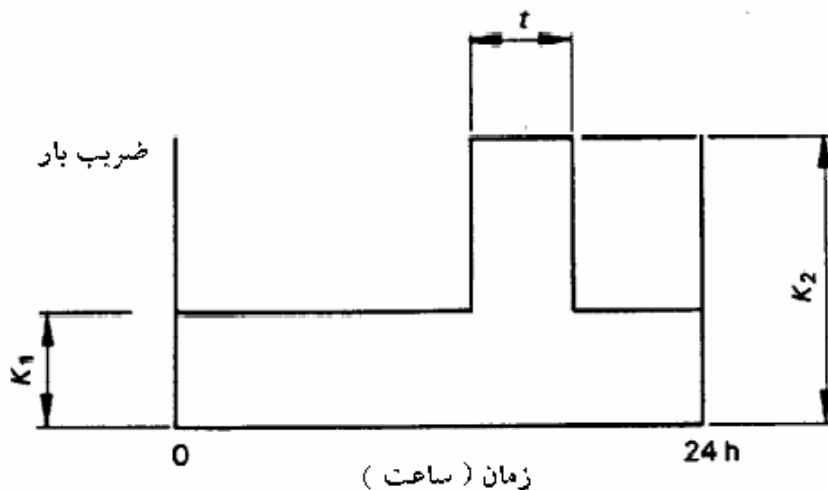
جدول (۴): ضریب K برای حالت کاری پیوسته برای دماهای مختلف (سیستم خنک‌کنندگی ON, OF و OD)

۴۰	۳۰	۲۰	۱۰	۰	-۱۰	-۲۰	-۲۵	دمای محیط (درجه سانتیگراد)	
۵۸	۶۸	۷۸	۸۸	۹۸	۱۰۸	۱۱۸	۱۲۳	افزایش دمای نقطه داغ (k)	
۰/۸۱	۰/۹۸	۱/۰۰	۱/۰۹	۱/۱۷	۱/۲۵	۱/۳۳	۱/۳۷	ONAN	ترانسفورماتور توزیع
۰/۸۲	۰/۹۲	۱/۰۰	۱/۰۸	۱/۱۵	۱/۲۲	۱/۳۰	۱/۳۳	ON	ترانسفورماتور قدرت
۰/۸۳	۰/۹۲	۱/۰۰	۱/۰۸	۱/۱۴	۱/۲۱	۱/۲۸	۱/۳۱	OF	
۰/۸۷	۰/۹۴	۱/۰۰	۱/۰۶	۱/۱۱	۱/۱۷	۱/۲۲	۱/۲۴	OD	

برای بار ۲۴ ساعته
K

۶-۱-۲-۲ میزان بارگذاری مجاز دوره‌ای ترانسفورماتورها در دماهای مختلف محیط

چنانچه جریان بار ترانسفورماتور در طول دوره زمانی معین (معمولاً دوره‌های ۲۴ ساعته مدنظر می‌باشد) دارای تغییرات محسوس و قابل ملاحظه‌ای باشد می‌توان منحنی بارگذاری ترانسفورماتور را معادل با منحنی شکل (۲) و به صورت یک منحنی دو پله‌ای در نظر گرفت.



شکل (۲): منحنی بارگذاری معادل دو پله‌ای

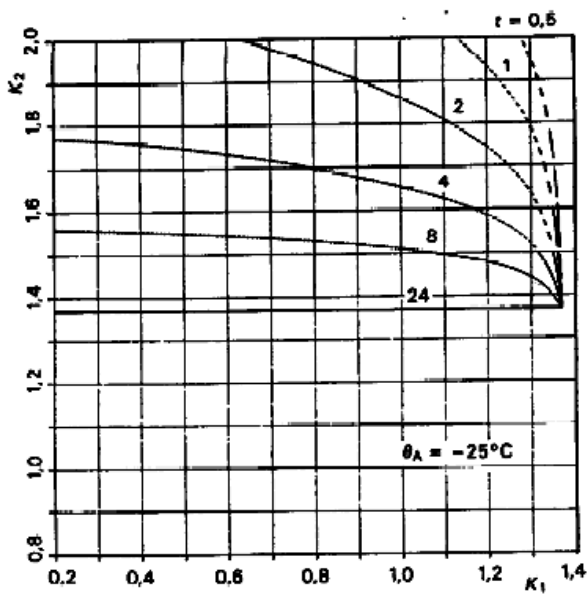
که در آن :

K_1 میزان ضریب بارگذاری اولیه نسبت به توان نامی ترانسفورماتور و نیز میزان ضریب بارگذاری در سایر ساعات شبانه‌روز پس از دوره زمانی اعمال پیک بار می‌باشد.

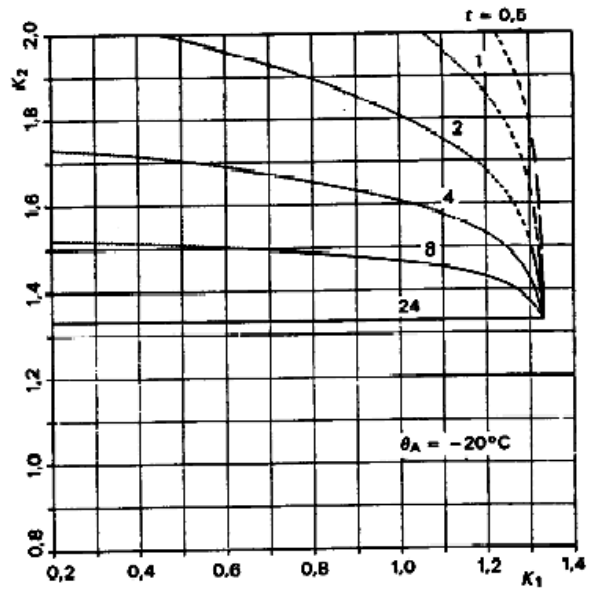
K_2 حداکثر میزان ضریب بار اعمالی برای مدت زمان مشخص t ساعت در طول شبانه‌روز به توان نامی ترانسفورماتور می‌باشد.

یادآوری - جهت کسب اطلاعات بیشتر در ارتباط با نحوه معادل سازی انواع منحنی‌های بارگذاری معمول نظیر منحنی بار با یک و یا دو دوره زمانی پیک بار با منحنی بارگذاری دوپله‌ای نشان داده شده در بالا به استاندارد IEC 60354 بند ۳-۲ مراجعه گردد.

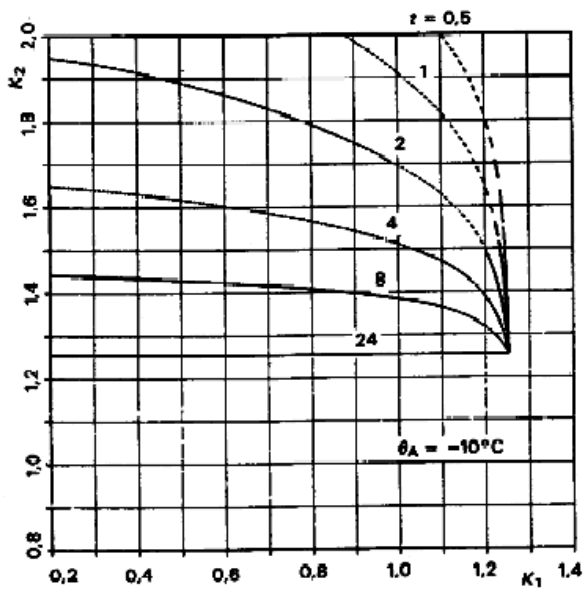
در شکل‌های (۳) تا (۶) منحنی‌های ظرفیت مجاز بارگذاری انواع ترانسفورماتورهای روغنی و با رعایت حفظ روند پیرشدگی نرمال سیستم عایقی ترانسفورماتورها در دماهای مختلف محیط نشان داده شده است.



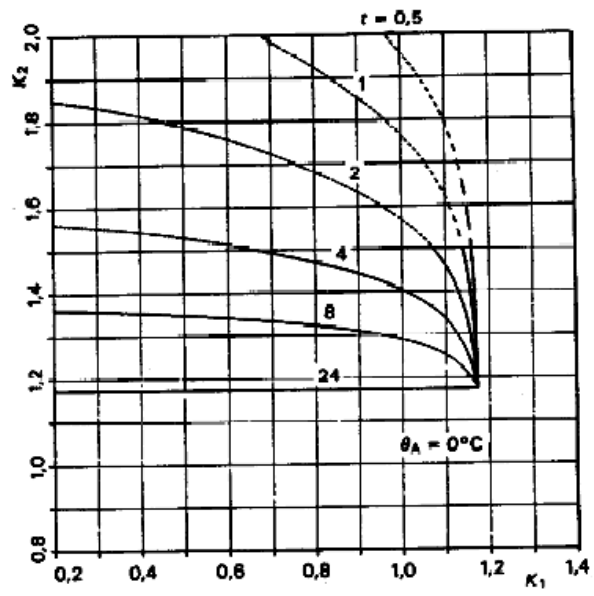
الف



ب



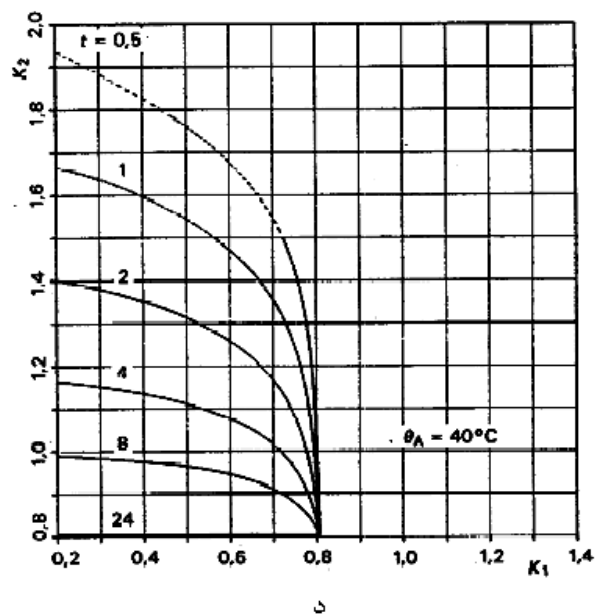
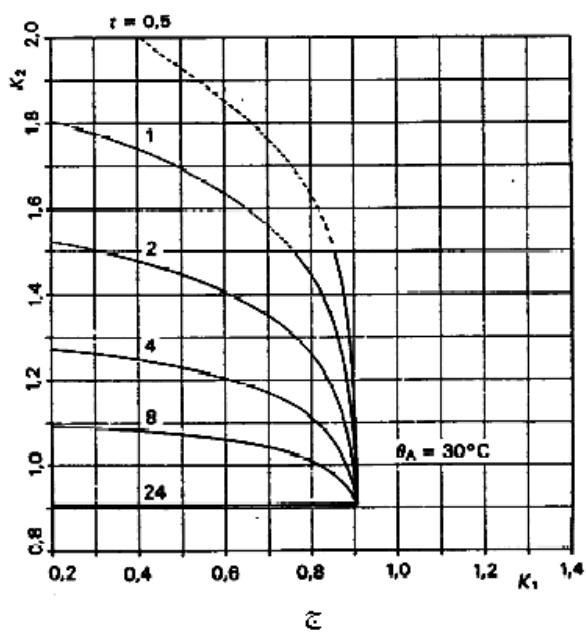
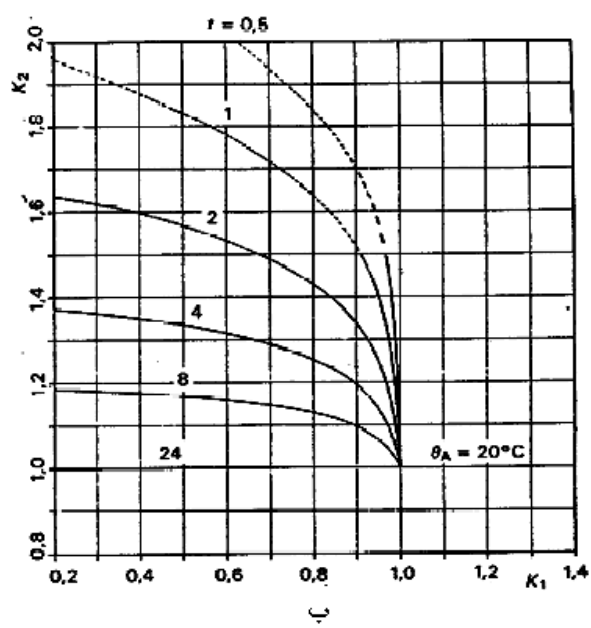
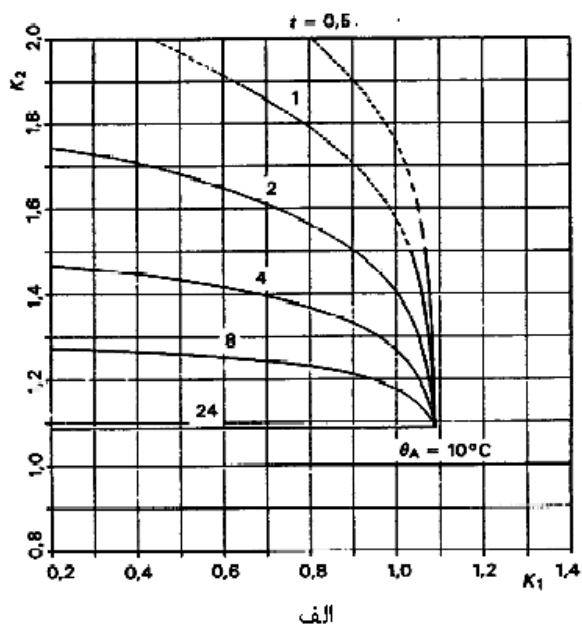
ج



د

شکل (۳): ظرفیت‌های مجاز بارگذاری دوره‌ای ترانسفورماتور توزیع ONAN در دماهای محیطی مختلف (ادامه دارد)

- الف- دمای محیطی ۲۵- درجه سانتیگراد
- ب- دمای محیطی ۲۰- درجه سانتیگراد
- ج- دمای محیطی ۱۰- درجه سانتیگراد
- د- دمای محیطی ۰ درجه سانتیگراد



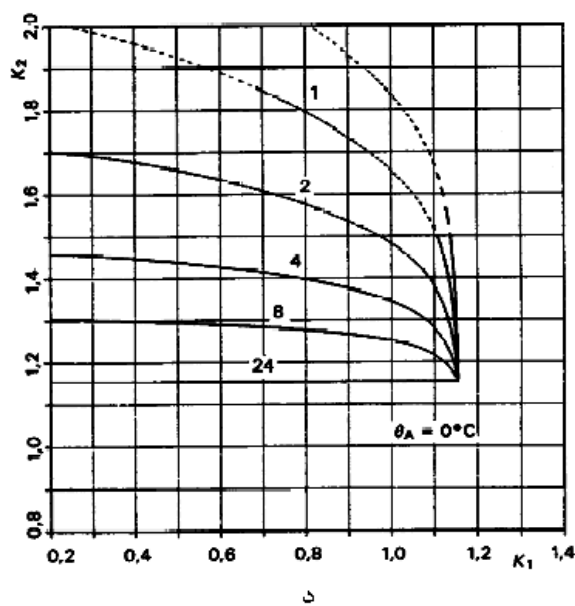
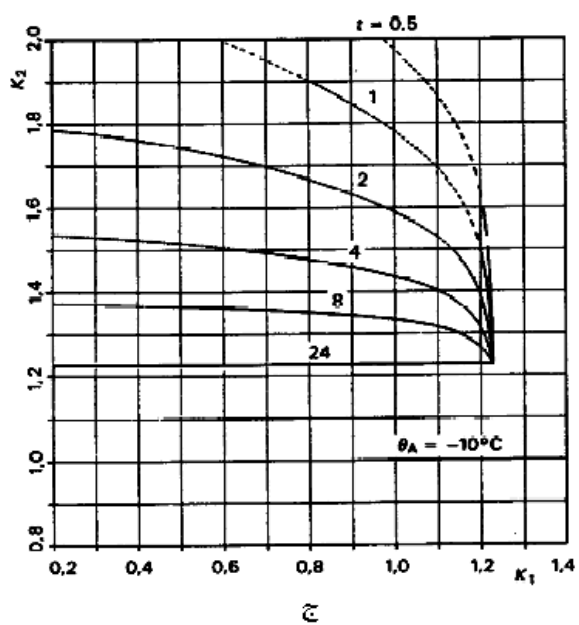
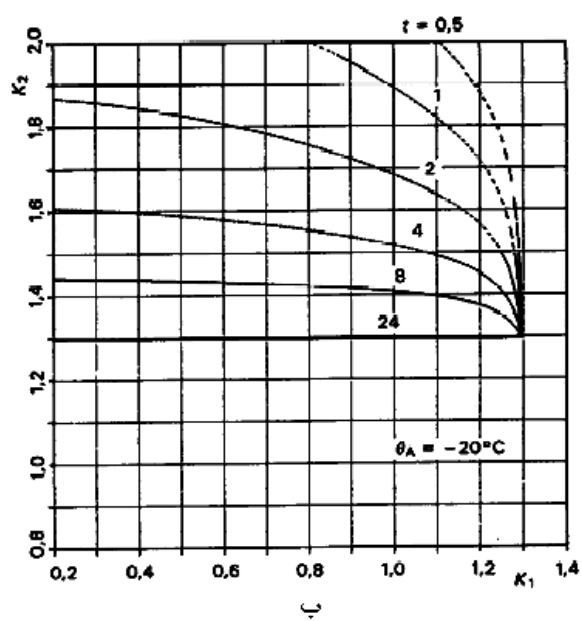
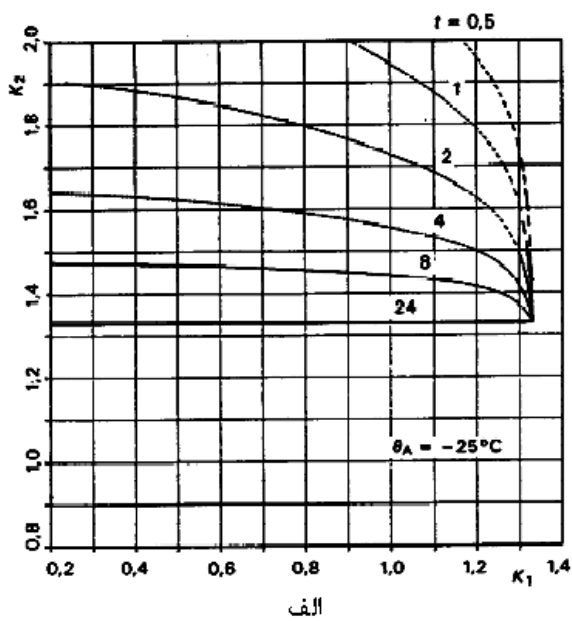
ادامه شکل (۳): ظرفیت‌های مجاز بارگذاری دوره‌ای ترانسفورماتور توزیع ONAN در دماهای محیطی مختلف

الف- دمای محیطی ۱۰ درجه سانتیگراد

ب- دمای محیطی ۲۰ درجه سانتیگراد

ج- دمای محیطی ۳۰ درجه سانتیگراد

د- دمای محیطی ۴۰ درجه سانتیگراد



شکل (۴): ظرفیت‌های مجاز بارگذاری دوره‌ای ترانسفورماتور قدرت بزرگ و متوسط ON

در دماهای محیطی مختلف

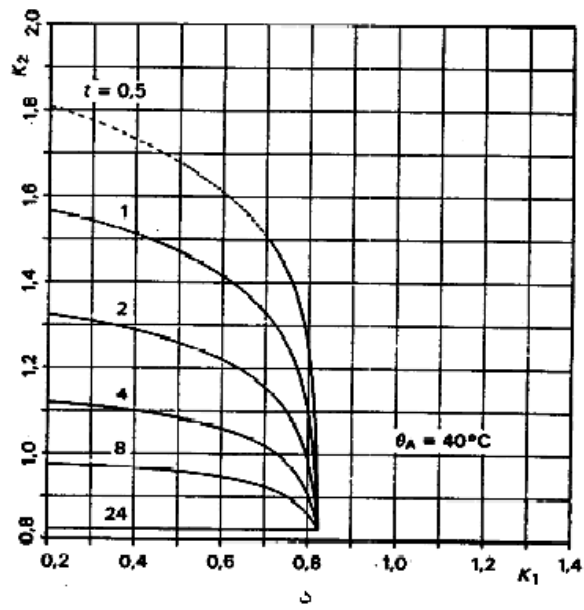
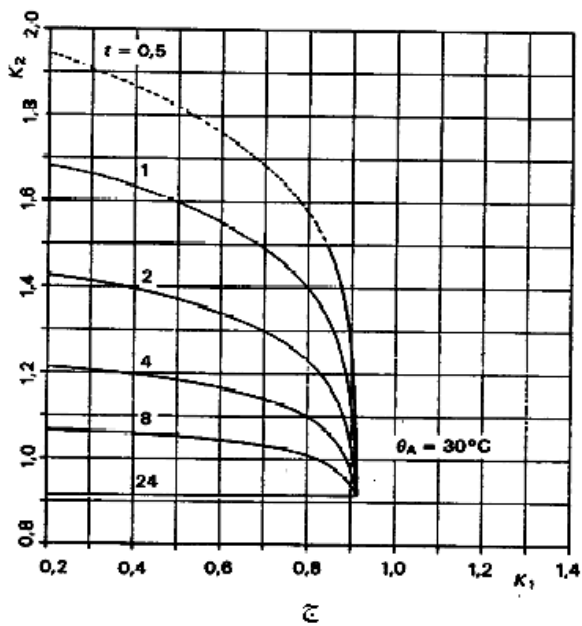
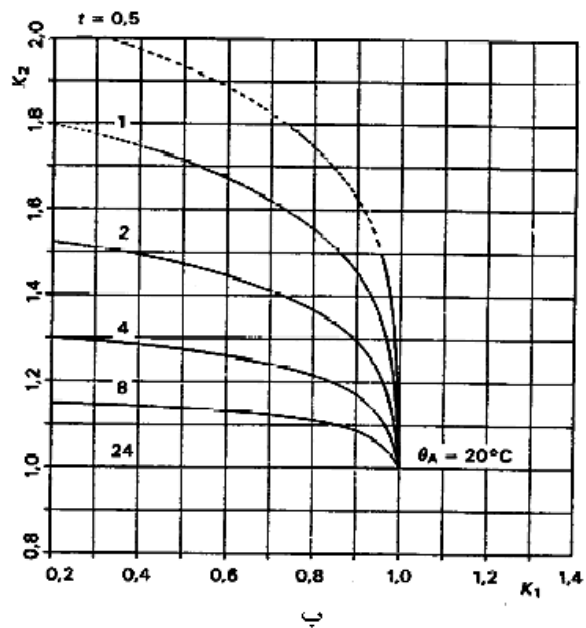
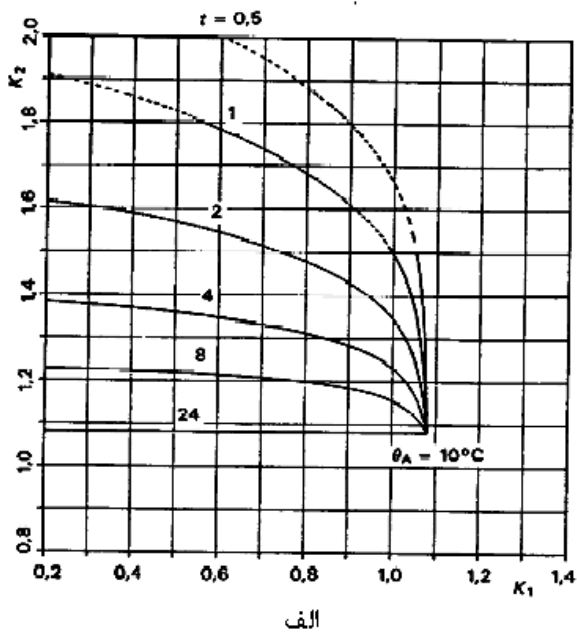
(ادامه دارد)

الف- دمای محیطی ۲۵- درجه سانتیگراد

ب- دمای محیطی ۲۰- درجه سانتیگراد

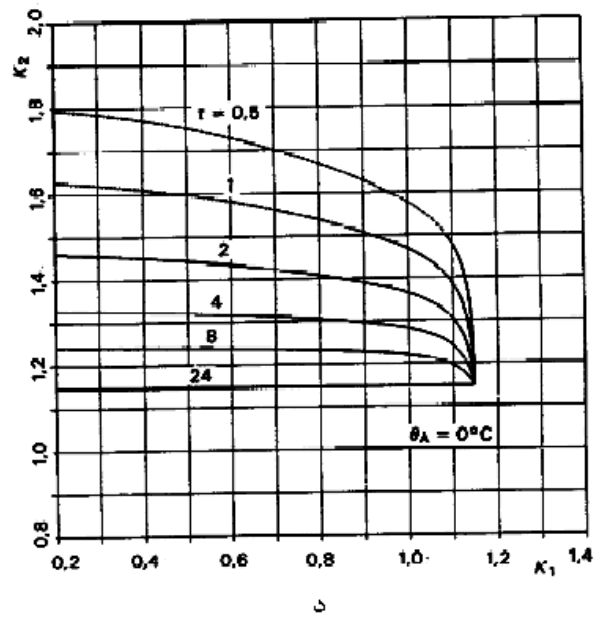
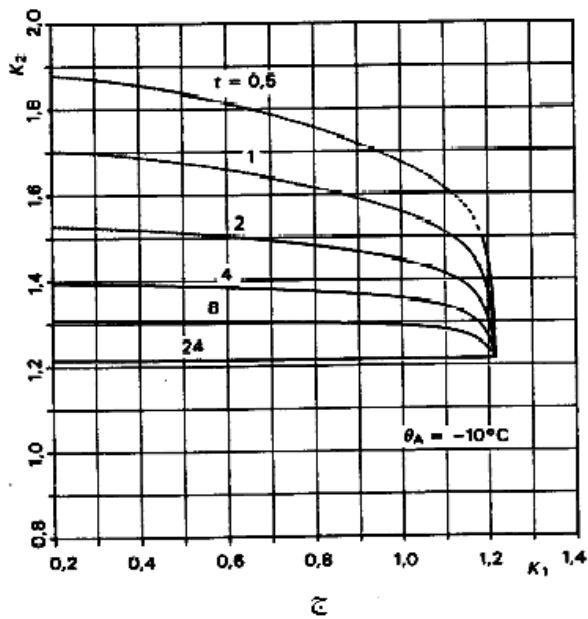
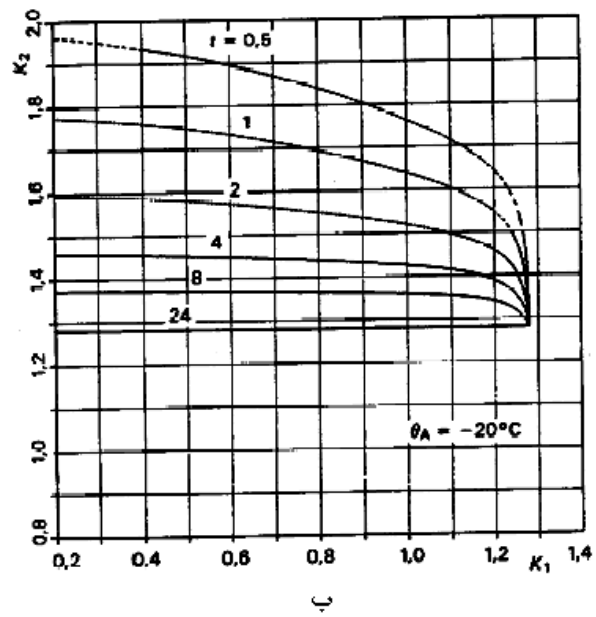
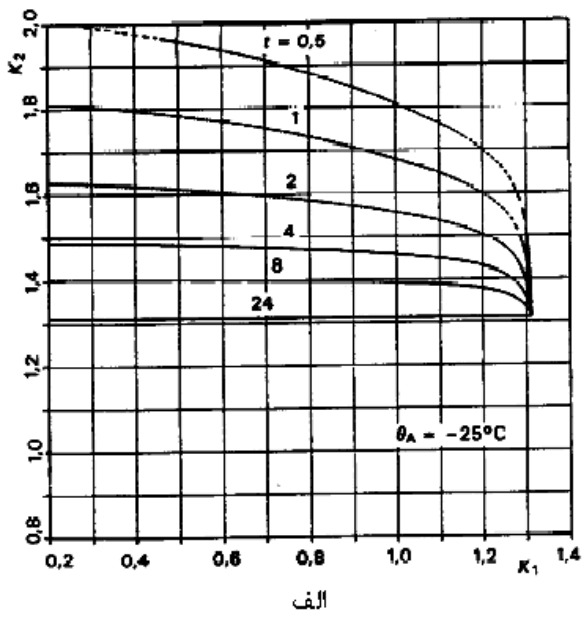
ج- دمای محیطی ۱۰- درجه سانتیگراد

د- دمای محیطی ۰ درجه سانتیگراد



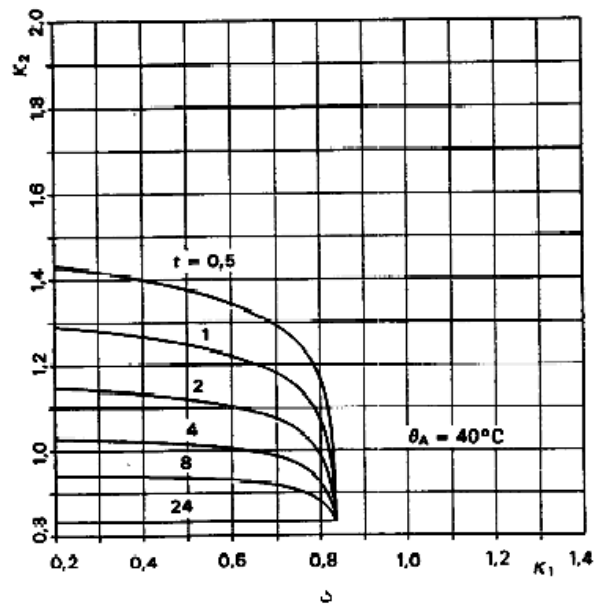
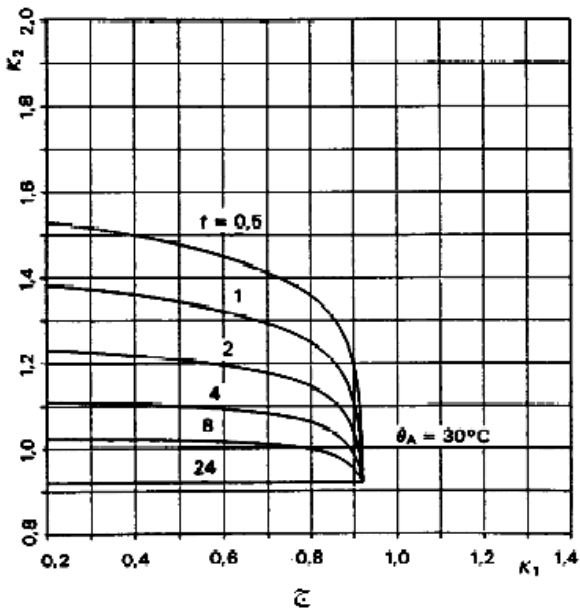
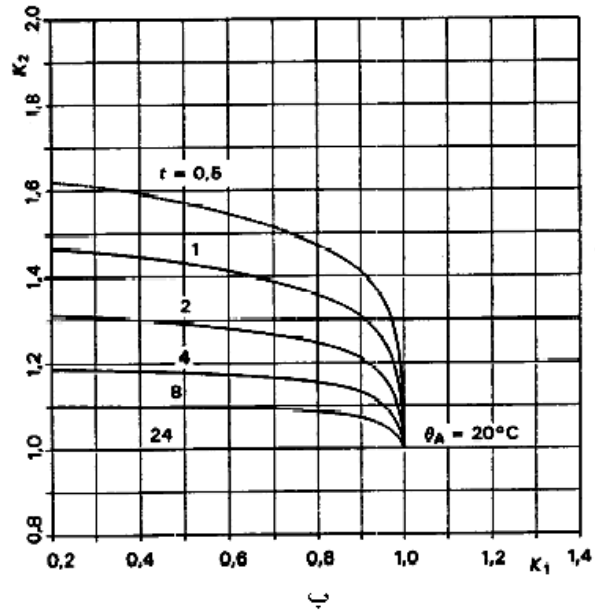
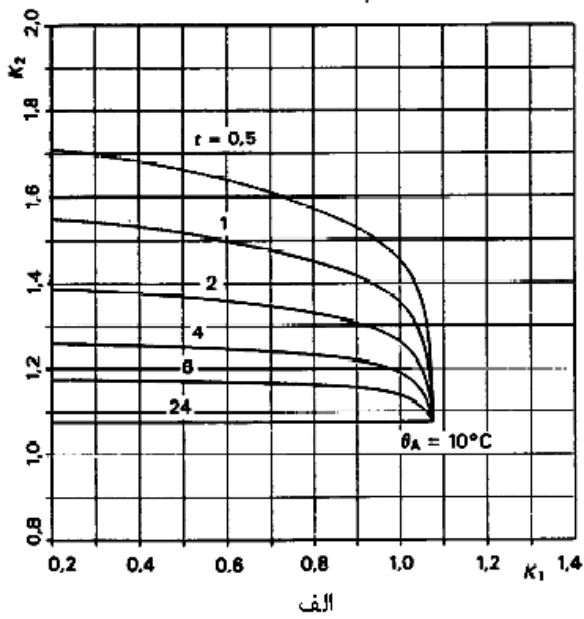
ادامه شکل (۴): ظرفیت‌های مجاز بارگذاری دوره‌ای ترانسفورماتور قدرت بزرگ و متوسط ON در دماهای محیطی مختلف

- الف- دمای محیطی ۱۰ درجه سانتیگراد
- ب- دمای محیطی ۲۰ درجه سانتیگراد
- ج- دمای محیطی ۳۰ درجه سانتیگراد
- د- دمای محیطی ۴۰ درجه سانتیگراد



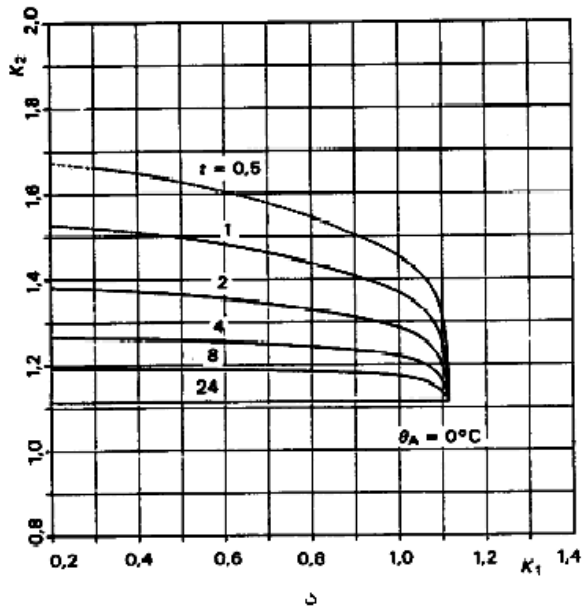
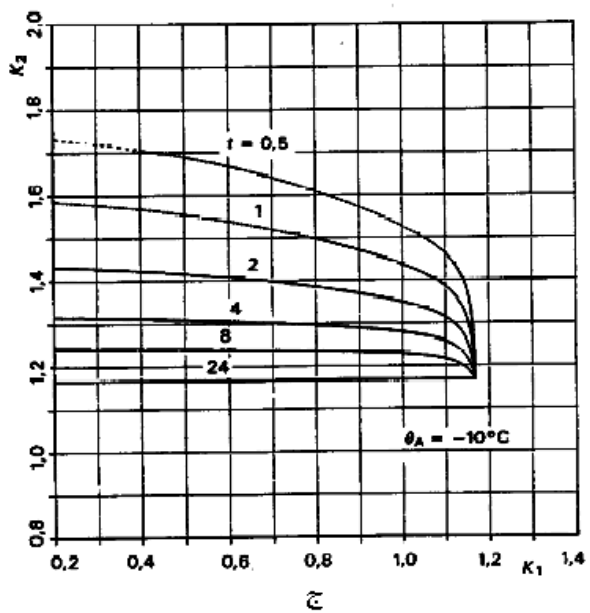
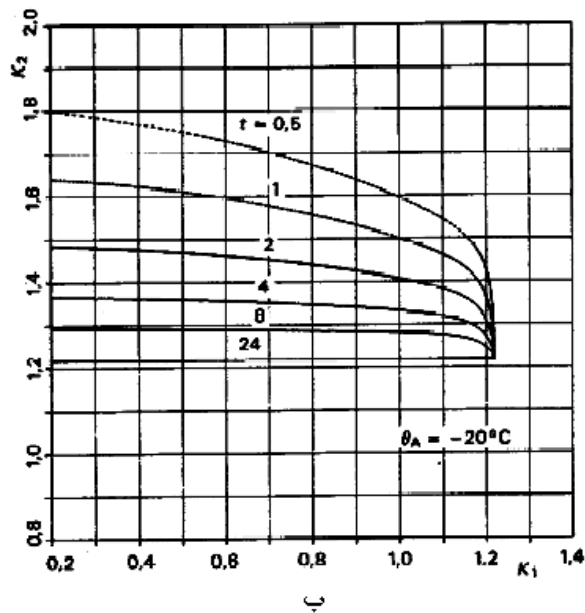
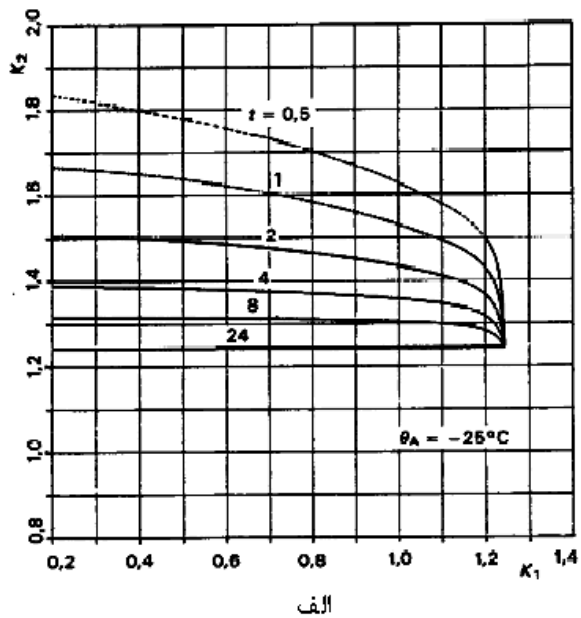
شکل (۵): ظرفیت‌های مجاز بارگذاری دوره‌ای ترانسفورماتور قدرت بزرگ و متوسط OF در دماهای محیطی مختلف (ادامه دارد)

الف- دمای محیطی ۲۵- درجه سانتیگراد
 ب- دمای محیطی ۲۰- درجه سانتیگراد
 ج- دمای محیطی ۱۰- درجه سانتیگراد
 د- دمای محیطی ۰ درجه سانتیگراد



ادامه شکل (۵): ظرفیت‌های مجاز بارگذاری دوره‌ای ترانسفورماتور قدرت بزرگ و متوسط OF در دماهای محیطی مختلف

- الف- دمای محیطی ۱۰ درجه سانتیگراد
- ب- دمای محیطی ۲۰ درجه سانتیگراد
- ج- دمای محیطی ۳۰ درجه سانتیگراد
- د- دمای محیطی ۴۰ درجه سانتیگراد



شکل (۶): ظرفیت‌های مجاز بارگذاری دوره‌ای ترانسفورماتور قدرت بزرگ و متوسط OD

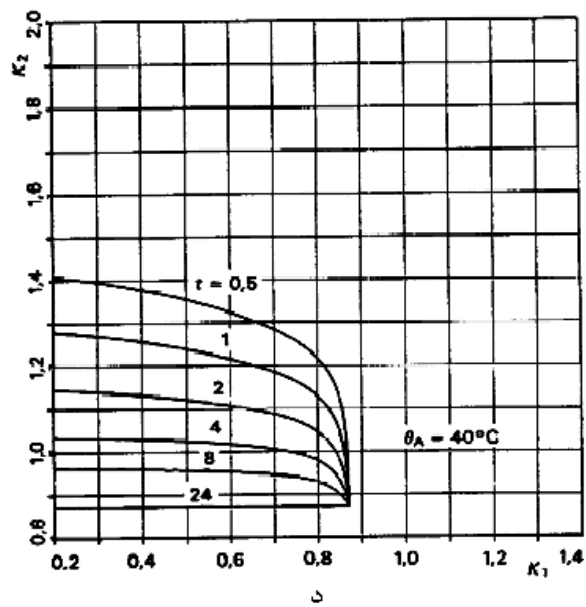
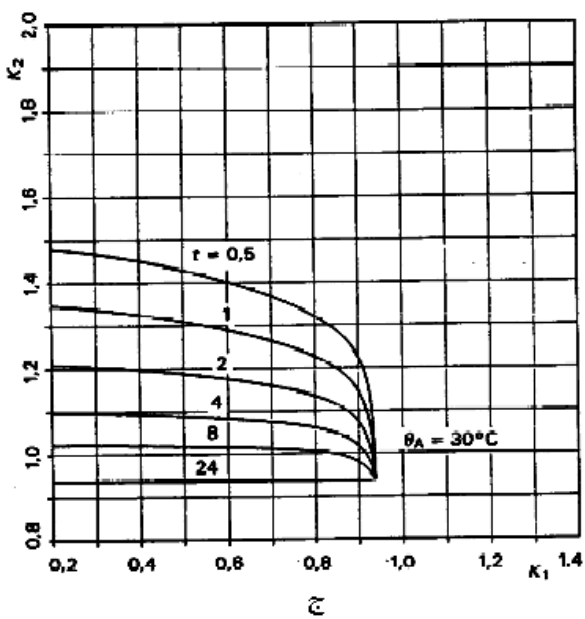
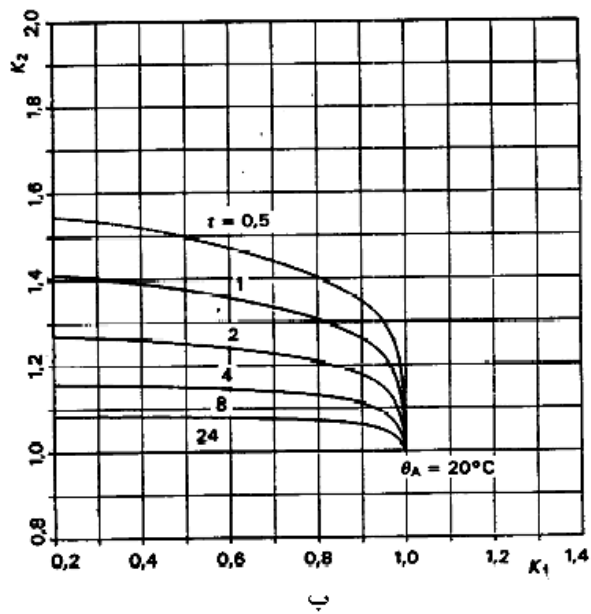
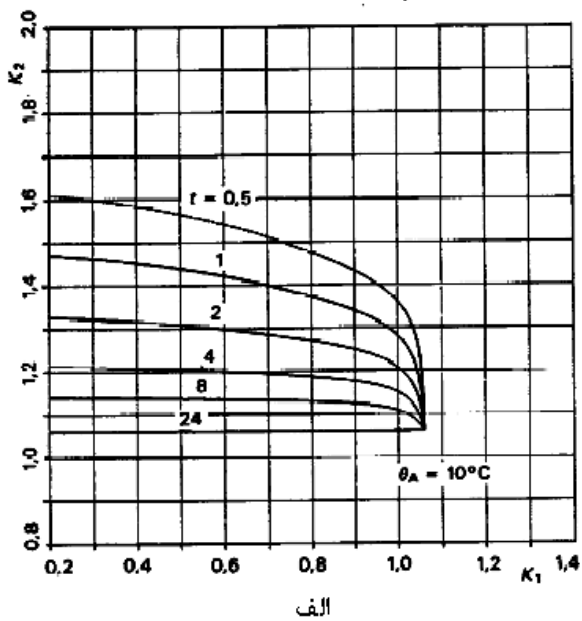
در دماهای محیطی مختلف (ادامه دارد)

الف- دمای محیطی ۲۵- درجه سانتیگراد

ب- دمای محیطی ۲۰- درجه سانتیگراد

ج- دمای محیطی ۱۰- درجه سانتیگراد

د- دمای محیطی ۰ درجه سانتیگراد



ادامه شکل (۶): ظرفیت‌های مجاز بارگذاری دوره‌ای ترانسفورماتور قدرت بزرگ و متوسط OD در دماهای محیطی مختلف

- الف- دمای محیطی ۱۰ درجه سانتیگراد
- ب- دمای محیطی ۲۰ درجه سانتیگراد
- ج- دمای محیطی ۳۰ درجه سانتیگراد
- د- دمای محیطی ۴۰ درجه سانتیگراد

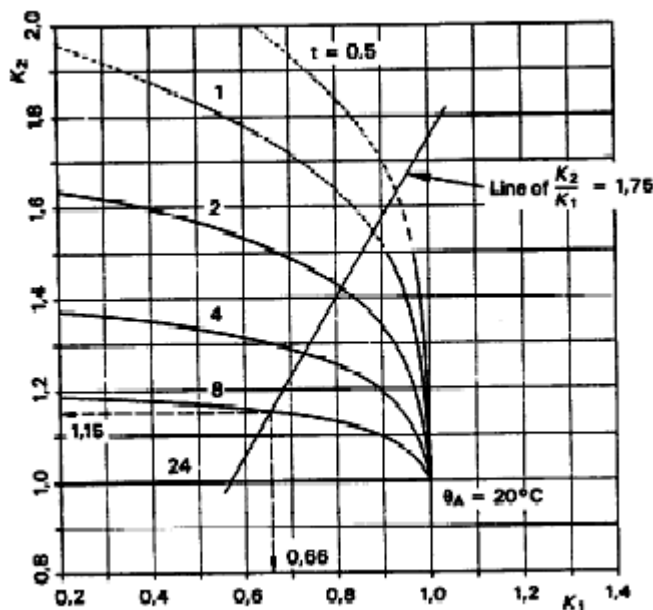
به منظور روشن نمودن نحوه بکارگیری منحنی‌های مذکور، دو مثال به شرح ذیل ارائه می‌گردد.

مثال اول: چنانچه در یک ترانسفورماتور توزیع با توان نامی ۲ مگاوات آمپر و سیستم خنک کنندگی طبیعی، میزان بارگذاری اولیه برابر با ۱ مگاوات آمپر ($K_1 = 0.5$) باشد به منظور تعیین نمودن حداکثر میزان بارگذاری مجاز ترانسفورماتور برای مدت زمان ۲ ساعت K_2 در دمای محیطی ۲۰ درجه سانتیگراد و با فرض ثابت ماندن سطح ولتاژ، این چنین باید اقدام نمود:

مطابق با شکل (۳) مقدار K_2 برابر با ۱/۵۶ بدست خواهد آمد که با در نظر گرفتن یک حاشیه اطمینان، K_2 برابر با ۱/۵ می‌گردد و این بدین معنا می‌باشد که میزان مجاز بارگذاری ۲ ساعته ترانسفورماتور معادل با ۳ مگاوات آمپر خواهد بود که پس از این زمان مجدداً باید ترانسفورماتور به حالت اولیه خود یعنی $K_1 = 0.5$ و توان ۱ مگاوات آمپر بازگردد.

مثال دوم: چنانچه لازم باشد یک ترانسفورماتور توزیع به گونه‌ای بارگذاری گردد که بتواند بار ۱۷۵۰ کیلوولت آمپر را برای مدت زمان ۸ ساعت و بار ۱۰۰۰ کیلوولت آمپر را برای مدت زمان ۱۶ ساعت باقیمانده در شرایط عادی تامین کند. به منظور محاسبه توان نامی ترانسفورماتور باید به شرح ذیل اقدام نمود:

با توجه به اینکه نسبت K_2 به K_1 برابر با ۱/۷۵ می‌باشد. با توجه به شکل (۷) مشخص می‌گردد که بر روی منحنی مربوط به میزان بارگذاری مجاز زمانی ۸ ساعت، رعایت نسبت فوق بازای $K_1 = 0.66$ و $K_2 = 1.15$ برقرار خواهد بود. لذا مقدار توان نامی ترانسفورماتور بایستی برابر با حداقل ۱۵۲۰ کیلوولت - آمپر انتخاب گردد.



شکل (۷): منحنی مثال ۲

۶-۱-۲ بهبود کلاس عایقی حرارتی ترانسفورماتورها

کلاس عایقی حرارتی ترانسفورماتورهای روغنی متعارف، کلاس A می‌باشد که در آن سیم‌پیچ‌ها می‌توانند تا دمای حداکثر ۱۰۵ درجه سانتیگراد گرم شوند.

یادآوری ۱- از آنجا که کلاسهای عایقی حرارتی بالاتر قادر به تحمل درجه حرارت‌های بالاتری هستند، لازم است در مورد بهبود کلاس عایقی ترانسفورماتورهای روغنی مطالعات لازم صورت گیرد تا در صورت امکان، میزان تحمل حرارتی سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور افزایش داده شود.

یادآوری ۲- ترانسفورماتورهای روغنی را با استفاده از مواد عایقی خاص می‌توان تا دمای نقطه داغ ۱۱۰ درجه سانتیگراد طراحی و استفاده نمود. محدوده‌های افزایش دمایی و بهبود رفتار حرارتی در این شرایط براساس توافق میان سازنده و خریدار در نظر گرفته شود.

۶-۱-۳ سیستم‌های خنک‌کنندگی ترانسفورماتور

۶-۱-۳-۱ ترانسفورماتورهای توزیع روغنی

سیستم خنک‌کنندگی این ترانسفورماتورها، سیستم ONAN (گردش طبیعی روغن و هوای خنک‌کننده) می‌باشد. جهت خنک کردن سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور توزیع که به علت وجود تلفات گرم می‌شود، از روغن و همچنین از روشهای مصنوعی در بدنه ترانسفورماتور جهت افزایش سطح آن استفاده می‌گردد. این روشها عبارتند از:

الف) استفاده از پره‌های قائم در بدنه ترانسفورماتور

ب) استفاده از سطوح موجی

ج) استفاده از لوله‌های با مقطع گرد یا بیضی شکل

د) استفاده از رادیاتورهای اضافی یا کمکی (شوفازی)

محاسبات نشان می‌دهد که با افزایش لوله‌های خنک‌کن یا رادیاتور، مقدار انتقال حرارتی بطور قابل ملاحظه‌ای زیاد می‌گردد و در آن صورت وزن روغن ترانسفورماتور را می‌توان کمتر اختیار نمود.

در مقایسه بین انواع ترانسفورماتورهای با قدرت نامی یکسان، روش استفاده از رادیاتور اضافی (شوفازی) بدلیل ایجاد سطح خنک‌کنندگی مناسب و قابل گسترش بودن آن مزیت بیشتری دارد.

۶-۱-۳-۲ ترانسفورماتورهای قدرت

قدرت نامی ترانسفورماتورهای قدرت بستگی به نوع سیستم خنک‌کنندگی آن دارد. پیشنهادات می‌باید برای دو نوع مختلف ارائه گردند، یک نوع با سه قدرت نامی برای حالت‌های خنک شدن طبیعی و خنک شدن با کمک تعدادی دمنده هوا و خنک شدن با کمک تعداد بیشتری دمنده هوا (ONAN, ONAF1) و ONAF2) و نوع دیگر با سه قدرت نامی برای حالت‌های خنک‌شدگی طبیعی، خنک شدن با کمک دمنده‌های هوا و خنک شدن با کمک رانش روغن همزمان با کار دمنده‌های هوا (ONAN, ONAF) و OFAF) بطوریکه هر کدام برای شرایط محیطی مشخص شده در مشخصات و جداول ترانسفورماتورها مناسب باشد.

ترانسفورماتورهای قدرت باید در مرحله اول شامل سیستم خنک شدن طبیعی روغن باشند که با گرم شدن بیشتر روغن و سیم‌پیچ توسط دو مرحله دیگر خنک‌کنندگی تداوم یابند. این دو مرحله بصورت دو گزینه مختلف دسته‌بندی می‌شود. یکی شامل دو مرحله متوالی دمیدن هوا توسط دمنده‌ها است و دیگری شامل یک مرحله دمیدن هوا و بدنبال آن مرحله رانش روغن توسط پمپ، همزمان با کار دمنده‌ها، مطابق با مقادیر مشخص شده در جداول مربوطه می‌باشد.

همه قسمت‌های سیستم خنک‌کننده باید مطابق استاندارد ISO1461 گالوانیزه شوند و بدون هر گونه نشت روغن قادر به تحمل اضافه فشار داخلی باندازه ۰/۳ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در درجه حرارت ۹۰ درجه سانتیگراد باشند.

استفاده از سیستم ONAN/ONAF ظرفیت ترانسفورماتور را در حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد نسبت به حالت ONAN افزایش می‌دهد و لذا در قدرت‌های متوسط و در همه سطوح ولتاژ کاربرد وسیعی دارد. با استفاده از طرح گردش اجباری روغن، این امکان فراهم می‌شود که درجه حرارت متوسط بالاتری برای سیم‌پیچ انتخاب گردد. برای قدرت‌های بالاتر، سیستم گردش اجباری روغن و دمیدن اجباری هوا ONAN/ONAF/OFAF بسیار مناسب است.

در یک طراحی استاندارد و متعادل، تغییر ظرفیت به میزان ۲۰ تا ۳۰ درصد به ازاء هر مرحله افزایش سیستم خنک‌کنندگی منطقی است.

یادآوری- هنگام قرار دادن ترانسفورماتور باید دقت کرد که فضای کافی در اطراف آن وجود داشته باشد تا تانک بتواند تبادل حرارتی را به خوبی انجام دهد. اگر دو ترانسفورماتور بیش از حد به هم نزدیک یا نزدیک به دیوار قرار بگیرند، فضای باز اطراف تانک محدود شده و دمای آن افزایش می‌یابد. در نتیجه

ایزولاسیون سیم پیچها و شرایط روغن دچار اشکال می‌شود. تدارک دیدن تهویه مناسب برای تمام ترانسفورماتورها ضروری است. از جاهای بسته و مکانهای کوچک تا حد امکان باید اجتناب کرد.

۶-۲ تاثیر ارتفاع از سطح دریا

۶-۲-۱ تاثیر ارتفاع از سطح دریا بر توان خروجی ترانسفورماتور

با تغییر ارتفاع از سطح دریا، فشار هوا نیز تغییر می‌کند. تغییر فشار هوا باعث تغییر قدرت خنک‌کنندگی و در نتیجه تغییر حداکثر توان خروجی ترانسفورماتور خواهد شد. ضرایب تاثیر ارتفاع از سطح دریا بر کاهش توان خروجی ترانسفورماتورها در جدول (۵) برای انواع سیستم‌های خنک‌کننده ترانسفورماتور ارائه شده است.

در حالتیکه اخذ حداکثر توان نامی از ترانسفورماتور در شرایط ارتفاع زیاد مدنظر باشد جهت جلوگیری از افزایش دمای غیرمجاز، متوسط دمای روزانه هوای خنک‌کننده نبایستی از مقادیر مندرج در جدول (۶) تجاوز نماید.

یادآوری- هنگامی که محیط خنک‌کننده فضای آزاد باشد، دمای میانگین برابر با متوسط حداکثر دمای مطلق روزانه و حداقل دمای مطلق روزانه می‌باشد. اما در فضای بسته، دمای میانگین برابر با متوسط دمای ۲۴ ساعت هوای خنک‌کننده ترانسفورماتور می‌باشد.

جدول (۵): ضرایب کاهش بارگذاری ترانسفورماتور روغنی با افزایش ارتفاع از سطح دریا

ضریب کاهش بارگذاری به ازاء هر ۱۰۰ متر افزایش ارتفاع از ارتفاع ۱۰۰۰ متر (درصد)	نوع سیستم خنک‌کننده
۰/۴	ترانسفورماتورهای روغنی که با هوا خنک می‌شوند
۰	ترانسفورماتورهای روغنی که با آب خنک می‌شوند
۰/۵	ترانسفورماتورهای روغنی که با گردش اجباری هوا خنک می‌شوند
۰/۵	ترانسفورماتورهای روغنی با گردش اجباری روغن و هوای خنک‌کننده
۰	ترانسفورماتورهای روغنی با گردش اجباری روغن و آب خنک‌کننده

جدول (۶): حداکثر مقدار مجاز متوسط دمای هوای خنک‌کننده در بار نامی با افزایش ارتفاع از سطح دریا

(درجه سانتیگراد)

				ارتفاع (متر)	
۴۰۰۰	۳۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰		
۲۳	۲۵	۲۸	۳۰	ONAN	روش خنک‌کنندگی
۲۰	۲۳	۲۶	۳۰	ONAF	
۲۰	۲۳	۲۶	۳۰	OFAF	

۶-۲-۲ تاثیر ارتفاع از سطح دریا بر ایزولاسیون خارجی

مطابق با استاندارد IEC 60076-3 چنانچه محل نصب ترانسفورماتور روغنی در ارتفاعی بالاتر از ۱۰۰۰ متر از سطح دریا باشد، طراحی بوشینگ از لحاظ فاصله خزشی فاز به زمین و فاز به فاز، بایستی مطابق با استاندارد IEC 60137 انجام پذیرد. با افزایش ارتفاع نسبت به ارتفاع ۱۰۰۰ متر از سطح دریا به بالا، استحکام دی‌الکتریکی بوشینگ‌های ترانسفورماتور که تمام یا بخشی از آنها به منظور عملکرد عایقی وابسته به هوا می‌باشند، به دلیل کاهش چگالی هوا کاهش می‌یابد.

به منظور اطمینان از اینکه ولتاژهای ایستادگی خارجی بوشینگ^۱ ترانسفورماتور برای ارتفاعات بالاتر از ۱۰۰۰ متر نسبت به سطح دریا مناسب باشند، فاصله جرکه را باید به مقدار مناسبی افزایش داد که مقدار افزایش فاصله جرکه، ۰/۱ درصد افزایش به ازای هر ۱۰۰ متر افزایش ارتفاع، نسبت به ارتفاع ۱۰۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد. به عنوان مثال برای ارتفاع ۲۸۰۰ متر از سطح دریا، افزایش فاصله جرکه برابر است با:

$$1\% \times \frac{2800 - 1000}{100} = 18\%$$

یعنی افزایش فاصله جرکه برابر با ۱۸ درصد می‌باشد. مقادیر عددی متناظر با میزان کاهش استحکام دی‌الکتریک هوا و ضرایب تصحیح میزان افزایش فاصله جرکه در ارتفاعات مختلف در جدول (۷) ارائه گردیده است.

^۱ External Withstand Voltage

جدول (۷): ضریب تصحیح استحکام دی الکتریکی برای ارتفاعات بیش از ۱۰۰۰ متر از سطح دریا

ارتفاع (متر)	ضریب تصحیح کاهش استحکام دی الکتریکی هوا	ضریب تصحیح افزایش فاصله جرقه (درصد)
۱۰۰۰	۱	۰
۱۲۰۰	۰/۹۸	۲
۱۵۰۰	۰/۹۵	۵
۱۸۰۰	۰/۹۲	۸
۲۱۰۰	۰/۸۹	۱۱
۲۴۰۰	۰/۸۶	۱۴
۲۸۰۰	۰/۸۲	۱۸
۳۰۰۰	۰/۸۰	۲۰

یادآوری- برای ارتفاع بالاتر از ۳۰۰۰ متر از سطح دریا، ضرایب تصحیح با توافق میان خریدار و سازنده تعیین می شود.

۳-۶ تاثیر باد بر استقامت مکانیکی ترانسفورماتورها

مطابق با استاندارد ترانسفورماتورهای شبکه توزیع، سرعت بادهای کوتاه مدت^۱ با احتمال وقوع ۲ درصد و در ارتفاع ۱۰ متر و با دوره زمانی ۵ ثانیه در طراحی پستها از نقطه نظر نیروهای مکانیکی وارده به تجهیزات و سازه‌ها و سایر قسمت‌ها در نظر گرفته می‌شود.

یادآوری- مطابق با استاندارد IEEE57.12.00 قرار داشتن در معرض گرد و غبارت زیاد و ساینده نظیر شرایط وزش شن بادهای شدید جزء شرایط کار غیرعادی محسوب می‌گردند که به غیر از مباحث مربوط به استقامت مکانیکی، بر روند خوردگی قطعات فلزی و آلودگی بوشینگها نیز تاثیرگذار می‌باشند.

۴-۶ ترانسفورماتورها و تاثیر آلودگی محیط بر بوشینگها

در انتخاب بوشینگ ترانسفورماتورها کاربر، می‌تواند به منظور مقابله با اثرات آلودگی و افزایش قابلیت اطمینان سیستم، با توجه به موقعیت و شرایط منطقه کارکرد و امکاناتی که در اختیار دارد، نسبت به انتخاب روش یا روشهای مناسب از میان موارد ارائه شده در ذیل اقدام نماید:

^۱ Gust Wind

۱- در انتخاب پروفیل و فواصل خزشی ویژه مربوط به پوشینگ‌های سرامیکی، باید کلیه ملاحظات مربوط به استاندارد IEC 60815 را رعایت نمود.

۲- می‌توان از پوشینگ‌هایی با فاصله خزشی ویژه بیشتر استفاده کرد. مقادیر حداقل فاصله خزشی ویژه نشان داده شده در جدول (۸)، بر اساس ولتاژ فاز به فاز نامی پوشینگ، پیشنهاد می‌شود. ممکن است لازم باشد تا این مقادیر با توجه به عواملی چون شکل، تعداد کلاهک‌ها و زاویه نصب پوشینگ تصحیح شوند.

جدول (۸): فاصله خزشی ویژه بر حسب ولتاژهای فاز به فاز با توجه به شدت آلودگی

شدت آلودگی	حداقل فاصله خزشی ویژه بر حسب ولتاژ فاز به فاز (میلی‌متر بر کیلوولت)
سبک	۱۶
متوسط	۲۰
سنگین	۲۵
خیلی سنگین	۳۱

یادآوری - مقادیر ارائه شده، حداقل فواصل خزشی مورد نیاز می‌باشد و کاربر می‌تواند با توجه به عواملی نظیر سوابق بهره‌برداری و شرایط محیطی منطقه، مقادیر بالاتری را نیز انتخاب کند.

در ارتباط پوشینگ‌های با قطرهای مختلف، رابطه ذیل برای تعیین فاصله خزشی مناسب پوشینگ‌ها باید مطابق با استاندارد IEC 60815 رعایت گردد:^۱

$$d_c = d_{sc} \times U_m \times K_D \quad (۳)$$

U_m : حداکثر ولتاژ سیستم (کیلوولت و فاز به فاز)

d_c : حداقل فاصله خزشی (میلی‌متر)

d_{sc} : حداقل فاصله خزشی ویژه (میلی‌متر بر کیلوولت)

K_D : ضریب تصحیح بر اساس قطر میانگین مقره پوشینگ بوده و به طریق ذیل انتخاب می‌گردد:

$K_D=1$: برای قطر کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر

$K_D=1/1$: برای قطر بین ۳۰۰ میلی‌متر و ۵۰۰ میلی‌متر

$K_D=1/2$: برای قطر بزرگتر از ۵۰۰ میلی‌متر

^۱ برای اطلاعات بیشتر در رابطه با موارد ارائه شده در این بند، به استاندارد IEC 60815 مراجعه گردد.

در ارتباط با فاصله خزشی، توجه به دو نکته ضروری است:

- میانگین قطر مقره پوشینگ مطابق با موارد ارائه گردیده در استاندارد IEC60815 تعیین می‌گردد.
- مشخصات مورد نیاز مقره های پلیمری هم اکنون توسط کمیته مربوطه IEC در دست بررسی و مطالعه قرار دارد.

۳- بکارگیری پوشش‌های محافظ می‌تواند منجر به بهبود خاصیت دی‌الکتریک سطح پوشینگ شود. به عنوان مثال می‌توان به پوشش‌های RTV اشاره کرد که با ایجاد یک سطح آبگریز، میزان رطوبت بر روی سطح پوشینگ را به حداقل می‌رسانند.

۴- برای پوشینگ‌هایی که عایق آنها از نوع سرامیکی و یا شیشه‌ای که غیر آب‌گریز می‌باشند، توصیه می‌شود در صورت لزوم آزمون‌های آلودگی مطابق با استاندارد IEC 60507 به شرح ذیل انجام پذیرد :

- آزمون مه‌نمکی^۱ (بخصوص برای نواحی ساحلی)
 - آزمون لایه نمکی^۲ (بخصوص برای نواحی با آلودگی صنعتی و یا ترکیبی از آلودگی صنعتی و دریایی)
- تاکنون برای پوشینگ‌های پلیمری (که خاصیت آبگریزی دارند) آزمون خاصی پیشنهاد نشده است.^۳ فقط در برخی مقالات، آزمون مه نمکی در شرایط محیطی خاص برای عایق‌های پلیمری پیشنهاد شده است و در برخی دیگر، آزمون لایه نمکی برای پوشینگ‌های پلیمری پیشنهاد شده که قابل بررسی می‌باشند.
- ۵- نصب پوشینگ‌های با عایق پلیمری که در مقایسه با عایق سرامیکی، دارای خاصیت آبگریزی بیشتر و مقاومت بالاتری در برابر آلودگی می‌باشند، می‌تواند در بهبود عملکرد پوشینگ موثر باشد.
- ۶- نصب پوشینگ‌های با لعاب نیمه‌هادی در مناطق آلوده می‌تواند در کاهش اثرات نامطلوب آلودگی بر روی پوشینگ ترانسفورماتورها موثر باشد.
- ۷- تمیز کردن دوره‌ای سطح پوشینگ‌ها، با توجه به وضعیت دوره‌ای آلودگی منطقه و نیز با توجه به برنامه زمان‌بندی شستشوی مقره‌ها می‌تواند بسیار مناسب باشد.
- ۸- نصب دستگاه‌های پایش^۴ آلودگی بصورت بهنگام و زمان حقیقی بر روی پوشینگ‌ها توصیه می‌شود. پایش آلودگی می‌تواند هم بر اساس اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و هم بر اساس اندازه‌گیری جریان نشتی باشد.

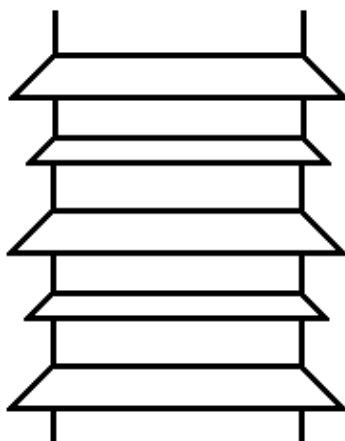
¹ Salt Fog

² Salt Layer

^۳ این امر هم اکنون توسط کمیته‌های استاندارد IEC در دست مطالعه و بررسی می‌باشد.

⁴ Monitoring

۹- استفاده از بوشینگ‌هایی که شکل پروفیل آنها، بصورت متناوب کوتاه- بلند^۱ (ALS) است، می‌تواند بسیار مفید باشد. زیرا در بوشینگ‌هایی که بصورت عمودی قرار می‌گیرند، کلاهکهای بزرگ، حفاظی برای کلاهکهای کوچک هستند. همچنین در بوشینگ‌هایی که بصورت افقی نصب می‌شوند، این نوع پروفیل خاصیت خودپالایندگی مناسب‌تری نسبت به پروفیل ضدمه دارد. پروفیل متناوب در شکل (۸) نشان داده شده است.



شکل (۸): پروفیل بوشینگ با چترک متناوب

۵-۶ تاثیر رطوبت و خوردگی اتمسفری و رنگ‌آمیزی بدنه ترانسفورماتورها

عموماً در مناطق شمالی کشور که رطوبت هوا معمولاً بیشتر از ۷۰ درصد است و همچنین در مناطق جنوبی که علاوه بر رطوبت بالا آلودگی نمکی نیز زیاد می‌باشد، بدنه ترانسفورماتورها، دریچه‌ها و محل اتصالات در معرض خوردگی سریع قرار دارند و معمولاً بعد از چند سال، آثار زنگ‌زدگی بر روی آنها ظاهر می‌گردد. از آنجا که اکسید آهن بر روی فلز نمی‌چسبد و پف می‌کند، امکان ادامه عمل اکسیداسیون تا خوردگی کامل وجود دارد. به همین دلیل اولاً باید هر چند ماه یک بار از بدنه ترانسفورماتور بازدید دقیق و کاملی به عمل آید تا نقاط زنگ‌زدگی مشخص گردد و سپس در صورت موثر بودن نقاط خوردگی، به سرعت اقدامات لازم برای رنگ نمودن دوباره بدنه ترانسفورماتور انجام شود.

رنگ روی قطعات آهنی و صفحات فولادی باید از سه لایه پوشش به ضخامت هر یک حداقل ۴۰ میکرون (حداقل ۵۰ میکرون برای آب و هوای مرطوب) تشکیل گردد که یک لایه ضدزنگ، پوشش دوم رنگ آستری و در نهایت پوشش سوم رنگی مقاوم در مقابل رطوبت، تابش آفتاب و تغییرات دما با ضخامت کلی

^۱ Alternate Long Short

۱۲۰ میکرون (حداقل ۱۵۰ میکرون برای آب و هوای مرطوب) می‌باشد. اضافه کردن لایه‌های رنگ می‌تواند با توافق صورت بگیرد.

رنگ‌آمیزی خارجی: رنگ روی قطعات آهنی و صفحات فولادی و جعبه‌ها باید از چهار لایه پوشش به ضخامت هر یک حداقل ۴۰ میکرون تشکیل گردد. یک لایه زیر رنگ اولیه، پوشش دوم و سوم روغنی غیر براق و در نهایت پوشش رنگی مقاوم در مقابل هوا با ضخامت کلی حداقل ۱۶۰ میکرون.

رنگ‌آمیزی داخلی: داخل تابلوی کنترل و تابلوهای دیگر باید با سه لایه که لایه سوم مقاومت در مقابل رطوبت باشد رنگ‌آمیزی گردد^۱.

یادآوری- بعضی مواقع، تانکهای ترانسفورماتور در اثر جوشکاری بد و چفت شدن نامناسب، ممکن است دچار نشت روغن و کاهش مقدار روغن در مخزن گردند (به ویژه در محل اتصال لوله‌های رادیاتورها به تانک ترانسفورماتور) لذا میزان حرارت قابل انتقال به خارج از ترانسفورماتور کاهش یافته و در نتیجه باعث داغ شدن و شکست الکتریکی در ترانسفورماتور می‌شود. استفاده از روشهای نوین جوشکاری می‌توانند تا حدودی این معضلات را رفع نماید.

۶-۶ ملاحظات نصب در مناطق زلزله خیز

تاسیسات پست لازم است طوری طراحی و ساخته شوند که به میزان قابل قبولی در موارد اضطراری از جمله وقوع زلزله و طوفان، تداوم بهره‌برداری از آنها حفظ شود.

در حال حاضر طراحان پستها در ایران، شتاب افقی زلزله را معمولاً ۰/۲g، ۰/۲۲۵g و یا ۰/۳g در نظر می‌گیرند که این موضوع بیانگر آن است که در صورت وقوع زلزله‌ای با شدت بیشتر از ۶ ریشتر، به احتمال زیاد بسیاری از پستهای احداث شده در نزدیکی مرکز زلزله دچار مخاطره خواهند شد.

ترانسفورماتورها و کلیه ملحقات آنها باید طوری طراحی شده باشند که نیروهای دینامیکی زمین‌لرزه را بدون هر گونه صدمه‌ای تحمل نمایند. شتابهای افقی و عمودی زلزله باید در همان جهتی هدایت و خنثی گردند که شدیدترین وضعیت بارگذاری ترانسفورماتور و ملحقات آن ایجاد می‌نماید. مقدار این شتاب در شرایط خاص، بایستی توسط خریدار مشخص گردد.

در طراحیهای جدید بایستی به طور دقیق به نکات طراحی پستها اعم از میزان شتاب زلزله، حداکثر سرعت باد و جهت آن، موقعیت جغرافیایی پست و غیره توجه کافی شود.

^۱ برای اطلاعات بیشتر در این مورد به "استاندارد جامع رنگ و پوشش" مراجعه گردد.

توصیه می‌گردد که نکات ایمنی و بستن محکم ترانسفورماتورها در حین حمل آنها کاملاً رعایت شود زیرا هر گونه حرکت یا لغزش (در بدترین حالت سقوط ترانسفورماتور) صدمات جدی به بدنه، پوشینگها و هسته و سیم‌پیچی‌های ترانسفورماتور وارد خواهد کرد.

۶-۷ سایر شرایط محیطی

۶-۷-۱ حفاظتهای جلوگیری کننده از ورود حیوانات

به علت قرار گرفتن محل پست در مناطق پرجمعیت و شهری و یا مناطقی که حیوانات در آنجا زیاد می‌باشند، احتمال ورود حیواناتی از جمله گربه و سگ به داخل محوطه پست زیاد می‌باشد و ممکن است این حیوانات وارد محل‌هایی شده و خطا بوجود آورده و باعث قطع موقت و یا طولانی مدت پست گردند. در نتیجه وجود تورهای محافظ که از ورود حیوانات به محوطه پست به خصوص ترانسفورماتورها جلوگیری کند الزامی است.

همچنین استفاده از عایق‌های پلیمری بر روی شینه‌های پست، از بروز اتصال کوتاه فازها جلوگیری خواهد نمود. این مورد جهت حفاظت در مقابل اتصال کوتاه ناشی از ورود پرندگان بسیار کارآمد می‌باشد.

۶-۷-۲ فواصل عایقی جرقه در ارتباط با پرندگان و جانوران

مطابق با استاندارد IEEE Std C57.12.00 چنانچه کاربر در ارتباط با کاهش فواصل عایقی جرقه^۱ و خطرات احتمالی ناشی از آن به علت نشست پرندگان و یا حیوانات با توجه به تجربیات قبلی نیاز به طراحی ویژه‌ای را احساس می‌نماید، بایستی در مشخصات ارسالی افزایش فاصله عایقی جرقه میان پوشینگ‌ها را درخواست نماید. این امر به ویژه در سطوح ولتاژی پایین که بطور متناسب فاصله عایقی هوایی جرقه پایین تری را دارا می‌باشند اهمیت بیشتری می‌یابد.

۷ چکیده مطالب

در جدول (۹)، چکیده مطالب در ارتباط با شرایط کارکرد عادی ترانسفورماتورهای روغنی و در جدول (۱۰)، پیشنهادات مرتبط با کاهش تاثیرات شرایط محیطی بر ترانسفورماتورهای روغنی ارائه شده است.

^۱ Clearance

جدول (۹): چکیده مطالب در ارتباط با شرایط کارکرد عادی ترانسفورماتورهای روغنی

محدوده شرایط کار عادی		عامل محیطی
مطابق با استانداردهای داخلی	مطابق با استاندارد IEC 60076	
<p>- در مناطق طبقه‌بندی شده ۱: حداکثر ۵۵+ درجه سانتیگراد حداقل ۱۰- درجه سانتیگراد حداکثر متوسط روزانه ۴۵+ درجه سانتیگراد</p> <p>- در مناطق طبقه‌بندی شده ۲ همانند استاندارد IEC با تفاوت حداقل دمای ۳۵- درجه سانتیگراد</p>	<p>حداکثر درجه حرارت: ۴۰ درجه سانتیگراد حداقل درجه حرارت: ۲۵- درجه سانتیگراد حداکثر متوسط ماهانه: ۳۰ درجه سانتیگراد حداکثر متوسط سالانه: ۲۰ درجه سانتیگراد دمای آب خنک‌کننده: ۲۵ درجه سانتیگراد</p>	شرایط دمایی محیط
<p>در مناطق طبقه‌بندی شده ۱: سیم‌پیچها ۵۰ درجه سانتیگراد سطح بالای روغن ۴۵ درجه سانتیگراد</p> <p>در مناطق طبقه‌بندی شده ۲ مشابه استاندارد IEC می‌باشد.</p>	<p>سیم‌پیچی‌ها در سیستم‌های: ON.. یا OF.. ۶۵ درجه سانتیگراد OD ۷۰ درجه سانتیگراد روغن قسمت بالای تانک ۶۰ درجه سانتیگراد</p>	محدوده افزایش دما
۱۰۰۰ متر	۱۰۰۰ متر	ارتفاع از سطح دریا
با توجه به سطح آلودگی منطقه تعیین می‌گردد	در آن حدی نمی‌باشد که تدابیر ویژه را اقتضا نماید	شدت آلودگی
شتاب ثقل زمین $g \cdot 0/3$	<p>- محیط در معرض اغتشاشات لرزه‌ای که نیاز به اتخاذ تدابیر ویژه باشد قرار ندارد.</p> <p>- سطح شتاب زمین کمتر از 2 m/s^2 می‌باشد.</p>	زمین لرزه

جدول (۱۰): پیشنهادات مرتبط با شرایط محیطی تاثیرگذار بر ترانسفورماتورها

عامل محیطی	پیشنهادات
شرایط دمایی	<ul style="list-style-type: none"> در مناطق گرمسیری: - اعمال ضرایب بارگذاری و کاهش محدوده‌های افزایش دما و یا کاهش شرایط حرارتی هوا و یا آب خنک‌کننده در سیستم‌های مربوطه - کلاس حرارتی عایقی بالاتر - افزایش سطوح تبادل حرارتی - بهبود انتقال حرارت
ارتفاع از سطح دریا	<ul style="list-style-type: none"> - اعمال ضرایب کاهش بارگذاری، افزایش دما و یا محدودیت‌های حرارتی سیستم خنک‌کننده - افزایش فاصله عایقی جرقه
شدت آلودگی	<ul style="list-style-type: none"> - پوشینگ مناسب به لحاظ جنس، فاصله خزشی و پروفایل - شستشوی با برنامه - استفاده از مواد و فلزات ضد خوردگی یا دارای پوشش
زمین‌لرزه	<ul style="list-style-type: none"> - تدابیر ویژه در ساخت و زمان نصب
سرعت باد	<ul style="list-style-type: none"> - اتخاذ تدابیر ویژه در ساخت و زمان نصب
رطوبت نسبی	<ul style="list-style-type: none"> - پوشش رنگ مناسب (نوع رنگ و ضخامت لایه رنگ و تعداد لایه‌ها) - استفاده از ترانسفورماتورهای توزیع نوع هرمتیک - استفاده از پوشینگ‌های با عایق آبگریز - حفاظت کاتدی - دقت در سیستم‌های آب‌بندی و جوشکاری - برنامه تعمیر و نگهداری
صاعقه و رعد و برق	<ul style="list-style-type: none"> - انجام آزمون ضربه ولتاژی با توجه به شدت صاعقه‌خیزی منطقه - رعایت فواصل عایقی جرقه هوایی - رعایت موارد لازم به جهت نصب برقی‌ها و سیستم ارت شبکه
حیوانات و پرندگان و موجودات بیولوژیک	<ul style="list-style-type: none"> - رعایت فواصل عایقی جرقه - استفاده از عایق‌های پلیمری بر روی شینه‌های پست - استفاده از تورهای محافظ و یا سایر ممانعت‌کننده‌های ورود حیوانات و پرندگان - تاثیر قارچها و موجودات بیولوژیک بر روی پوشینگ‌ها و بدنه ترانسفورماتور و اتخاذ تدابیر مناسب با توجه به توصیه‌های سازندگان

مراجع اطلاعاتی

- [1] K.Karsai, D.Kerenyi, L.Kiss, "Large power transformers", 1987.
- [2] Franklin, "The J&P Transformer book", 11th Edition, 1983.
- [3] Bernard Hochart, "power transformer handbook", 1987
- [4] "Corrosion protection of transformers associated switchgear and connection"-
W.S.Brook- Head of Engineering Melin Gerin Transformer Division- IEEE- 1993.
- [5] محمد رسول کریمی - حسین اعتماد رضائی - ترانسفورماتورهای هرمتیک و کاربرد آنها در شبکه توزیع - سومین کنفرانس سراسری برق - شبکه‌های توزیع - شیراز - ۱۳۷۲.
- [6] عیسی حیدری - استاندارد شرایط محیطی و طراحی ترانسفورماتورهای توزیع و قدرت روغنی هشتمین کنفرانس بین‌المللی برق - ۱۳۷۲.
- [7] سهراب فاضلی - اسدالله امیدواری‌نیا - تاثیر سوء درجه حرارت محیط در کارایی تجهیزات از جمله ترانسفورماتورها، چهارمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیرو - ۱۳۷۳.
- [8] حسین بختیاری‌زاده - بررسی اشکالات محتمل از اتصالات سخت "لوله - شمش" ترانسفورماتورها و اثرات آن، - پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق - ۱۳۶۹.
- [9] عزت سعیدی - "مروری بر فرسودگی و پیری کاغذ در ترانسفورماتورهای برق"، مجله برق شماره ۱۲.

پیوست الف. استفاده از ترانسفورماتورهای هرمتیک در شبکه توزیع

ترانسفورماتورهایی که روغن آنها با هوای آزاد هیچگونه ارتباطی نداشته و مخازن آنها کاملاً مسدود است به ترانسفورماتورهای هرمتیک مشهورند. از بهترین ویژگیهای این ترانسفورماتورها، کاهش میزان فرسودگی مواد عایقی آنها در مقایسه با ترانسفورماتورهای با منبع انبساط، به علت قطع ارتباط هوا با روغن می‌باشد. در اینگونه ترانسفورماتورها اصولاً نیازی به تعویض روغن نبوده و در نهایت مراقبت و نگهداری از آنها به مقدار زیادی کاهش می‌یابد. لزوم نصب برخی تجهیزات در این ترانسفورماتورها از بین رفته و ارتفاع ترانسفورماتور به خاطر حذف منبع انبساط کاهش قابل ملاحظه‌ای یافته است. ترانسفورماتورهای هرمتیک عموماً در مکانهایی که امکانات سرویس و نگهداری وجود نداشته و یا ضعیف باشد استفاده می‌شوند.

در میان انواع ترانسفورماتورهای هرمتیک، ترانسفورماتورهای نوع وله‌ای دارای مزایای بیشتری می‌باشند که در ذیل به آنها اشاره می‌شود:

- کاهش میزان فرسودگی روغن، عدم نیاز به تصفیه و تعویض روغن
- کاهش هزینه سرویس و نگهداری
- حذف رطوبت‌گیر
- حذف رله بوخهلتس
- حذف منبع انبساط
- حذف روغن نما
- حذف فشارشکن در مقایسه با ترانسفورماتورهای هرمتیک نوع گازی
- فشار مثبت جزئی ترانسفورماتور درحین کار مانع از نفوذ هوا و رطوبت در مواقع نشستی احتمالی به داخل ترانسفورماتور می‌گردد.
- غالباً به دلیل حذف برخی تجهیزات از لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه خواهند بود.
- مناسب جهت استفاده در مناطق ساحلی که میزان رطوبت هوا بالاست.

پیوست ب. برآورد سطوح آلودگی مناطق مختلف

جدول (ب.۱): سطوح آلودگی مناطق مختلف

سطح آلودگی	توضیحات
سبک	<ul style="list-style-type: none"> • نواحی غیر صنعتی و دارای تراکم کم منازل مسکونی مجهز به تجهیزات گرمایشی • نواحی دارای تراکم کم فعالیتهای صنعتی یا مسکونی که در معرض وزش باد و (یا) بارانهای دوره‌ای قرار دارند. • نواحی کشاورزی [اگر پاشش ذرات ناشی از کودهای شیمیایی که توسط باد منتقل می‌شوند و یا ذرات حاصل از سوزاندن محصولات کشاورزی وجود داشته باشند سطح آلودگی ممکن است بیشتر گردد] • نواحی کوهستانی <p>تمامی این نواحی باید در فاصله حداقل ۱۰ تا ۲۰ کیلومتر از دریا و در مناطقی قرار داشته باشند که مستقیماً در معرض بادهای دریایی قرار نداشته باشند.</p>
متوسط	<ul style="list-style-type: none"> • نواحی صنعتی که تولید کننده دوده‌های صنعتی نمی‌باشند، همراه با (و یا بدون) تراکم متوسطی از منازل مسکونی مجهز به تجهیزات گرمایشی • نواحی دارای تراکم زیاد فعالیتهای صنعتی و (یا) مسکونی که در معرض وزش باد و (یا) بارانهای دوره‌ای قرار دارند. • نواحی‌ای که نزدیک به ساحل دریا نیستند (حداقل چندین کیلومتر از خط ساحلی دورتر می‌باشند)، ولی موقعیت آنها به گونه‌ای است که در معرض بادهای دریایی واقع شده‌اند.
سنگین	<ul style="list-style-type: none"> • نواحی دارای تراکم زیاد فعالیتهای صنعتی و نیز نواحی واقع در حومه شهرهای بزرگ همراه با تراکم زیاد تجهیزات گرمایشی • نواحی نزدیک دریا و یا در معرض وزش بادهای نسبتاً شدید دریایی.
خیلی سنگین	<ul style="list-style-type: none"> • نواحی با گستره جغرافیایی متوسط که در معرض گرد و غبار رسانا و یا دوده‌های صنعتی خاص که رسوبی رسانا با ضخامت زیاد را ایجاد می‌کنند قرار دارند. • نواحی با گستره جغرافیایی متوسط در محدوده نزدیک به ساحل که در معرض پاشش آب دریا و یا بادهای بسیار سنگین و آلوده کننده دریایی قرار دارند. • نواحی بیابانی با دوره‌های طولانی خشک و بی‌باران که در معرض بادهای شدید حامل ذرات شن و نمک و نیز تحت شرایط چگالش (میعان) دوره‌ای قرار گرفته‌اند.
<p>یادآوری - میزان فاصله از ساحل، به عواملی چون توپوگرافی ناحیه ساحلی و نیز شرایط وزش بادهای سنگین دریایی منطقه دارد.</p>	

پیوست ج. مشخصات روغن ترانسفورماتور

روغن ترانسفورماتور یکی از مواد پر مصرف در پستهای کشور است. روغن در طول سرویس به تدریج کیفیت اولیه خود را از دست داده، ثابت دی الکتریک آن کاهش یافته و مقدار اسیدیته آن افزایش می‌یابد. درجه حرارت بالای محیط (به خصوص در استان‌های جنوبی نظیر فارس و هرمزگان)، تماس با اکسیژن هوا، و تماس با فلزات ساختمان ترانسفورماتور و نفوذ رطوبت، از عوامل فساد روغن هستند. این فرایند در نتیجه انجام عمل اکسیداسیون روغن، تشکیل آب، آلدئیدهای فرار و اسیدهای آلی سبک و یا پلیمرهای سنگین که برخی از آنها در روغن به صورت محلول می‌باشند، صورت می‌گیرد.

ترکیبات فرار در سطح فلزات و در بالای سطح روغن کندانسه شده و موجب خوردگی آنها می‌شوند. آب و اسیدهای آلی و سایر مواد پلیمری به مواد عایقی و محافظ ترانسفورماتور نظیر مواد سلولزی، لعابی، رنگی و کاغذی نفوذ کرده و ضمن واکنش با آنها، ترکیباتی از نوع الیاف یا لجن بوجود می‌آورند. ترکیبات قطبی به خصوص آب و الیاف ناشی از فساد مواد عایق ساختمان ترانسفورماتور در مجاورت یکدیگر، ثابت دی الکتریک روغن را کاهش داده و به جهت تجمع لجن غیر محلول در روغن، میزان انتقال حرارت را نیز پایین می‌آورند. کاهش میزان انتقال حرارت موجب گرم شدن موضعی برخی از قسمت‌های ترانسفورماتور می‌شود که در نتیجه آن حتی اگر شرایط غیر عادی در کار ترانسفورماتور پیش نیاید درجه حرارت روغن بالا رفته و عمل اکسیداسیون تسریع می‌شود و این امر می‌تواند تا جایی پیش رود که مقاومت عایقی روغن تا حد زیادی کاهش یابد و امکان بروز جرقه بین سیم‌پیچ‌ها و سیم‌پیچ و بدنه ترانسفورماتور را بوجود آورد. بر این اساس عوامل و پارامترهای انتخاب یک روغن با کیفیت خوب و همچنین بررسی عوامل موثر در تخریب زود هنگام روغن‌های ترانسفورماتور جهت جلوگیری از ایجاد خطا در داخل ترانسفورماتور امری ضروری خواهد بود.

همچنین جهت افزایش عمر مفید روغن، گرفتن ناخالصی‌های ناشی از فساد و اکسیداسیون روغن ضروری بوده که به طور خلاصه بهترین روش‌های تصفیه روغن نیز بیان می‌گردد.

ج. ۱. مشخصات مورد انتظار روغن ترانسفورماتور

مشخصات ذیل از یک روغن با کیفیت خوب مورد انتظار است :

- ۱- استقامت دی الکتریکی و قابلیت مقاومت الکتریکی روغن بالا باشد.
- ۲- ویسکوزیته روغن باید پایین بوده تا عمل انتقال حرارت را به طور موثر انجام دهد.
- ۳- به خاطر مسائل ایمنی نقطه آتش آن بالا باشد.

- ۴- نسبت به مواد ساختمانی ترانسفورماتور بی اثر باشد.
- ۵- در برابر درجه حرارت‌های موضعی و زیاد مقاوم باشد.
- ۶- در مقابل اکسیداسیون و تولید ترکیبات اسیدی و تشکیل لجن مقاومت نماید.
- ۷- قابلیت کاربرد در درجه حرارت‌های پایین‌تر را داشته باشد.
- ۸- عاری از هرگونه آب و ناخالصی باشد.
- ۹- ضریب تلفات عایقی آن در طول کارکرد ترانسفورماتور پایین و تغییرات آن کم باشد.
- ۱۰- خواص الکتریکی خود را در مدت زمان نسبتاً زیاد سرویس حفظ نماید.

از عوامل مذکور، استقامت الکتریکی روغن مهمترین مشخصه آن محسوب می‌شود و لذا باید عاری از هرگونه ناخالصی و به ویژه آب باشد. ناخالصی‌ها عمدتاً از فساد روغن در سرویس ناشی می‌شوند و آب ممکن است در نتیجه فساد مواد عایقی یا جذب رطوبت در مخازن ذخیره و تاسیسات ترانسفورماتور باشد. اثر این گونه ناخالصی‌ها بر روی استقامت الکتریکی روغن، در مجاورت یکدیگر بسیار شدید است.

ج.۲ تعیین نوع روغن ترانسفورماتور

در تعیین نوع روغن ترانسفورماتور یکی از مهمترین عوامل درجه حرارت نقطه ریزش می‌باشد. این درجه حرارت با اضافه کردن عددی در حدود ۵- درجه سانتیگراد به عنوان رواداری به حداقل درجه حرارت منطقه‌ای محاسبه می‌شود. روغن ترانسفورماتور باید مطابق با آخرین نشریه IEC 60296، از نوع روغن عایق استفاده نشده و بدست آمده از پالایش و تصفیه نفت باشد. این روغن باید از محصولات نفتی خالص با پایه نفتان در کلاس ۲، برای مناطق طبقه‌بندی شده در گروه C (از نظر حداقل درجه حرارت) و پایه نفتان یا پارافین در کلاس ۱، برای نیاز مناطق طبقه‌بندی شده در گروه A و B (از نظر حداقل درجه حرارت باشد) و بدون هرگونه ماده ضد اکسید کنندگی (به عبارت دیگر روغن بدون مواد افزودنی) باشد.

- ۱- مناطقی که حداقل درجه حرارت محیط آنها معادل ۴۰- درجه سانتیگراد می‌باشد: در گروه C
- ۲- مناطقی که حداقل درجه حرارت محیط آنها معادل ۳۰- درجه سانتیگراد می‌باشد: در گروه B
- ۳- مناطقی که حداقل درجه حرارت محیط آنها معادل ۲۰- درجه سانتیگراد می‌باشد: در گروه A

ج.۳ ظرف محموله روغن

- ۱- روغن ترانسفورماتور باید در بشکه‌های پر هر یک به ظرفیت حدود ۲۰۰ لیتر تحویل داده شود.
- ۲- بشکه‌ها باید نو و از مناسب‌ترین جنس و بطور کلی از نوعی باشند که عموماً در بخش نفت مورد استفاده قرار می‌گیرند.

ج.۴ اثر رطوبت در روغن ترانسفورماتور

همان طور که گفته شد در طول زمان و به دلایل مختلف مشخصات روغن ترانسفورماتورها تغییر می‌کند. یکی از عوامل مهم، جذب رطوبت توسط روغن می‌باشد که استقامت الکتریکی آن را به میزان قابل ملاحظه‌ای پایین آورده و تلفات عایقی آن را زیاد می‌کند. مقدار آبی که روغن در درجه حرارت ۲۰ درجه سانتیگراد می‌تواند در خود حل کند در حدود ۴۰ تا ۱۰۰ P.P.M^۱ است. مقادیر بیشتر آب به صورت ذرات ریز شناور در روغن و یا به صورت قطرات درشت ته‌نشین می‌گردد.

ج.۵ راههای ورود رطوبت به ترانسفورماتور و جلوگیری از آن

با توجه به مطالب بیان شده مشخص می‌گردد که رطوبت برای عایق ترانسفورماتور بسیار مضر است. رطوبت از طرفی همراه با نفس کشیدن ترانسفورماتور وارد آن می‌شود و یا این که به واسطه اکسیداسیون روغن بوجود می‌آید.

اگرچه اطلاع دقیق از مقدار رطوبت ناشی از اکسیداسیون داخلی در روغن وجود ندارد ولی مسلماً مقدار آن کم است و قسمت عمده رطوبت از طریق محیط خارج وارد ترانسفورماتور می‌گردد. مثلاً به علت خارج شدن بوشینگهای ترانسفورماتور از آب‌بندی، رطوبت و هوا وارد محفظه ترانسفورماتور می‌شود و یا در منبع انبساط روغن ترانسفورماتور که بوسیله یک صافی ساده و رطوبت گیر (سیلیکاژل)^۲ به هوای بیرون متصل است (ترانسفورماتورهایی که رطوبت‌گیر دارند) و به این ترتیب ترانسفورماتور به اصطلاح نفس می‌کشد در چنین مواردی به علت رطوبت محیط، آلودگی و امکان ارتباط با محیط بیرون، رطوبت به داخل ترانسفورماتور نفوذ می‌کند. لذا تعویض به موقع سیلیکاژل و یا خشک کردن آن بسیار مهم است. رطوبت روغن را به سادگی می‌توان در تصفیه فیزیکی به کمک حرارت و خلاء از آن گرفت، ولی خشک کردن کاغذ ترانسفورماتور کاری زمان بر و پر زحمت است و مستلزم خارج نمودن ترانسفورماتور از مدار برای مدتی طولانی می‌باشد.

تجزیه کاغذ باعث افزایش ویسکوزیته روغن و در نتیجه کاهش بازده روغن (در خنک کردن دستگاه) شده و این عمل با بالا رفتن دما (یکی از علل بالا رفتن دما، زیاد بودن دمای محیط می‌باشد که این امر در مناطق جنوب ایران خیلی زیاد است) تشدید می‌گردد.

^۱ هر P.P.M یک قسمت در میلیونیم است

ج.۶ مشخصات روغن ترانسفورماتور

مشخصات روغن ترانسفورماتورهای قدرت در جدول (ج.۱) ارائه گردیده است.

جدول (ج.۱): مشخصات روغن ترانسفورماتور

مشخصات		کلاس ۱	کلاس ۲
چسبندگی جنبشی (میلیمتر مربع بر ثانیه)	در ۴۰ درجه سانتیگراد	کوچکتر یا مساوی ۱۶/۵	کوچکتر یا مساوی ۱۱۰
	در ۲۰ درجه سانتیگراد	کوچکتر یا مساوی ۴۰	کوچکتر یا مساوی ۲۵
	در ۱۵- درجه سانتیگراد	کوچکتر یا مساوی ۸۰۰	_____
	در ۳۰ درجه سانتیگراد	_____	کوچکتر یا مساوی ۱۸۰۰
ولتاژ شکست عایقی (کیلوولت)	روغن تازه قبل از تصفیه	بزرگتر یا مساوی ۳۰ کیلوولت	
	روغن بعد از تصفیه	بزرگتر یا مساوی ۵۰ کیلوولت	
درجه حرارت اشتعال(درجه سانتیگراد)		بزرگتر یا مساوی ۱۴۰	بزرگتر یا مساوی ۱۳۰
درجه حرارت خمیری شدن(درجه سانتیگراد)		کوچکتر یا مساوی ۳۰-	کوچکتر یا مساوی ۴۵-
شکل ظاهری		رنگ روشن و بدون هر گونه مواد معلق یا ته‌نشینی	
چگالی (کیلوگرم بر دسیمتر مکعب در ۲۰ درجه سانتیگراد)		کوچکتر یا مساوی ۰/۸۹۵	
کشش سطحی (نیوتن بر متر در ۲۵ درجه سانتیگراد)		بزرگتر یا مساوی ۴۰×۱۰^{-۳}	
درجه خنثی بودن (میلی گرم پتاس بر گرم روغن)		کوچکتر یا مساوی ۰/۰۳	
خورندگی گوگردی		غیر خورنده	
مقدار آب محلول (میلی گرم بر کیلوگرم روغن)		کوچکتر یا مساوی ۴۰	
مواد افزودنی ضد اکسیدکننده		غیر قابل تشخیص	
درجه خنثی بودن (میلی گرم پتانس بر گرم روغن)		کوچکتر یا مساوی ۰/۴	
مقدار لجن روغن (درصد وزنی روغن)		کوچکتر یا مساوی ۰/۱	
ضریب تلفات (در ۹۰ درجه سانتیگراد فرکانس ۴۰ تا ۶۰ هرتز)		کوچکتر یا مساوی ۰/۰۰۵	

پیوست اطلاعاتی د. افزایش سطح خنک‌کننده

تخلیه حرارت از سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور عمدتاً از طریق جابجایی و تشعشع صورت می‌گیرد. بر اساس فرمول تجربی در خنک کردن به روش طبیعی از طریق تشعشع برابر ۶ وات بر متر مربع درجه سانتیگراد و از طریق جابجایی برابر ۶/۵ وات بر متر مربع درجه سانتیگراد تلفات حرارتی بخارج از ترانسفورماتور انتقال پیدا می‌کند، یعنی مجموعاً ۱۲/۵ وات تلفات حرارتی به ازاء یک درجه سانتیگراد در واحد سطح می‌تواند به طریق طبیعی دفع شود. بنابراین مقدار حرارت انتقال داده شده به بیرون برای یک ترانسفورماتور با سطح St برابر است با:

$$Q_f = (6 + 6/5) \cdot St \quad (1)$$

در صورتیکه سطح تبادل حرارتی ترانسفورماتور را با اضافه کردن رادیاتور یا لوله‌های خنک‌کن به تعداد X اضافه نماییم مقدار کل تلفات تخلیه شده برابر با رابطه ذیل می‌باشد:

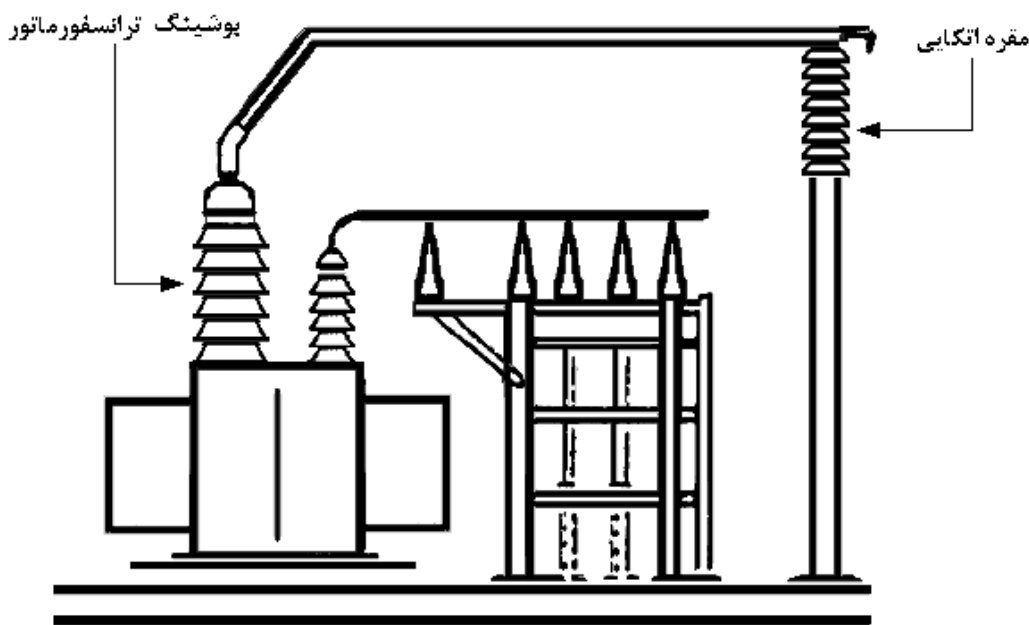
$$Q_{loss} = 12/5 St + 8/78 (X - 1) St \quad (2)$$

بعبارت دیگر بدون اینکه حجم تانک اصلی ترانسفورماتور افزایش پیدا نماید یا اینکه افزایش قابل ملاحظه‌ای در حجم روغن صورت گیرد می‌توان با افزایش رادیاتور شوماژ یا تعبیه لوله‌های خنک‌کن اضافی کار تبادل حرارت و تخلیه گرمای ایجاد شده را سرعت بخشید.

معمولاً ترانسفورماتورهای تا ۱۵۰۰ کیلوولت آمپر را با رادیاتورهای موج‌دار و قدرتهای بالاتر را با رادیاتورهای لوله‌ای می‌سازند. در صورت استفاده از لوله بمنظور خنک‌کنندگی از لوله‌های با قطر ۴۵ تا ۵۰ میلیمتر استفاده می‌شود که با توجه به قدرت ترانسفورماتور و دمای محیط، نیاز به سطح خنک‌شونده مشخص دارد که با استفاده از فرمولهای مربوطه تعداد لوله‌های مورد نیاز قابل محاسبه می‌باشد.

پیوست اطلاعاتی ه. اتصالات سخت لوله-شمش در پستها

در طراحی پستهای فشار قوی به منظور دستیابی به امکانات مناسب جهت جابجایی ترانسفورماتورها بعضاً استفاده از اتصالات لوله‌ای مورد توجه قرار می‌گیرد. معمولاً این کار بیشتر در مورد ترانسفورماتورهایی که ولتاژ ثانویه آنها ولتاژ توزیع (۱۱ و ۲۰ و ۳۳ کیلوولت) می‌باشد انجام می‌گیرد. نحوه اتصال عموماً مطابق شکل (۱.۵) است که در آن اتصالات اولیه و ثانویه در یک طرف ترانسفورماتور قرار می‌گیرند و در طرف دیگر هیچگونه وسیله ارتباطی نصب نمی‌گردد. در این حالت طبیعی است که ولتاژ ثانویه در یک رده پایین‌تر از سطح ولتاژ اولیه قرار گرفته و به منظور حفظ فواصل مجاز بین این دو سطح ولتاژ استفاده از اتصالات سخت لوله-شمش مناسب‌ترین شکل ارتباط خواهد بود. اما این نوع اتصالات مشکلات خاصی را بوجود می‌آورند که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.



شکل (۱.۵): یک نمونه از اتصالات لوله‌ای ترانسفورماتور

با توجه به شکل (۱.۵) می‌توان مشاهده نمود که محل اتصال لوله در یک طرف پوشینگ ترانسفورماتور و در طرف دیگر مقره اتکایی است. در طراحی جهت مقابله با حرکتها و نیروهای ناشی از انقباض و انبساط لوله، حداقل در یک طرف (طرف مقره اتکایی) از اتصال دهنده نوع لغزنده^۱ استفاده می‌شود. با توجه به مکانیزم عمل این نوع اتصال دهنده‌ها متأسفانه به مرور زمان و در اثر فشار ناشی از وزن لوله و حرکت آن،

^۱Sliding

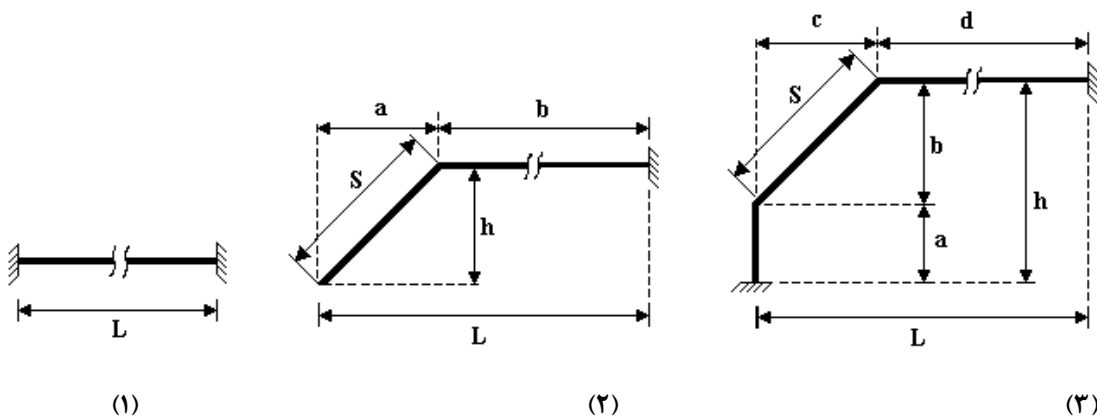
اصطکاک زیادی در نقاط لغزنده بوجود می‌آید و رسوب گرد و غبار و آلودگی‌های موجود در هوا به خصوص گرد و غبار ناشی از مواد و مصالح ساختمانی چون سیمان که از چسبندگی بالایی برخوردار می‌باشند، باعث می‌گردد که این اتصالات از حالت لغزندگی خارج شده و به صورت اتصال ثابت درآیند. این مشکل بعضاً در اثر خارج شدن لوله اتصال از حالت افقی و قرار گرفتن در وضعیت مورب که ناشی از عدم اجرای صحیح فونداسیون‌ها و عملکرد برخلاف تولرانس‌های مجاز می‌باشد شکل حادثی به خود می‌گیرد.

نیروهای بوجود آمده ناشی از تنشها قبل از آن که بتوانند بر روی مقره اتکایی تاثیر بگذارد، تاثیرات عمده‌ای بر روی پوشینگ‌های ترانسفورماتور ایجاد می‌نمایند (به علت تحمل زیادتر مقره‌های اتکایی) و با تغییر وضعیت نامحسوس قرارگیری پوشینگ‌ها از این فاصله بدون هیچگونه نشتی روغن که می‌تواند به منزله اعلام خطری باشد، در مواقع گرم و سرد شدن روغن (اصطلاحاً نفس کشیدن ترانسفورماتور)، رطوبت و ذرات ناخالصی وارد روغن ترانسفورماتور می‌گردد.

لذا با توجه به آنچه بیان گردید در مواردی که بنا بر ملاحظاتی، قراردادن اتصالات در سطح ولتاژ ترانسفورماتور در یک طرف آن مورد نظر باشد، پیشنهاد می‌گردد به یکی از روشهای ذیل عمل گردد:

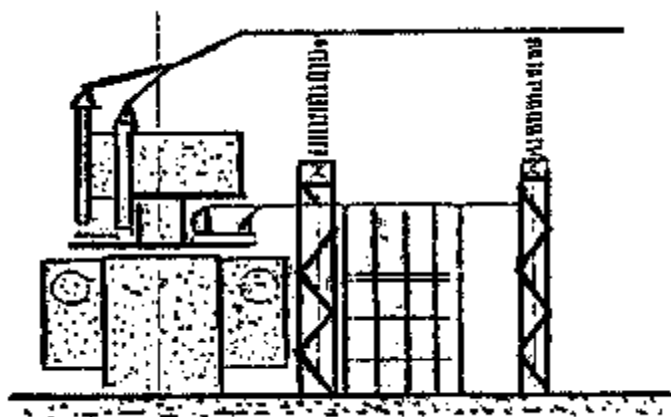
۱- انجام اتصالات به یکی از دو شکل (۲-۲.۵) و (۳-۲.۵) به جای فرم (۱-۲.۵).

فرم (۳- ۲.۵) از همه مناسب‌تر است و نیروهای تنشی کمتری به سر پوشینگها وارد می‌کند.



شکل (۲.۵): اتصالات اصلاحی لوله

۲- انجام اتصالات مطابق با شکل (۳.۵) که لوله ارتباطی بر روی دو مقره اتکایی قرار گرفته و اتصال بین لوله و پوشینگها توسط سیم انجام می‌شود.



شکل (۳.۵): شکل مناسبی از اتصالات لوله به همراه سیم