

عارضه‌یابی ترانسفورماتورهای معیوب در کارگاه ترانسفورماتور به روش RCA و ارائه راهکارهای جلوگیری از خسارات وارده

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۰

کد مقاله: ۱۰۴۳۶

پویان دنیاران^۱

چکیده

مهم‌ترین و بارزترین تجهیزات در سیستم‌های قدرت ترانسفورماتور می‌باشد. در صورت بروز عیب در این تجهیز، خسارت جبران‌ناپذیری به شبکه و مشترکین برق وارد می‌شود. با توجه به اهمیت و جایگاه ترانسفورماتور در شبکه‌های توزیع برق بایستی در تمامی مراحل طراحی، با انجام بازدید و سرویس‌های دوره‌ای از بروز حوادث در ترانسفورماتورها جلوگیری شود. در صورت بروز عیب جزئی در ترانسفورماتور و عدم شناسایی و رفع عیب، این عیوب به تدریج گسترش یافته و تشدید می‌گردد تا جایی که باعث تخریب عایق، سیم‌پیچ و ... در ترانسفورماتور می‌گردد. به همین منظور در این پژوهش به بررسی تحلیلی و عملیاتی علل سوختگی ترانسفورماتورها پرداخته می‌شود و این بررسی از طریق روش تحلیل علل ریشه ای (Root Cause Analysis) که به اختصار RCA نامیده می‌شود صورت می‌پذیرد.

واژگان کلیدی: ترانسفورماتور، تحلیل علل ریشه ای (RCA)، سوختگی.

۱- مقدمه

ترانسفورماتور ها وسایلی هستند که برای انتقال انرژی به وسیله القای الکترومغناطیسی بین ۲ یا مدار های بیشتر استفاده می شود و می تواند ولتاژ کم را به ولتاژ زیاد و بالعکس تبدیل نماید. خرابی ترانسفورماتور در صنعت برق، یک پدیده ناگهانی نیست و هر عیب و نقصی در ترانسفورماتور خودش را با هشدار هایی نشان می دهد، اگر به این هشدار ها توجه نشود، خرابی در ترانس بوجود می آید، بنابراین پرسنل باید هوشمند باشند و به هشدارها توجه کنند تا عیوب ترانس بیشتر نشود و قابل استفاده باقی بمانند. به طور کلی عوامل بسیاری از قبیل بهره برداری نادرست، عدم انجام کنترل های دوره ای و عدم نگهداری صحیح ترانسفورماتورها که عمدتاً از عدم آگاهی بهره برداران و نبود اطلاعات جامع در خصوص ترانسفورماتور ها ناشی می گردد، از عواملی هستند که می توانند ترانسفور ماتور را در شرایط بحرانی قرار داده و در بیشتر موارد موجب خارج شدن ترانسفورماتور از شبکه شوند که در برخی موارد باعث خسارات اقتصادی بزرگ و جبران ناپذیری به خصوص برای صنایع می گردد. برای پیشگیری از خارج شدن ترانسفورماتور و توقفات ناخواسته آن، مانیتورینگ دقیق و نگهداری مناسب از ترانسفورماتور ضرورت می یابد. با توجه به تحقیقات انجام شده بر روی کارکرد ترانسفورماتور ها بیشترین عیب های به وجود آمده در زمان بهره برداری از ترانسفورماتور ها و در زمان پیری آنها اتفاق می افتد و نکته جالب توجه در این تحقیقات این است که عیب های حادث شده در زمان بهره برداری نسبت به زمان پیری ترانسفورماتورها بیشتر است. وقوع خطا، عدم بازدید دوره ای، نصب نامناسب و... گاهی اوقات باعث خرابی تجهیزات شبکه می گردد. یکی از این تجهیزات ترانسفورماتور می باشد که نقشی مهم در تغذیه مشترکین ایفا می کند. بررسی دلایل وقوع این خرابی ها می تواند در این زمینه مثر ثمر واقع شود روش تحلیلی RCA روشی نظام مند برای شناسایی و تحلیل علل ریشه ای خرابی در تجهیزات (ترانسفورماتور ها) است که در این پروژه می بایست مورد استفاده قرار گیرد. به کارگیری روش RCA در این پروژه (روش نظام مند برای شناسایی علل ریشه ای بروز خرابی در ترانسفورماتور ها) برای اولین بار در تحلیل مورد استفاده قرار گرفته است. سیستم قدرت AC یک شبکه پیچیده ای است و به دلیل از بین رفتن عایق، خرابی ها در ترانسفورماتور باعث ضرر های مالی بسیار ناشی از قطعی برق می شود این پژوهش، جهت کاهش آمار این ترانسفورماتورها تمرکز داشته و تحلیل خرابی آنها را مد نظر دارد. خرابی ها در ترانسفورماتور می تواند بسیار خطرناک باشد به علت اینکه ترانسفورماتور ها شامل مقدار زیادی روغن در اتصال مستقیم با قطعات ولتاژ بالا هستند، این موضوع خطر آتش سوزی و انفجار را به دلیل خرابی ها افزایش می دهد.

۲- پیشینه تحقیق

مراجع [1-3] علل ریشه ای که به خرابی های ترانسفورماتور نسبت داده شده را آنالیز کرده اند و خرابی های ترانسفورماتور را به ۳ دسته الکتریکی، مکانیکی، گرمایی تقسیم کرده اند. این خرابی ها به دلایل درونی (رطوبت، اکسیژن، گرمای بیش از حد و...) و بیرونی (عیب های سیستم (اتصال کوتاه)، اضافه بار سیستم، عملکرد سوئیچینگ سیستم و...) بوجود می آید. خرابی ترانس می تواند در هسته، سیم پیچ، تانک، عایق، روغن ترانس، بوشینگ ها رخ می دهد. [4,5]، ۳۴ درصد خرابی ها در سیم پیچ ها، ۲۱ درصد در تانک، ۲۰ درصد در بوشینگ و ۵ درصد در هسته ترانس اتفاق می افتد [6]. مرجع [7] سه نوع تست قبل از عملیاتی شدن ترانسفورماتور (تست های معمول، تست های انواع، تست های ویژه) را مطرح کرده است. روش های تشخیص مشترک برای بررسی شرایط ترانسفورماتور ها شیمیایی، الکتریکی، مکانیکی، نوری و گرمایی است. روش تشخیص شیمیایی آنالیز گاز های محلول (DGA)، ولتاژ شکست است که محبوب ترین روش تشخیص است. مرجع [8] ۵ نوع تجزیه و تحلیل عیوب ترانس (تست دوره ای، خدمات، عملیات حفاظتی، مشکلات عایق و عیب های بوشینگ) را بیان می کند.

۳- روش تحقیق

پس از مطالعات مقالات، انواع خرابی ترانسفورماتور ها بررسی شد با گروه های عملیاتی مختلف شرکت توزیع نیروی برق به بازدید از شبکه در مباحث مختلف (روشنایی، ترموگرافی، بازدید از شبکه فشار متوسط وضعیف و پست های هوایی و زمینی) پرداخته شد و در این میان از تجربیات همه افراد درباره ترانسفورماتور ها استفاده گردید. از ترانس های خراب و قدیمی موجود در انبار شرکت جهت بررسی دقیق تر و آشنایی نزدیک تر و قابل لمس تر استفاده شد و همچنین یک آمار کلی از خرابی های ترانسفورماتور با حضور در کارگاه ترانس گرفته شد. با مصاحبه با اعضای کمیته ترانس سوختگی، آمار دقیقی از دلایل سوختگی و خرابی ترانس گرفته شد. مبنای راه حل یابی پروژه براساس روش ریشه یابی (RCA) می باشد. راهکار هایی برای کاهش سوختگی ترانسفورماتور و همچنین کاهش سوختگی و خرابی قطعات ترانسفورماتور ارائه شد.

۴- یافته‌های پژوهش

بروز عیب در ترانسفورماتورها به دلایل مختلفی روی می‌دهد که هر عیب با توجه به شکل بروز آن منشا مختلفی داشته و تاثیر متفاوتی نیز به کارایی و عملکرد و طول عمر ترانسفورماتور خواهد داشت، بنابراین دسته بندی معایب در عیب یابی و پیشگیری از بروز عیب تاثیر گذار بوده، برای همین در این بخش عوامل اصلی سوختگی ترانسفورماتورها ارائه میشود و همچنین راهکار هایی برای کاهش سوختگی بیان میشود.

۴-۱- عوامل اصلی سوختگی ترانسفورماتورهای توزیع

سه عامل دستکاری و تجاوز از قدرت، عمر بالا و رعد و برق عوامل اصلی سوختگی ترانسفورماتورهای توزیع هستند. در این بخش جداول علت و معلولی RCA دستکاری و تجاوز از قدرت، عمر بالا و رعد و برق رسم شده و همچنین راهکار هایی برای هر کدام ارائه شده است.

جدول ۱) علل اصلی سوختگی ترانسفورماتور های توزیع

زیر علت سطح ۱	زیر علت سطح ۲	عوامل اصلی سوختگی ترانسفورماتور های توزیع
دستکاری و تجاوز از قدرت	بارگذاری بیشتر از توان نامی ترانس	
	افزایش تلفات ترانس	
	بوجود آمدن جریان گردشی در حالت بی باری و افزایش تلفات مسی ترانسفورماتور	
رعد و برق	افزایش شدید حرارت در تپ چنجر	
	تخلیه بر روی شبکه (خط)	
عمر بالا	برخورد مستقیم صاعقه به پوشینگ یا بدنه ترانسفورماتور	
	پیری عایقی (به مرور)	
	وقوع حوادث (به یکباره)	

جدول ۲) علت و معلولی علل ریشه ای (RCA) دستکاری و تجاوز از قدرت دستکاری و تجاوز از قدرت

زیر علت ۲	زیر علت ۳	زیر علت ۴	زیر علت ۵	زیر علت ۶	راهکار
دستکاری و تجاوز از قدرت	بارگذاری بیشتر از توان نامی ترانس	همزمانی واحد های پرمصرف صنعتی در استارت واحدها	اشتباه محاسباتی	اشتباه مهندس محاسب	تعویض ترانس با ظرفیت بالاتر/ نصب ترانس موازی
			توسعه کارخانه یا واحد صنعتی	افزوده شدن واحد جدید	نصب ترانس موازی
			نصب ترانس با ظرفیت کمتر از ظرفیت نامی	صرفه جویی در هزینه اولیه واحد صنعتی	نظارت شرکت توزیع در انتخاب صحیح ترانس برای واحد صنعتی با توجه به میزان بار پیش بینی شده یا واحدهای مشابه نصب ترانس موازی
			تغییر برنامه واحد های پر مصرف جهت جلوگیری از فول بار شدن ترانس در صورت امکان	زمان بندی اشتباه در استارت واحدهای پر مصرف	تغییر برنامه واحد های پر مصرف جهت جلوگیری از فول بار شدن ترانس در صورت امکان
	تغییر الگوی مصرف واحد	توسعه و رشد بار صنعتی	تغییر کاربری واحد صنعتی	استخراج دیجیتال	نصب ترانس موازی/ تعویض ترانس با ظرفیت بالاتر
			در نظر نگرفتن ظرفیت توسعه پیش بینی ها	اشتباه محاسباتی در هنگام طراحی	تغییر ترانس یا افزودن ترانس موازی
	برق دزدی توسط مشترکان خرد (کابل انداختن غیر مجاز بر روی شبکه توزیع)	استخراج توسط پمپ های کشاورزی غیر	استخراج از پمپ های غیر	جایجایی سیم زیر کنتور/ گرفتن برق مستقیم از تیر برق/ دستکاری سیستم	بررسی میزان مصرف فیدر توسط شرکت توزیع. در صورتی که الگوی مصرف به صورتی تغییر کند که توجه پذیر نباشد، به احتمال زیاد

راهکار	زیرعلت ۶	زیرعلت ۵	زیرعلت ۴	زیرعلت ۳	زیرعلت ۲
مصرف کننده غیر مجاز به ترانس های محدوده متصل شده است که باید با بررسی و پایش و هوشیاری کارکنان توزیع کشف شود.	کنتور هوشمند با نرم افزار و کابل مخصوص / دستکاری تیغه پشت کنتور آنالوگ / استفاده از آهنربا در کنتورهای آنالوگ و غیره	مجاز	عدم رعایت الگوی صحیح مصرف توسط مصرف کنندگان		
		مشترکین خانگی غیر مجاز			
	روشن نمودن وسایل پر مصرف نظیر لباسشویی و ظرفشویی و اتو	مصرف زیاد انرژی در ساعات اوج مصرف برق			
انجام آموزش به مشترکین جریمه مشترکین پر مصرف	تنظیم کولر گازی بر روی دماهای بسیار پایین	استفاده از لوازم برقی خانگی پر مصرف	مصرف نامتعارف انرژی حتی با رعایت الگوی مصرف		
محاسبه قیمت تصاعدی در زمان اوج بار					
انجام آموزش به مشترکین جریمه مشترکین پر مصرف	بازدهی پایین لوازم برقی	استفاده از لوازم برقی خانگی پر مصرف	مصرف نامتعارف انرژی حتی با رعایت الگوی مصرف		
محاسبه قیمت تصاعدی در زمان اوج بار					
ایجاد تعادل و تقارن در توزیع فازهای خروجی ترانس توزیع بین مشترکان تک فاز	-	عدم رعایت تناسب در توزیع فازها در یک محله	بارگیری بیشتر یک فاز از سایر فازها		
بازرسی و یافتن برق دزدی و برخورد قانونی با مشترکان متخلف	-	برق دزدی برخی مشترکان از پشت کنتور			
بررسی شبکه و نصب ترانس جدید در صورت نیاز	افت ولتاژ در طول مسیر	طولانی بودن شعاع تغذیه ترانس			
تعویض خازن های معیوب در زمان سرویس سالیانه	کاهش ظرفیت خازن	خرابی خازن های بانک خازنی	ناشی از عدم جبران توان راکتیو	افزایش تلفات ترانس	
تعویض سلول معیوب و در مدار آوردن بانک	عملکرد فیوز داخلی یا خارجی سلول های معیوب	از مدار خارج شدن بانک خازنی واحد صنعتی			
جایگزینی سلول های آسیب دیده و در مدار آوردن بانک	نشست روغن از سلول ها در بانک های با خازن های روغنی				
افزایش ظرفیت بانک خازنی	-	عدم تناسب ظرفیت بانک خازنی با میزان رشد بار			
نصب بانک خازنی با ظرفیت متناسب	-	عدم نصب بانک خازنی برای مصرف کننده صنعتی			
نصب ترانس های مخصوص در کارخانه هایی با بارهارمونیکی (مخصوص کارخانه های فولاد/ ذوب آلومینیوم/ فروسیلیس و ...)	کوره القایی / کوره قوس الکتریکی / نصب کوره القایی	احداث واحدهای جدید هارمونیکی توسعه واحدهای	ناشی از تلفات هارمونیکی		

زیرعلت ۲	زیرعلت ۳	زیرعلت ۴	زیرعلت ۵	زیرعلت ۶	راهکار
			هارمونیکی	کوره قوس الکتریکی	
			عدم وجود فیلتر هارمونیکی	-	نصب فیلتر هارمونیکی پس از بررسی توسط دستگاه کیفیت توان
			فیلتر هارمونیکی نامناسب	اشتباه محاسباتی توسعه واحدهای هارمونیکی زا	انجام محاسبات مجدد با توجه به شرایط و افزودن یا تغییر فیلتر هارمونیکی
			کیفیت ساخت ترانس	-	تعیین حداکثر میزان مجاز تلفات ترانس در هنگام سفارش گذاری
	افزایش تلفات غیر هارمونیکی	موازی نمودن دو ترانس با مشخصات متفاوت (امپدانس درصد متفاوت)	ایجاد جریان گردشی بین دو ترانس		نصب دو ترانس مشابه یا حتی از یک برند توصیه می گردد.
			عدم دبی مناسب ها	عدم دبی مناسب فن ها	تعویض فن ها با فن های دارای دبی بالاتر و مناسب
			خرابی فن های اتاق محل نصب	خرابی فن های اتاق مناسب صنعتی	تعویض فن های اتاق با فن های مناسب صنعتی
			محیط سرپوشیده بدون گردش هوا	نقص فنی فن ها (کارکردن با سرعت نامناسب / خرابی بلبرینگ / نیم سوز شدن موتور فن)	تعویض فن های فرسوده
			روشن نکردن فن ها	اتوماتیک کردن فن های اتاق ترانس	
			دستکاری تابلو فن	-	بررسی تابلو فن و رفع نقص آن
			قدیمی بودن روغن	عدم اطلاع اپراتور از لزوم بررسی وضعیت و کیفیت روغن (معمولا در کارخانجات)	تعویض روغن توسط افراد آموزش دیده
			عدم قرار گیری محل تعیین شده و وجود مقداری فاصله در نقاط اتصال و بروز تخلیه الکتریکی در محل مورد نظر	عدم تخصص کافی اپراتور جهت جابجایی تپ	تغییر تپ توسط افراد آموزش دیده
			گسستگی تپ چنجر در یک فاز و عدم تغییر هماهنگ همه تپ های سه فاز در ترانس توزیع	تغییر موقعیت تپ از ۱ به ۳ (در ترانسفورماتورهای دارای سه تپ) و برعکس، جهت درگیر نمودن تمامی پله ها در هنگام تغییر تپ اندازه گیری ولتاژ قبل و بعد از تغییر تپ	تغییر موقعیت تپ از ۱ به ۳ (در ترانسفورماتورهای دارای سه تپ) و برعکس، جهت درگیر نمودن تمامی پله ها در هنگام تغییر تپ اندازه گیری میزان مقاومت اهمی سیم پیچ اولیه در صورت برخورد با موارد مشابه
			کاهش انتقال حرارت تپ چنجر به عایق روغن	سطح روغن از سطح تپ چنجر نیز پایین آمده و باعث عدم غوطه وری کلید تنظیم ولتاژ در روغن می شود	کنترل میزان سطح روغن ترانسفورماتور و افزودن روغن

جدول ۳) علت و معلولی علل ریشه ای (RCA) رعد و برق (برخورد صاعقه)

زیر علت ۲	زیر علت ۳	زیر علت ۴	زیر علت ۵	زیر علت ۶	راهکار	
برخورد صاعقه	تخلیه بر روی شبکه (خط)	عدم عملکرد مورد انتظار برقگیر با مشخصات مناسب	عدم تطابق مشخصات برقگیر انتخاب شده با مشخصات مورد نیاز	عدم تعویض برقگیر معیوب توسط اکیپ PM	انجام تست‌های مقاومت عایقی و جریان نشستی در سرویس‌های سالیانه جهت تشخیص عیوب برقگیر	
				خرابی قرص‌های ZNO به دلیل عمر طولانی	تعویض برقگیر معیوب	
				خرابی قرص‌های ZNO به واسطه عملکرد در حوادث و دمپ اضافه ولتاژهای گذرا	تعویض برقگیر معیوب	
				فاصله نامناسب شاخک برقگیر	عدم تنظیم مناسب شاخک‌های برقگیر توسط اکیپ PM آموزش اکیپ PM جهت تنظیم مناسب شاخک برقگیر	
				قطع ارتباط برقگیر با چاه ارت	چاه ارت با امپدانس بالا بررسی و ترمیم کابل ارتباطی دزدی کابل ارتباطی با چاه ارت	
				مشخصات نامناسب برقگیر	محاسبات اشتباه در هنگام طراحی	محاسبه مجدد مشخصات برقگیر مورد نیاز و تعویض برقگیر قدیمی
				عدم عملکرد مورد انتظار برقگیر با مشخصات مناسب	محاسبات اشتباه در هنگام طراحی	انجام محاسبات مجدد و نصب برقگیر در فاصله مناسب از ترانسفورماتور
				در فاصله مناسب از ترانسفورماتور	نصب با فاصله نامناسب توسط پیمانکار	بررسی و بازدید در هنگام تحویل‌گیری و الزام پیمانکار به نصب برقگیر در فاصله مناسب از ترانسفورماتور
				عدم نصب برقگیر در هنگام نصب ترانسفورماتور	اشتباه پیمانکار در هنگام نصب	بررسی و بازدید در هنگام تحویل‌گیری و الزام پیمانکار به نصب برقگیر مناسب برای ترانسفورماتور
				عدم وجود برقگیر برای ترانسفورماتور	حذف شاخک برقگیر ترانسفورماتور	عدم جایگزینی برقگیر ZNO به جای شاخک برقگیر
عدم جذب رعد و برق به سیم‌گارد و اصابت به شبکه	عدم وجود صاعقه‌گیر مناسب	عدم نصب سیم‌گارد	عدم حفاظت نامناسب توسط سیم‌گارد	معمولا در خطوط توزیع نصب نمی‌شود	نصب سیم‌گارد در خطوط توزیع ۲۰ کیلوولت با ریسک اصابت زیاد	
				حفاظت نامناسب توسط سیم‌گارد	مقاومت زیاد چاه متصل به سیم‌گارد	کاهش مقاومت چاه
				عدم کارایی مناسب سیم‌گارد	محاسبات اشتباه اجرای اشتباه	محاسبات توسط افراد خیره اجرا توسط افراد مجرب
				عدم حفاظت ترانس‌های توزیع با سیستم	عدم در نظر گرفتن شرایط محیط نصب	نصب صاعقه‌گیر مناسب یا حفاظت توسط سیم‌گارد

زیر علت ۲	زیر علت ۳	زیر علت ۴	زیر علت ۵	زیر علت ۶	راهکار
	صاعقه به پوشینگ یا بدنه ترانسفورماتور	عدم حفاظت توسط سیم گارد	های گارد یا صاعقه گیر به دلیل هزینه زیاد		
		کارکرد نامناسب سیم گارد		امپدانس بالای سیستم ارت	کاهش امپدانس چاه ارت با افزودن مواد کاهنده (LOM) احداث چاه ارت جدید تأمین رطوبت چاه ها افزودن راد به شبکه ارت
			عدم جذب صاعقه	قطع ارتباط با سیستم ارت	بررسی پیوستگی در زمان سرویس های سالیانه و رفع نقص در صورت لزوم
	کارکرد نامناسب صاعقه گیر			محل نصب نامناسب سیستم گارد یا صاعقه گیر	تغییر محل نصب با در نظر گرفتن محاسبات انجام گرفته بر اساس استانداردها
				فاصله زیاد و نامناسب با ترانس	کاهش فاصله با ترانس، با در نظر گرفتن محاسبات انجام گرفته بر اساس استانداردها

جدول ۴) علت و معلولی علل ریشه ای (RCA) عمر ترانس

زیر علت ۲	زیر علت ۳	زیر علت ۴	زیر علت ۵	زیر علت ۶	راهکار
			بهره برداری نامناسب	بار بیش از توان نامی (برق دزدی، استخراج رمز ارز و غیره)	بهره برداری صحیح و محدوده توان نامی ترانس
				تعویض دیر هنگام روغن	بررسی کیفیت روغن و تعویض به موقع آن
				عدم تصفیه به موقع روغن	تصفیه به موقع روغن
				بار هارمونیک	فیلتر گذاری یا تعویض ترانس
				بار نامتقارن	بررسی و رفع نقص
		پایین آمدن خاصیت دی الکتریک کاغذ کرافت	پایان عمر بهره برداری	-	تعویض ترانس
			تنش حرارتی	عدم کارکرد مناسب فن ها	بررسی و سرویس فن ها در زمان سرویس سالیانه
				مشخصات نامناسب برای آب و هوا	انتخاب ترانس مناسب برای شرایط آب و هوایی
			گرمای شدید نقطه ای	وجود رسوبات و لجن در اطراف هسته	تصفیه فیزیکی و شیمیایی روغن و در صورت لزوم تعویض روغن
				وقوع اتصالی خارجی	محدود شدن جریان اتصالی با پاک کردن سریع خطا
					به حداقل رساندن وقوع اتصالی ها
				برخورد صاعقه به ترانس	قرار دادن برقگیر در فاصله مناسب از ترانس
				برخورد صاعقه به خط	قرار دادن برقگیر در فاصله مناسب از ترانس
				کلید زنی در شبکه	
				ورود و خروج بارهای بزرگ	-
				خرابی سیلیکاژل	تعویض سیلیکاژل
				شکستگی محفظه سیلیکاژل	بررسی و تعویض محفظه در صورت لزوم
				سیلیکاژل بی کیفیت	استفاده از سیلیکاژل با کیفیت استاندارد مخصوص ترانس (آبی رنگ)
				از طریق بدنه ترانس	رفع نشتی بر روی بدنه

زیر علت ۲	زیر علت ۳	زیر علت ۴	زیر علت ۵	زیر علت ۶	راهکار		
			آلودگی روغن	آلودگی فیزیکی	نمونه گیری و انجام تست دوره ای کیفیت روغن ترانس / استفاده از روغن های دارای تأییدیه و با کیفیت / انجام تصفیه فیزیکی و شیمیایی در صورت لزوم / انجام تست دوره ای مقاومت عایقی روغن ترانس		
				آلودگی شیمیایی			
				رسوب و لجن			
ذرات معلق							
				تخلیه جزئی			
			عایقی در کاغذ یا روغن / اضافه ولتاژ گذرا	وقوع اتصالی حلقه به حلقه	لزوم بررسی خسارت وارد شده و در صورت لزوم تعمیر یا تعویض ترانس		
				وقوع اتصالی سیم پیچ به سیم پیچ			
				وقوع اتصالی سیم پیچ به بدنه			
عمر ترانس	وقوع حوادث (به یکباره)	انفجار ترانس	برق‌دار شدن ترانس ۲۰ با ولتاژ بالا	سقوط هادی برق‌دار خط ۶۳ کیلوولت یا بیشتر بر روی خط ۲۰ در مناطق کراس خطوط	دوبل نمودن زنجیره مقرر در نقاط کراس		
				سقوط هادی خطوط ۶۳ کیلوولت یا بیشتر جایی که خط ۲۰ در امتداد خط ۶۳ عبور کرده است.	دوبل نمودن زنجیره مقرر در خطوط ۶۳، ۲۳۰ و ۴۰۰ عبور نموده از شهر استفاده از کابل خود نگهدار در خطوط ۲۰ که در امتداد خطوط ۶۳ قرار دارند.		
			اتصال به زمین خطوط ۲۰	اتصال به واسطه قرار گرفتن درختان در حوزه برق‌دار	سرشاخه زنی درختان در محدوده خطوط		
				اتصال به واسطه پرندگان	ریکم کاری فاز وسط در نقاط پر حادثه استفاده از کابل خود نگهدار		
				وقوع اتصالی شدید در داخل ترانس	-		
			اتصال فاز به فاز	اتصال روی خط به واسطه پرندگان	ریکم کاری فاز وسط در نقاط پر حادثه		
				اتصال شدید در داخل ترانس سایر انواع اتصالاتی های فاز به فاز (روی بوشینگ)	استفاده از کابل خود نگهدار		
			سوختن ترانس توزیع		وقوع آتشسوزی	مراتع	جلوگیری از وقوع آتشسوزی / قرار گرفتن ترانس در محدوده های ایمن تر
						مناطق جنگلی	
						تصادفات جاده ای	
مناطق مسکونی							
مناطق تجاری							
تحمیل توان بیش از مشخصات نامی		گرمای شدید	گرمای شدید هوا	نصب ترانس هایی با کلاس حرارتی بالاتر در مناطق گرمسیر			
			مجاورت با تجهیزاتی که از خود گرما ساطع می کنند	نصب ترانس در محدوده ای ایمن نسبت به تجهیزات دیگر			
			برق دزدی	جلوگیری از برق دزدی			
			رشد بار	تعویض ترانس			

۵- نتیجه گیری

افزایش تلفات ترانسفورماتور ناشی از عدم جبران توان راکتیو، وجود تلفات هارمونیک یا غیر هارمونیک، تهویه نامناسب یا کیفیت نامناسب روغن ترانسفورماتور و نیز بوجود آمدن جریان گردشی در حالت بی باری و افزایش تلفات مسی ترانسفورماتور از

عواملی است که تجاوز از قدرت نامی ترانسفورماتور را تسهیل می کند. برخورد صاعقه به دو صورت تخلیه بر روی خط یا برخورد مستقیم صاعقه به پوشینگ یا بدنه ترانسفورماتور می باشد که بر اثر عدم وجود سیم گارد یا صاعقه گیر یا فاصله ناکافی سیم گارد از تجهیز تحت حفاظت یا تعداد صاعقه گیر ناکافی و یا امپدانس بالای مقاومت زمین متصل به سیم گارد و صاعقه گیر، به شبکه اصابت کرده و نبود برقگیر یا مشکل در عملکرد صحیح برقگیرها زمینه ساز عبور موج صاعقه، بروز عیب و آسیب رسیدن به ترانسفورماتور می گردد. آسیب های وارد شده به ترانسفورماتور در طی مدت زمان (پیری عایقی) یا به یک باره می تواند عمر ترانسفورماتور را تحت تأثیر قرار داده یا به یکباره موجب از بین رفتن ترانسفورماتور شود. پیری عایقی بطور کلی ناشی از پایین آمدن خاصیت دی الکتریک کاغذ کرافت، پایین آمدن خاصیت دی الکتریک عایق روغن، در نتیجه بهره برداری نامناسب، تنش های حرارتی و الکتریکی، نفوذ رطوبت به داخل ترانسفورماتور، آلودگی های فیزیکی و شیمیایی روغن، وقوع انواع اتصالات در داخل ترانسفورماتور می باشد. همچنین وقوع اتصالی یا برقرار شدن ترانسفورماتور با ولتاژ بالاتر از تحمل نامی می تواند موجب انفجار ترانسفورماتور شود. لذا تعویض ترانسفورماتور با ظرفیت بالاتر یا نصب ترانسفورماتور موازی با ترانسفورماتور قبلی، نظارت بر انتخاب و نصب ترانسفورماتور، برنامه ریزی جهت کاهش استارت همزمان واحدهای پر مصرف، تغییر برنامه واحد های پر مصرف جهت جلوگیری از فول بار شدن ترانس در صورت امکان، پایش مصرف کنندگان و بررسی میزان مصرف و حذف مصرف کنندگان غیر مجاز از شبکه، در نظر گرفتن برنامه های آموزشی به مصرف کنندگان خانگی، تجاری و صنعتی جهت مصرف بهینه انرژی و خرید تجهیزات با تلفات پایین و بازدهی بالا، ایجاد تعادل و تقارن در توزیع فازهای خروجی ترانس توزیع بین مشترکان تک فاز، برخورد قانونی با مشترکان متخلف و برق دزدی، افزایش ظرفیت بانک های خازنی، نصب فیلترهای هارمونیک، کنترل میزان سطح روغن ترانسفورماتور، بررسی و پایش وضعیت برقگیرها و نصب برقگیر در مکان های مورد نیاز، اصلاح امپدانس سیستم ارت، رفع نقایص سیستم، انجام راهکارهایی جهت جلوگیری از وقوع حوادث و غیره را میتوان در جهت افزایش عمر مفید ترانس، کاهش دستکاری و تجاوز از قدرت نامی ترانس و برخورد صاعقه و اثرات مخرب آن به کار گرفت.

ترانسفورماتور یکی از مهمترین و حیاتی ترین اعضا یک شبکه تلفی شده و در صورت بروز خرابی در آن، جایگزینی ترانسفورماتور در صورت وجود ترانسفورماتور یدکی در انبارهای برق های منطقه ای ممکن است هفته ها زمان برده، یا در شبکه توزیع ممکن است ساعت ها خاموشی به مشترکین تحمیل گردد، لازم است تا با اتخاذ تدابیری نسبت به کاهش خروج های ناخواسته و جلوگیری از تحمیل هزینه های مالی بسیار سنگین اقداماتی صورت گیرد. با در نظر گرفتن این موارد، راهکارهایی متناسب با هر علت پیشنهاد گردیده است. جمع بندی این راهکارها در استفاده از نیروهای خبره، درس آموخته و وارد کار، استفاده از ادوات و تجهیزات به روز، تخصصی و کامل، تهیه دستورالعمل های کامل و به روز تعمیرات و نگهداری، انجام به موقع تست ها، تعمیرات و نگهداری، انجام آموزش های ادواری جهت ارتقاء سطح توانمندی پرسنل، استفاده از مواد و قطعات اصلی و با کیفیت و استاندارد، ارتقاء و بروز رسانی شبکه خصوصاً در زمینه تجهیزات حفاظتی، کاهش تلفات، برکناری به موقع تجهیزات و ترانسفورماتورهای فرسوده، افزایش ظرفیت شبکه، انجام نظارت های مستمر و سایر موارد می باشد که در صورت انجام صحیح هر یک، نقش بسیار مهمی در کاهش سوختگی ترانسفورماتور و سایر تجهیزات شبکه خواهد داشت.

با توجه به نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر راهکارهای زیر بیان می شود:
دستاورهای اهتمام به این مقاله در مواردی به شرح ذیل ارائه می گردد:
مزایای فنی:

- کاهش مقدار و محدوده خاموشی (کاهش انرژی توزیع نشده)
- افزایش قابلیت اطمینان سیستم
- افزایش قدرت عملیاتی اکیپ تعمیرات
- وقت آزاد بیشتر برای اکیپ تعمیرات برای گذراندن دوره های تخصصی

مزایای اقتصادی:

- کاهش خاموشی واحد های تولیدی و بنگاه های اقتصادی
- صرفه جویی در هزینه ها (بخصوص هزینه ترانس که بسیار سنگین می باشد)
- کاهش آسیب به تجهیزات خانگی و صنعتی بر اثر قطع و وصل برق
- کاهش هزینه های سنگین تعمیرات سیستم آسانسور (مشترکان خانگی)
- کاهش خاموشی فرآوری غذا (رستوران ها و غیره)
- عدم تحمیل هزینه سنگین به واحدهای دارای کوره ذوب

مزایای زیست محیطی و اجتماعی:

- افزایش رضایت مشترکین
- ادامه خدمات رسانی اجتماعی (روشنایی پارک ها، معابر، سینما، مراکز درمانی و غیره)

- جریمه نشدن شرکت توزیع جهت عدم تأمین انرژی مورد نیاز واحد صنعتی با توجه به نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر پیشنهادات زیر بیان می شود:

پیشنهاد می گردد راهکار های ارائه شده بصورت دستورالعمل و بروشور تهیه شده و در میان بهره برداران شبکه توزیع نیروی برق پخش گردد.

پیشنهاد می گردد کمیته هایی جهت تحلیل ریشه ای علل و اجرایی نمودن راهکارها در معاونت ها در نظر گرفته شود.

پیشنهاد می گردد تعداد اکیپ های کارگاه ترانس افزایش پیدا کند.

پیشنهاد می گردد بانک اطلاعاتی شامل اطلاعات ترانس های منصوبه، سوخته، تعمیری و جدید ایجاد شود.

منابع

1. Christina A, Salam MA, Rahman QM, Wen F, Ang SP, Voon W. Causes of transformer failures and diagnostic methods-A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018 Feb 1;82:1442-56.
2. Kumar Ambuj, Singh Sunil Kumar, Husain Zakir. Root-cause analysis of transformer failure scenario at power sub-station. Adv Environ Agric Sci 2015:265-70.
3. Singh J, Singh S. Transformer Failure Analysis: Reasons and Methods. International Journal of Engineering Research & Technology. 2016;4(15):1-5.
4. Wang M, Vandermaar AJ, Srivasta KD. Review of condition assessment of power transformers in service. IEEE Electr Insul Mag 2002;18(6):12-25.
5. Kogan VI, Fleeman JA, Provanzana JH, Shih CH. Failure analysis of EHV transformers. IEEE Trans Power Deliv 1988;3(2):672-83.
6. Viereck K, Hillinger C. Transformer monitoring trends, transform. Singapore; 2011.
7. Pukel GJ, Muhr HM, Lick W. Transformer diagnostics: common used and new methods. International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD), Changwon, South Korea: Changwon Exhibition Convention Center; 2006.
8. Mirzai M, Gholami A, Aminifar F. Failures analysis and reliability calculation for power transformers. J Electr Syst 2006;2(1):1-12.
9. FIST 3-30, Transformer Maitenance: Facilities instructions standards, and techniques 2003.
10. ABB Power Technology Products, Distribution Transformers
11. James H. Harlow, Electric Power Transformer Engineering; 2006
12. K.R.M. NAIR, Practical design guide, Power and Distribution Transformers

۱۳. کاتالوگ محصولات شرکت ایران ترانسفو

۱۴. کتاب ترانسفورماتور های توزیع ، مصطفی مجید نیا

۱۵. کتاب مدیریت عیب یابی و پایش وضعیت ترانسفورماتور ها، علی محمدی، میثم حسینی

۱۶. کتاب هندبوک ترانسفورماتور، آرش آقائی فر، حرمت اله فیروزی