جایگاه ترانسفورماتورهای توزیع در برنامه های کاهش تلفات شبکه برق کشور

محمد رضا جهانگیری
پژوهشگاه نیرو
واژه های کلیدی: ترانسفورماتور توزیع، تلفات، پیک بار

چکیده

با توجه به اهمیت تلفات ترانسفورماتورهای توزیع ، امروزه در بسیاری ازکشورها استانداردهای حداکثر مقادیر مجاز تلفات و یا حداقل مقادیر مجاز راندمان آنها تدوین گردیده است که در برخی از این کشورها نیز بصورت اجباری در آمده است. این امر باعث گردیده که اکثر سازندگان ترانسفورماتورهای توزیع در دنیا، ترانسفورماتورهای با تلفات بسیار کمتر (بین ۵۰-۱۰ درصد) از تلفات ترانسهای موجود در کشور (ساخت داخل) بسازند، بگونه‌ای که امروزه یک روند رو به رشد در جهت ساخت و استفاده از ترانسفورماتورهای با تلفات بسیار کم (نظیر ترانسهای آمورف) در بسیاری از کشورها نظیر آمریکا، ژاپن، چین، هند، کره جنوبی و ... آغاز گردیده است.

تلفات شبکه

میزان تلفات انرژی الکتریکی در شبکه انتقال و توزیع در مناطق و کشورهای مختلف بسیار متفاوت است که این امر متاثر از وجود اختلاف در شرایط ملی این کشورهاست. این اختلافها را نمیتوان بطور کامل به وسعت و جمعیت کشورها ارتباط داد. همچنین بدلیل اختلاف در تکنولوژیهای بکار رفته، تفاوت در سطوح ولتاژ مورد استفاده، فواصل مختلف و ... مقایسه بین شبکه های موجود در کشورهای مختلف مشکل است. به عنوان مثال در آمریکا و ژاپن حجم استفاده از ترانسهای توزیع تک فاز نسبت به اروپا بسیار بیشتر است. از طرف دیگر حجم استفاده از شبکه های روستایی با ضرایب بار کم در برخی کشورهای عقب مانده یا در حال توسعه بسیار بیشتر از کشورهای صنعتی می باشد و بعلاوه متوسط ظرفیت ترانسهای توزیع نصب شده در کشورهای مختلف بسیار متفاوت است.

جدول (۱) تلفات شبکه های انتقال و توزیع را در نواحی مختلف دنیا نشان می دهد. مطابق با این جدول، هر سال در حدود ۱۲۲۵ میلیارد کیلو وات ساعت از انرژی الکتریکی تولید شده در دنیا (معادل با ۸/۸ درصد از انرژی الکتریکی مصرفی در کل دنیا) به دلیل اینگونه تلفات بهدر می رود. جدول (۲) نیز درصد تلفات شبکه های توزیع و انتقال را برای برخی کشورها ارائه می دهد. با بررسی جداول (۱) و (۲) مشاهده می شود که اینگونه تلفات در کشورهای مختلف می تواند در محدوده کمتر از ۴ درصد تا بیش از ۲۰ درصد تغییر کند. جدول (۲) نشان می دهد که در کشورهای پیشرفته و توسعه یافته تلفات شبکه های انتقال و توزیع در دهه های گذشته بطور برنامه ریزی شده ای در حال کاهش بوده و بنابراین می توان دریافت که برای اکثر کشورها پتانسیل بسیار زیادی برای کاهش تلفات شبکه موجود می باشد.

کاهش تلفات شبکه های برق از چند نظر دارای اهمیت فراوان است . مهمترین جنبه این موضوع ، جنبه های اقتصادی و

هزینه های لازم برای جبران این تلفات می باشد. با توجه به آمار تلفات انرژی در سیستم های انتقال و توزیع ارزش کل این تلفات را می توان بیش از ۶۱ میلیارد دلار تخمین زد، که اینحالت به نوبه خود باعث افزایش هزینه های تولید و در نتیجه قیمت نهایی برق مصرفی می گردد. این شرایط بخصوص در لحظات پیک بار شبکه از اهمیت بیشتری برخوردار است، چرا که در این لحظات تلفات سیستم انتقال و توزیع در بالاترین حد خود قرار داشته و پیک سایی شبکه جهت تامین نیاز مصرف اهمیت دو چندانی به موضوع می دهد. بالاخره آنکه تلف شدن مقادیر فراوان انرژی الکتریکی در سیستم های انتقال و توزیع ما را ناچار به توسعه روز افزون اما غیر منطقی شبکه برق می نماید که این کار ضمن افزایش میزان تلفات و پیری و زوال تجهیزات شبکه، منجر به تولید مقادیر فراوان آلاینده های زیست محیطی و معایب حاصل از آن می گردد.

جدول (۳) نتایج حاصل از بررسی تلفات شبکه های مختلف را در برخی کشورها نشان می دهد. همانگونه که از این جدول دیده می شود ، در بسیاری از کشورها در حدود ۷۵ درصد از مجموع تلفات سیستمهای انتقال و توزیع در بخش توزیع صورت می گیرد و نکته مهمتر آنکه در حدود ۳۵ درصد از کل تلفات در ترانسفورماتورهای انتقال و توزیع (بخصوص ترانسهای توزیع) به وجود می آید و بقیه تلفات شبکه نیز ناشی از سایر عوامل فنی و غیر فنی می باشد.

با توجه به موارد فوق الذکر از سالیان دور کشورهای مختلف تلاشهای فراوانی نموده اند تا با استفاده از روشها و تکنیک های مختلف مقدار این تلفات را کاهش دهند. در این راستا مناسب ترین نتایج وقتی بدست آمده است که قبل از اعمال هر روشی جهت کاهش تلفات شبکه، بررسی های دقیق در مورد مزایا و معایب فنی و اقتصادی این روشها صورت گرفته باشد و در نهایت براساس مشخصات شبکه و ابزارهای در دسترس، مناسب ترین راهکارها انتخاب گردند.

مهمترین روشهای کاهش تلفات شبکه های توزیع نیرو شامل موارد ذیل می باشد [۵ ، ۶ و ۷] :

الف) خازنگذاری

ب) افزایش سطح مقطع هادیها

ج) افزایش ولتاژ شبکه

د) اضافه کردن خطوط یا فیدرهای جدید

و) بهبود بازدهی و مدیریت بار ترانسفورماتورها

هـ) تجدید آرایش شبکه (فیدرها)

استفاده صحیح از هر یک از روشهای فوق می تواند تلفات شبکه را تا حد قابل قبولی کاهش دهد، هر چند که در نظر گرفتن پارامترهای اقتصادی در این رابطه همواره نقش اساسی را ایفا می نماید. با توجه به این موارد ، تحقیقات فراوانی در نواحی مختلف دنیا صورت گرفته است تا اقتصادی ترین روشهای کاهش تلفات شبکه های توزیع بطور دقیق شناسایی شوند. جدول (۴) خلاصه ای از نتایج بدست آمده در این رابطه را در مورد کشورهای اروپایی و آمریکایی در دهه های ۸۰ و ۹۰ میلادی نشان می دهد. با توجه به این جدول مشخص می شود که استفاده از دو روش بهبود بازدهی و مدیریت بار ترانسفورماتورهای توزیع و نیز روش تجدید آرایش شبکه بالاترین ارزش افزوده (نسبت مزایا به هزینه های سرمایه گذاری لازم) را ارائه می دهند [۵ ، ۶ و ۷] ، هر چند که محدوده های ایجاد بهبودی در سیستم توزیع از طریق این تکنیک ها می تواند برحسب شرایط کشورها و شبکه برق آنها بسیار گسترده باشد.

خازنها با کاهش فلوی توان رآکتیو (بهبود $\mathrm{Cos}\phi$) باعث کاهش افت ولتاژ و نیز کاهش تلفات شبکه توزیع می گردند، بنابراین با در نظر گرفتن فاکتور قدرت شبکه ($\mathrm{Cos}\phi$) و نیز قیمت خازنها ، با فرض جایابی و نصب دقیق آنها می توان تلفات شبکه را تا حدی کاهش داد. معمولاً با توجه به قیمت بالای خازنها ، از این ادوات تنها جهت کاهش تلفات شبکه استفاده نمی شود ، بلکه اثر مهم دیگر آنها بهبود پروفیل ولتاژ شبکه می باشد.

افزایش سطح مقطع هادیهای مورد استفاده در خطوط توزیع نیز می تواند باعث کاهش تلفات شبکه گردد اما عموماً افزایش هزینه های مربوطه نقش بسیار تعیین کننده ای ایفا می کند بگونه ای که این روش را می توان تنها برای برخی خطوط قدیمی که در نزدیکی ظرفیت سیستم از آنها بارگیری می شود، حین نصب خطوط جدید تر بکار برد. در هر حال مهمترین مانع عمده بر سر راه استفاده از چنین روشی ، زمان برگشت سرمایه طولانی در صورت استفاده از این تکنیک می باشد.

بهبود و افزایش ولتاژ شبکه جهت کاهش تلفات ، معمولاً چندان مورد علاقه و استقبال قرار نگرفته است و این بدان دلیل است که عموماً ولتاژهای شبکه های توزیع از همان ابتدای طراحی تا حد مناسبی بالا در نظر گرفته شده اند بگونه ای که حتی در بسیاری از موارد و در برخی کشورها با

ولتاژهای توزیع بسیار کم (نظیر KV ۶ در ژاپن) نیز تلفات توزیع بسیار کمی عاید گردیده است.

بهبود بازدهی و مدیریت بار ترانسفورماتورهای توزیع از جمله مناسب ترین روشهای کاهش تلفات شبکه می باشد. این امر به ویژه از آنجا بیشتر اهمیت می یابد که در نظر داشته باشیم که ترانسفورماتورهای توزیع دومین بخش اصلی تلف کننده انرژی در شبکه توزیع (پس از خطوط توزیع) بوده و بعلاوه بهبود راندمان آنها (یا جایگزینی ترانسهای پربازده به جای ترانسهای قدیمی) بسیار ساده تر و راحت تر از تغییر هادیهای خطوط توزیع می باشد. همچنین توجه به این نکته ضروری است که با استفاده از تکنولوژیها و روشهای ساده توسعه یافته در دنیا ، می توان تلفات این ترانسهای توزیع را تا حد بسیار زیادی کاهش داد. متاسفانه علی رغم توسعه فراوان این روش کاهش تلفات شبکه توزیع (بهبود بازدهی ترانسها) در اغلب نقاط دنیا ، هنوز در کشور ما از این روش استفاده ای بعمل نیامده است.

تجدید آرایش فیدر های توزیع نیز اگر چه روشی نسبتاً جدید تر می باشد اما استفاده از این روش بمرور زمان روبه گسترش می باشد و بخصوص در سالهای اخیر استفاده از روشهای توامان بهبود بازدهی ترانسفورماتورها همراه با تجدید آرایش فیدرها در کنار هم نتایج مطلوبی را در کشور های پیشرفته در برداشته است.

تلفات در ترانسفورماتورهای توزیع

جدول (۵) تلفات سالانه ترانسفورماتورهای توزیع نصب شده در نواحی مختلف دنیا را نشان می دهد. همانگونه که از این جدول ملاحظه می شود ، در ۶ اقتصاد برتر دنیا ، در حدود ۲۹۵ میلیارد کیلوات ساعت از انرژی الکتریکی تولید شده ، بدلیل تلفات ترانسفورماتورهای توزیع بهدر می رود . این ۶ ناحیه اقتصادی بزرگ در حدود ۷۰ درصد از مصرف انرژی الکتریکی دنیا را به خود اختصاص داده اند و راندمان شبکه های آنها بالاتر از مقادیر متوسط جهانی می باشد. پتانسیل کاهش تلفات انرژی الکتریکی از طریق استفاده از ترانسفورماتورهای با راندمان بالاتر در این کشورها در حدود ۱۵۰ میلیارد کیلو وات ساعت تخمین زده شده است.

مطابق با جدول (۶) ، تعداد ترانسفورماتورهای توزیع نصب شده در ۶ اقتصاد بزرگ دنیا که مصرف کننده ۷۰ درصد از انرژی الکتریکی تولیدی در دنیا می باشند، در حدود ۷۸ میلیون عدد می باشد، هر چند که تعداد و ظرفیت ترانسفورماتورهای توزیع نصب شده در نواحی مختلف دنیا بسیار گسترده می باشد . بعنوان مثال در اروپا به ازاء هر ۸۰ نفر شهروند یک ترانسفورماتور توزیع در شبکه نصب شده است در حالیکه در آمریکا و ژاپن به ازاء هر ۱۰-۵ نفر یک ترانسفورماتور توزیع در حال بهره برداری در شبکه است (به عبارت دیگر متوسط ظرفیت ترانسفورماتورهای توزیع نصب شده در اروپا در حدود ۱۰ برابر ترانسفورماتورهای توزیع نصب شده در آمریکا یا ژاپن می باشد) . همچنین عمده ترانسهای توزیع نصب شده در آمریکا و ژاپن از نوع ترانسهای تک فاز می باشد ، در حالیکه در اروپا ترانسفورماتورهای توزیع سه فاز قسمت عمده ترانسهای موجود در شبکه را تشکیل می دهند.

کل تلفات ترانسفورماتور ها را می توان به دو جزء اصلی تلفات بی باری و تلفات بار تقسیم بندی کرد. تلفات بی باری که آن را تلفات هسته یا تلفات آهنی ترانسفورماتور نیز می نامند ، همواره مقداری ثابت داشته و نحوه بارگیری (ضریب بار) از ترانسفورماتورها تاثیری بر مقدار آن ندارد. اما تلفات بار (یا تلفات مس) ترانسفورماتورها بستگی فراوانی به نحوه و رژیم بارگیری از این تجهیزات داشته و با افزایش ضریب بار ترانسفورماتورها ، تلفات بصورت توان دوم بار افزایش می یابد (تلفات بار $\propto I^2$) . بنابراین اگر چه نحوه بارگیری از ترانسفورماتورها تاثیری بر میزان تلفات بی باری آنها نخواهد داشت، اما با توجه به تاثیر فراوان نحوه بارگیری از ترانسفورماتورها بر تلفات مس آنها ، تلفات کلی ترانسفورماتورها وابستگی زیادی به ضرایب بار واقعی آنها حین بهره برداری خواهد داشت [۵۱].

وضعیت ترانسهای توزیع در کشور

ترانسهای توزیع مورد استفاده درکشور در بخش‌های مختلفی نظیر بخش‌های خانگی، صنعتی، تجاری و کشاورزی در حال بهره‌برداری می‌باشند . اگر چه تعداد نسبتاً زیادی از ترانسهای توزیع نصب شده در کشور متعلق به شرکت‌های برق منطقه‌ای (و در واقع توانیر) می‌باشد، اما تعدادی از آنها نیز در تملک سایر شرکتها و مؤسسات دولتی و خصوصی نظیر پالایشگاهها و پتروشیمی ها، صنایع فلزی و غیر فلزی و .... می‌باشد.

جدول (۷) مقایسه آماری ترانسفورماتورهای توزیع نصب شده در شبکه سراسری برق (متعلق به شرکت توانیر) را در محدودهٔ سالهای ۱۳۵۷ تا ۱۳۸۲نشان می‌دهد. همانطور که از این جدول مشاهده می‌شود در پایان سال ۱۳۸۲ بیش از

۲۹۰ هزار ترانسفورماتور توزیع در شبکه برق سراسری نصب شده است که در حدود ۲۷۰ هزار واحد از آنها را ترانسهای هوایی و باقی مانده آنها را ترانسهای زمینی تشکیل داده‌اند. ظرفیت کل این ترانسهای توزیع نصب شده در شبکه به حدود ۵۵۰۰۰ MVA می‌رسد و بنابراین ظرفیت متوسط هر یک از ترانسفورماتورهای توزیع نصب شده در شبکه به حدود kVA ۱۹۰-۱۸۰ می‌رسد . با بررسی اطلاعات مندرج در این جدول همچنین میتوان مشاهده کرد که تعداد ترانسفورماتورهای توزیع در چند سال اخیر بطور متوسط هر سال در حدود ۷-۶ درصد رشد داشته است و ظرفیت (قدرت) آنها نیز هر سال بطور متوسط در حدول ۵-۴ درصد افزایش یافته است. با توجه به این موارد میتوان پیش بینی کرد که در پایان سال ۱۳۸۵ تعداد ترانسفورماتورهای توزیع نصب شده در شبکه برق سراسری (متعلق به توانیر) به حدود ۳۶۰-۳۵۰ هزار عدد و ظرفیت آنها بالغ بر ۶۳۰۰۰MVA گردد.

این ترانسفورماتورهای توزیع نصب شده در شبکه برق سراسری را ترانسهای توزیع روغنی سه فاز و تک فاز تشکیل می‌دهند هرچند که قسمت اعظم آنها شامل ترانسهای روغنی سه فاز می‌باشند. این ترانسفورماتورها اکثراً ساخت شرکت ایران ترانسفو می‌باشند.

علاوه بر ترانسفورماتورهای فوق الذکر ، تعدادی ترانسفورماتور نیز در سایر شرکتها و موسسات خصوصی و دولتی کشور وجود دارد که اگر چه تعداد آنها بسیار کمتر از ترانسهای نصب شده در شبکه می باشد، اما متوسط ظرفیت آنها بمراتب بالاتر از متوسط ظرفیت ترانسهای موجود در شبکه است. براساس اطلاعات منتشر شده در کشورهای دیگر و مقایسه آمار ترانسفورماتورهای توزیع نصب شده در آنها و سهم بخش‌های مختلف شبکه وغیر شبکه از تملک این ترانسها [۱۰،۹] میتوان پیش بینی کرد که سهم ترانسهای نصب شده در خارج شبکه در حدود ۱۰-۵ درصد کل ترانسهای موجود در کشور باشد.

بنابراین میتوان کل آمار ترانسهای توزیع موجود در کشور را در سال ۱۳۸۵ در حدود ۳۸۰ هزار عدد تخمین زد که متوسط ظرفیت هر یک از آنها نیز در حدود ۱۸۰KVA می‌باشد. با توجه به قیمت ترانسها، کل ارزش ترانسهای توزیع موجود درکشوردرحدود ۷۶۰ میلیارد تومان (۸۰۰ میلیون دلار) برآورد می‌شود. همچنین با توجه به رشد سالانه ترانسفورماتورهای توزیع در کشور، هزینه لازم برای خرید سالانه ترانسهای توزیع به رقمی در حدود ۵۰ میلیارد تومان بالغ می‌گردد.

همانگونه که اشاره گردید قسمت عمده ترانسهای توزیع نصب شده در کشور را ترانسفورماتورهای توزیع سه فاز روغنی ساخت شرکت ایران ترانسفو تشکیل می‌دهند. جهت بررسی تلفات سالانه این ترانسفورماتورها، سال جاری (۱۳۸۵) به عنوان دومین سال برنامه چـــهارم توسعه کشور مبنا قرار گرفته است. در این سال پیک بار شبکه سراسری بیش از MW ۳۴۰۰۰ گزارش شده است. با توجه به آنکه مقداری از این بار تولیدی در بخش های تولید و انتقال نیرو مصرف و تلف می‌گردد، پیک بار شبکه توزیع در این سال در حد ۳۱۰۰۰MW برآورد می‌شود. همچنین در زمانهای پیک مربوط به این سال درحدود ۳۷۰ هزار ترانسفورماتور توزیع در کشور در حال بهره‌برداری بوده اند که اگر چه قسمت عمده آنها در شبکه توزیع نیروی کشورنصب گردیده‌اند، اما برخی از آنها متعلق به صنایع و بخش های دیگر می‌باشد. متوسط ظرفیت این ترانسفورماتورها در حد ۱۸۰KVA و ضریب قدرت (Cosφ) آنها در حدود ۰/۸۵ می‌باشد.

جهت مطالعه و بررسی تلفات ترانسفورماتورهای توزیع کشور، علاوه بر مقادیر اسمی تلفات بار و بی باری، نحوه بارگیری از ترانسفورماتورها نیز یکی از عوامل اصلی تعیین کننده تلفات واقعی آنها بوده ودانستن آن لازم است. ضریب بار ترانسفورماتورهای توزیع که به نحو قابل ملاحظه‌ای بر روی تلفات بار و در نتیجه بازده کلی آنها تأثیر می‌گذارد ، عموماً برای ترانسفورماتورهای مختلف موجود در شبکه ودر ساعت‌ها و فصول مختلف تغییرات وسیعی می‌یابد. لازم به ذکر است که این تغییرات ضریب بار تاثیر چندانی بر تلفات بی باری ترانسفورماتورها نداشته و معمولاً فرض می‌شود که در هر ضریب باری تلفات بی باری ترانسفورماتورها ثابت است.

محاسبه و تعیین ضرایب بار مؤثر برای ترانسفورماتورهای توزیع بسیار دشوار بوده و بخصوص با توجه به گستردگی فراوان انواع مختلف ترانسفورماتورها در بخش‌های خانگی ، تجاری، صنعتی و .... و رژیم‌های بارگیری متفاوت از آنها، عملاً تعیین مقادیر دقیق این ضرایب ناممکن است. با اینحال امروزه روشهای ساده یا پیچیده مختلفی وجود دارد که تخمین های نسبتاً مناسبی از شرایط واقعی بارگیری ترانسفورماتورها ارائه میدهند[۱۲ و ۱۳].

دراین مقاله برای بررسی تلفات ترانسهای توزیع موجود در کشور سه نحوهٔ بارگیری مختلف از آنها در نظر گرفته شده

است ، به نحوی که حالتهای بحرانی (بدترین نحوهٔ بارگیری) ، ایده‌آل (مدیریت بار کل) و حالت واقعی (تا حد امکان مشابه با شرایط کشور) را در بر گیرد. در ادامه این حالتهای مختلف با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

حالت الف)

این حالت را که میتوان آنرا شرایط بحرانی شبکه نامگذاری کرد بگونه‌ای تعریف می‌شود که در ساعات پیک بار شبکه سراسری از تعدادی از ترانسفورماتورهای توزیع در حد توان نامی آنها بارگیری شود وتعدادی ازآنها در شرایط بی باری کامل باشند. بدیهی است که هیچگاه این حالت در هیچ شبکه‌ای اتفاق نمی‌افتد اما ارزش بررسی این حالت آن است که حداکثر تلفات ممکنه ترانسفورماتور های موجود در شبکه را ارائه می‌دهد.

با توجه به اینکه پیک بار شبکه توزیع در سال ۱۳۸۵ در حدود MW ۳۱۰۰۰ و ظرفیت متوسط ترانسفورماتورهای توزیع کشور در حدود KVA ۱۸۰ و یا KW ۱۵۳ (با در نظر گرفتن Cosφ = ۰/۸۵) میباشد، میتوان نتیجه گرفت که در این حالت بحرانی در حدود ۲۰۲۰۰۰ ترانسفورماتور توزیع موجود در کشور در حداکثر بار خود قرار خواهند داشت و ۱۶۸۰۰۰ ترانسفورماتور با قیمانده درحالت بی باری خواهند بود. با توجه به این اطلاعات و سطوح تلفات مورد نظر مطابق با ترانسفورماتورهای ساخت شرکت ایران ترانسفو، تلفات ترانسفورماتورهای توزیع درلحظات پیک بار شبکه توزیع مطابق با جدول (۸) بدست می‌آید. از این جدول میتوان فهمید که در این حالت ترانسفورماتورهای توزیع در حدود MW۸۸۰ از پیک بار شبکه توزیع و یا حدودا MW ۱۰۰۰ از پیک بار شبکه سراسری را تلف می‌نمایند.

حالت ب)

این حالت که میتوان آن را حالت ایده‌آل در نظر گرفت بصورتی تعریف می‌شود که کل پیک بار شبکه توزیع بصورت ایده‌آل و عادلانه بین کلیه ترانسفورماتورهای توزیع تقسیم گردد. با توجه به مقدار پیک بار شبکه توزیع و تعداد تـــرانسفورماتورها میتوان گفت که در چنین حالتی کلیه ۳۷۰ هزار ترانسفورماتور توزیع کشور در ضریب بار تقریبی ۰/۵۵ قرار داشته و لذا تلفات ترانسفورماتورها در این حالت بصورت جدول (۹) خواهد بود. این حالت نیز که یک حالت کاملاً ایده‌آل بوده و احتمال ایجاد آن در شبکه بسیار ناچیز است از آن جهت حائز اهمیت است که حداقل مقدار ممکنه تلفات ترانسفورماتورها را در شبکه توزیع نشان میدهد.

مطابق با جدول فوق، درحالت بارگیری مشابه (ب) ، ترانسفورماتورهای توزیع در حدود MW۵۷۲ از پیک بار شبکه توزیع ویا حدود MW۶۳۰ از پیک بار شبکه سراسری را تلف می‌نمایند.

حالت ج)

این حالت که میتوان آنرا حالت واقعی تر شبکه توزیع در نظر گرفت، نحوهٔ بارگیری عملی ترانسفورماتورها را براساس اطلاعات در دسترس نشان میدهد . همانگونه که پیشتر ذکر شد، تعیین ضرایب بار واقعی ترانسفورماتورهای توزیع بسیار دشوار بوده و حتی در شرایط پیک نیز نمی‌توان ضریب بار دقیق کلیه ترانسفورماتورها را تخمین زد، چراکه برخی ترانسفورماتورها در این لحظات در شرایط بارگیری بسیار بحرانی قرار دارند در حالیکه برخی دیگر حتی ممکن است در حالت کم باری یا بی باری قرار داشته باشند (ادارات، مدارس، دانشگاههاو ....).

با توجه به این شرایط در مقاله حاضر فرض می‌شود که در شرایط پیک بار شبکه سراسری ، در حدود ۵۰ درصد ترانسفورماتورها در شرایط پرباری(با ضریب بار تقریبی ۰/۸) ، حدود ۲۵ درصد آنها در رژیم بارگیری متوسط و در حدود ۲۵ درصد آنها درحالت کم باری قرار داشته باشند، بصورتی که پیک بار شبکه توزیع در همان مقدار MW ۳۱۰۰۰ باقی بماند. جدول (۱۰) تلفات ترانسفورماتورهای توزیع را در این حالت نشان میدهد. با مقایسه این نتایج مشاهده می‌شود که در شرایط بارگیری شبه واقعی شبکه توزیع، در ساعات پیک بار شبکه سراسری حداقل MW ۶۷۲ از بار شبکه توزیع و یا معادل MW۷۵۰ از پیک بار شبکه سراسری بدلیل تلفات ترانسفورماتورهای توزیع بهدر می‌رود و در صورتی که به یاد داشته باشیم که مقادیر تلفات اسمی ترانسفورماتورهای قدیمی تر با گذشت زمان بیشتر شده و بعلاوه بدلیل پدیده‌های مخرب شبکه نظیر تغییرات ولتاژ و یا وجود هارمونیک ها، مقادیر واقعی تلفات میتواند بسیار بیشتر از حدود اسمی آنها تغییر کند، مقدار پیش بینی شده جهت تلفات ترانسفورماتورها میتواند از این حدود نیز فراتر رود.

با توجه به آنکه هزینه تلفات توان در خروجی نیروگاه برای صنعت برق بیش از ۱۰۰۰ر۰۰۰ تومان به ازاء هر کیلو وات و این هزینه تلفات توان در سطح ولتاژ فشار متوسط و ضعیف بیش از ۱ر۵۰۰ر۰۰۰ تومان برای هر کیلو وات برآورد شده است [۱۴] ، لذا کل هزینه‌های تلفات توان ترانسفورماتورهای توزیع در کشور به رقمی در حدود ۹۰۰-۸۰۰ میلیارد تومان

(بیش از ۹۰۰ میلیون دلار) بالغ می‌شود که در صورت مقایسه این هزینه‌ها با کل ارزش ترانسهای توزیع موجود در کشور، مشاهده می‌گردد که کل هزینه‌های تلفات توان ترانسهای توزیع کشور عملاً بیش از ارزش کل ترانسهای توزیع موجود در کشور برآورد می‌گردد.

کلیه بحث‌های فوق در مورد تلفات توان ترانسهای توزیع موجود در کشور صورت گرفته است. در مورد تلفات انرژی این ترانسها نیز تخمین‌هایی ارائه گردیده است. از جمله مراجع مورد نظر در این رابطه میتوان به مراجع [۱۵] ، [۱۶] و [۱۷] اشاره کرد. در این حالت تلفات انرژی ترانسهای توزیع کشور در سال جاری بیش از ۶ میلیارد کیلو وات ساعت برآورد می گردد که این رقم معادل انرژی مصرفی توسط حدود ۲/۵ میلیون خانواده در کشور است. با فرض هر کیلو وات ساعت انرژی تلف شده در ترانسفورماتورها برابر با ۵۰-۴۰ تومان، ارزش کل تلفات انرژی ترانسهای توزیع کشور در حدود ۳۰۰ میلیارد تومان خواهد بود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

یکی از مناسب ترین روشهای پیک سایی و کاهش قیمت تمام شده برق مصرفی در کشور، کاهش تلفات سیستم‌های تولید، انتقال و توزیع نیرو است. متأسفانه به نظر می‌رسد که امروزه در حدود ۲۵ درصد از برق تولیدی در کشور بدلیل این تلفات بهدر می‌رود و علیرغم فعالیت‌های پراکنده‌ای که در زمینه کاهش چنین تلفاتی صورت گرفته است، هنوز تاثیر مثبت و قابل ارائه‌ای به چشم نمی‌خورد بگونه‌ای که در چند سال اخیر بر خلاف پیش بینی های برنامه سوم توسعه کشور و نیز برخلاف روند سایر کشورها، تلفات سیستم انتقال و توزیع نیرو در کشور روند صعودی داشته و عدم توجه به این مسئله بسیار زیانبار خواهد بود.

مهمترین روشهای کاهش تلفات شبکه‌های توزیع نیرو شامل خازن گذاری، بهبود سطح مقطع هادیها، افزایش ولتاژ شبکه، بهبود بازدهی ترانسفورماتورها و تجدید آرایش شبکه (فیدرها) می‌باشند. استفاده صحیح از هریک از این روشها میتواند تلفات شبکه را تا حد قابل قبولی کاهش دهد، هرچند که در نظر گرفتن پارامترهای اقتصادی در این رابطه همواره نقش اساسی را ایفا می‌نماید.

در میان تجهیزات مختلف شبکه توزیع ، ترانسفورماتورها که وظیفه تبدیل ولتاژ را برعهده دارند، همواره به عنوان دستگاههایی با بازدهی بسیار بالا مطرح بوده‌اند. براین اساس در کشور ما، سهم کمی از تلفات توان و انرژی الکتریکی را ناشی از آنها دانسته و یا آنکه لااقل پتانسیل فنی- اقتصادی ناچیزی را برای کاهش تلفات توزیع کشور از طریق بهبود بازدهی آنها در نظر داشته‌اند. بررسی های انجام شده در مقاله حاضر نشان میدهد که در سال جاری (۱۳۸۵) که پیک بار شبکه سراسری بیش از ۳۴۰۰۰MW و پیک بار شبکه توزیع در حدود ۳۱۰۰۰ MW می‌باشد، در حدود ۳۷۰ هزار ترانسفورماتور توزیع با متوسط ظرفیت ۱۸۰KVA در کشور نصب شده‌اند، که تقریباً ۷۵۰MW از پیک بار شبکه سراسری به دلیل تلفات آنها بهدر می‌رود. لذا ارزش کل تلفات ترانسفورماتورهای توزیع در کشور بیش از ۹۰۰ میلیون دلار خواهد بود که مقدار آن بیش از قیمت کل ترانسفورماتورهای توزیع نصب شده در کشور می‌باشد.

با توجه به موارد فوق جهت کاهش تلفات شبکه توزیع از طریق بهبود راندمان ترانسفورماتورها پیشنهاداتی به صورت ذیل ارائه می‌گردد:

الف) تدوین استاندارد مربوط به حداکثر مقادیر مجاز تلفات ترانسهای توزیع در کشور و نحوه تست آنها

با توجه به شرایط سازندگان و استفاده کنندگان ترانسفورماتورهای توزیع درکشور، یکی از مهمترین روشها برای کاهش تلفات ترانسهای توزیع کشور، تدوین استانداردی در این زمینه می‌باشد. نکته‌ای که در این مرحله توجه به‌آن ضروری به نظر می‌رسد آن است که برای تدوین استانداردهای مربوط به بازده دستگاههای الکتریکی و بخصوص ترانسفورماتورها، شرایط باید بگونه‌ای لحاظ گردد که این استانداردها به لحاظ تکنولوژیکی قابل دسترس بوده و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشند. بعلاوه چنین استانداردهایی باید به نحوی ارائه شوند که کاهش قابل ملاحظه‌ای در تلفات انرژی به همراه داشته و از این نظر نیز انگیزه لازم را ایجاد نمایند. این استانداردها می بایستی با در نظر گرفتن فرصت و زمان لازم برای تولید کنندگان داخلی، در فواصل زمانی مناسب ارتقاء یابند تا پس از مدت زمان مشخص به حدود مناسب تلفات ترانسها برای کشور نزدیک گردند.

ب) تشویق و ترغیب به ساخت و استفاده از ترانسفورماتورهای توزیع با راندمان بالا

این امر میتواند با ایجاد بستر مناسب جهت رقابت واقعی در زمینه ساخت ترانسهای پر بازده با حضور کلیه سازندگان

داخلی و خارجی صورت پذیرد. همچنین کمک به استفاده کنندگان این تجهیزات پر بازده از طریق پرداخت مابه التفاوت قیمت این تجهیزات با دستگاههای با تلفات بیشتر و قدیمی تر (نظیر پروژه توسعه استفاده از لامپ‌های کم مصرف) و.... نیز میتواند در این زمینه مفید باشد.

ج) ایجاد و تجهیز یک آزمایشگاه معتبر و مرجع در زمینه آزمایش تلفات ترانسفورماتورهای توزیع مورد استفاده درکشور

د) حمایت از پروژه‌های پژوهشی مربوط به بهبود بازدهی ترانسفورماتورهای توزیع نظیر تهیه نرم افزار محاسبه قیمت و مشخصات بهینه ترانسفورماتورهای توزیع با سطوح تلفات مختلف ، ساخت ترانسهای توزیع با هسته آمورف و ... و کاربردی کردن و توسعه نتایج این پژوهشها

ه) آموزش و آشنا نمودن کارشناسان و افراد مرتبط با موضوع در شرکتهای توزیع و برقهای منطقه‌ای از طریق برگزاری دوره‌ها و سمینارهای مناسب و همچنین ایجاد حساسیت و توجه به موضوع هنگام تصمیم گیریها، خریدها و ...

منابع و مراجع

۱- Global Eenergy Eaving Potencial from High Efficiency Distribution Transformers", Leanardo Energy, Oct.۷, ۲۰۰۴

۲- B.Kenedy, "Energy Efficient Transformers", Mc Graw-Hill, ۱۹۹۸

۳- G.Wilkenfield, "Regulatory Impact Statement, MEPS and Alternative Strategies for Electricity Distribution Transformers", Technical Report, Australian Greenhouse Office, ۲۰۰۲

۴- M.Mc Dermott, "Energy Efficient Distribution Transformers, Utility Initiatives", Techical Report, ECI, ۲۰۰۰

۵- W.M.Ritchi et al, "Loss Reduction, an Overwiew of the Problems and Solutions", Power Technology International, ۱۹۸۸

۶- R.J.Sarfi et al, "Practical Aspects of Performing a Distribution System Loss Reduction Study", Proc. CCECE/CCGEI, IEEE, ۱۹۹۵

۷- محمد رضا جهانگیری، "پتانسیل کاهش پیک بار شبکه سراسری از طریق بهبود راندمان و نحوه بارگیری از ترانسفورماتورهای توزیع" ، نهمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق، دانشگاه زنجان، اردیبهشت ۱۳۸۳.

۸- P.Barnes et al, "Determination Analysis of Energy Conservation Standards for Distribution Transformers", Technical Report, ORNL ٦٨٤٧, Oak Ridge National Laboratory, ۱۹۹٦

۹- H.De Keulenear et al, "The Scope for Energy Saving in the EU through the Use of Energy Efficient Electricity Distribution Transformers", Thermie Project, Sep.۲۷, ۱۹۹۹

۱۰- M.Ellis, "Analysis of Potencial for Minimum Energy Performance Standards for Distribution Transformers", Technical Report, Australian Greenhouse Office. ۲۰۰۰

۱۱- آمار تفصیلی صنعت برق ایران در سال های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۱، سازمان توانیر، ۱۳۸۳

۱۲- J.A.Jardini et al, "Distribution Transformer Loading Evaluation Based on Load Profiles Measurements", IEEE Trans. Power Delivery, Vol.۱۲, No.٤, ۱۹۹۷

۱۳- R.F.Chang et al, "Distribution Transformer Load Modeling Using Load Research Data", IEEE Trans. Power Delivery, Vol.۱۷, No۲, ۲۰۰۲

۱۴- "جدول ضرایب ثابت مربوط به هزینه های توان و انرژی الکتریکی و سایر هزینه های اقتصادی سطوح مختلف (تولید، انتقال و توزیع) برق"، دبیرخانه تحقیقات برق، وزارت نیرو، ۱۳۸۳

۱۵- محمد رضا جهانگیری ، "انتخاب بهینه ترانسفورماتورهای توزیع با استفاده از استانداردهای مربوط به راندمان آنها"، شانزدهمین کنفرانس بین المللی برق، آبان ۱۳۸۰

۱۶- محمد رضا جهانگیری، "ترانسفورماتورهای توزیع و علل نیاز به افزایش بازده آنها"، نشریه علمی برق، سال چهاردهم، شماره سوم، پائیز و زمستان ۱۳۸۰

۱۷- محمد رضا جهانگیری، "تخمین بازدهی و تلفات واقعی ترانسفورماتورهای توزیع نصب شده در کشور و اهمیت مواد و طراحی آنها"، ماهنامه علمی-تخصصی صنعت برق، سازمان توانیر، خرداد ۱۳۸۲

جدول ۱-تلفات شبکه های انتقال و توزیع در دنیا [۱]

Country	Electricity use (TWh)	Network losses (TWh)	Network losses (%)
Europe	3 046	222	
Western Europe	2 540	185	7.3
FSU	1 135	133	11.7
North America	4 293	305	7.1
Latin America	721	131	
Brazil	336	61	18.3
Asia	3 913	381	
Japan	964	44	4.6
Aus, NZ	219	21	9.5
China	1 312	94	7.2
India	497	133	26.7
Africa / ME	826	83	10.0
Total	13 934	1 225	8.8

جدول ۲- تلفات شبکه های انتقال و توزیع در برخی کشورها [۱]

Country	1980	1990	1999	2000
Finland	6.2	4.8	3.6	3.7
Netherlands	4.7	4.2	4.2	4.2
Belgium	6.5	6.0	5.5	4.8
Germany	5.3	5.2	5.0	5.1
Italy	10.4	7.5	7.1	7.0
Denmark	9.3	8.8	5.9	7.1
United States	10.5	10.5	7.1	7.1
Switzerland	9.1	7.0	7.5	7.4
France	6.9	9.0	8.0	7.8
Austria	7.9	6.9	7.9	7.8
Sweden	9.8	7.6	8.4	9.1
Australia	11.6	8.4	9.2	9.1
United Kingdom	9.2	8.9	9.2	9.4
Portugal	13.3	9.8	10.0	9.4
Norway	9.5	7.1	8.2	9.8
Ireland	12.8	10.9	9.6	9.9
Canada	10.6	8.2	9.2	9.9
Spain	11.1	11.1	11.2	10.6
New Zealand	14.4	13.3	13.1	11.5
Average	9.5	9.1	7.5	7.5
European Union	7.9	7.3	7.3	7.3

جدول ۳- سهم اجزاء مختلف در تلفات کلی سیستمهای انتقال و توزیع در برخی کشورها [۱ ، ۲ ، ۳ ، ۴]

% of total	Transformers		Lines		Other
Case	T	D	T	D	
USA - example 1	4.0	16.2	32.3	45.5	2.0
USA - example 2	2.2	36.5	10.5	43.0	7.8
Australia - example	2.0	40.0	20.0	38.0	
UK - example 1	8.0	24.0	21.0	45.0	2.0
UK - example 2	10.0	32.0	15.0	43.0	
Market assessment	10.0	35.0	15.0	35.0	5
Average	6.0	30.6	19.0	41.6	2.8

جدول ۴- روشهای کاهش تلفات سیستم توزیع و ارزش افزوده هر یک از آنها [۵ ،۶ و ۷]

روش کاهش تلفات	نسبت (هزینه های سرمایه گذاری)/ (سود)
نصب خازنها	۲-۸
افزایش مقطع هادیها	۰/۶-۷
افزایش ولتاژ شبکه	۱/۵-۳
بهبود بازدهی و مدیریت بار ترانسفورماتورها	۱-۱۵
تجدید آرایش شبکه	۰/۵-۱۳

جدول ۵- تلفات ترانسفورماتورهای توزیع و پتانسیل کاهش آنها در اقتصادهای مهم دنیا [۱ و ۸]

Country	Annual losses in transformers (TWh)	Annual savings potential (TWh)	Annual reduction in greenhouse gas emissions (million tonne CO_2eq)
EU-25	55	22	9
USA	141	84	60
Australia	6	3+	3
India	6	3	3
China	55	25	25
Japan	32	13	6 – 8
Total	295	150	106

جدول ۶- تعداد ترانسفورماتورهای توزیع در نواحی مختلف دنیا [۱ ، ۹ و ۱۰]

Country	Transformers installed ('000s)	Transformers installed (MVA)	Annual market ('000s)	Annual market (M$)
EU-15	4 000	628 700	125	700
USA	56 000	3 000 000	2 000	1 550
Australia	600	92 700	19	125
Japan	12 000			
China	3 300	560 000	346	
India	2 100	250 120	200	
Total	78 000			

جدول ۷- مقایسه آماری ترانسهای توزیع نصب شده در شبکه برق سراسری از سال ۱۳۵۷ تا ۱۳۸۲ [۱۱]

سال	ترانس هوایی		ترانس زمینی		جمع ترانس		ظرفیت متوسط (KVA)
	تعداد دستگاه	قدرت (MVA)	تعداد دستگاه	قدرت (MVA)	تعداد دستگاه	قدرت (MVA)	
۱۳۵۷	۱۹۲۳۸	۳۸۸۱	۷۲۵۷	۴۴۴۹	۲۶۴۹۵	۸۳۳۰	۳۱۴/۴۰
۱۳۷۶	۱۷۶۴۳۰	۲۶۶۰۹	۱۹۸۰۸	۱۴۲۲۷	۱۹۶۲۳۸	۴۰۸۳۶	۲۰۸/۰۹
۱۳۷۷	۱۸۵۴۹۵	۲۸۰۴۹	۲۰۱۹۲	۱۴۱۵۵	۲۰۵۶۸۷	۴۲۲۰۴	۲۰۵/۱۹
۱۳۷۸	۱۹۸۸۲۲	۲۹۷۶۷	۲۰۷۲۶	۱۴۶۶۵	۲۱۹۵۴۸	۴۴۴۳۲	۲۰۲/۳۸
۱۳۷۹	۲۱۲۷۱۰	۳۱۷۲۶	۲۱۳۷۶	۱۵۲۱۱	۲۳۴۰۸۶	۴۶۹۳۷	۲۰۰/۵۱
۱۳۸۰	۲۲۸۱۹۱	۳۳۹۳۴	۲۱۸۲۱	۱۵۴۹۳	۲۵۰۰۱۲	۴۹۴۲۷	۱۹۷/۷
۱۳۸۱	۲۵۲۱۳۰	۳۶۸۸۹	۲۲۲۱۱	۱۵۷۸۲	۲۷۴۳۴۱	۵۲۶۷۰	۱۹۲

۱۳۸۲	۲۷۰۱۳۳	۳۹۴۲۵	۲۱۱۹۱	۱۵۵۳۲	۲۹۱۳۲۵	۵۴۹۵۷	۱۸۹

جدول ۸- تلفات ترانسفورماتورهای توزیع با سطح تلفات معادل ترانسهای ایران ترانسفو مطابق با حالت بارگیری (الف)

مجموع کل تلفات (MW)	تلفات کل (MW)	تلفات بی باری (MW)	تلفات بار (MW)	تعداد ترانسفورماتورهای توزیع	ضریب بار
۸۸۰	۷۹۱	۱۰۵	۶۸۶	۲۰۲۰۰۰	۱
	۸۷	۸۷	۰	۱۶۸۰۰۰	۰

جدول ۹- تلفات ترانسهای توزیع کشور مطابق با حالت بارگیری (ب)

مجموع کل تلفات(MW)	تلفات بار (MW)	تلفات بی باری(MW)	تعداد ترانسفورماتورها	ضریب بار
۵۷۲	۳۸۰	۱۹۲	۳۷۰۰۰۰	۰/۵۵

جدول ۱۰ – تلفات ترانسهای توزیع کشورمطابق با حالت بارگیری (ج)

مجموع کل تلفات(MW)	تلفات کل (MW)	تلفات بار(MW)	تلفات بی باری (MW)	تعداد ترانسفورماتور	ضریب بار
۶۷۲	۴۹۹	۴۰۲/۶	۹۶/۲	۱۸۵۰۰۰	۰/۸
	۱۱۲	۶۳/۷	۴۸/۱	۹۲۵۰۰	۰/۴۵
	۶۱	۱۲/۶	۴۸/۱	۹۲۵۰۰	۰/۲

This document was created with Win2PDF available at http://www.daneprairie.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.