ارائه یک روش ساختار یافته برای مدیریت جمعیت یک مجموعه از ترانسفورماتورهای قدرت

پژمان خزایی[۱و۲]، پوریا معقولی[۱]
۱-دانشگاه شاهد،۲- پژوهشگاه نیرو

چکیده —ترانسفورماتورهای قدرت با ملاک‌های متفاوتی نظیر بزرگی، اهمیت، سلامت و . . . اولویت‌بندی می‌شوند. در این مقاله شاخص‌های اهمیت و سلامت مورد بررسی قرار گرفته‌است و مشخص شده است که اولویت‌بندی براساس یک شاخص به تنهایی، با نواقصی همراه است. برای رفع این نواقص و بهبود اولویت‌بندی، با ترکیب شاخص‌های سلامت و اهمیت، ماتریس ارزیابی ریسک تشکیل می‌گردد. برای بررسی این موضوع، اطلاعات یک جامعه آماری شامل ۲۵ ترانسفورماتور مورد مطالعه قرار گرفته است. ترانسفورماتورهایی که براساس شاخص سلامت در اولویت قرار می‌گیرند، با ترانسفورماتورهای دارای اولویت بر اساس شاخص اهمیت متفاوت می‌باشند. برای بهبود اولویت‌بندی ماتریس ارزیابی ریسک با ترکیب دو شاخص سلامت و اهمیت تشکیل گردیده و فاصله از بحرانی‌ترین نقطه به عنوان معیار اولویت‌بندی قرار گرفته است. همچنین در انتها برای ترانسفورماتورهای دارای اولویت بالا با استفاده از الگوریتم مونت کارلو و توزیع پارتو تخمین عمر باقی مانده ی ترانس انجام شده است.

واژه‌های کلیدی* — *ترانسفورماتور قدرت؛ مدیریت جمعیت؛ شاخص سلامت؛ ارزیابی وضعیت، مونته کارلو

۱. مقدمه

ترانسفورماتورها یکی از پر اهمیت‌ترین تجهیزات در صنعت برق کشور هستند که در طی کارکردشان در معرض تنش‌های[1] الکتریکی (اتصال کوتاه، اضافه ولتاژ و بارهای اضطراری)، گرمایی و مکانیکی قرار می‌گیرند; بروز این تنش‌ها در نهایت می‌توانند منجر به از کار افتادن ترانسفورماتورها شود. امروزه نه تنها در صنعت برق ایران بلکه در سراسر دنیا، صنایع برق با افزایش تعداد ترانسفورماتورهای فرسوده در شبکه روبرو هستند. تولیدکنندگان ترانسفورماتور عمری بین ۲۵ تا ۴۰ سال برای ترانسفورماتورها تخمین می‌زنند. حال آنکه با توجه به شرایط بهره‌برداری و تنش‌های وارد شده به ترانسفورماتور این عدد کاهش می‌یابد. به منظور بررسی عملکرد قابل اطمینان ترانسفورماتور، وضعیت سلامت [2] آن باید بطور پیوسته بررسی و کارایی آن ارزیابی شود[۲،۱]. به منظور تعیین ترانسفورماتورهایی که نیاز به انجام مراقبت های بیشتر دارند الگوریتم‌هایی ارائه شده است [۴،۳].

---

[1] -Stresses
[2] -Health Condition

برای هر ترانسفورماتور و با توجه به داده‌های موجود برای آن شاخصی به نام شاخص سلامت[3] تعریف می‌شود[۹–۵]. شاخص سلامت یک ترانسفورماتور را تاریخچه و سوابق بهره‌برداری ترانسفورماتور و نتایج آزمون‌های انجام شده روی ترانسفورماتور تعیین می‌کند.

شاخص سلامت یک ابزار کارآمد می‌باشد که با ترکیب تمامی اطلاعات موجود ترانسفورماتورها یک شاخص کمی و یا کیفی را که سلامت کلی ترانسفورماتور نشان می‌دهد ارائه می‌دهد.

در واقع شاخص سلامت نشان دهنده وضعیت هیچ قسمت خاصی از ترانسفورماتور در رابطه با تعمیرات مورد نیاز نبوده و این عدد میزان فرسودگی کلی ترانسفورماتور را که با بازبینی‌های معمول قابل تشخیص نیست نشان می‌دهد.

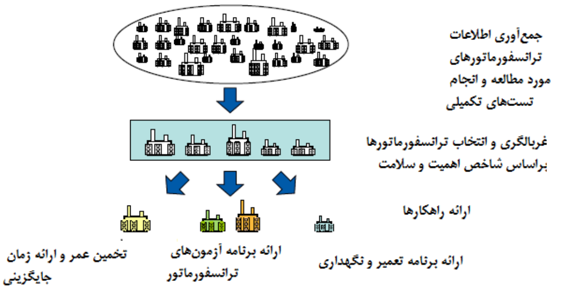
در [۱۱] انجام آزمایش‌های متعددی از جمله آزمایش فوران [4] به منظور محاسبه شاخص سلامت بر روی ترانسفورماتور پیشنهاد شده است و براساس میزان اهمیت هر آزمایش، وزنی متناسب به آن داده می‌شود. در [۱۳،۱۲] نیز آزمایش‌هایی مشابه [۱۱] انجام شده است. کارهای فوق براساس وزن‌دهی به آزمایش‌ها براساس میزان اهمیت آنهاست. شاخص سلامت هم براساس همین وزن‌دهی‌ها محاسبه می‌شود . در [۱۴] به تعیین پارامترهای مهم تاثیرگذار در تعیین شاخص سلامت پرداخته شده است، هر چند روش محاسباتی برای شاخص سلامت ارائه نشده است. در [۱۵] روش وزن‌دهی با استفاده از آنتروپی ترکیب شده و شاخص سلامت بر این اساس تعیین می‌شود. عیب کارهای فوق این است که وزن‌دهی براساس تجربه کارشناس انجام می‌شود که ممکن است نظرات کارشناسان با هم فرق کند. میزان انحراف در وزن‌دهی به انحراف در محاسبه شاخص سلامت منجر می‌شود. عیب دیگر روش مبتنی بر وزن‌دهی این است که نمره‌دهی به آزمایش‌ها به دلیل اشتراک و نواحی فازی، دارای آستانه خطای بالایی است. به همین دلیل در سال‌های اخیر و به منظور رفع مشکلات مذکور، پژوهشگران این حوزه به روش‌های فازی روی آوردند. در [۶،۸] و به منظور رفع مشکلات[۹–۵] با استفاده از منطق فازی به روش ممدانی[5]، تست‌های انجام شده بر روی ترانسفورماتور نمره‌دهی می‌شود. عیب استفاده از روش ممدانی بار محاسباتی بالا و انعطاف‌پذیری پایین آن است [۱۶]. در [۷] با استفاده از منطق فازی به روش SVM[6] به نمره‌دهی آزمایش‌ها پرداخته شده است. عیب استفاده از روش SVM در عدم شفافیت در بیان نتایج بصورت یک پارامتر ساده است. در [۵] با استفاده از تکنیک‌های پردازش سیگنال و تشخیص الگو به ارائه یک چارچوب هوشمند برای مانیتور کردن وضعیت ترانسفورماتور پرداخته شده است. با استفاده از این روش نویز اندازه‌گیری سنسورها کم شده و خطاهای موجود در ترانسفورماتور شناسایی می‌شود. در [۱۷] با استفاده از تئوری یادگیری ماشین و شبکه عصبی به محاسبه شاخص سلامت پرداخته شده است. آموزش براساس داده‌های آزمایش‌ها صورت می‌گیرد. علی‌رغم سادگی در پیاده‌سازی، در صورت اضافه شدن داده جدید تفسیر آزمایش‌ها دشوار می‌شود.

یکی دیگر از مهمترین ملاک‌ها جهت اولویت‌بندی ترانسفورماتورها، اهمیت ترانسفورماتور در شبکه است. در واقع با تعیین هزینه ترانسفورماتور در هر سال از بهره‌برداری، می‌توان ارزش اقتصادی ترانسفورماتور را در سال مورد نظر تعیین نمود. مهمترین مرحله در تعیین اهمیت ترانسفورماتور محاسبه ارزش کنونی و هزینه‌های سالیانه ترانسفورماتور می‌باشد[۱۰]. در واقع با توجه به تاثیر نرخ خرابی بر زمان و هزینه‌های مختلف مربوط به قطعی‌های ترانسفورماتور و همچنین تغییرات نرخ خرابی ترانسفورماتور در طول عمر خود، بدست آوردن منحنی وان حمام[۷] که بیانگر نرخ خرابی در طول عمر تجهیز است لازم است. در این مقاله در کنار شاخص سلامت، اهمیت ترانسفورماتور بر مبنای ارزش اقتصادی آن نیز مد نظر قرار گرفته است. با محاسبه ارزش اقتصادی ترانسفورماتور و نرمالیزه کردن آن، شاخص اهمیت ترانسفورماتور بدست می‌آید. در این نوشتار، شاخص‌های اهمیت و سلامت مورد بررسی قرار گرفته‌است و مشخص شده است که اولویت‌بندی براساس یک شاخص به تنهایی، با نواقصی همراه است. برای رفع این نواقص و بهبود اولویت‌بندی، با ترکیب شاخص‌های سلامت و اهمیت، ماتریس ارزیابی ریسک تشکیل می‌گردد. پس از اولویت‌بندی ترانسفورماتورها بر اساس شاخص اهمیت و شاخص سلامت، ماتریس ارزیابی ریسک تشکیل شده و اولویت‌بندی براساس این ماتریس نیز انجام شده است. در نهایت مقایسه‌ای بین روش‌های اولویت‌بندی مورد مطالعه انجام گرفته‌است.

همانطور که در شکل (۱) دیده می‌شود، در مرحله اول ابتدا تعدادی ترانسفورماتور انتخاب شده، سپس بر روی آنها آزمایش عمر ترانسفورماتور انجام می‌شود و در پایان با مشخص شدن وضعیت ترانسفورماتور، تصمیم‌گیری اتخاذ می‌شود.

---

[3] -Health Index
[4] furans
[5] Mamadani
[6] Support Vector Machine
[7] Bathtub


جمع‌آوری اطلاعات ترانسفورماتورهای مورد مطالعه و انجام تست‌های تکمیلی
غربالگری و انتخاب ترانسفورماتورها براساس شاخص اهمیت و سلامت
ارائه راهکارها
ارائه برنامه تعمیر و نگهداری
ارائه برنامه آزمون‌های ترانسفورماتور
تخمین عمر و ارائه زمان جایگزینی

شکل (۱): روش ساختار یافته مدیریت جمعیت ترانسفورماتورها [25]

ارائه راهکارهای فنی و مهندسی اقدامات اصلاحی در گام سوم شامل تخمین عمر و تعیین زمان بهینه جایگزینی ترانسقور ماتور و ارائه برنامه بهینه انجام آزمونهای ارزیابی وضعیت و همچنین برنامه و تعمیر و نگهداری بهینه می‌باشد. در [۱۸] مرور جامعی بر انواع روش‌های تعمیر و نگهداری انجام شده است. در [۱۹] طی یک برنامه دو مرحله‌ای و با بهینه‌سازی مساله مورد نظر، یک برنامه جامع برای نگهداری ترانسفورماتور ارائه شده است. در [۲۰] با استفاده از حل مساله بهینه‌سازی میان دوره‌ای و پایان دوره‌ای، امنیت شبکه را بهبود یافته و احتمال خرابی در سیستم را کاهش یافته است. در [۲۱] با افزایش قابلیت اطمینان سیستم، به ارائه روشی برای نگهداری پرداخته شده است. هر چند زمان قطعی سیستم در آن لحاظ نشده است. در [۲۲] با استفاده از حل مساله بهینه‌سازی، با استفاده از روش فازی در آن افزایش قابلیت اطمینان سیستم را بیشینه و هزینه سیستم را کمینه می‌کند. اکثر روش‌های ارائه شده در زمینه تعمیر و نگهداری، تمام محدودیت‌های سیستم را در نظر نمی‌گیرند. هر چند در [۲۳] تا حد امکان محدودیت‌های نگهداری و عملکرد سیستم در مساله بهینه‌سازی به روش MILP لحاظ شده است.

۲. روش انجام اولویت بندی ترانسفورماتورها

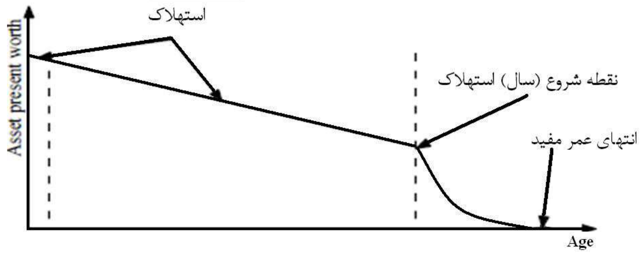
۲.۱ . *شاخص اهمیت*

یکی از روش‌های اولویت‌بندی ترانسفورماتورهای قدرت استفاده از شاخصی موسوم به شاخص اهمیت می‌باشد. شاخص اهمیت با تکیه بر ارزش اقتصادی ترانسفورماتور، تعریف و محاسبه می‌گردد. جهت محاسبه شاخص اهمیت، ابتدا باید ارزش کنونی و هزینه‌های سالانه ترانسفورماتورهای قدرت محاسبه گردد. پس از تعیین هزینه‌های سالانه با محاسبه Equivalent Uniform Annual Cost(EUAC)، شاخص اهمیت جهت اولویت‌بندی ترانسفورماتورها مشخص می شود. برای محاسبه ارزش کنونی ترانسفورماتور از «روش استهلاک» استفاده شده است[۱۰]

جهت محاسبه EUAC بایستی ارزش آینده ترانسفورماتور در سال‌های پیش رو محاسبه گردد. بدین منظور ابتدا کل هزینه‌های ترانسفورماتور در هر سال محاسبه می‌گردد، سپس با کم کردن ارزش کنونی ترانسفورماتور در هر سال از هزینه‌های محاسبه شده، مقدار ارزش آینده ترانسفورماتور محاسبه می‌گردد. با نرمالیزه کردن EUAC مربوط به تمامی ترانسفورماتورهای مورد مطالعه، مقدار شاخص اهمیت بدست می‌آید.

ارزش آینده ترانسفورماتور در سال mام با استفاده از (1) محاسبه شده‌است.

$$FV_m = C\left(1+i\right)^m - PW_m \times \sum_{j=1}^{m}\left(Co_j + Cr_j + Cp_j\right)\times\left(1+i\right)^{m-j} \qquad (1)$$



شکل ۲: استهلاک بر حسب عمر ترانسفورماتور

در (1)، Cr_j هزینه تعمیرات در سال jام، Co_j هزینه سالانه عملیاتی ترانسفورماتور در سال jام و i نرخ سود است. پس از محاسبه FV_m با استفاده از (2) مقدار EUAC قابل محاسبه است[۱۲]. با نرمالیزه کردن EUAC مربوط به تمامی ترانسفورماتورهای مورد مطالعه، مقدار شاخص اهمیت بدست می‌آید.

$$EUAC_m = FV_m \times \frac{i}{\left(1+i\right)^m - 1} \qquad (2)$$

۲.۲ شاخص سلامت

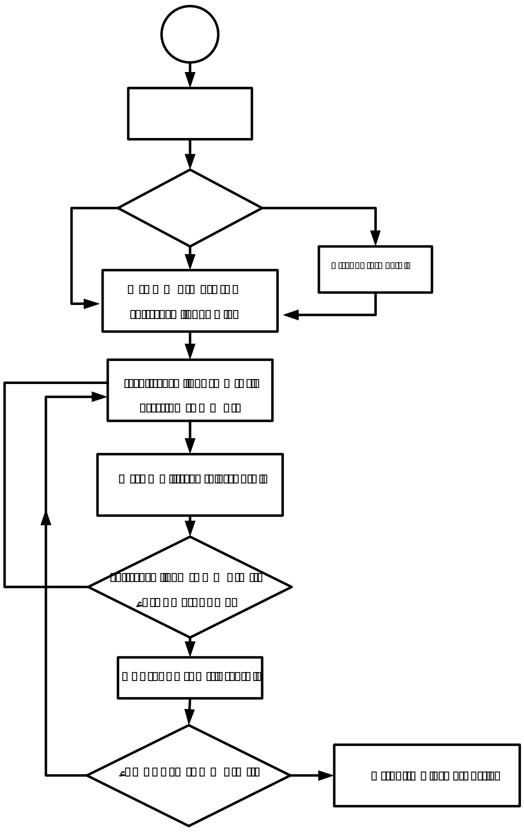
به دلیل حجم وسیع ترانسفورماتورهای قدرت انجام تمامی آزمون‌های ارزیابی وضعیت بر روی ترانسفورماتور بسیار هزینه‌بر و مشکل است. بنابراین بایستی با استفاده از راهکاری ترانسفورماتورها را اولویت‌بندی نمود. برای بررسی وضعیت ترانسفورماتور باید شاخصی جهت اولویت‌بندی انتخاب شود که سلامت ترانسفورماتور را مورد بررسی قرار دهد؛ بدین منظور شاخص سلامت به عنوان شاخص مورد نظر جهت اولویت‌بندی ترانسفورماتورها تعریف شده است. هر چه شاخص سلامت بیشتر باشد، وضعیت ترانسفورماتور بهتر است و عمر بیشتری از ترانسفورماتور باقی است. جدول ۱ نشان‌دهنده شرایط ترانسفورماتور و عمر باقیمانده آن بر اساس شاخص سلامت می باشد[۶]. جهت محاسبه شاخص سلامت ترانسفورماتور، بایستی ابتدا زیرشاخص‌های مربوط به آزمون‌های مختلف استخراج شده و با ترکیب شدن این زیرشاخص‌ها با ضرایب وزنی(K) مقدار نهایی شاخص سلامت با استفاده از (3) محاسبه گردد.

$$HI=40\%\times\frac{\sum_{i=1}^{3}K_iHIF_i}{\sum_{i=1}^{3}4K_i}+60\%\times\frac{\sum_{i=4}^{20}K_iHIF_i}{\sum_{i=4}^{20}4K_i} \qquad (3)$$

جدول ۱: عمر باقیمانده ترانسفورماتور باتوجه به شاخص سلامت[۶]

شاخص سلامت	شرایط	عمر باقیمانده ترانسفورماتور
۱۰۰-۸۵	خیلی خوب	بیشتر از ۱۵ سال
۸۵-۷۰	خوب	بیشتر از ۱۰ سال
۷۰-۵۰	مناسب	حداکثر ۱۰ سال
۵۰-۳۰	ضعیف	کمتر از ۳ سال
۳۰-۰	خیلی ضعیف	پایان عمر ترانسفورماتور

شکل (4) نحوه محاسبه شاخص سلامت نهایی را نشان می‌دهد.در صورتی که مدیریت جمعیت ترانسفورماتورها تنها بر اساس تک پارمتر شاخص سلامت صورت پذیرد می‌توان فلوچارت شکل (3) را پیشنهاد داد.

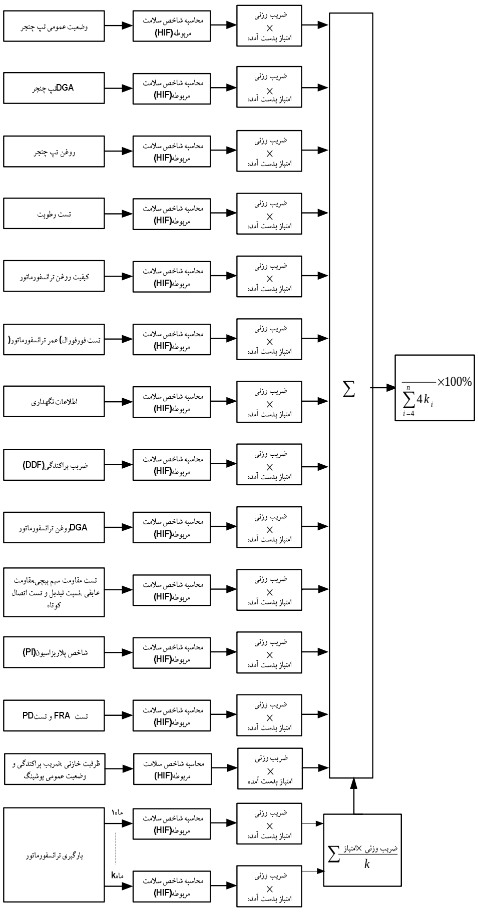


شکل (3) : مدیریت جمعیت ترانسفورماتور براساس تک پارامتر شاخص سلامت

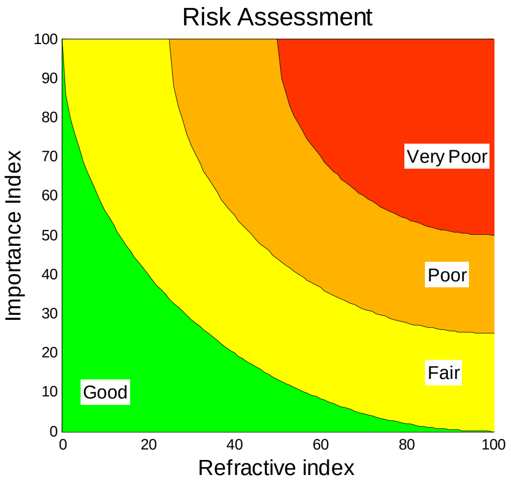
۲.۳ ماتریس ارزیابی ریسک

اولویت‌بندی ترانسفورماتورها صرفا با توجه به شاخص سلامت و یا شاخص اهمیت دارای نواقصی است. برای مثال شاخص سلامت، یک ترانسفورماتور را که دارای سلامت پایینی است، در اولویت قرار می‌دهد؛ حال آنکه ممکن است این ترانسفورماتور از شاخص اهمیت بالایی برخوردار نباشد. همچنین شاخص اهمیت ترانسفورماتوری را که درجه اهمیت بالاتری دارد(بدون توجه به سطح سلامت ترانسفورماتور)، در اولویت قرار می‌دهد. بنابراین ترکیب این دو شاخص جهت دستیابی به اولویت‌بندی دقیق‌تر پیشنهاد می‌گردد. با ترکیب این دو شاخص و تشکیل ماتریس ارزیابی ریسک، ترانسفورماتورهایی که شاخص اهمیت بالا و شاخص سلامت پایین دارند، در اولویت قرار می‌گیرند. «شکل 5» ماتریس ارزیابی ریسک را به نمایش می‌گذارد. در ماتریس ارزیابی ریسک محور افقی نشان دهنده عدم سلامت ترانسفورماتور می‌باشد. باید توجه داشت که در ماتریس ارزیابی ریسک

بحرانی‌ترین نقطه(ترانسفورماتور با اولویت بالاتر)، ترانسفورماتوری است که شاخص سلامت آن صفر و شاخص اهمیت آن صد باشد. نواحی مختلف در ماتریس ارزیابی ریسک بر اساس فاصله از بحرانی‌ترین نقطه شکل گرفته‌اند.


وضعیت عمومی تپ چنجر
DGAتپ چنجر
روغن تپ چنجر
تست رطوبت
کیفیت روغن ترانسفورماتور
تست فورفورال) عمر ترانسفورماتور(
اطلاعات نگهداری
ضریب پراکندگی(DDF)
DGAروغن ترانسفورماتور
تست مقاومت سیم پیچی،مقاومت عایقی ،نسبت تبدیل و تست اتصال کوتاه
شاخص پلاریزاسیون(PI)
تست FRA و تستPD
ظرفیت خازنی ،ضریب پراکندگی و وضعیت عمومی بوشینگ
بارگیری ترانسفورماتور
ماه۱
ماهk
محاسبه شاخص سلامت مربوطه(HIF)
ضریب وزنی × امتیاز بدست آمده
Σ
ضریب وزنی ×امتیاز / k
×100%
$\sum_{i=4}^{n} 4k_i$

شکل 4: الگوریتم محاسبه شاخص سلامت



شکل 5: ماتریس ارزیابی ریسک [25]

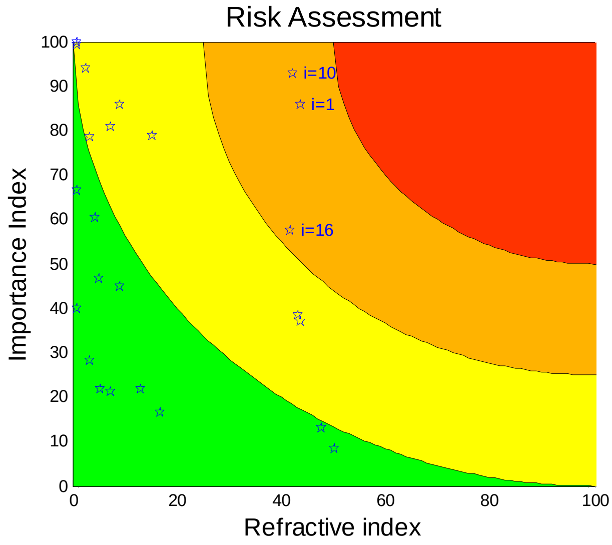
۳. اولویت‌بندی یک مجموعه از ترانسفورماتورها

جهت بررسی نحوه اولویت‌بندی ترانسفورماتورها بر اساس شاخص‌های مطرح‌شده یک جامعه آماری مشتمل بر ۲۵ ترانسفورماتور قدرت انتخاب شده است. با استفاده از اطلاعات موجود از این جامعه آماری، شاخص سلامت و شاخص اهمیت محاسبه شده‌است. با توجه به جدول ۱، براساس شاخص سلامت، ۶۰٪ ترانسفورماتورها در شرایط خیلی خوب، ۸٪ در شرایط خوب، ۲۸٪ در شرایط مناسب و ۴٪ در شرایط ضعیف هستند. شاخص اهمیت با نرمالیزه کردن ارزش اقتصادی ترانسفورماتورها بدست آمده است. همانطور که در این شکل مشاهده می گردد، ترانسفورماتورهای شماره ۵ و ۲۱ بیشترین ارزش اقتصادی را داشته‌اند که شاخص اهمیت آنها برابر ۱۰۰ شده‌است. در جدول ۲ ترانسفورماتورهای مورد مطالعه بر اساس شاخص‌های اهمیت و سلامت اولویت‌بندی شده‌اند. با توجه به اطلاعات جدول ۲ مشاهده می‌گردد که در اولویت‌بندی براساس شاخص اهمیت، ترانسفورماتورهای شماره ۵ ، ۲۱ و ۱۴در اولویت قرار می‌گیرند، در صورتی که شاخص سلامت ترانسفورماتورهای شماره ۱۵ ، ۱۳ و ۱ را در اولویت قرار داده‌است.

تفاوت در اولویت‌بندی‌ها، نشان‌دهنده ضعف اولویت‌بندی مجزا توسط این دو روش می‌باشد. در صورتی که دو شاخص سلامت و اهمیت با هم مدنظر قرار گیرند و ماتریس ارزیابی ریسک تشکیل گردد، اولویت‌بندی صورت گرفته منطقی‌تر و دقیق‌تر خواهد بود.

جدول۲:اولویت‌بندی براساس شاخص اهمیت و شاخص سلامت

شماره	شاخص اهمیت	اولویت بر اساس شاخص اهمیت	شاخص سلامت	اولویت بر اساس شاخص سلامت
۱	۸۵.۹	۶	۵۶.۲	۳
۲	۷۸.۶۹	۹	۸۴.۷۵	۱۰
۳	۱۶.۴۳	۲۳	۸۳.۲۹	۹
۴	۹۴.۱۲	۴	۹۷.۵	۲۰
۵	۱۰۰	۱	۹۹.۰۶	۲۱
۶	۳۷.۱	۱۸	۵۶.۳	۴
۷	۳۸.۵۷	۱۷	۵۶.۸	۵
۸	۲۱.۸۷	۲۱	۸۷	۱۱
۹	۶۶.۵۷	۱۱	۹۹.۰۶	۲۱
۱۰	۹۲.۹۶	۵	۵۷.۸	۷
۱۱	۴۶.۵۹	۱۴	۹۵	۱۷
۱۲	۲۸.۳۴	۱۹	۹۶.۵۶	۱۸
۱۳	۱۲.۹	۲۴	۵۲.۲	۲
۱۴	۹۹.۲۹	۳	۹۹.۰۶	۲۱
۱۵	۸.۲	۲۵	۴۹.۸	۱
۱۶	۵۷.۶	۱۳	۵۸.۲	۸
۱۷	۸۵.۸۵	۷	۹۱	۱۳
۱۸	۲۱.۸۹	۲۰	۹۴.۷۱	۱۶
۱۹	۷۸.۴۱	۱۰	۹۶.۵۶	۱۸
۲۰	۴۴.۹۳	۱۵	۹۰.۹۴	۱۲
۲۱	۱۰۰	۱	۹۹.۰۶	۲۱
۲۲	۶۰.۳۸	۱۲	۹۲.۵۷	۱۴
۲۳	۲۱.۱۹	۲۲	۹۲.۵۷	۱۴
۲۴	۸۰.۸۱	۸	۹۹.۰۶	۲۱
۲۵	۳۹.۸۹	۱۶	۵۷.۳	۶



شکل 6: اولویت‌بندی ترانسفورماتورها بر اساس ماتریس ارزیابی ریسک

«شکل6» نشان‌دهنده ماتریس ارزیابی ریسک برای این جامعه آماری می‌باشد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌گردد بر اساس ماتریس ارزیابی ریسک ۱۲٪ ترانسفورماتورها در شرایط بحرانی، ۴۸٪ در شرایط نیاز به توجه و ۴۰٪ در شرایط مناسب قرار دارند. رنگ‌های استفاده شده در ستون «شماره» در جدول ۲ وضعیت ترانسفورماتور را بر اساس اولویت‌بندی با توجه به ماتریس ارزیابی ریسک نشان می‌دهد. براساس ماتریس ارزیابی ریسک، ترانسفورماتورهای شماره ۱ ، ۱۰ و ۱۶ که در این ماتریس در ناحیه به رنگ نارنجی قرار گرفته‌اند، اولویت بیشتری نسبت به سایر ترانسفورماتورها دارند؛ در صورتی که این ترانسفورماتورها توسط اولویت‌بندی براساس مفهوم شاخص اهمیت در اولویت قرار نگرفته‌اند. ماتریس ارزیابی ریسک مصالحه‌ای بین دو مفهوم شاخص سلامت و شاخص اهمیت برقرار می‌کند و یک اولویت‌بندی منطقی حاصل می‌گردد.

٤. تخمین عمر ترانسفورماتورهای دارای اولویت بالا

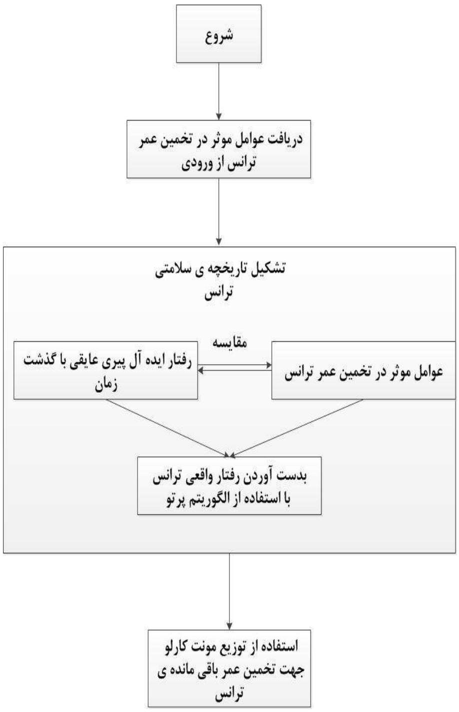
عمر باقیمانده ی یک ترانسفورماتور با توجه به پیری عایقی آن ارزیابی می شود در این مدلسازی ابتدا منحنی عمر عایقی یک ترانسفورماتور در حالت ایده آل بررسی می شود. اما از آنجایی که عایق یک ترانسفرماتور در طول عمر خود بنا به دلایل مختلف نظیر اضافه ولتاژ، تغییرات دما و... همواره

رفتار ایده آل از خود نشان نمی دهد این نایقینی[۸] از رفتار ایده آل به کمک توزیع پرتو مدل می شود[۸]. در این مدلسازی توزیع پرتو به کمک عوامل تأثر گذار در پیری عایقی یک حاشیه ی اطمینان حول منحنی پیری عایقی ایجاد می نماید نایقینی از رفتار ایده آل را توجیه می کند و به عبارتی با این کار یک تاریخچه ی سلامتی از عمر ترانس ایجاد می کند. پس از ساخت تاریخچه ی سلامتی برای ترانس، می توان بر اساس این تاریخچه و با استفاده از توزیع مونت کارلو به پیش بینی عمر باقیمانده ی ترانس و تعیین زمان از بین رفتن عایق کاغذی پرداخت. در شکل(7) الگوریتم و مراحل انجام این مدلسازی بیان شده است.

عایق کاغذی سیمپیچ ها و سرسیم ها و پرسبورد بعنوان عایق کاغذی شناخته می شود. عایق جامد باید دارای قدرت الکتریکی و مکانیکی بالایی باشد.

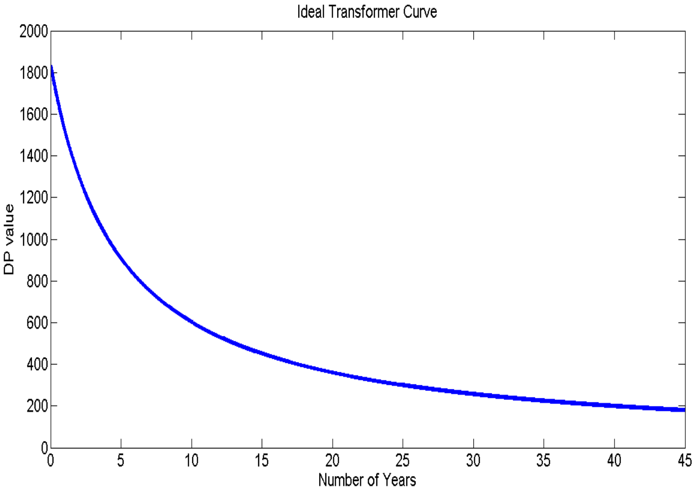
DP یا درجه پلیمریزاسیون بیانگر تعداد زنجیره های پلیمری سلولز می باشد. مقدار فورفورال نسبت به سایر هیدروکربن ها در روغن بیشتر است .لذا برای تست نمونه روغن جهت تعیینDP کاغذ از نسبت غلظت فورفورال در روغن استفاده می شود..

به منظور پیش بینی عمر باقیمانده ی ترانس نیاز به مدلسازی رفتار ایده آل عایق تراتس می باشیم که این رفتار در روابط زیر بیان شده است:


شروع
دریافت عوامل موثر در تخمین عمر ترانس از ورودی
تشکیل تاریخچه ی سلامتی ترانس
مقایسه
رفتار ایده آل پیری عایقی با گذشت زمان
عوامل موثر در تخمین عمر ترانس
بدست آوردن رفتار واقعی ترانس با استفاده از الگوریتم پرتو
استفاده از توزیع مونت کارلو جهت تخمین عمر باقی مانده ی ترانس

شکل 7: الگوریتم تخمین عمر ترانس بر اساس توزیع پرتو و الگوریتم مونت کارلو

رفتار ایده آل منحنی درجه ی پلاریزاسیون در شکل 8 نشان داده شده است.



شکل8: رفتارایده آل منحنی درجه ی پلاریزاسیون در اثر گذشت زمان

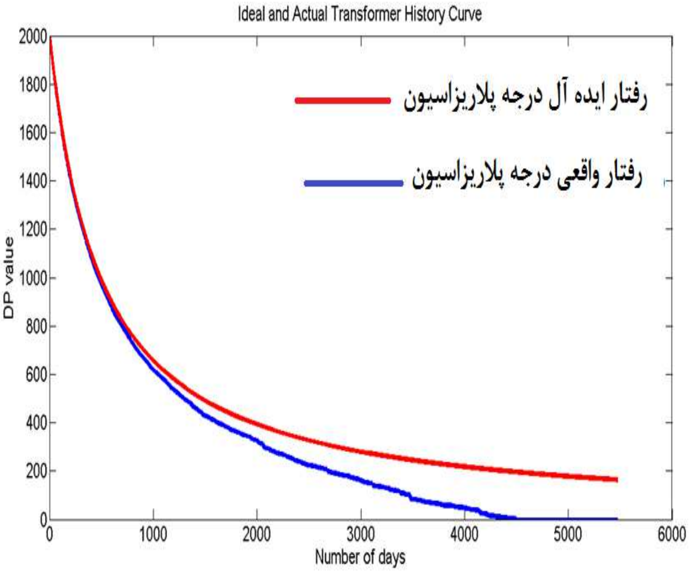
یکی از توزیع‌های مهم آماری توزیع پارتو است که نام خود را از اقتصاددان ایتالیایی ویلفردو پارتو گرفته‌است. توزیع پارتو به عنوان الگوئی برای بسیاری

---

[8] Uncertainty

از پدیده‌های اقتصادی- اجتماعی به کار رفته‌است. این توزیع در مطالعه‌ی طول عمر موجودات و مبحث قابلیت اطمینان به دلیل ویژگی‌های آن دراین زمینه، اهمیت فراوان دارد.

به منظور مدلسازی تاریخچه ی سلامتی ترانس و نایقینی از رفتار ایده آل ترانس از توزیع پرتور که یک حاشیه ی اطمینان حول منحنی DP ایجا می نماید استفاده می شود. پس از شبیه سازی رفتار واقعی DP با استفاده از توزیع پرتو می توان به تخمین عمر باقیمانده ی عایق کاغذی براساس بر اساس تاریخچه ی سلامتی ترانس و استفاده از الگوریتم مونت کارلو پرداخت. شکل (9) منحنی رفتار واقعی DP را برای یک ترانس نمونه نشان می دهد.



شکل9: منحنی رفتار واقعی DP را برای یک ترانس نمونه

۱.۴. الگوریتم جست و جوی مونت کارلو

پس از شبیه سازی و مدلسازی تاریخچه ی سلامتی ترانس با استفاده از توزیع پرتو حال با استفاده از الگوریتم جستجوی مونت مارلو به جست وجوی سنی از ترانس می گردیم که در آن سن عایق کاغذی به نهایت زوال و کارایی خود رسیده است و پس از آن دیگر قابل استفاده نیست[۱۲]. در ادامه این الگوریتم به طور کامل توضیح داده می شود:

روش شبیه سازی مونت کارلو باتوجه به شکل (۸) در قالب الگوریتم زیر اجرا می گردد[۱۳]:

گام اول) تابع توزیع احتمال هریک از عدم قطعیت ها که در فاز دوم از مدیریت ریسک شناسایی شده اند؛ با استفاده از اطلاعات آماری پیشین و نظرات کارشناسان فنی و اقتصادی تعیین می گردند.

گام دوم) سطح زیر نمودار هر یک از عدم قطعیت ها را به تعداد اجراهای شبیه سازی، به مربع هایی هم اندازه تقسیم می شود. (مطابق شکل(۸)).

گام سوم) برای هریک از عدم قطعیتها عدد تصادفی A در بازه ی [۱,۱۰۰] تعیین می گردد.

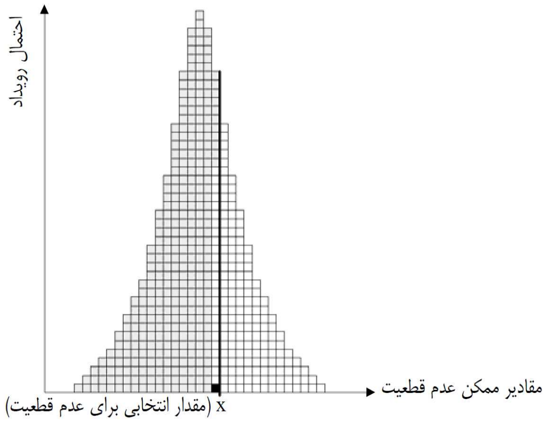
گام چهارم) از اولین مربع سمت چپ نمودار متناظر با هر یک از عدم قطعیت ها شروع کرده و تا مربعی پیش می رویم که A درصد از کل مربعها پوشش داده شوند (در شکل (10) این مربعها با رنگ خاکستری مشخص شد هاند). در امتداد ضلع راست مربع حاضر، یک خط نشانه عمودی در نظر گرفته میشود. محل تقاطع این خط نشانه با محور افقی به عنوان مقدار انتخابی برای عدم قطعیت مربوطه ثبت می گردد. جهت شمارش فراوانی مقدار انتخاب شده، پایین ترین مربع علامت گذاری نشده در سمت چپ خط نشانه فعلی علامت گذاری می شود (مربع مشکی رنگ در شکل(۹). موارد ذکر شده در این گام برای تمام عدم قطعیت ها انجام می گیرد که نتیجه آن برداری است که درایه های آن بیانگر مقادیر ثبت شده برای هریک از عدم قطعیت ها می باشد.

گام پنجم) اگر در سمت چپ خط نشانه عمودی، مربع علامت گذاری نشد های وجود نداشته باشد؛ عددA از بازه ی [۱,۱۰۰] حذف می گردد و این اجرا نادیده گرفته می شود.

گام ششم) مقدار مطلوبیت برای این بردار از مقادیر ثبت شده محاسبه می گردد.

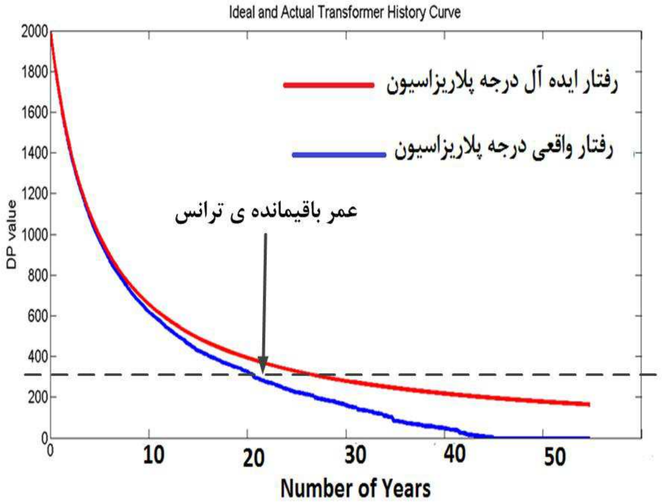
گام هفتم) تا زمانی که تمام مربعها علامت گذاری نشده اند؛ به گام ۲ بروید.

گام هشتم) نمودار فراوانی مطلوبیتها رسم می گردد.

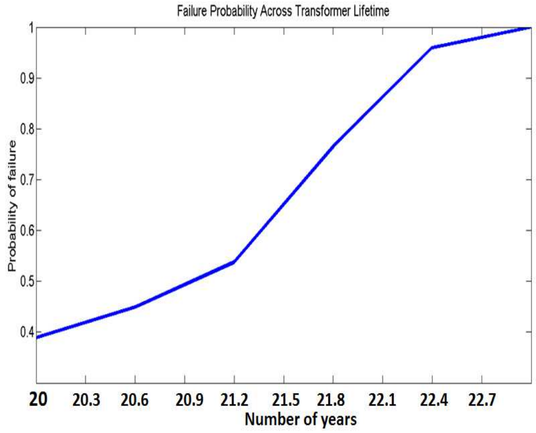


شکل10: مقدار دهی عدم قطعیت[۱۳]

در نهایت با در نظرگیری حد نهایی پیری عایقی، عمر باقیمانده ی ترانس مطابق شکل(11) تعیین می شود. به عنوان نمونه منحنی تخمین عمر ترانسفورماتور دارای بالاترین اولویت در فهرست ۲۵ ترانسفورماتور مورد مطالعه در این مفاله با استفاده از توزیع مونت کارلو در شکل(12) نشان داده شده است.



شکل 11: تخمین عمر باقیمانده ی ترانس بر اساس پیری عایقی



شکل12: منحنی تخمین عمر ترانسفورماتور دارای بالاترین اولویت با استفاده از توزیع مونت کارلو.

۵. نتیجه گیری

در اولویت‌بندی براساس ماتریس ارزیابی ریسک دو شاخص اهمیت و سلامت، همزمان مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی این موضوع، اطلاعات یک جامعه آماری شامل ۲۵ ترانسفورماتور مورد مطالعه قرار گرفت. ترانسفورماتورهایی که براساس شاخص سلامت در اولویت قرار گرفتند، با ترانسفورماتورهای دارای اولویت بر اساس شاخص اهمیت متفاوت بودند. برای بهبود اولویت‌بندی ماتریس ارزیابی ریسک با ترکیب دو شاخص سلامت و اهمیت تشکیل گردید و فاصله از بحرانی‌ترین نقطه به عنوان معیار اولویت‌بندی قرار گرفت. اولویت‌بندی براساس ماتریس ارزیابی ریسک نسبت به دو روش اولویت‌بندی دیگر به دلیل درنظرگیری همزمان شاخص سلامت و شاخص اهمیت منطقی‌تر و دقیق‌تر می‌باشد. همچنین در انتها برای ترانسفورماتورهای دارای اولویت بالا الگوریتمی برای تخمین عمر عایقی باقیمانده ترانسفورماتور با توجه به عدم قطعیتهای ممکن ارائه شده است.

۶. منابع

[۱]M. Wang, A. Vandermaar, and K. Srivastava, “Review of condition assessment of power transformers in service,” Electrical Insulation Magazine, IEEE, vol.18, pp.12–25, Nov 2002

[۲] X. Zhang and E. Gockenbach, “Asset-management of transformers based on condition monitoring and standard diagnosis [feature article],” Electrical Insulation Magazine, IEEE, vol.24, pp.26–40, July 2008 .

[۳] M. Fischer, S. Tenbohlen, M. Schafer, and R. Haug, “Determining power transform-ers’ sequence of service in power grids,” Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on, vol.18, pp.1789–1798, October 2011.

[۴] D. Hughes, “Condition based risk management (cbrm) ; enabling asset condition information to be central to corporate decision making,” in Electricity Distribution, 2005.

CIRED 2005. 18th International Conference and Exhibition on, pp.1–5, June 2005 .

[۵] H. Ma, T. Saha, C. Ekanayake, and D. Martin, “Smart transformer for smart grid ;intelligent framework and techniques for power transformer asset management,” Smart Grid, IEEE Transactions on, vol.6, pp.1026–1034, March 2015.

[۶] M. Arshad, S. Islam, and A. Khaliq, “Fuzzy logic approach in power transformers management and decision making,” Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Trans-actions on, vol.21, pp.2343–2354, Oct 2014 .

[۷] A. Ashkezari, H. Ma, T. Saha, and C. Ekanayake, “Application of fuzzy support vector machine for determining the health index of the insulation system of in-service power transformers,” Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on, vol.20,

pp.965–973, June 2013.

[8] A. Abu-Elanien, M. Salama, and M. Ibrahim, “Calculation of a health index for oil-immersed transformers rated under 69 kv using fuzzy logic,” Power Delivery, IEEE Transactions on, vol.27, pp.2029–2036, Oct 2012.

[9] L. Wang, L. Weimin, and K. Teng, “Health condition assessment method of longterm storage equipment based on matterelement theory,” in Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC), Proceedings 2013 International Conference on, pp.2799–2802, Dec 2013.

[10] J. English, L. Yan, and T. Landers, “A modified bathtub curve with latent failures,” in Reliability and Maintainability Symposium, 1995. Proceedings., Annual, pp.217–222,Jan 1995.

[11] A. Jahromi, R. Piercy, S. Cress, J. Service, and W. Fan, “An approach to power transformer asset management using health index,” Electrical Insulation Magazine, IEEE, vol.25, pp.20–34, March 2009.

[12] A. Kachler and I. Hohlein, “Aging of cellulose at transformer service temperatures. part 1: Influence of type of oil and air on the degree of polymerization of pressboard, dissolved gases, and furanic compounds in oil,” Electrical Insulation Magazine, IEEE, vol.21, pp.15–21, March 2005.

[13] J. van Bolhuis, E. Gulski, and J. Smit, “Monitoring and diagnostic of transformer solid insulation,” Power Delivery, IEEE Transactions on, vol.17, pp.528–536, Apr 2002.

[14] N. Dominelli, “Equipment health rating of power transformers,” in Electrical Insulation, 2004. Conference Record of the 2004 IEEE International Symposium on, pp.163–168, Sept 2004.

[15] T. Hjartarson and S. Otal, “Predicting future asset condition based on current health index and maintenance level,” in Transmission Distribution Construction, Operation and Live-Line Maintenance, 2006. ESMO 2006. IEEE 11th International Conference on, pp.–, Oct 2006.

[16] A. Hamam and N. D. Georganas, “A comparison of mamdani and sugeno fuzzy inference systems for evaluating the quality of experience of hapto-audio-visual applications,” in Haptic Audio visual Environments and Games, 2008. HAVE 2008. IEEE International Workshop on, pp.87–92, Oct 2008.

[17] A. Abu-Elanien, M. Salama, and M. Ibrahim, “Determination of transformer health condition using artificial neural networks,” in Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA), 2011 International Symposium on, pp.1–5, June 2011.

[18] J. et al., “Automated integration of condition monitoring with an optimized main-tenance scheduler for circuit breakers and power transformers, final project report, 2006.,” in Available: http://www.pserc.org., pp.–, Oct 2006.

[19] A. Abiri-Jahromi, M. Parvania, F. Bouffard, and M. Fotuhi-Firuzabad, “A two-stage framework for power transformer asset maintenance management ;part i: Models and formulations,” Power Systems, IEEE Transactions on, vol.28, pp.1395–1403, May 2013.

[20] Y. Fu, M. Shahidehpour, and Z. Li, “Security-constrained optimal coordination of generation and transmission maintenance outage scheduling,” Power Systems, IEEE

Transactions on, vol.22, pp.1302–1313, Aug 2007.

[21] Y. Fu, Z. Li, M. Shahidehpour, T. Zheng, and E. Litvinov, “Coordination of midterm outage scheduling with short-term security-constrained unit commitment,” Power Systems, IEEE Transactions on, vol.24, pp.1818–1830, Nov 2009.

[22] S. G. S. Subramanian, M. Abirami, “Reliable/cost-effective maintenance schedules for a composite power system using fuzzy supported teaching learning algorithm,” IET Generation, Transmission amp; Distribution, vol.9, pp.805–819(14), June 2015.

[23] S. Hussin and M. Hassan, “Coordination of short-term maintenance scheduling with hourly security-constrained unit commitment,” in Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO), 2014 IEEE 8th International, pp.73–78, March 2014.

[24] A. E. B. Abu-Elanien, M. M. A. Salama and R. Bartnikas, "A New Techno-Economic Replacement Technique for Transformers," Accepted in IEEE PES General Meeting, 2011.

[25] Fischer.M, Tenbohlen.S, Schäfer.M and Haug.R, " Determining Power Transformers’ Sequence of Service in Power Grids", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 18, No. 5; October 2011