

# SID



سرویس های  
ویژه



سرویس ترجمه  
تخصصی



کارگاه های  
آموزشی



بلاگ  
مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری  
STES



فیلم های  
آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی

کارگاه آنلاین  
بررسی مقابله ای متون (مقدماتی)

کارگاه آنلاین  
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو

# تعیین زمان بهینه جایگزینی و برنامه ریزی نگهداری و تعمیرات ترانسفورماتورهای توزیع

ایمان کمال احمدی، حبیب رجبی مشهدی

گروه برق - دانشکده مهندسی

دانشگاه فردوسی مشهد

ایران، مشهد

Iman.k.ahmadi@gmail.com - h\_mashhadi@um.ac.ir

ممکن برسد. همچنین بین تعمیرات اساسی و جایگزینی تجهیزات مقایسه‌ای انجام خواهد شد.

واژه‌های کلیدی — ترانسفورماتور توزیع؛ زمان جایگزینی؛ تعمیر اساسی؛ مدل برنامه ریزی پویا؛

## ۱. مقدمه

ترانسفورماتورهای توزیع (20kV/400V) که به عنوان یکی از اجزاء کلیدی شبکه توزیع شناخته می‌شوند، نقش مهمی در بالا بردن کیفیت عرضه برق و افزایش ضریب پایایی شبکه ایفاء می‌کنند. بنابراین توجه به جنبه‌های فنی و اقتصادی این ترانسفورماتورها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در طراحی ترانسفورماتورهای توزیع معمولاً عمر مفیدی برابر ۲۵ تا ۳۰ سال برای آن در نظر گرفته می‌شود که با انجام فعالیت‌های تعمیر و نگهداری مناسب می‌توان عمر مفید ترانسفورماتورها را افزایش داد. اما مسأله‌ای که باید مد نظر قرار داد این است که به مرور زمان و به علت بالا رفتن عمر تجهیز، هزینه‌های مربوط به نگهداری و تعمیرات آن افزایش می‌یابد و تأمین لوازم یدکی با مشکل همراه خواهد بود که این امر نیاز به تعویض تجهیزات را اجتناب ناپذیر می‌کند. هزینه‌های نگهداری و تعمیرات که بخش عمده‌ای از هزینه‌های تولید را در برمی‌گیرد، با توجه به نوع صنعت مورد بررسی، چیزی در حدود ۱۵ تا ۶۰ درصد هزینه محصول تولید شده را در بر می‌گیرد. بنابراین تعیین زمان بهینه استفاده از تجهیزات، یکی از مسائل مهم در حوزه

چکیده — رشد روز افزون شبکه‌های توزیع و تعداد بالای ترانسفورماتورهای استفاده شده در این بخش موجب شده است تا توجه به عمر مفید این تجهیزات یکی از مسایل مهم در بهره‌برداری شبکه‌های توزیع باشد. در این خصوص تخمین عمر مفید ترانسفورماتور و تعیین زمان بهینه تعمیر و تعویض از این جهت حائز اهمیت است که بتوان از خاموشی طولانی مدت مشترکین و خرابی تجهیزات الکتریکی پیشگیری کرد و پایداری شبکه را افزایش داد.

از آنجائیکه با فرسوده شدن تجهیز، هزینه نگهداری آن به صورت نمایی زیاد می‌شود، بنابراین منطقی است تا در زمان مناسب با جایگزینی تجهیز مانع از رشد این هزینه‌ها شد. با این حال، در برخی موارد ممکن است تعمیر اساسی یک تجهیز قدیمی نسبت به تعویض آن مقرون به صرفه‌تر باشد.

در طول سال‌ها، روش‌ها و مدل‌های مختلفی جهت حل مسأله بهینه‌سازی زمان تعویض تجهیزات ارائه شده است که هدف همگی آنها حداقل کردن هزینه‌های مرتبط با تجهیز می‌باشد. در این مقاله تلاش شده است تا با توسعه روش برنامه‌ریزی پویا، مدل جدیدی با توجه به شرایط کشور، جهت حل مسأله جایگزینی ترانسفورماتورهای توزیع ارائه گردد و به کمک آن زمان بهینه تعمیر اساسی و تعویض ترانسفورماتورهای توزیع به گونه‌ای تعیین شود تا هزینه‌های بهره‌برداری به حداقل مقدار

دارائی موجود به مدت یکسال دیگر مورد استفاده قرار گیرد و سپس در شروع سال بعد مجدداً محاسبات انجام شده و در مورد جایگزینی و یا حفظ آن تصمیم مناسب گرفته خواهد شد. در روش برنامه ریزی پویا ارائه شده در این مقاله، یک مرحله دیگر تحت عنوان مرحله تعمیر اساسی به سیستم اضافه شده است، بنابراین در شروع هر سال سه انتخاب برای تجهیز وجود خواهد داشت. انتخاب و یا تصمیم‌هایی که برای تجهیز وجود دارد به این صورت است که آیا تجهیز همچنان بدون تعمیر و تعویض به فعالیت خود ادامه دهد (K) یا وارد مرحله تعمیر شود (M) و یا اینکه تجهیز از رده خارج شده و با یک تجهیز جدید جایگزین گردد (R). «شکل ۱» روند مربوط به این روش را نشان می‌دهد. تعویض ترانسفورماتور در این مدل به دو علت رخ می‌دهد:

۱- نگهداری ترانسفورماتور از لحاظ اقتصادی دیگر مقرون به صرفه نیست و بهتر است با تجهیز جدید جایگزین گردد. به عبارتی هزینه‌های مربوط به نگهداری و تعمیرات، از هزینه خرید تجهیز جدید بیشتر شده و منجر به تعویض آن می‌گردد. خطوط مورب بالایی نشان دهنده تعمیر یا تعویض تجهیز به دلایل اقتصادی می‌باشد. نکته‌ای که باید به آن توجه شود این است که در این حالت تجهیز ابتدا بایستی تعمیر گردد و پس از حداقل یکسال در خصوص تعویض آن تصمیم‌گیری شود.

۲- در کشور ما با توجه به رشد بالای مصرف در برخی از مناطق جایگزینی زود هنگام ترانسفورماتور توزیع اجتناب ناپذیر است. بنابراین حالت دیگری که برای تعویض تجهیز در این مقاله مطرح می‌شود، رشد بار می‌باشد. افزایش بار متصل به یک ترانسفورماتور باعث می‌شود تا به جهت جلوگیری از قطعی ناخواسته برق مشترکین و خاموشی، ترانسفورماتور با یک ترانسفورماتور ظرفیت بالاتر جایگزین گردد. هرچند ممکن است این تعویض از لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر نباشد، زیرا احتمال دارد که تجهیز هنوز به پایان عمر اقتصادی خود نرسیده باشد. خطوط مورب پایینی نشان دهنده جایگزینی تجهیز به دلیل رشد بار می‌باشد. بر خلاف حالت اول در اینجا تجهیز این امکان را دارد که مستقیم وارد مرحله تعویض شود.

عملیاتی که در مرحله تعمیر اساسی بر روی ترانسفورماتور انجام می‌گیرد عبارت است از [۵]:

- تعویض سیم پیچ‌های ترانسفورماتور در صورت نیاز
- تمیزکاری و چیدن مجدد هسته‌ی ترانسفورماتور و یا تعویض آن

تصمیم‌گیری‌های مدیریتی می‌باشد. مدیران سازمان برای اتخاذ تصمیم‌های مناسب، باید زمان بهینه تعمیر، تعویض و یا از رده خارج کردن تجهیزات را به گونه‌ای تعیین کنند تا بیشترین منافع و کمترین هزینه را برای سازمان داشته باشد.

دو استراتژی اصلی نگهداری و تعمیرات که در شرکت‌های توزیع مورد استفاده قرار می‌گیرد عبارتند از: نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه و اصلاحی [۱]. نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه به دو زیربخش مبتنی بر زمان و مبتنی بر شرایط تقسیم می‌شود [۲]. نگهداری و تعمیرات مبتنی بر زمان بر اساس بازرسی‌های منظم انجام می‌شود و بر اساس مشاهدات به عمل آمده سرویس و نظافت تجهیزات و تعویض قطعات برای جلوگیری از خرابی صورت می‌گیرد. نگهداری و تعمیرات مبتنی بر شرایط بر اساس وضعیت و حالت تجهیز می‌باشد. این استراتژی بر این پایه استوار است که اغلب خرابی‌های ماشین‌آلات و تجهیزات صنعتی، پس از رسیدن به یک مرحله مشخص، نشانه‌هایی از خود بروز می‌دهند که می‌توان این نشانه‌ها را به صورت صدا، ارتعاشات، امواج آلتراسونیک، ذرات فرسایشی، دما و غیره تشخیص داد. بنابراین می‌توان وقوع خرابی را پیش‌بینی کرد و قبل از رسیدن به مراحل بحرانی، پیشرفت خرابی را متوقف ساخت [۳].

نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان که مدل توسعه یافته‌تر دو استراتژی قبلی می‌باشد، فرایندی سیستماتیک و علمی برای تعیین فعالیت‌هایی است که باید انجام شوند تا از ادامه کارکرد تجهیزات مطابق با انتظارات کاربرانشان اطمینان حاصل شود. این فرآیند با شناسایی ماشین‌آلات بحرانی، تجزیه و تحلیل عوامل موثر در قابلیت اطمینان، تجزیه و تحلیل حالات خرابی و بررسی اثرات خرابی یک تجهیز بر کل سیستم، باعث شده است تا از نظر اغلب متخصصین نگهداری و تعمیرات به عنوان اثر بخش‌ترین روش نسبت به هزینه‌هایش برای ایجاد و توسعه‌ی استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات در سطحی جهانی شناخته شود [۴].

## ۲. روش برنامه ریزی پویا

برنامه ریزی پویا، یک تکنیک ریاضی است که برای بهینه‌سازی مسائل مبتنی بر تصمیم‌گیری‌های چند مرحله‌ای مناسب می‌باشد. در اکثر کارهای تحقیقاتی انجام شده، این روش به این صورت عمل می‌کند که در شروع هر سال و بر اساس محاسبات انجام شده، در خصوص حفظ و نگهداری تجهیز و یا جایگزینی آن تصمیم‌گیری می‌شود. حفظ تجهیز موجب می‌شود تا

- تصفیه‌ی کامل روغن موجود در تانک و یا تعویض کامل آن در صورت نداشتن استقامت عایقی مناسب (۲)

- هزینه‌های مربوط به تعمیرات اساسی شامل هزینه‌های زیر می‌باشد [۷]:

$$C_M(t) = C_{ins}(t) + C_{ovh}(t)$$

$C_{ins}(t)$ : هزینه مربوط به بازدید و رفع خرابی‌های کوچک در سال  $t$

$C_{ovh}(t)$ : هزینه مربوط به تعمیرات اساسی در سال  $t$

در این مقاله فرض شده است هزینه تعمیرات اساسی ۱۰ درصد هزینه تجهیز جدید می‌باشد.

- برای محاسبه هزینه خرابی تجهیز از روابط زیر استفاده می‌شود [۸]:

$$\lambda_{(t)} = \frac{1}{30}t \cdot \lambda_{(0)} + \lambda_{(0)} \quad 1 \leq t \leq 25 \quad (3)$$

$$\lambda_{(t)} = \frac{1}{72.848} e^{-t-25} \cdot \lambda_{(0)} + 1,9627 \cdot \lambda_{(0)} \quad 25 < t \quad (4)$$

$$C_F(t) = \lambda_{(t)} \cdot d \cdot P \cdot \rho \quad (5)$$

$\lambda_{(0)}$ : نرخ خرابی اولیه تجهیز

$\lambda_{(t)}$ : نرخ خرابی تجهیز در سال  $t$  (نرخ خرابی تجهیز در ۲۵ سال اول عمر آن به صورت خطی تغییر می‌کند اما بعد از ۲۵ سال این نرخ به صورت نمایی افزایش می‌یابد).

$d$ : مدت زمان بی‌برقی به ساعت

$P$ : مقدار بار متصل به تجهیز (kW)

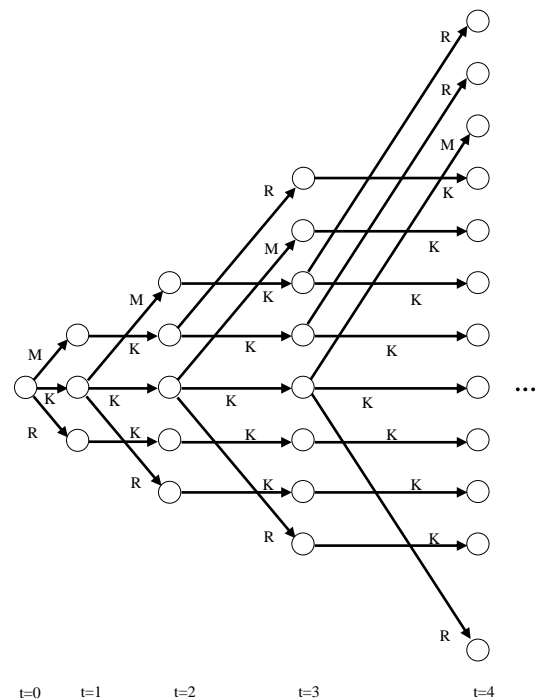
$\rho$ : هزینه تحمیلی به مشتری در اثر قطع تغذیه بر حسب (€/kWh)

همانطور که ذکر شد، هدف، حداقل کردن هزینه‌های مربوط به خرابی، تعمیر و تعویض تجهیز می‌باشد، بنابراین [۹]:

$$Z(t, n) = \min_{m=1,2,3} \{ \text{MINCOST}(t-1, m) + V[(t-1, m)(t, n)] \} \quad (6)$$

$$V[(t-1, m)(t, n)] = \sum_{t'=t}^T \text{INV}(m, n) \cdot \varepsilon \cdot a^{-t'} + \dots + C_F(a_m(t), n) \cdot a^{-t} + C_M(t, n) \cdot a^{-t} \quad (7)$$

$$\varepsilon = \frac{i}{1 - \frac{1}{(1+i)^{Tp}}} \quad , \quad \alpha = (1+i) \quad (8)$$



شکل ۱: مدل برنامه‌ریزی پویا توسعه یافته

- تابع هدف به صورت زیر تعریف می‌شود [۶]:

$$F = \min \sum_{t=1}^T C_I(t) + C_M(t) + C_F(t) \quad (1)$$

$C_I(t)$ : هزینه خرید تجهیز جدید در سال  $t$

$C_M(t)$ : هزینه‌های مربوط به تعمیرات اساسی تجهیز در سال  $t$

$C_F(t)$ : هزینه‌های مربوط به خرابی تجهیز در سال  $t$

$T$ : طول دوره طراحی

### ۳. استراتژی های تعمیر

در خصوص بحث اثرگذاری فعالیت های تعمیراتی بر روی تجهیزات مدل های مختلفی ارائه شده که دو مدل پرکاربرد آن عبارت است از [۱۱]:

۱- در مدل اول فرض بر این است که عمر تجهیز بعد از تعمیر  $X$  سال جوان تر می شود (معمولاً  $X=5$  در نظر گرفته می شود).

۲- در این مدل، پس از آنکه تجهیز تعمیر می شود، نرخ خرابی آن طبق (۱۳) بهبود یافته اما بعد از گذشت چند سال (معمولاً ۵ سال) دوباره نرخ خرابی به حالت قبل از تعمیر برمی گردد (شکل ۲).

$$\lambda(t, a) = (\alpha_1 + a \cdot \beta_1) \lambda_0(t)$$

$\alpha_1$ : نشان دهنده ارتباط بین نرخ خرابی تجهیز پس از تعمیر، نسبت به نرخ خرابی اصلی تجهیز، در سال اول تعمیر می باشد.

$a$ : نشان دهنده تعداد سال ها، پس از تعمیر تجهیز بوده.

$\beta_1$ : بیان کننده این است که نرخ خرابی بعد از تعمیر، سالیانه چقدر افزایش می یابد.

$\lambda(t, a)$ : نرخ خرابی تجهیز  $a$  سال بعد از تعمیر در سال  $t$

$\lambda_0(t)$ : نرخ خرابی تجهیز در سال  $t$  بدون تعمیر

با توجه به اینکه مدل دوم به واقعیت نزدیکتر است لذا در این مقاله فرض بر این است که نوع اثرگذاری فعالیت های تعمیراتی بر اساس این استراتژی می باشد.



شکل ۲: مدل دوم تعمیر و نگهداری [۱۱].

$Z(t, n)$ : حداقل هزینه تا مرحله  $(t, n)$

حالت  $(t, n)$

$V[(t-1, m)(t, n)]$ : هزینه انتقال از حالت  $(t-1, m)$  به حالت  $(t, n)$

$MINCOST(t-1, m)$ : حداقل هزینه تجمعی در سال  $t-1$

$m$  و  $n$  شماره گره،  $i$  نرخ بهره و  $t$  سال می باشد.

$\varepsilon$ : ضریب تبدیل ارزش فعلی ( $P$ ) به ارزش همسنگ سالانه ( $A$ )

(۱۳)

$T_p$ : عمر بهینه تجهیز

$a_m(t)$ : سن تجهیز در زمان  $t$  در گره  $m$

$C_F, C_M$ : هزینه خرابی و هزینه تعمیر اساسی

$INV$ : هزینه سرمایه گذاری یا خرید تجهیز جدید

$\alpha$ : ضریب ارزش فعلی

برای هزینه انتقال در این روش سه حالت ممکن وجود دارد:

- چنانچه تجهیز تعمیر اساسی و یا جایگزین نشود:

$$V[(t-1, m)(t, n)] = C_F(a_m(t), n) \cdot a^{-t} \quad (9)$$

- تجهیز وارد مرحله تعمیر اساسی شود:

$$V[(t-1, m)(t, n)] = C_F(a_m(t), n) \cdot a^{-t} + C_M(t, n) \cdot a^{-t} \quad (10)$$

- تجهیز تعویض شود:

$$V[(t-1, m)(t, n)] = \sum_{t'=t}^T INV(m, n) \cdot \varepsilon \cdot a^{-t'} + \dots + C_F(a_m(t), n) \cdot a^{-t} \quad (11)$$

برای سهولت مقایسه، تمامی هزینه ها توسط (۱۲) به هزینه های همسنگ سالانه تبدیل شده است [۱۰].

$$AV = PV \left[ \frac{i \cdot (1+i)^t}{(1+i)^t - 1} \right] \quad (12)$$

تجهیز	ترانس ۱۰۰kVA	ترانس ۲۵۰kVA	ترانس ۳۱۵kVA	ترانس ۶۳۰kVA	ترانس ۸۰۰kVA
نرخ خرابی (۱ بر سال)	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴۵
سن اولیه تجهیز (سال)	۱۲	۱۱	۱۴	۱۵	۱۴
مدت بی برقی (ساعت)	۳	۳	۳	۳	۴
میزان بار اولیه (kW) (۱۴)	۸۰	۱۵۰	۲۵۰	۴۰۰	۶۵۰
نرخ سالیانه رشد بار	٪۲	٪۷	٪۱/۵	٪۲	٪۰/۵
هزینه تجهیز جدید در t=0 (تومان)	۱۱,۹۱۸,۶۰۰	۲۰,۴۲۹,۴۰۰	۲۴,۰۵۸,۴۰۰	۴۰,۹۸۱,۱۰۰	۴۶,۳۰۰,۳۰۰

### ۶. قید بودجه

با توجه به محدودیت بودجه‌ای که شرکت‌های توزیع با آن مواجه هستند امکان تعویض همزمان چند ترانسفورماتور با هم و در یکسال میسر نمی‌باشد. لذا برای جلوگیری از تعویض همزمان چند ترانسفورماتور در یکسال، قیدی، تحت عنوان قید بودجه در نظر گرفته شده است که بر اساس آن در هر سال اجازه تعویض یک ترانسفورماتور فقط داده می‌شود. از آنجائیکه ترانسفورماتور ۸۰۰kVA نسبت به سایر ترانسفورماتورها از اهمیت بیشتری برخوردار است، به دلیل قیمت بالاتر و بار بزرگتری که به آن متصل است، بنابراین زمان تعویض این ترانسفورماتور را به عنوان مبنا در نظر گرفته و سال تعمیر، تعویض و هزینه بهره‌برداری ترانسفورماتورها دیگر بر اساس قید بودجه تعیین می‌شود.

### ۷. مطالعه موردی

در این قسمت، با توجه به توضیحات ارائه شده در بخش‌های قبلی به بررسی ۵ ترانسفورماتور توزیع پرداخته و زمان تعمیر، تعویض و هزینه کل سالیانه آنها تعیین می‌شود. در روش برنامه‌ریزی پویا، هزینه کل سالیانه شامل هزینه نگهداری، تعمیرات اساسی و جایگزینی تجهیز می‌باشد. علاوه بر روش برنامه‌ریزی پویا معرفی شده، مسأله با استفاده از دو روش دیگر مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و نتایج با هم مقایسه می‌شود. در روش اول

### ۴. اثر تورم

یکی از پارامترهای مهم هنگام مقایسه و تصمیم‌گیری بین چند گزینه اقتصادی نرخ تورم می‌باشد. به همین دلیل و به جهت نزدیکتر شدن نتایج خروجی به واقعیت، قیمت‌های جدید (اعم از هزینه‌ها و یا درآمدها) در شروع هر سال و بر اساس تورم، از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{قیمت در آغاز سال اول} \times (1+f)^t = \text{قیمت در پایان سال } t$$

f نرخ متوسط تورم سالانه که برابر ۱۲ درصد می‌باشد [۱۲].

### ۵. ارزش باقیمانده

ترانسفورماتورهایی که از رده خارج می‌شوند را می‌توان به عنوان یک دارایی به فروش رساند و سودی را نصیب سیستم کرد. در این مقاله برای محاسبه استهلاک ترانسفورماتورها از روش «جمع ارقام سنوات» استفاده شده است. بر اساس این روش، مقدار استهلاک در سال اول بیشترین مقدار را دارد و بر حسب یک نسبت مشخص سالیانه کاهش می‌یابد تا جائیکه در سال آخر عمر مفید تجهیز کمترین مقدار استهلاک را داراست [۱۳].

$$BV_m = P - \left[ \frac{m(n - (m/2) + 0.5)}{SYD} \right] (P - SV) \quad (15)$$

$$SYD = \frac{n(n+1)}{2} \quad (16)$$

$BV_m$ : ارزش دفتری تجهیز

P: هزینه اولیه دارایی

SV: ارزش اسقاطی دارایی (در این پروژه فرض شده است که ارزش اسقاطی دارایی بعد از عمر مفید آن طبق عرف بازار کیلویی ۲۵۰۰ تومان می‌باشد).

n: عمر اسقاطی دارایی (۳۰ سال)

SYD: جمع ارقام سنوات

m: سال (۱، ۲، ۳، ...)

ترانس ۸۰۰kVA				ترانس ۶۳۰kVA				ترانس ۳۱۵kVA				ترانس ۲۵۰kVA				ترانس ۱۰۰kVA				تجهیز مدل
زمان تعویض دوم	زمان تعمیر دوم	زمان تعویض اول	زمان تعمیر اول	زمان تعویض دوم	زمان تعمیر دوم	زمان تعویض اول	زمان تعمیر اول	زمان تعویض دوم	زمان تعمیر دوم	زمان تعویض اول	زمان تعمیر اول	زمان تعویض دوم	زمان تعمیر دوم	زمان تعویض اول	زمان تعمیر اول	زمان تعویض دوم	زمان تعمیر دوم	زمان تعویض اول	زمان تعمیر اول	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	روش اول
-	-	۲۰	-	-	-	۱۸	-	۴۷	-	۱۳	-	۴۳	-	۷	-	۴۶	-	۱۰	-	روش دوم
-	۵۶	۲۳	۱۹	-	۵۷	۲۱	۱۸	۴۹	۴۶	۱۳	-	۴۵	۴۲	۷	-	۴۸	۴۵	۱۰	-	روش سوم

### ۸ نتایج

جدول ۳: هزینه کل سالیانه (تومان)

مدل	تجهیز	ترانس ۱۰۰kVA	ترانس ۲۵۰kVA	ترانس ۳۱۵kVA	ترانس ۶۳۰kVA	ترانس ۸۰۰kVA
روش اول	۷/۸۹×۱۰ <sup>۱۸</sup>	۵/۹×۱۰ <sup>۱۸</sup>	۱/۵۱×۱۰ <sup>۲۰</sup>	۵/۲۸×۱۰ <sup>۲۰</sup>	۴/۷۴×۱۰ <sup>۲۰</sup>	
روش دوم	۲,۳۶۲,۵۱۵	۳,۱۳۵,۳۱۱	۳,۲۴۹,۴۹۸	۷,۵۴۶,۸۸۹	۷,۶۷۹,۷۱۳	
روش سوم	۲,۰۷۱,۷۹۵	۲,۹۰۵,۱۱۰	۳,۰۷۳,۶۷۷	۵,۴۲۱,۰۲۳	۶,۷۹۳,۵۲۲	

همانطور که از «جدول ۲» مشخص است ترانسفورماتورهای ۱۰۰، ۲۵۰ و ۳۱۵ کیلو ولت آمپر در طول دوره مطالعه دو بار تعویض شده‌اند. تعویض اولیه این ترانسفورماتورها به علت رشد بار بوده، در نتیجه ترانسفورماتورها بدون اینکه تعمیر اساسی شوند مستقیم با یک ترانسفورماتور جدید جایگزین می‌گردند. این تعویض زود هنگام ترانسفورماتور باعث می‌شود تا هزینه‌های مرتبط با تجهیز افزایش یابد، زیرا تجهیز هنوز به پایان عمر اقتصادی خود نرسیده است. به عنوان مثال اگر رشد بار صفر باشد زمان بهیته تعویض ترانسفورماتور ۱۰۰kVA سال ۲۶ است که به علت رشد بار این ترانسفورماتور ۱۶ سال زودتر و در سال ۱۰ تعویض شده است و این عاملی می‌شود تا هزینه بهره‌برداری افزایش یابد. تعویض دوم به علت مسائل اقتصادی رخ می‌دهد در نتیجه ترانسفورماتورها ابتدا تعمیر اساسی شده و سپس جایگزین می‌گردند، یعنی در این حالت افزایش هزینه‌های نگهداری تجهیز باعث می‌شود تعویض ترانسفورماتور نسبت به حفظ آن مقرون به-

فرض بر این است که در طول دوره مطالعه (۶۰ سال) ترانسفورماتورها تعمیر اساسی و یا تعویض نشوند در نتیجه هزینه کل، فقط هزینه نگهداری تجهیز می‌باشد. روش دوم که بیشتر در شرکت‌های توزیع مورد استفاده قرار می‌گیرد به این صورت است که ترانسفورماتورها تعمیر اساسی نمی‌شوند اما امکان تعویض آنها وجود دارد. این جایگزینی ممکن است به دلیل افزایش هزینه‌های نگهداری تجهیز یا رشد بار رخ دهد، بنابراین در این حالت هزینه کل شامل هزینه‌های نگهداری و جایگزینی تجهیز می‌باشد. به طور خلاصه سه روشی که در این مقاله جهت حل مسأله مورد استفاده قرار می‌گیرد، عبارت است از:

صرفه‌تر باشد. در ترانسفورماتورهای ۶۳۰ و ۸۰۰ کیلوولت آمپر، چون رشد بار به حدی نیست که باعث تعویض ترانسفورماتور شود بنابراین این امکان وجود دارد تا برای اجرای برنامه‌های تعمیرات اساسی برنامه‌ریزی کرد و سپس در صورت لزوم ترانسفورماتور جایگزین شود.

- روش اول: بدون تعمیر اساسی و تعویض

- روش دوم: فقط تعویض (بدون تعمیر اساسی)

- روش سوم: روش برنامه‌ریزی پویا ارائه شده در مقاله

نتایج «جدول ۳» نشان می‌دهد، در روش اول هزینه نگهداری سالیانه ترانسفورماتورها عدد بزرگی است که دلیل آن، بالا رفتن عمر ترانسفورماتور و افزایش نرخ خرابی آن است. به عنوان مثال در ترانسفورماتور ۶۰۰ kVA



یک الگوریتم مناسب، متناسب با دستگاه‌ها و تجهیزات خود و تعیین زمان بهینه تعمیر اساسی و تعویض آنها، موجب کاهش هزینه‌ها و افزایش کیفیت محصولات و خدمات خود شوند.

در مقاله حاضر، هر ترانسفورماتور به عنوان یک تجهیز مستقل و منفرد مورد بررسی قرار گرفته است اما در مواردی نمی‌توان برنامه‌های نگهداری و تعمیرات تجهیز را مستقل از سایر تجهیزات فرض کرد، به عبارتی اجرای برنامه‌های نگهداری و تعمیرات تجهیزات به هم وابسته می‌باشد. برای این حالت بهتر است تجهیزات نزدیک به هم در یک گروه فرض شود و با تعریف پارامترهای جدید مسأله جایگزینی مورد بررسی قرار گیرد.

### منابع

- [1] Janjic, Aleksandar D., and Dragan S. Popovic. "Selective maintenance schedule of distribution networks based on risk management approach," IEEE transactions on power systems 22.2 (2007): 597-604.
- [2] Li, Fangxing, and Richard E. Brown. "A cost-effective approach of prioritizing distribution maintenance based on system reliability," IEEE transactions on power delivery 19.1 (2004): 439-441.
- [3] Heising, Charles R. "Quantitative relationship between scheduled electrical preventive maintenance and failure rate of electrical equipment," Industry Applications, IEEE Transactions on 3 (1982): 268-272.
- [4] Moubray, John. Reliability centered maintenance. Industrial Press, 1997.
- [5] سید محمد باقر ساداتی، «اندازه‌گیری، مقایسه و تحلیل میزان تلفات در ترانسفورماتورهای توزیع تعمیر شده و نو به همراه ارائه پیشنهادات اجرایی» بیست و ششمین کنفرانس بین‌المللی برق، تهران، ۲۰۱۱.
- [6] Korpijrv, Kortelainen 2009, "Maintenance and investment scheduling of electric distribution network", Proceedings of the fifth international scientific symposium Elektroenergetika 2009, September 23 – 25, 2009 Stara Lesna, Slovakia, pp 49 – 52.
- [7] Janjic, Aleksandar D., and Dragan S. Popovic. "Selective maintenance schedule of distribution networks based on risk management approach," IEEE transactions on power systems 22.2 (2007): 597-604.
- [8] Korpijrv, Kortelainen, 2010, "A Dynamic Programming Model for Maintenance of Electric Distribution System," International Journal of Electrical and Computer Engineering, Vol. 5, Number 4, Spring 2010, pp.212 – 215.
- [9] Partanen, J. "A modified dynamic programming algorithm for sizing, locating and timing of feeder reinforcements," IEEE transactions on power delivery 5.1 (1990): 277-283.
- [10] Thuesen, Holger George, Wolter J. Fabrycky, and Gerald J. Thuesen. Engineering economy. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1989.
- [11] Nakagawa, Toshio. Maintenance theory of reliability. Springer Science & Business Media, 2006.
- [12] Nolasco, Jose Francisco Espiritu. System Reliability Estimation and Component Replacement Analysis for Electricity Transmission and Distribution Systems. ProQuest, 2007.
- [۱۳] محمد مهدی اسکونژاد، «ارزیابی اقتصادی پروژه‌های صنعتی» دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۱۳۷۵.

کیلو ولت آمپر این مبلغ در حدود  $5/28 \times 10^{20}$  تومان می‌باشد. اما چنانچه ترانسفورماتور در زمان مناسب جایگزین شود هزینه سالیانه کاهش چشمگیری خواهد داشت و به حدود  $7/5$  میلیون تومان می‌رسد. از طرف دیگر، با پیاده‌سازی یک برنامه تعمیر مناسب می‌توان این هزینه را  $28\%$  بیشتر کاهش داد و به حدود  $5/5$  میلیون تومان رساند. بنابراین روش برنامه‌ریزی پویا این امکان را در اختیار بهره‌بردار شبکه قرار می‌دهد تا با انتخاب زمان بهینه تعمیر یا تعویض تجهیز، صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در هزینه‌ها انجام دهد. اگر اختلاف بین هزینه سالیانه ناشی از روش دوم و روش سوم را محاسبه و در تعداد کل ترانسفورماتورهای  $600 \text{ kVA}$  سطح شهرستان مشهد ضرب کرد خواهیم داشت:

از (۱۸) مشخص است استفاده از روش برنامه‌ریزی پویا نسبت به روش مرسوم در شرکت‌های توزیع، موجب صرفه‌جویی سالیانه  $315$  میلیون تومانی در هزینه‌های بهره‌برداری ترانسفورماتورهای  $600 \text{ kVA}$  می‌شود. بنابراین تعمیر اساسی ترانسفورماتور قبل از جایگزینی آن و تعیین زمان بهینه تعویض، نقش مهمی در به حداقل رساندن هزینه‌های مرتبط با تجهیز ایفاء می‌کند.

### ۹. نتیجه‌گیری

در این مقاله، بر اساس شرایط کشور و اطلاعات موجود در شرکت توزیع نیروی برق استان خراسان رضوی، چند ترانسفورماتور توزیع نمونه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و زمان بهینه تعویض، تعمیر اساسی و هزینه بهره‌برداری سالیانه ترانسفورماتورها تعیین گردید. سوالاتی که اینجا مطرح می‌شود این است که آیا تعمیر اساسی ترانسفورماتور تأثیری در کاهش هزینه‌های بهره‌برداری آن دارد؟ و زمان بهینه تعویض ترانسفورماتور چه موقع می‌باشد؟

نتایج نشان می‌دهد استفاده از برنامه‌ریزی پویا نقشه راهی در اختیار بهره‌بردار شبکه قرار خواهد داد تا با تعیین زمان بهینه تعمیر اساسی و جایگزینی ترانسفورماتور، هزینه‌های بهره‌برداری را کاهش دهد. از طرفی تعمیر اساسی یک تجهیز علاوه بر اینکه کاهش هزینه‌های بهره‌برداری را در پی خواهد داشت این امکان را فراهم می‌کند تا از دارائی‌های موجود مدت طولانی‌تری استفاده کرد. بنابراین شرکت‌ها و صنایع می‌توانند با پیاده‌سازی





PSC



NRI

Niros Research Institute



Tavanir Co.

**PSC 2016** سی و یکمین کنفرانس بین المللی برق  
۳ تا ۵ آبان ماه ۱۳۹۵ / تهران - ایران

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی

کارگاه آنلاین  
بررسی مقابله ای متون (مقدماتی)

کارگاه آنلاین  
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو  
تربندی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو