Archive of SID

نشریه علمی‌پژوهشی مهندسی و مدیریت انرژی
سال ششم، شمارهٔ سوم/ پاییز ۱۳۹۵/ صفحه ۲۴ـ۳۳

شاخص‌های جدید پایش تأثیر چرخهٔ تأمین تجهیزات بر تلفات سیستم توزیع برق

محمد اسماعیل هنرمند[۱*]، محمدصادق قاضی‌زاده[۲]، علی کرمانشاه[۳]، محمودرضا حقی‌فام[۴]

[۱] دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی برق، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
m_e_honar@yahoo.com
[۲] دانشیار دانشکده مهندسی برق، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
m_ghazizadeh@sbu.ac.ir
[۳] استادیار دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه شریف، تهران، ایران
a.kermanshah@cbi.ir
[۴] استاد دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
Haghifam@modares.ac.ir

چکیده: با تغییر ساختار در شرکت‌های توزیع برق، مدیریت تلفات انرژی یکی از اقدامات مهم افزایش کارایی شبکه است. بر این اساس، پایش تلفات فنی و برنامه‌ریزی استراتژیک برای کاهش تلفات، از اهداف اصلی مدیر دارایی خواهد بود. از طرفی برای پایش تلفات، استفاده از روش‌های متداول سنجش و تخمین تلفات شبکه، نیازمند به داده‌های فراوان بوده یا عمدتاً در شبکه‌های عملی قابل استفاده نیستند. در این مقاله، یک روش عملی برای پایش تلفات از منظر چرخهٔ ورود تجهیزات به شبکهٔ توزیع ارائه می‌شود. بدین منظور به کمک گروه تمرکز برای هر فرایند ورود تجهیز، شاخص‌هایی استخراج شده و تابع توزیع احتمالی آن‌ها تهیه می‌شوند. سپس با تعیین مقدار مجاز هر شاخص به کمک روش دلفی، تابع توزیع احتمالی جدید و انحراف هر فرایند به‌صورت فاصلهٔ احتمالی محاسبه می‌شود. در انتها روش پیشنهادی در یک شبکهٔ نمونه با داده‌های واقعی مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج حاکی از انحراف زیاد عملکرد فرایند طراحی از نگاه تلفات است.

واژه‌های کلیدی: تلفات انرژی، مدیریت دارایی، روش دلفی، گروه تمرکز، تابع توزیع احتمالی.

* نویسندهٔ مسئول

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

شاخص تلفات توان در سیستم توزیع برق، یکی از شاخص‌های مهم بیان‌کنندهٔ کارایی شبکه است. این شاخص، نگاه کل مجموعه هر شرکت توزیع را در استفادهٔ صحیح از تجهیزات برای ارائهٔ برق اقتصادی به مشترکان نشان می‌دهد [۱]. بنابراین بهره‌برداران شبکه توزیع به دلایل مختلفی نظیر برنامه‌ریزی شبکه، کاهش تلفات شبکه، محاسبهٔ تلفات غیرفنی و ارزیابی کارایی شبکه، و تصمیم‌گیری دربارهٔ بهره‌برداری با آرایش بهینهٔ شبکه، نیازمند به محاسبهٔ تلفات‌اند [۲-۴]. از طرفی بسیاری از شبکه‌های توزیع سنتی با سیستم‌های حداقل مونیتورینگ کار می‌کنند و بهره‌برداران سیستم نیز فاقد هرگونه پشتیبانی محاسباتی کافی وضعیت شبکه‌اند. با این حال به‌سبب وجود تلفات حدود ۲۰درصد در اکثر کشورهای در حال توسعه، شرکت‌های توزیع برق را به کاهش و مدیریت تلفات در این بخش ترغیب کرده زیرا قیمت‌های برق در بازارهای تجدید ساختار یافته، به تلفات شبکهٔ مربوط است. هدف از مدیریت کردن تلفات، داشتن شبکه‌های انرژی کاراست. بدین معنی که باتوجه به مقدار تلفات انرژی حذف‌شده به همراه کاهش آلودگی هوا، تلفات سیستم باید در سطح مشخصی از کارایی اقتصادی باشد؛ ازاین‌رو، با مدیریت خوب داده‌ها و پایش شبکه، مؤلفه و دامنهٔ تلفات در بخش‌های خاص شبکه را بهتر می‌توان شناخت تا در انتخاب گزینه‌های درست سرمایه‌گذاری به مدیر دارایی کمک کرد. از طرف دیگر، سطح کلی تلفات مدیریت‌شده باید به‌گونه‌ای قابل اندازه‌گیری و گزارش‌گیری باشد تا این اطمینان را بدهد که از ریسک افزایش تلفات ناشی از تقاضای بیشتر مصرف، بدون تحمیل هزینه‌های اضافی به مشترکان در آینده جلوگیری کند. برای مدیریت کردن یک برنامهٔ کاهش تلفات در سیستم توزیع، استفاده از ابزارهای محاسباتی مؤثر و کارا ضروری است، چراکه با کمّی کردن تلفات در بخش‌های مختلف شبکه، امکان کاهش تلفات سیستم به‌وجود خواهد آمد.

به‌طور کلی روش‌های متداول اندازه‌گیری تلفات به سه روش محاسبهٔ انرژی ورودی ـ خروجی، تخمین‌های مهندسی و نتایج نمونه‌ای تقسیم‌بندی می‌شوند. یکی از مشکلات عمدهٔ اکثر شرکت‌های توزیع برق در محاسبه تلفات به روش اختلاف انرژی فروخته به خریداری‌شده، عدم قرائت همزمان کنتورهای مشترکین است. بنابراین به دلایلی نظیر محدودیت داده‌های بار شبکه، هزینهٔ بالای جمع‌آوری داده‌ها و نبود داده‌های قابل اعتماد، از روش‌های تخمینی برای محاسبهٔ تلفات، استفادهٔ فراوانی شده که به این روش‌ها در مقاله‌های متعددی اشاره شده است.

استفاده از فرایند پخش بار و به‌کارگیری برخی تقریب‌ها برای تخمین دقت بالای تلفات در [۵] ارائه شده است. مزایای روش‌های مبتنی بر پخش بار در این است که با داده‌های کم، به تقریب‌های به‌کاررفته، حساسیت بسیاری نشان می‌دهند. مرجع [۶] برای سیستم توزیع در حضور سلول‌های خورشیدی، از الگوریتم بهبودیافتهٔ محاسبه پخش بار هیبریدی به همراه ساده‌سازی‌هایی استفاده کرده است. دقت روش محاسبه، معادل با روش نیوتن رافسون بوده و به‌سبب استفاده از ماتریس اعداد واقعی، سرعت محاسبات نیز نسبتاً سریع خواهد بود. مرجع [۷] روش ابتکاری ساده‌ای را برای تغییر آرایش سیستم توزیع هوشمند بر مبنای روش تغییر شاخه[1] ارائه کرده است. روش عملی محاسبهٔ تلفات شبکهٔ توزیع بر مبنای استفاده از شبکهٔ عصبی RBF[2] بهینه‌سازی شده توسط الگوریتم ژنتیک سلسله‌مراتبی نیز در مرجع [۸] ارائه می‌شود. در این مرجع، ابتدا ساختار شبکهٔ عصبی تعیین شده، سپس ارتباط غیرخطی تلفات با پارامترهای شبکه توسط شبکهٔ عصبی، آموزش داده می‌شود. مدلی مبتنی بر شبیه‌ساز تصادفی ماتریس کوواریانس توان و بارهای الکتریکی در مرجع [۹] برای تخمین تلفات انرژی ارائه شده است. این مرجع، تغییرات بار الکتریکی را به‌صورت ترکیب خطی از ضرایب تصادفی مستقل نشان می‌دهد و برای تعیین تلفات انرژی در یک دورهٔ زمانی مشخص به‌کار می‌برد. در مرجع [۱۰] از روش تخمین تلفات انرژی برمبنای داده‌هایی نظیر توان پیک، توان متوسط و... استفاده کرده و فرمول‌های تقریبی برای استفاده در شبکه با مشخصات بار فصلی پیشنهاد داده است. به‌دلیل مشکلات در استفاده از تقاضای حداکثر و ضریب تلفات در تخمین تلفات انرژی، در مرجع [۱۱] روش تخمین تلفات مبتنی بر ضریب تلفات را به‌صورت پارامترهای مرتبط با تغییرات بار ارائه کرده است. ویژگی این مرجع، نشان‌دهندهٔ دقت مناسب آن در استفاده از روش پیشنهادی است. تمامی این روش‌ها، تخمینی از تلفات شبکهٔ موجود را ارائه کرده تا به کمک اقداماتی نظیر تجدید آرایش شبکه، جایابی خازن و تخصیص تولیدات پراکنده، نسبت به حداقل نمودن تلفات اقدام کند.

استفاده از نتایج نمونه‌ای، روش دیگری است که در برخی مقاله‌ها به آن پرداخته شده است. در مرجع [۱۲]، با داده‌های محدود شبکهٔ توزیع از یک روش ابتکاری برای تخمین تلفات بخش فشار ضعیف استفاده می‌کند، به‌طوری‌که به کمک بخش کوچکی از داده‌های شبکه، تلفات فنی کل بخش شبکه فشار ضعیف را تخمین می‌زند. مدل‌های سادهٔ تلفات تجهیزات مختلف شبکه در مرجع [۱۳] برای تخمین تلفات شبکهٔ توزیع پیشنهاد می‌شوند. استفاده از درخت‌های

1. Branch-Exchange
2. Radial Basis Function

www.SID.ir

Archive of SID

تصمیم‌گیری برای تخمین تلفات انرژی و توان در سیستم‌های الکتریکی در مرجع [۱۴] بیان می‌شوند. این روش برای تعدادی از فیدرهای فشار متوسط شرکت توزیع در کشور رومانی اجرایی شده است. مرجع [۱۵] با استفاده از روش تحلیلی و مدل‌های شبکه‌های عصبی نسبت به ارزیابی سیستم‌های توزیع پرداخته است. روش پیشنهادی در این مرجع روی ترانسفورماتورهای توزیع تمرکز داشته، ولی قابل توسعه برای دیگر تجهیزات سیستم توزیع نیز خواهد بود.

نتایج این روش‌ها گرچه با دقت بالایی بیان شده‌اند، انجام آن‌ها در اکثر شبکه‌های عملی با مشکل مواجه می‌شوند. از طرف دیگر، ارتباط بین دیدگاه‌های شرکت توزیع با مقولهٔ تلفات و راهکارهایی را برای کاهش آن ارائه نمی‌کنند.

در سال‌های اخیر، توجه به موضوع تلفات در شرکت‌های توزیع ایران، بسیار بااهمیت بوده به‌طوری‌که بالابردن کارایی تجهیزات و کاهش تلفات به‌عنوان یکی از مسائل مهم هر شرکت توزیع است. از طرفی، یکی از معضلات هر شرکت توزیع، شناسایی عوامل تأثیرگذار روی تلفات و ارائهٔ راهکار مناسب توسط مدیر دارایی برای کاهش تلفات سیستم است. یکی از مؤلفه‌های مؤثر بر تلفات، ورود تجهیزات به‌کاررفته در مسیر عبور توان است. نحوهٔ ورود تجهیزاتی نظیر ترانسفورماتور، کابل و سیم به شبکه می‌تواند تأثیر زیادی روی تلفات سیستم داشته باشد. لذا در این مقاله، از منظر چرخهٔ ورود تجهیزات به سیستم توزیع، موضوع تلفات مورد رسیدگی قرار می‌گیرد. بدین منظور با معرفی و شناسایی شاخص‌هایی برای هر فرایند چرخهٔ ورود تجهیز به سیستم، عملکرد فرایندها مورد پایش قرار گرفته و به کمک توابع احتمالی و تعیین مقدار مجاز برای هر شاخص، مقدار انحراف عملکرد هر فرایند و امکان مدیریت بهتر تلفات بررسی خواهد شد.

ساختار مقاله بدین صورت خواهد بود: چرخهٔ ورود تجهیزات به سیستم توزیع و داده‌های مورد نیاز از نگاه تلفات در بخش ۲ معرفی و ارائه می‌شوند. بخش ۳ متدولوژی انجام مقاله را نشان خواهد داد و مثال عددی در بخش ۴ برای شبکهٔ نمونه با داده‌های واقعی ارائه خواهد شد. سرانجام در بخش ۵ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری بیان خواهد شد.

۲. چرخهٔ ورود تجهیزات به سیستم توزیع و تلفات

رشد بار و افزایش تقاضا باعث توسعهٔ شبکه و ورود تجهیزات جدید به شبکهٔ توزیع خواهد شد. ورود تجهیزات جدید از طریق فرایندهای مختلفی انجام می‌گیرد، به‌طوری‌که هر فرایند می‌تواند روی تلفات تأثیرگذار باشد. شکل (۱) مدل پیشنهادی و داده‌های مورد استفاده برای تحلیل هر فرایند را از منظر تلفات نشان می‌دهد.

از منظر تلفات فنی، عبور جریان از مسیر تجهیزات توزیع باعث ایجاد تلفات در آن‌ها خواهد شد؛ ازاین‌رو اگر پیش‌بینی بار به درستی انجام شود، انتخاب و استفاده از تجهیزات نیز به‌طور بهینه‌ای انجام می‌گیرد. این اقدام در فرایند طراحی به کمک داده‌های ورودی شرایط بارگذاری و محیطی انجام می‌شود. خروجی‌های این فرایند، ظرفیت و نوع تجهیزات مورد استفاده در طرح خواهد بود. بر این اساس، انتخاب تجهیزات در سه سطح یعنی پست توزیع شامل مکان و ظرفیت ترانسفورماتور، نحوهٔ تغذیهٔ آن‌ها یعنی آرایش فیدر اولیه و ناحیهٔ تحت پوشش هر پست اعم از فیدرهای ثانویه برای تأمین تقاضاهای مشترکین انجام می‌شود. بعد از فرایند طراحی، گام فرایند خرید تجهیزات آغاز می‌شود. در این فرایند، تجهیزات هر طرح بایستی بر اساس مقادیر تعیین‌شده در فرایند طراحی خریداری شوند. خروجی‌های فرایند خرید به دو بخش تقسیم می‌شوند. داده‌های مشخصات فنی تجهیزات نظیر حد بارگذاری و دیگر محدودیت‌ها به فرایند بهره‌برداری منتقل شده و داده‌های وزن کل تجهیز، روش نصب و اجرا به فرایند نصب ارجاع می‌شوند. با شروع فرایند نصب، تجهیزات درون شبکه به هم اتصال می‌یابند. داده‌های خروجی این فرایند نظیر سال نصب و نصب‌کننده، به فرایند بهره‌برداری منتقل می‌شوند. با شروع فرایند بهره‌برداری عملاً شبکه در حال استفاده بوده و بهره‌بردار شبکه با توجه به ساختار طراحی‌شده، باید اهداف شبکه را اجرایی و عملکرد شبکه را مورد پایش قرار دهد.

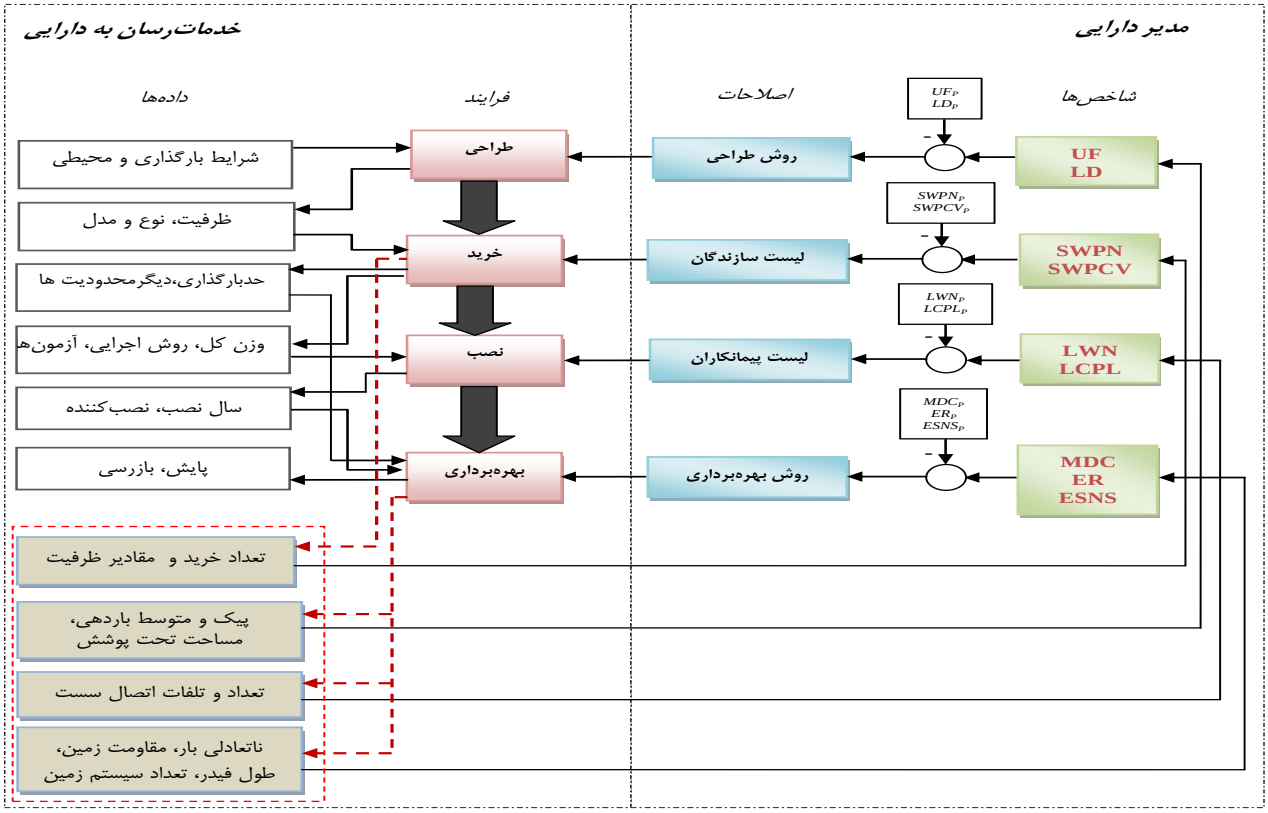
باتوجه به شکل، مدل به دو بخش تقسیم شده است. خدمات‌رسان دارایی، مسئولیت ورود تجهیزات و تهیهٔ داده‌های موردنیاز را داشته و مدیر دارایی، وظیفهٔ پردازش داده‌های جمع‌آوری شده و ارائهٔ اصلاحات برای بهبود عملکرد فرایندها را بر عهده دارد. مدیر دارایی برای اینکه عملکرد فرایندها را از منظر تلفات بررسی کند، نیازمند به داده‌های مختلفی از وضعیت عملکرد شبکه در حال بهره‌برداری است.

این داده‌ها برای شاخص‌های کاندید هر فرایند و با توجه به نوع شاخص تهیه خواهند شد. طبق شکل، داده‌هایی از فرایند خرید و فرایندبهره‌برداری برای شاخص‌های کاندید جمع‌آوری می‌شوند.

مدیر دارایی هریک از شاخص‌های کاندید را با یک مقدار مجاز یا مطلوب که با اندیس P در شکل نشان داده و مورد تأیید مجموعه شرکت است، مقایسه خواهد کرد و با توجه به انحراف به‌دست‌آمده، دربارهٔ نحوهٔ اصلاح و بهبود عملکرد فرایند تصمیم‌گیری می‌کند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۱): مدل پیشنهادی مدیریت دارایی

۳. متدولوژی روش پیشنهادی

از یک شبکهٔ در حال بهره‌برداری، داده‌های مختلفی نظیر متوسط بار، ناتعادلی بار، مقاومت زمین و... قابل اندازه‌گیری است. این داده‌ها به دلایلی مثل تغییرات بار در شبانه‌روز، نوع مصرف، دما، موقعیت محل و... متغیر بوده و می‌توانند ماهیت اتفاقی داشته باشند. یکی از وظایف برنامه‌ریزان و طراحان شبکه توزیع، تخمین رفتارهای شبکه است تا بتوانند نسبت به طراحی دقیق با رعایت ملاحظات فنی ازجمله تلفات اقدام کنند؛ لذا با پایش روند این داده‌ها می‌توان تفکر برنامه‌ریز را در ایجاد شبکه شناسایی کرد.

بر این اساس، یکی از روش‌هایی که می‌تواند عملکرد بخش‌های مختلف هر شرکت توزیع را در موضوع تلفات ردیابی کند، معرفی شاخص یا شاخص‌هایی برای بررسی عملکرد یا مقایسه با مقادیر مجاز است. لذا در این مقاله تلاش می‌شود به کمک داده‌های اندازه‌گیری‌شده از سیستم، تابع توزیع احتمالی رفتار شبکه به‌دست آید. طبق این ایده، عوامل تأثیرگذار بر تلفات شبکه هر فرایند چرخهٔ ورود تجهیز، استخراج می‌شود و روند احتمالی آن‌ها شناسایی می‌گردد. سپس با تعریف مقدار مجاز برای هر شاخص، مقدار فاصلهٔ احتمالی آن به‌عنوان شاخص عملکرد هر فرایند تعیین می‌شود. الگوریتم این روش در شکل (۲) نشان داده شده و در ادامه، مراحل اجرایی آن تشریح می‌شود.

۳. ۱. عوامل مؤثر بر تلفات

روش پیشنهادی، یک روش آماری است که از بدو ورود تجهیز به سیستم با استخراج عوامل مؤثر بر تلفات هر فرایند، تأثیر عملکرد چرخهٔ ورود تجهیز در شرکت توزیع برق را مورد پایش قرار می‌دهد. لذا در اینجا جمعیت آماری عبارت از داده‌های تهیه‌شده مبتنی بر عوامل مؤثر بر تلفات هر فرایند خواهد بود.

انتخاب و استخراج عوامل مؤثر بر تلفات در هر فرایند به کمک گروه تمرکز[1] انجام می‌گیرد. گروه تعاملی تمرکز، روش تحقیقی است که به کمک داده‌های جمع‌آوری‌شده، از طریق تعامل کارشناسان روی موضوع خاصی که توسط محقق مشخص گردیده، استفاده می‌کند. در واقع تعامل بین اعضای گروه، به‌عنوان عامل اصلی جمع‌آوری داده در گروه‌های تعاملی شناخته می‌شود [۱۶]. این روش به‌ویژه هنگامی‌که دسترسی محدودی به اطلاعات وجود داشته و محقق نیازمند به آشکارسازی و آدرس‌دهی پدیده‌ها دارد، بسیار مفید خواهد بود [۱۷].

1. Focus Group

www.SID.ir

Archive of SID

شکل (۲): الگوریتم روش پیشنهادی

برای مدیریت کردن تلفات در فرایند چرخهٔ تأمین تجهیز، باید تمامی فعالیت‌های مربوط، مورد ارزیابی قرار گیرند؛ لذا با تشکیل یک گروه از افراد خبرهٔ شرکت و بهره‌گیری از مستندات و برگزاری جلسات و تعامل در گروه تمرکز، عوامل مؤثر بر تلفات استخراج‌شدهٔ هر فرایند، مورد بحث قرار گرفته و مقادیر سنجش[1] فرایندهای چرخهٔ ورود تجهیزات به سیستم تعیین می‌شوند.

به کمک عوامل مؤثر بر تلفات به‌دست‌آمده در هر فرایند، داده‌های مورد نیاز برای اندازه‌گیری عملکرد فرایند شناسایی می‌شوند. برای اینکه روند عملکرد فرایند قابل بررسی باشد، مقادیر سنجش یا شاخص به کمک داده‌های قابل اندازه‌گیری به‌گونه‌ای تعریف و تعیین می‌شوند که قابل درک و تحلیل برای اصلاح فرایند باشند. لذا با توجه به شکل (۱) به کمک گروه تمرکز و بعد از بررسی‌های انجام‌گرفته، شاخص‌هایی برای هر فرایند تعریف شد که در ادامه، خروجی بحث‌های گروه تمرکز ارائه خواهد گردید.

به‌طور کلی هدف یک طراح شبکه، انتخاب تعداد و ظرفیت تجهیزات مناسب برای انتقال توان به مشترکین است. برای طراحی یک شبکهٔ توزیع باید داده‌هایی نظیر رشد بار، محدودهٔ جغرافیایی و حداکثر تقاضا وجود داشته باشند. به کمک این داده‌ها، ظرفیت و مکان ترانسفورماتورها، و طول، تعداد و مقدار بار عبوری از فیدرها[2] تعیین می‌شوند. از طرفی ماهیت طراحی به‌صورت پیش‌بینی و احتمالی است؛ لذا بعد از برق‌دار شدن شبکه، جریان‌دهی تجهیزات و آرایش تغذیهٔ فیدرها نشان‌دهندهٔ دقت طراحی خواهد بود. بنابراین برای پایش فرایند طراحی از شاخص‌های ضریب استفاده[3] *UF*، و متوسط چگالی بار[4] مورد تغذیه، *LD*، استفاده می‌شود:

$$UF=I_{av}/I_{Max} \quad (۱)$$

$$LD=I_{av}/A \quad (۲)$$

در روابط فوق، I_{av} متوسط جریان برحسب آمپر، I_{Max} حداکثر جریان برحسب آمپر و A مساحت محدودهٔ جغرافیایی تغذیهٔ بارهای الکتریکی برحسب مترمربع است. شاخص ضریب استفاده را می‌توان برای ترانسفورماتورها و فیدرهای مختلف محاسبه کرد و به کمک آن، روند فرایند طراحی شبکه را در انتخاب ظرفیت ترانسفورماتورها و فیدرها بررسی کرد. از طرف دیگر، چون طول فیدرها با چگالی بار ارتباط نزدیکی دارد، از مقادیر متوسط چگالی بار، برای بررسی انتخاب طول فیدرها و محدودهٔ تغذیهٔ ترانسفورماتورها در فرایند طراحی استفاده می‌شود.

از طرف دیگر، تجهیزات هر طرح بایستی براساس مشخصات فنی و پارامترهای طراحی‌شده خریداری شوند. اگر نیاز به تغییر در خرید تجهیز باشد، این تغییر باید قبلاً در فرایند طراحی تأیید شود. گاهی اوقات به دلایلی نظیر تصمیمات مدیریتی، قیمت محصول و تولید تجهیز، تغییراتی در تعداد خرید یا مشخصات طرح پیشنهادی انجام می‌گیرد. اگر این تغییرات خرید در تجهیزی نظیر ترانسفورماتور صورت گیرد، تأثیر زیادی روی مقادیر تلفات خواهد گذاشت، به‌طوری‌که خرید ترانسفورماتور با ظرفیت بالاتر از مقدار طراحی‌شده، تلفات ثابت تحمیل‌شده به سیستم را افزایش خواهد داد. این تغییرات در خرید از لحاظ وزنی به‌عنوان شاخص عملکرد فرایند تعریف می‌شوند. بر این اساس در فرایند خرید از دو مقدار وزنی تعداد تجهیز جایگزین شده، *SWPN*[5]، و مقدار ظرفیت جایگزین شده، *SWPCV*[6]، به‌عنوان شاخص‌های پایش فرایند خرید استفاده شده است:

$$SWPN_i=\sum_{i=1}^{k} n_i\Delta\Psi_i / \sum_{i=1}^{k}\Psi_i \quad (۳)$$

$$SWPCV_i=\sum_{i=1}^{k} n_i\Delta\Psi_i / \sum_{i=1}^{k} n_i \quad (۴)$$

که در آن، n_i تعداد تجهیز iام که با مشخصات طراحی‌شده فرق می‌کند

1. Indicator Measures
2. Feeders

3. Utilization Factor
4. Average Load Density
5. Substituent Purchase Weighted Numbers
6. Substituent Purchase Weighted Capacity Value

www.SID.ir

Archive of SID

و $\Delta\Psi_i$ افزایش یا کاهش در ظرفیت، و Ψ_i ظرفیت تجهیز خریداری شده است. این مقادیر برای یک بازه مشخص، قابل محاسبه بوده و روند فرایند خرید را در راستای طرح‌های پیشنهادی نشان می‌دهد. شاخص‌های وزنی، نشان‌دهندهٔ حجم تغییر در تجهیزات تأثیرگذار بر تلفات خواهند بود. غیرصفر بودن این شاخص می‌تواند بر شاخص‌های فرایند طراحی نیز تأثیرگذار باشد.

از منظر تلفات معمولاً فرایند نصب، تأثیر خود را در نحوهٔ اجرای اتصالات مسیر عبور جریان نشان خواهد داد. این موضوع به‌دلیل مقاومت پایین محل اتصال، به‌ویژه برای اتصالات سست با جریان زیاد، چشمگیرتر خواهد بود. اگر اتصالات به‌صورت ضعیف و سست اجرا شوند، مقاومت بالای محل اتصال، باعث بروز تلفات توان و افزایش دمای محل اتصال خواهد شد. برای شناسایی اتصال سست معمولاً با استفاده از دستگاه ترموگرافی می‌توانند مکان دماهای غیرعادی بالا را تعیین کنند. ولی محاسبهٔ تلفات توان از طریق تصویربرداری حرارتی، مشکل بوده چون‌که به مقادیر سطح مقطع و دمای سطح اتصال نیاز دارد. از طرفی با داشتن نقطهٔ داغ ناشی از جریان عبوری مقاومت اتصال، می‌توان تلفات توان محل اتصال را تخمین زد. این کار توسط برنامهٔ نوشته‌شده در [۱۸] با تقریب مناسبی قابل انجام است. بدین منظور از دو شاخص تعداد وزنی، LWN[1]، و متوسط تلفات، $LCPL$[2]، اتصالات سست برای پایش عملکرد این فرایند استفاده می‌شود لذا:

$$LWN=\frac{\sum I_j n_j}{3\sum I_j} \qquad (۵)$$

که در آن، n_j تعداد اتصال سست شناسایی‌شده و I_j متوسط جریان تک‌فاز عبوری از اتصال سست را نشان می‌دهد. این مقدار وزنی را می‌توان برحسب فیدر یا هر ترانسفورماتور به‌دست آورد. این دو شاخص، تأثیر آموزش و روش اجرای اتصالات مسیر عبور جریان را روی تلفات نشان خواهد داد.

معمولاً طراحی شبکه براساس بار متعادل انجام می‌شود، ولی در عمل با توجه به ساختار شبکهٔ توزیع و وجود بارهای تک‌فاز و دوفاز، بروز ناتعادلی جریان، امری اجتناب‌ناپذیر است. هرچه ناتعادلی جریان بالاتر باشد، تلفات سیستم نیز بیشتر خواهد شد؛ لذا یکی از وظایف بهره‌برداران، متعادل کردن جریان شبکه برای جلوگیری از افزایش تلفات خواهد بود. از طرف دیگر، مقاومت زمین مناسب می‌تواند مسیر مقاومتی پایینی را برای جریان نول[3] به زمین ایجاد کند. حد پایین مقاومت زمین می‌تواند از یک طرف با عبور جریان خطا به عملکرد وسایل حفاظتی کمک کند و از طرف دیگر با کاهش جابه‌جایی نقطهٔ نول، باعث کاهش تلفات شبکه در حال بهره‌برداری شود. کنترل و بازرسی این موضوع، بر عهدهٔ فرایند بهره‌برداری است. بنابراین برای پایش این فرایند از دو شاخص، حداکثر انحراف از متوسط جریان، MDC[4]، و مقدار مقاومت سیستم زمین، ER[5]، استفاده می‌شود. استانداردهای مختلف، تعاریف متفاوتی از واژهٔ ناتعادلی ارائه می‌کنند. طبق استاندارد NEMA-1993 مقدار ناتعادلی جریان را می‌توان از رابطهٔ زیر به‌دست آورد [۱۹]:

$$MDC=\frac{\text{Maximum deviation from mean of }\{I_a,I_b,I_c\}}{\text{mean of}\{I_a,I_b,I_c\}}\times 100 \qquad (۶)$$

در رابطهٔ فوق، مقادیر $\{I_a,I_b,I_c\}$ جریان‌های هر فاز سیستم می‌باشند. شاخص مقدار مقاومت زمین به‌تنهایی نمی‌تواند بیانگر کل عملکرد این فرایند باشد، زیرا در شبکه‌های قدیمی توزیع، امکان دارد تعداد سیستم زمین نصب‌شده کم باشد؛ لذا یکی از وظایف بهره‌بردار شبکه، افزایش تعداد سیستم زمین به تناسب اندازهٔ شبکهٔ فشار ضعیف برای مدیریت تلفات است.

بنابراین شاخص دیگری تحت عنوان متوسط تعداد سیستم زمین برای هر پست، $ESNS$[6]، تعریف می‌گردد که نشان‌دهندهٔ عملکرد فرایند بهره‌برداری است و براساس طول فیدرهای هر پست، به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$ESNS=\frac{ESN}{SFL} \qquad (۷)$$

که در آن ESN[7] تعداد سیستم زمین نصب‌شده و SFL[8] مجموع طولِ معادلِ هر پست توزیع است. به کمک این سه شاخص، عملکرد فرایند بهره‌برداری از منظر تلفات، قابل پایش خواهد بود.

۲.۳. توزیع احتمالی مقادیر سنجش

همان‌گونه که بیان شد، این مطالعه نسبت به انتخاب و استخراج مقادیر سنجش برای پایش عملکرد فرایندهای ورود تجهیز به سیستم اقدام کرده است. با توجه به ماهیت آماری این مقادیر و غیرمنفی بودن آن‌ها، برای بررسی روند مقادیر تهیه‌شده، در این بخش از توزیع آماری استفاده شده است. توزیع‌های احتمالی مختلفی برای مدل‌سازی احتمالی رفتار یک سیستم وجود دارند که در این مطالعه، از دو توزیع احتمالی وایبال[9] و لگاریتم نرمال استفاده می‌شود.

مزیت تحلیل با توزیع وایبال در توانایی تهیهٔ تحلیل‌ها با دقت قابل قبول و پیش‌بینی با نمونه‌های بسیار کوچک است. از طرف دیگر

1. Loose Connections Numbers
2. Loose Connections Power Loss
3. Neutral

4. Maximum Deviationfrom Mean of Current
5. Earth Resistance
6. Earthing System Number per Substation
7. Earthing System Number
8. Sum of Feeder Length
9. Weibull

www.SID.ir

Archive of SID

توزیع لگاریتم نرمال که شباهت زیادی با توزیع نرمال دارد، یکی از توزیع‌های احتمالی متداول بوده که پارامترهای آن را می‌توان به سادگی از داده‌های آماری به‌دست آورد. در توزیع لگاریتم نرمال، اگر لگاریتم متغیر تصادفی به‌طور نرمال توزیع شده باشد، متغیر تصادفی به‌صورت لگاریتم نرمال است.

از طرفی برازش توزیع، فرایند انتخاب توزیع آماری است که مناسب‌ترین منحنی را برای مجموعه داده‌های تولیدشده توسط فرایندهای تصادفی انتخاب می‌کند. توزیع‌های آماری ابزاری هستند که با عدم قطعیت‌ها سروکار دارند؛ لذا تهیهٔ توزیع آماری از مجموعه داده‌ها (یا متغیر تصادفی) برای اجرای صحیح برخی فرایندهای آماری، امری مهم است. بدین منظور روش‌هایی برای ارزیابی میزان انطباق توزیع آماری وجود دارند. با توجه به وجود نمونه‌های کم در این مطالعه، روش آزمون Anderson-Darling(AD) برای تأیید میزان انطباق دو توزیع آماری استفاده شده است.

در صورتی که هر دو توزیع آماری مورد تأیید باشند، با محاسبهٔ p-value نسبت به انتخاب توزیع آماری اقدام می‌شود. مقدار p-value مقدار آماری است که چگونگی رد کردن برازش مجموعه داده‌ها را بیان می‌کند. در مهندسی، p-value برای تحلیل شرایط حاشیه‌ای سیستم استفاده می‌شود به‌طوری‌که مقدار آن، برابر احتمال تأیید فرض صفر را نشان می‌دهد [۲۰].

۳.۳. تعیین حد مجاز مقادیر سنجش

در این گام باید برای هریک از مقادیر سنجش معرفی‌شده، محدودهٔ مجاز یا مطلوب انتخاب شود. معرفی محدودهٔ مجاز برای مقادیر سنجش می‌تواند مقدار انحراف از وضعیت موجود را بیان کند. به‌طور کلی، مقادیر سنجش به دو دسته تقسیم می‌شوند. برای گروهی از آن‌ها نظیر ضریب استفاده، می‌توان به کمک بررسی مستندات و استانداردها مقدار محدودهٔ مجاز را تعیین کرد. ولی دسته‌ای دیگر، باید باتوجه به شرایط شبکه، موقعیت جغرافیایی و نحوهٔ توزیع بار نسبت به تعیین محدودهٔ مجاز برای مقادیر سنجش اقدام شود. به این دلایل، ابتدا برای هر مقدار سنجش، مقدار مفروضی پیشنهاد می‌شود. سپس به کمک روش دلفی[1] و نظرسنجی از خبرگان شرکت توزیع، مقادیر پیشنهادی مورد بازنگری قرار می‌گیرد. به‌عنوان یک روش جمع‌آوری داده، روش دلفی را می‌توان در مطالعات کمّی و کیفی به‌کار برد. این روش هنگامی که مطالعه پیچیده باشد یا زمانی‌که موضوع، اندکی حساس و یا تعداد اعضای گروه تمرکز نسبتاً کوچک است، به‌کار می‌رود [۲۱ـ۲۲]. لذا در این روش به هریک از کارشناسان به‌طور جداگانه، جدول اولیه‌ای ارسال می‌شود و نظریات آن‌ها برای مقادیر مجاز تعریف‌شده، جمع‌آوری و جمع‌بندی می‌گردد. سپس طی چند مرحله مجدداً نظریات جمع‌بندی‌شده برای اصلاح نظریات افراد، به آن‌ها عودت داده شده و سرانجام جدول نهایی که دربرگیرندهٔ مقادیر مجاز پیشنهادی کارشناسان برای مقادیر سنجش مختلف بوده، تهیه می‌شود.

۴.۳. توزیع احتمالی حول مقدار مجاز

توابع توزیع احتمالی به‌دست‌آمده برای مقادیر سنجش در گام دوم، دارای مقادیر متوسط و انحراف استاندارد داده‌ها خواهند بود. انحراف استاندارد، فاصلهٔ مقادیر سنجش از مقادیر متوسط را نشان می‌دهد. اگر مقدار متوسط تابع توزیع احتمالی برابر با مقدار مجاز به‌دست‌آمده در گام قبلی باشد، این موضوع نشان‌دهندهٔ نزدیکی مقادیر سنجش به مقدار مجاز خواهد بود. به این دلیل می‌توان مجدداً تابع توزیع احتمالی را برای هر مقدار سنجش در حالت جدید یعنی مقدار متوسط برابر با مقدار مجاز محاسبه کرد.همچنین با کم کردن مقدار انحراف استاندارد، می‌توان همگرایی تفکرات شرکت را در یک شاخص خاص نشان داد. این تابع توزیع احتمالی جدید، داده‌ها را حول مقدار مجاز به تصویر خواهد کشید. بدین ترتیب توابع توزیع احتمالی جدیدی به کمک مقادیر مجاز به‌دست‌آمده برای هر مقدار سنجش، قابل محاسبه خواهد بود.

۵.۳. شاخص عملکرد هر فرایند

فاصلهٔ آماری در احتمال و آمار، برای کمّی کردن شباهت بین دو توزیع آماری به‌کار می‌رود. در این گام از مفهوم فاصلهٔ آماری که در واقع فاصلهٔ بین دو توزیع احتمالی را نشان می‌دهد، می‌توان به‌عنوان شاخص عملکرد هر فرایند استفاده کرد. با محاسبهٔ این فاصله که توسط روش‌های مختلفی قابل اندازه‌گیری است، می‌توان درصد انحراف عملکرد هر فرایند ورود تجهیز را از منظر تلفات بیان کرد. طبق تعریف، به فرض آنکه دو توزیع آماری به‌دست‌آمده برای هر مقدار سنجش x با مقادیر متوسط μ_1 و μ_2 و مقدار انحراف استاندارد σ_1 و σ_2 برابر با $f(\mu_1,\sigma_1,x)$ و $g(\mu_2,\sigma_2,x)$ باشند که در آن μ_2 برابر با مقدار مجاز مقدار سنجش است، در این صورت شاخص تعریف‌شده برای هر مقدار سنجش، به‌صورت زیر خواهد بود:

$$\Delta(P,Q)=PI_k=\max\left|f(\mu_1,\sigma_1,x)-g(\mu_2,\sigma_2,x)\right| \qquad (۸)$$

که در آن، PI_k شاخص فرایندkام نامیده می‌شود. به کمک مقادیر سنجش هر فرایند می‌توان روند تلفات را درون فرایندها، ردیابی و

1. Delphi Method

www.SID.ir

Archive of SID

میزان انحراف آن‌ها را شناسایی کرد.

به‌طور کلی دو روش، یعنی روش آنتروپی و روش فاصلهٔ تغییرات کل برای تعیین فاصلهٔ احتمالی وجود داشته که در این مقاله از روش ضریب هلینگر[1] استفاده می‌شود. این روش، معیاری است که انحراف بین دو مقدار احتمالی را کمّی می‌کند. روش ضریب هلینگر، یک روش ذهنی برای تخمین فواصل بین مقادیر احتمالی را مستقل از پارامترها نشان می‌دهد. این روش به فاصلهٔ تغییرات کمّی مرتبط بوده ولی مزایای متعددی دارد. برای توضیح آن فرض کنید که P و Q دو توزیع احتمالی با نمونه‌های محدود در فضای Ω بوده، به‌طوری‌که این دو توزیع احتمالی دارای نمونه‌های به‌ترتیب $(p_1,\dots p_N)$ و $(q_1,\dots q_N)$ در فضای Ω هستند و نامعادلات $p_\alpha \geq 0$ ، $q_\alpha \geq 0$ و $\sum_\alpha p_\alpha=1$ ، $\sum_\alpha q_\alpha=1$برقرارند. آن‌وقت ضریب هلینگر (HD) بین P و Q به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$d_H^2(P,Q)=\frac{1}{2}\sum_{\alpha=1}^{N}\left(\sqrt{p_\alpha}-\sqrt{q_\alpha}\right)^2 \qquad (۹)$$

مقدار فوق باید نامعادلهٔ $0\leq d_H^2\leq 1$ را ارضا کند و اگر P = Q باشد، باید $d_H^2=0$.

الگوریتم کلی روش پیشنهادی در شکل (۲) نشان داده شده و بدین ترتیب مقدار انحراف هر فرایند از مقدار مجاز تعیین می‌شود. مزایای به‌دست‌آمده از روش پیشنهادی را می‌توان به‌صورت زیر دسته‌بندی کرد:

- با تحلیل شاخص‌های هر فرایند می‌توان نحوهٔ ورود به موضوع تلفات را شناسایی و برنامه‌ریزی کرد؛
- با ارزیابی هر فرایند می‌توان درجهٔ تأثیرگذاری را برای مدیریت تلفات تعیین کرد؛
- با تحلیل اشتباه‌های پرسنل، مدیر دارایی می‌تواند برای برنامه‌های آموزشی برنامه‌ریزی کند؛
- با ارزیابی روش‌های مدیریت تلفات، مدیر دارایی می‌تواند استفاده از توسعهٔ روش‌های مختلف (تولید پراکنده، تغییر آرایش، نصب خازن و...) را انتخاب و شناسایی کند.

۴. مثال عددی

برای مطالعهٔ عددی، از اطلاعات مربوط به ۳۵ پست توزیع برق یکی از اداره‌های شرکت توزیع برق استان گیلان استفاده می‌شود. این شرکت توزیع برق با بیش از یک میلیون و دویست هزار مشترک در جنوب دریای خزر، وظیفهٔ تأمین برق را به عهده دارد. بدین منظور، طبق شکل (۱) مقادیر متوسط بارگیری، شعاع تغذیهٔ فیدرها، مقدار مقاومت زمین، ناتعادلی بار و همچنین مقادیر مربوط به اتصالات سست شبکه این پست‌ها تهیه و به کمک آن‌ها نسبت به محاسبهٔ شاخص‌ها اقدام شد. جدول (۱) نمونه‌ای از شاخص‌های مربوط به فرایند طراحی را نشان می‌دهد. به‌دلیل عدم وجود داده‌ها در بخش فرایند خرید، محاسبهٔ شاخص‌های فرایند خرید امکان‌پذیر نبود.

سپس به کمک این مقادیر، تابع توزیع احتمالی مناسب روی داده‌ها برازش گردید و تابع توزیع احتمالی با بهترین برازش مطابق جدول (۲) انتخاب شد؛ برای مثال، برای شاخص UF، هر دو تابع توزیع احتمالی مورد تأیید بوده ولی چون مقدار p-value تابع توزیع احتمالی وایبال بزرگ‌تر است، این تابع در جدول به‌صورت هاشورزده تأیید شده است. در ادامه، مقادیر مجاز هر شاخص به کمک روش دلفی تعیین شد. بدین منظور، ابتدا برای هر شاخص، یک مقدار مجاز تعریف شد و سپس این مقادیر برای نظرسنجی به تعدادی خُبره ارسال گردید. هفت کارشناس از اداره‌های مختلف شرکت توزیع برق برای این‌کار انتخاب شدند و بعد از جمع‌آوری فرم‌ها و تحلیل آماری روی پاسخ‌ها، روند نظرسنجی سه مرتبه تکرار گردید و سرانجام نتایج نهایی به‌صورت جدول (۳) تهیه شد. در ادامه به کمک مقادیر مجاز بدست آمده به‌عنوان مقدار متوسط تابع توزیع احتمالی، مجدداً پارامترهای تابع توزیع احتمالی جدید، محاسبه شده است.

جدول (۱): شاخص‌های مربوط به فرایند طراحی

شمارهٔ ترانسفورماتور	شاخص UF	شاخص LD (A.km^{-2})	شمارهٔ ترانسفورماتور	شاخص UF	شاخص LD (A.km^{-2})
۱	۰/۳۵	۰/۱۲۷۶	۱۹	۰/۳۶	۰/۰۸۶
۲	۰/۳۹	۰/۰۷۶	۲۰	۰/۴۴	۰/۱۲۷
۳	۰/۳۷	۰/۰۵۲۸	۲۱	۰/۵۶	۰/۰۳۴
۴	۰/۳۶	۰/۰۴۳	۲۲	۰/۴۶	۰/۰۸۳۶
۵	۰/۴۲	۰/۱۰۸	۲۳	۰/۴۱	۰/۱۶۸
۶	۰/۴۱	۰/۰۳۳	۲۴	۰/۴۴	۰/۱۵۹
۷	۰/۴۴	۰/۰۷۹۲	۲۵	۰/۴۴	۰/۰۵۶
۸	۰/۳۸	۰/۰۷۲۳	۲۶	۰/۴۳	۰/۰۶۱۸
۹	۰/۴۴	۰/۱	۲۷	۰/۵۵	۰/۰۷۸۷
۱۰	۰/۴۱	۰/۰۷۴۵	۲۸	۰/۴	۰/۰۹۶
۱۱	۰/۳۷	۰/۰۸۸	۲۹	۰/۳۲	۰/۱۴۷
۱۲	۰/۶۸	۰/۱۶۳	۳۰	۰/۴۵	۰/۱۲۸۵
۱۳	۰/۳۴	۰/۰۵۴	۳۱	۰/۴۲	۰/۱۰۲
۱۴	۰/۴	۰/۰۴۶۴	۳۲	۰/۴۷	۰/۰۴۵۵
۱۵	۰/۴۷	۰/۱۰۶۵	۳۳	۰/۳۷	۰/۰۴۲
۱۶	۰/۴۷	۰/۱۴۳	۳۴	۰/۲۵	۰/۰۳۶
۱۷	۰/۴۱	۰/۲۳۶	۳۵	۰/۴۸	۰/۰۹۹۷
۱۸	۰/۴۶	۰/۰۲۹۷			

1. Hellinger Coefficient

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۲): توابع توزیع احتمالی برازش‌شده برای هر شاخص

فرآیند	شاخص	تابع وایبال				تابع لگاریتم نرمال			
		پارامتر		آزمون		پارامتر		آزمون	
		شکل	مقیاس	AD	*p*-value	مکان	مقیاس	AD	*p*-value
طراحی	UF	۲۲/۷۹	۰/۴۷۷۴	۳/۲۴۴	<۰/۰۱	-۰/۷۶۹	۰/۰۶۸۲۸	۳/۴۷	<۰/۰۰۵
	LD	۶/۳۵	۰/۰۸۷۹۷	۴/۹۰۶	<۰/۰۱	-۲/۴۹۲	۰/۱۰۴۵	۲/۱۶۳	<۰/۰۰۵
نصب	LWN	۳/۳۶۲	۰/۸۰۵۰	۳/۰۸	<۰/۰۱	-۰/۳۹۹۸	۰/۴۰۵۸	۳/۱۹۳	<۰/۰۰۵
	LCPL	۱/۴۹۸	۰/۱۰۹۲	۱/۳۵۸	<۰/۰۱	-۲/۵۶۵	۰/۶۹۹۲	۱/۰۸۴	۰/۰۰۷
بهره‌برداری	MDC	۲/۵۴۳	۴/۶۶۲	۱/۲۵۳	<۰/۰۱	۱/۳۴۴	۰/۳۷۹۱	۰/۶۲۳	۰/۰۹۶
	ESNS	۱۹/۵۴	۰/۰۱۷۸۵	۰/۶۰۷	۰/۱۰۸	-۴/۰۵۷	۰/۰۷۳۵۱	۱/۴۹۴	<۰/۰۰۵
	ER	۱/۶۵۴	۳/۰۵۶	۴/۷۸۲	<۰/۰۱	۰/۶۲۲۲	۱/۶۴۶	۷/۸۸	<۰/۰۰۵

جدول (۳): مقادیر مجاز پیشنهادی هر شاخص

	شاخص						
	UF	LD(A.km^{-2})	LWN	LCPL(w)	MDC(%)	ESNS(n.Meter^{-1})	ER(ohm)
مقدار مجاز	۰/۷	۰/۱۵	۰/۲	۰/۰۶	۲	۰/۰۲۸	۱

جدول (۴): پارامترهای توابع توزیع احتمالی به‌دست‌آمده برای مقادیر مجاز

فرایند	شاخص	تابع توزیع	پارامترها	مقادیر
طراحی	UF	وایبال	شکل	۳۱/۷۹
			مقیاس	۰/۷۱۲۴
	LD	وایبال	شکل	۱۰/۴۵
			مقیاس	۰/۱۵۵۷
نصب	LWN	وایبال	شکل	۶/۳۴۲
			مقیاس	۰/۲۱۵
	LCPL	وایبال	شکل	۲/۲۵
			مقیاس	۰/۰۶۹۲
بهره‌برداری	MDC	وایبال	شکل	۱/۹۹۸۸
			مقیاس	۲/۳
	ESNS	لگاریتم نرمال	مکان	-۳/۵۷۵
			مقیاس	۰/۰۶۷۴۲
	ER	وایبال	شکل	۲/۲۱
			مقیاس	۱/۱۳

پارامترهای توابع توزیع احتمالی جدید در جدول (۴) نشان داده می‌شوند.برای تعیین فاصلهٔ این دو تابع احتمالی محاسبه شده که این مقدار به‌عنوان انحراف مقادیر واقعی با مقادیر مجاز خواهد بود.

نتایج این محاسبات در جدول (۵) ارائه می‌شوند. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که شاخص‌های فرایند نصب در مقایسه با دو فرایند دیگر، انحراف کمتری از مقادیر مجاز دارند. از طرف دیگر، شاخص‌های فرایند طراحی که می‌توانند نقش مؤثری روی تلفات فنی شبکه داشته باشند، انحراف زیادتری پیدا می‌کنند؛ لذا باید بازنگری عملکرد فرایند طراحی مورد توجه قرار گیرد. از بین دو شاخص فرایند طراحی، شاخص LD انحراف بیشتری دارد، پس باید در تعیین چگالی بار هر ترانسفورماتور، دقت لازم صورت گیرد. این موضوع به جایابی محل نصب ترانسفورماتور، نزدیکی به محل ثقل بار، طول فیدر و... بستگی دارد. در فرایند بهره‌برداری، دو شاخص MDC و ESNS انحراف بیشتری دارند. شاخص ESNS مربوط به نگهداری ساختار شبکه و شاخص MDC مرتبط با کنترل تغییرات بار بوده و نشان می‌دهد که عملکرد فرایند بهره‌برداری در این بخش نیاز به بررسی و کنترل بیشتری دارد.

جدول (۵): مقادیر فاصلهٔ هلینگر برای هر شاخص

	طراحی		نصب			بهره‌برداری	
	UF	LD	LWN	LCPL	MDC	ESNS	ER
فاصلهٔ هلینگر	٪۳۵	٪۹۱	٪۹	٪۱۸	٪۸۲	٪۸۳	٪۹

www.SID.ir

Archive of SID

۵. نتیجه‌گیری

هدف این مقاله، مدیریت تلفات برق از منظر چرخهٔ ورود تجهیزات به شبکهٔ توزیع است. بر این اساس، مدل چرخهٔ تأمین تجهیزات ارائه شده و از نگاه تلفات، شاخص‌هایی برای هر فرایند ورود تجهیز به سیستم تعریف می‌شود. باتوجه به ماهیت احتمالی رفتارهای شبکه، برای ردیابی روند عملکرد هر فرایند، از تابع توزیع احتمالی برای بررسی و پایش عملکرد هر فرایند استفاده شده است. سپس با تعریف مقادیر مجاز هر شاخص، مجدداً توابع توزیع احتمالی هر فرایند محاسبه و فاصلهٔ احتمالی این دو تابع، به‌عنوان مقدار انحراف عملکرد هر فرایند از مقدار مجاز به‌دست می‌آید. با بررسی مقدار انحراف توسط مدیر دارایی، می‌توان راهکارهای مناسبی برای اصلاح عملکرد هر فرایند در راستای مدیریت دارایی ارائه کرد. در واقع با این روش می‌توان از مسیر چرخهٔ تأمین تجهیزات، ضمن پایش روند فرایندهای مختلف، نسبت به کنترل و اصلاح عوامل تأثیرگذار بر تلفات اقدام نمود.

نتایج نشان می‌دهند که از میان فرایندهای مختلف ورود تجهیز به سیستم، فرایند طراحی که تأثیر زیادی می‌تواند روی تلفات شبکه داشته باشد، انحراف زیادی از مقادیر مجاز تعریف‌شده دارد. این موضوع، نیاز به بازنگری را در تفکر طراحان شبکه از منظر تلفات نشان می‌دهد. همچنین انحراف قابل توجهی در فرایند بهره‌برداری وجود داشته که این موضوع، نیازمند اصلاح فعالیت‌های بهره‌برداران در مقولهٔ تلفات خواهد بود.

مراجع

[1] Dashti, R., Yousefi, S., Parsa Modhaddam, M., "*Comprehensive Efficiency Evaluation Model for Electrical Distribution System Considering Social and Urban Factors*", Energy, pp. 1-9, 2013.

[2] Ababei C., Kavasseri, R., "*Efficient Network Reconfiguration Using Minimum Cost Maximum Flow-Based Branch Exchanges and Random Walks-Based Loss Estimations*", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 26, No. 1, pp. 30–37, 2011.

[3] Yongping, Z., "*Line Losses Management System of Distribution Networks Based on Local Area Network*", Power Energy Eng. Conf., Wuhan, China, 2011.

[4] Monedero, I., Biscarri, F., Leon, C., Guerrero, J.I., Biscarri, J., Millan, R., "*Detection of Frauds and Other Non-Technical Losses in a Power Utility Using Pearson Coefficient, Bayesian Networks and Decision Trees*", Electrical Power and Energy Systems, Vol. 32, pp. 90-98, 2012.

[5] Sekar, A., Mwakabuta, N., "*Determination of Feeder by an Improved Linear Model in a Radial Circuit*", in Proc. 39th Southeastern Symposium System Theory, pp. 217–221, 2007.

[6] Li, H.,*et al*., "*An Improved Hybrid Load Flow Calculation Algorithm for Weakly-Meshed Power Distribution System*", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 74, pp. 437–445, 2016.

[7] Fei, D., Lopardo,K.A., "*A Simple Heuristic Method for Smart Distribution System Reconfiguration*", IEEE Energytech, pp. 1-6, 2012.

[8] Feng, N., Jianming, Y., "*Line Losses Calculation in Distribution Network Based on RBF Neural Network Optimized by Hierarchical GA*", International Conference on Sustainable Power Generation and Supply, pp. 1-5, 2009.

[9] Shulgin, I.V., Gerasimenko, A.A., Zhoua, S.Q., "*Modified Stochastic Estimation of Load Dependent Energy Losses in Electric Distribution Networks*", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 43, pp. 325–332, 2012.

[10] Dickert, J., Hable, M., Schegner, P., "*Energy Loss Estimation in Distribution Networks for Planning Purposes*", IEEE PowerTech, pp. 1-6, 2009.

[11] Queiroz, L.M.O., Roselli, M.A., Cavellucci, C., Lyra, C., "*Energy Losses Estimation in Power Distribution Systems*", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 27, No. 4, pp. 1879-1887, 2012.

[12] Khoshkolgh Dashtaki A., Haghifam, M.R., "*A New Loss Estimation Method in Limited Data Electric Distribution Networks*", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 28, No. 4, pp. 2194-2200, 2013.

[13] Oliveria, M., Padilha-Feltrin, A., "*A Top-Down Approach for Distribution Loss Evaluation*", IEEE Trans. Power Del., Vol. 24, No. 4, pp. 2117–2124, 2009.

[14] Grigoras, G., Scarlatache, F., "*Energy Losses Estimation in Electrical Distribution Networks with a Decision Trees-Based Algorithm*", 8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering, pp. 1-4, 2013.

[15] Leal, A.G., Jardini, J.A., Magrini, L.C., Ahn, S.U., "*Distribution Transformer Losses Evaluation: A New Analytical Methodology and Artificial Neural Networks Approach*", IEEE Transaction in Power Systems, Vol. 24, No. 2, pp. 705-712, 2009.

[16] Caridi, M., Moretton, A., Perego, A., Tumino, A., "*The Benefits of Supply Chain Visibility: A Value Assessment Model*", International Journal Production Economics, Vol. 151, pp. 1-19, 2014.

[17] Liamputtong, P., *Focus Group Methodology: Principle and Practice*, SAGE, 2011.

[18] Massey, L., "*Correcting Small Loose Connections, Big Power Savings*", Proceedings InfraMation 2009.

[19] Yaw-Juen, W., Ming-Jer, Y., "*Probabilistic Modeling of Three-Phase Voltage Unbalance Caused by Load Fluctuations*", IEEE Power Eng Soc Winter Meet, 4(January): pp. 2588-93, 2000.

[20] Lee, E.T., Wenyuwang, J., "*Statistical Methods for Survival Data Analysis*", John Wiley & Sons, 2003.

[21] Lilija, K.K., Laakso, K., Palomaki, J., "*Using the Delphi Method*", Proceedings of the Energy Smart World, pp.1-10, 2011.

[22] [22] Galo, J.J.M., Macedo, M.N.Q., Almeida, L.A.L., Lima, A.C.C., "*Criteria for Smart Grid Deployment in Brazil by Applyng the Delphi Method*", Energy, Vol. 70, pp. 605-611, 2014.

www.SID.ir