تاثیر فرآیندهای ورود تجهیز در قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع برق

محمد اسماعیل هنرمند[1] ، کارشناسی ارشد، محمودرضا حقی‌فام[2]، استاد ، محمدصادق قاضی‌زاده[1]،دانشیار

۱- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور-دانشگاه شهید بهشتی-تهران- ایران
m_e_honar@yahoo.com; m_honarmand@sbu.ac.ir; ghazizadeh@pwut.ac.ir
۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه تربیت مدرس-تهران- ایران
haghifam@modares.ac.ir

چکیده:اطلاعات تجهیزات شبکه، اهمیت زیادی در تصمیم‌گیری مدیریت دارایی دارد. این داده‌ها بایستی بعنوان ورودی به فرآیندهای تصمیم‌گیری مدیریت دارایی به تصمیم‌گیران شرکت برق ارائه شوند. با استخراج و تهیه اطلاعات مورد نیاز، تحلیل و ارزیابی امکان‌پذیر خواهد بود. از طرف دیگر، برای مدیریت کارا و اقتصادی از نظر قابلیت اطمینان، تحلیل نرخ خرابی برای تعیین ماهیت خطا در تجهیز از وظایف مهم مدیر دارایی است. نرخ خرابی تجهیزات از طریق داده‌های جمع‌آوری شده در فرآیند مدیریت خاموشی که معمولاً در پایگاه داده‌های حوادث شرکت برق موجودند، بدست می‌آیند. در این مقاله با بررسی فرآیندهای ورود تجهیز به سیستم توزیع، نسبت به تحلیل خرابی ناشی از هر فرآیند اقدام می‌شود. در این تحلیل، عوامل و زیرعوامل خرابی ناشی از هر فرآیند به کمک گروه تمرکز بدست آمده و ارتباط آنها با علت اصلی خرابی به کمک روش دلفی مشخص می‌گردد و با مدلسازی نرخ خرابی ناشی از هر فرآیند، دلایل خرابی ناشی از هر فرآیند مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: **مدیریت دارایی، نرخ خرابی، سیستم توزیع، گروه تمرکز، روش دلفی، فرآیند پوآسن غیرهمگن، تابع توزیع وایبال**

تاریخ ارسال مقاله :۱۳۹۳/۱۰/۰۳

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۴/۰۶/۰۴

نام نویسنده‌ی مسئول : محمد اسماعیل هنرمند

نشانی نویسنده‌ی مسئول : رشت بلوار امام خمینی شرکت توزیع نیروی برق استان گیلان

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-02-03]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.1.2.5]

۱- مقدمه

تغییر ساختار بازارهای انرژی، تغییرات مهمی را در فضای کاری شرکت‌های برق ایجاد کرده است. در نتیجه این فضای رقابتی، بهره-برداران شبکه مجبورند بروی مدیریت دارایی، تمرکز بیشتری داشته باشند. از طرفی مدیریت دارایی نیز بروی کاهش هزینه‌ها، به تاخیرانداختن سرمایه‌گذاری‌ها و بهینه نمودن مدیریت فنی تمرکز داشته تا به همراه آن، نسبت به حفظ قابلیت اطمینان و کیفیت توان در سطح بالایی اقدام نماید.

در واقع برای اطمینان از عملکرد قابل اعتماد سیستم قدرت، پیش-بینی دقیق رفتار بلندمدت دارایی‌های شبکه، ضروری است. چنین پیش‌بینی به شرکت‌ها اجازه می‌دهد استراتژی‌های هزینه اثربخش مدیریت دارایی را شناسایی و انتخاب کنند تا تعادل مناسبی بین مخارج سرمایه‌ای و قابلیت اطمینان سیستم در کنار دیگر عوامل ایجاد نمایند[1].

از طرف دیگر، اهداف مبتنی بر قابلیت اطمینان در سیستم‌های توزیع برق باعث کاهش نرخ خاموشی می‌شود. خاموشی‌های سیستم توزیع از خرابی‌های در تجهیزات ناشی می‌شود. بر این اساس، ارزیابی خرابی تجهیز می‌تواند جزء وظایف برنامه‌ریزی اصلاحی قرار گیرد تا قابلیت اطمینان سیستم را بهبود دهد. اما موضوع مهم، هدایت اقدامات مدیریت دارایی در کنار بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان است[2]. برای تصمیم‌گیری در خصوص مدیریت دارایی، منابع اطلاعاتی مختلف و ابزارهای تحلیل داده‌ها نیاز است. لذا می‌توان گفت که داده‌ها، بخش مهمی از چارچوب اجرایی مدیریت دارایی را تشکیل می‌دهند. به کمک داده‌های خرابی تجهیز و تحلیل بروی عوامل ایجاد آن، می‌توان در خصوص رفع خرابی تصمیم‌گیری نمود.

این موضوعات در مقالات مختلفی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. توسعه چارچوبی برای تعویض دارایی بخش توزیع با تمرکز بروی ارزیابی ریسک و برآورد سود ریسک برمبنای دارایی، موضوع [3] است. تحلیل آماری برای تعیین و شناسایی دارایی‌های مهم از میان تجهیزات توزیع در سیستم قدرت از موضوعات [4] است. اینکار بر اساس داده‌های خاموشی و خرابی‌های ثبت شده انجام می‌گیرد. مرجع[5] به اثرات فرسودگی و نگهداری پایه‌های چوبی پرداخته و به کمک شبیه‌سازی مبتنی بر حوادث به روش مونت کارلو، مدل احتمالی را برای ارزیابی قابلیت اطمینان تعمیرات بدست آورده است. مرجع[6] به تخمین خرابی‌ها و هزینه‌های آتی آنها می‌پردازد. مشکل استفاده از تحلیل داده‌های عمر و عدم اعتماد و دسترس‌پذیری داده‌ها در این مرجع بررسی می‌شود. موضوع [7] بهینه‌سازی تعمیرات ترانسفورماتورهای قدرت در شرکت توزیع به کمک مدل مدیریت داده‌هاست لذا با ارزیابی وضعیت ترانسفورماتور، شاخص مناسبی برای اولویت‌بندی تعمیرات استفاده می‌شود. استفاده از روش آماری برای حل مشکل کمبود داده-های طول عمر دارایی، در[8] ارائه شده است. هدف این مرجع، تهیه شاخصی از خرابی آتی با حاشیه اطمینان مشخص است.

در تمامی مقالات ارائه شده، به کمک داده‌های خرابی تجهیزات و محاسبه نرخ خرابی، نسبت به برنامه‌ریزی تعمیرات و اصلاح خرابی اقدام می‌شود. با این نگاه، خرابی تجهیز فقط در فرآیند بهره‌برداری دیده می‌شود درحالیکه در چرخه ورود تجهیز تا برکناری آن، فرآیندهای مختلفی وجود دارند که عملکرد هریک از آنها می‌تواند بروی خرابی تجهیز، تاثیر متفاوتی بگذارد. لذا عملکرد نادرست هر فرآیند که از داده‌های مختلفی برای تصمیم‌گیری استفاده می‌کند می‌تواند باعث بروز خرابی تجهیز در رابطه با عامل اصلی خرابی گردد. هدف این مقاله، برقراری ارتباط عامل(یا زیرعامل) خرابی هر فرآیند با علت اصلی خرابی تجهیز بوده یعنی عامل خرابی که قبل از ورود تجهیز بطور بالقوه در فرآیند ایجاد شده با علت خرابی که تبدیل به بالفعل گردیده، ارتباط برقرار نماید. با اینکار اصل و ریشه خرابی‌ها از بدو ورود، قابل شناسایی خواهند بود. بدین منظور شناخت و تحلیل ارتباط بین علت خرابی و زیرعامل خرابی ناشی از هر فرآیند می‌تواند به مدیر دارایی درخصوص بررسی علت اصلی خرابی تجهیز کمک نماید. برای انجام اینکار، تهیه و شناسایی فرآیندهای ورود تجهیز به سیستم توزیع از ضروریات موضوع بوده که در بخش بعدی به آن پرداخته می‌شود.

۲- مدل ورود تجهیزات به شبکه توزیع برق

توسعه، بازسازی و تعویض تجهیزات شبکه در سیستم توزیع، امری اجتناب ناپذیر است. این موضوع، نیازمند ورود تجهیز به سیستم توزیع خواهد بود. ورود تجهیز، برمبنای فرآیندهای مختلفی صورت می‌گیرد.

شکل ۱ مدل ورود تجهیزات به سیستم توزیع را نشان می‌دهد. اولین فرآیند ورود تجهیز با مهندسی انتخاب شروع می‌شود. ورودی-های این فرآیند، شرایط بارگذاری و محیطی هستند. این شرایط می-تواند بصورت الکتریکی یا مکانیکی باشد. مثلاً برای ترانسفورماتور، شرایط بارگذاری به معنی میزان جریان عبوری و برای پایه، مقدار قدرت کششی آن تفسیر می‌شود.

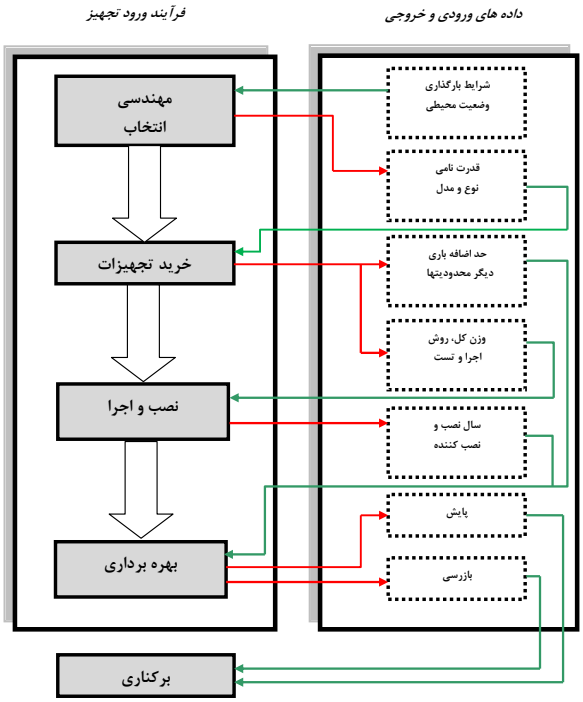
خروجی‌های این فرآیند، توان نامی، نوع و مدل تجهیز است. نوع و مدل تجهیز با شرایط محیطی و مکانی، مرتبط خواهد بود. مثلاً برای ترانسفورماتور، نوع روغنی و خشک و مدل بیرونی و داخلی تعیین خواهد شد. برای پایه نیز نوع فلزی، بتنی یا چوبی باتوجه به شرایط محیطی و مکانی، انتخاب می‌گردد. مقدار توان نامی نیز برمبنای اطلاعات بارگذاری مکانیکی، مشخص می‌شود.

فرآیند خرید، بعد از فرآیند مهندسی انتخاب انجام می‌گیرد. طبق شکل ۱، ورودی‌های این فرآیند، همان خروجی‌های فرآیند مهندسی انتخاب خواهند بود. در این فرآیند باتوجه به داده‌های ارائه شده، تجهیز مورد نظر از میان تجهیزات ارائه شده توسط سازندگان، انتخاب می-شود. خروجی این فرآیند به دو بخش تقسیم می‌شود. داده‌های خروجی وزن کل و روش اجرا و راه‌اندازی، به فرآیند نصب و اجرا منتقل می‌گردد. داده‌های خروجی حد بارگذاری و دیگر محدوده‌های کاری نیز به فرآیند بهره‌برداری ارجاع می‌شود. مثلاً حد بارگذاری برای

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-02-03]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.1.2.5]

ترانسفورماتور، میزان اضافه بار و دیگر محدودیت می‌تواند حد اضافه ولتاژ گذرا باشد. برای پایه، حد بارگذاری می‌تواند مقدار حداکثر قدرت کششی قابل تحمل و دیگر محدودیت نیز نوع خوردگی پایه باشد.



شکل (۱) مدل ورود تجهیز به سیستم توزیع

بعد از فرآیند خرید، فرآیند نصب و اجرای تجهیز آغاز می‌شود. این فرآیند با دریافت داده‌های وزن و روش اجرا، برای حمل و نصب تجهیز در محل، می‌تواند برنامه‌ریزی نماید. خروجی این فرآیند، سال نصب و نصب کننده تجهیز بوده که به فرآیند بهره‌برداری منتقل خواهد شد.

آخرین گام ورود تجهیز، فرآیند بهره‌برداری است. داده‌های این فرآیند از دو فرآیند خرید، نصب و اجرا منتقل می‌شود. با شروع این فرآیند عملاً تجهیز در سیستم توزیع در حال کار خواهد بود و بایستی عملکرد آن مورد بررسی قرار گیرد. لذا خروجی‌های این فرآیند به دو بخش، تقسیم می‌شوند. بخش اول شامل پایش بوده که معمولاً برای تجهیزات تعمیرپذیر انجام می‌گیرد. بخش دوم مربوط به بازرسی ظاهری در محل مربوطه است. اطلاعات این بخش، کمک زیادی به تشخیص طول عمر تجهیز خواهد نمود. برای تجهیز تعمیرپذیر، برکناری می‌تواند باعث استفاده مجدد در مکان دیگر شود ولی معمولاً برکناری تجهیز تعمیرناپذیر، باعث از رده خارج شدن آن می‌گردد. در واقع تجهیزات تعمیرناپذیر تا پایان عمر خود در مکان نصب بوده ولی امکان جابجایی و یا تعمیر و استفاده مجدد تجهیز تعمیرپذیر در مکان دیگر خواهد بود.

بروز خرابی در تجهیز باعث از مدار خارج شدن آن می‌گردد. اگر فرآیندهای ورود تجهیز به درستی انجام گیرد تجهیزی خراب نخواهد شد. ولی در عمل به دلایلی، خرابی تجهیز بوجود خواهد آمد. این عوامل می‌تواند به دلیل ضعف در عملکرد هر فرآیند باشد. شناخت هر عامل می‌تواند به مدیر دارایی درباره رفع عامل بروز خرابی در هر فرآیند کمک نماید. بدین منظور در ادامه جهت بررسی عوامل بروز خرابی ناشی از هر فرآیند، بطور نمونه دو تجهیز یعنی ترانسفورماتور بعنوان تجهیز تعمیرپذیر و برقگیر بعنوان تجهیز تعمیرناپذیر مورد بررسی قرار می‌گیرند. به کمک این دو تجهیز، عوامل و علت‌های خرابی ناشی از هر فرآیند شناسایی و نرخ خرابی و تابع چگالی احتمال خرابی هر فرآیند مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهند گرفت. در واقع از تجهیزات مربوط به شبکه، تنها دو تجهیز مورد تحلیل عددی قرار گرفته و به نوعی قابلیت اطمینان سیستم، فقط از منظر این دو تجهیز دیده شده است. لذا تحلیل‌های صورت گرفته با فرض ایده‌ال بودن دیگر تجهیزات سیستم بیان شده‌اند.

۳- متدولوژی تعیین عوامل خرابی هر فرآیند و ارتباط بین علت اصلی خرابی

یکی از موارد مهم در بررسی‌های خرابی تجهیز، تعیین عوامل تاثیرگذار هر فرآیند در خرابی است. شناسایی عوامل و زیرعوامل ناشی از هر فرآیند که در بروز خرابی‌ها تاثیرگذار هستند می‌تواند کمکی در راستای حذف آنها باشد. برای شناخت این عوامل باید نقاط ضعف و اشکالات هر فرآیند شناسایی شوند. سپس ارتباط بین علت‌های اصلی خرابی بوجود آمده با این عوامل را بدست آورد تا برای حذف آنها اقدام نمود. برای تعیین این عوامل از مستندات، گزارشات، تجربیات و شواهد ثبت شده در بخش‌های مختلف شرکت توزیع برق استفاده می‌شود. در این مقاله، ابتدا به کمک فرآیند بررسی گروه‌های تمرکز[1]، نسبت به شناسایی عوامل و زیرعوامل هر فرآیند و سپس علت‌های خرابی تجهیز اقدام می‌گردد. در مرحله بعد به کمک روش دلفی[2]، ارتباط هر عامل یا زیرعامل هر فرآیند با علت خرابی تجهیز مشخص می‌شود. این مراحل در شرکت توزیع نیروی برق استان گیلان انجام گرفته است.

۳-۱- شناسایی عوامل خرابی هر فرآیند و علت اصلی خرابی

عامل(یا زیرعامل) خرابی هر فرآیند مربوط به مواردی است که در صورت عدم رعایت صحیح آنها در آینده، باعث ایراد در تجهیز خواهند گردید بطوریکه قبل از اینکه تجهیز وارد مدار گردد، زمینه‌ساز خرابی آن در فرآیندهای ورود، ایجاد شده باشد. درحالیکه علت خرابی، مربوط به بعد از وقوع خرابی بوده بطوریکه بهره‌بردار تجهیز بعد از مشاهده آن، به خرابی تجهیز پی می‌برد. به این دلیل، ابتدا به کمک برخی مستندات، نسبت به شناسایی عوامل خرابی هر فرآیند اقدام گردید. آنوقت به کمک خرابی‌های ثبت شده در بانک حوادث، نسبت به دسته-بندی علتهای خرابی هر دو تجهیز نمونه اقدام شد. فرم‌های بدست آمده در این حالت، بعنوان فرم‌های خام اولیه معرفی شدند. جهت

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-02-03]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.1.2.5]

اطمینان از عوامل و علت‌های خرابی بدست آمده، از فرآیندهای گروه تعاملی باعنوان گروه تمرکز استفاده شده است. گروه تعاملی تمرکز، روش تحقیقی است که با استفاده از داده‌های بدست آمده از تعامل با کارشناسان بروی موضوع خاصی که محقق مشخص کرده، انجام می‌شود. متدولوژی گروه تمرکز از روش مصاحبه‌ای استفاده می‌کند. مشارکت کنندگان در بحث‌ها، افرادی هستند که به مجموعه سوالاتی که توسط مصاحبه کننده پرسیده شده پاسخ می‌دهند. در نتیجه مشارکت کنندگان، پاسخ افراد دیگر را می‌شنوند و اجازه دارند نکات اضافی را برای تکمیل موضوع در نظر بگیرند. این روش به شناسایی شاخص‌هایی که مورد استفاده در به تصویرکشیدن عملکرد سیستم هستند، کاربرد گسترده‌ای دارد[9]. برای تحلیل داده‌ها می‌توان از ثبت و توسعه نسخه‌های مصاحبه نشست‌ها برای ادامه بحث‌های تعاملی گروهی استفاده کرد[10]. بر این اساس برای شناخت عوامل و علت‌های خرابی، گام‌های زیر انجام می‌شود.

گام اول: تشکیل گروه تمرکز که اعضای آن متشکل از کارشناسان خبره اداره‌های مختلف هستند. بدین ترتیب هشت کارشناس از اداره‌های مهندسی، بازرگانی، نظارت و بهره‌برداری با سابقه کار بین ۱۰ تا ۲۰ سال انتخاب شدند. ترکیب افراد بصورت دو نفر از اداره مهندسی، دو نفر از اداره بازرگانی و چهار نفر از اداره نظارت و بهره‌برداری می‌باشند. کارشناسان خبره هر اداره، تجربه کاری اجرایی نیز دارا بودند.

گام دوم: جلسه اختصاصی و جداگانه‌ای برای کارشناسان هر اداره، جهت تشریح دلیل بررسی، فرم اولیه و نحوه بررسی اطلاعات هر گروه برگزار شد. در این جلسه، به سوالات و رفع ابهامات افراد پاسخ داده شده تا طی چند روز نسبت به بررسی و تحلیل آن پرداخته شود. بدین ترتیب چهار جلسه با خبرگان اداره‌های مختلف برگزار گردید و تنها عوامل و زیرعوامل مربوط به آن اداره مطرح شد.

گام سوم: نشست جمعی با کارشناسان برای جمع‌بندی و تحلیل فرم اولیه برگزار گردید. این نشست بین ۱ تا ۲ ساعت طول کشید و در هر مرحله اطلاعات مربوطه و عوامل و علت‌های خرابی، دسته‌بندی و مشخص گردید. جلسات صورت جلسه شد تا در نشست‌های بعدی مورد استفاده قرار گیرند. کلاً چهار جلسه نیز بطور گروهی برای هر فرآیند برگزار گردید.

گام چهارم: بعد از بحث و گفتگو در جلسات و تعامل با کارشناسان برای رسیدن به توافق درباره عوامل و علت‌های خرابی، جمع‌بندی گروه بدست آمد. در مواردی که اختلاف نظر وجود داشت، زیرعوامل‌های مورد اختلاف توسط اعضای گروه، امتیازدهی شد تا توافق از این طریق بدست آید. سرانجام از بین ۴۰ زیرعامل اولیه، ۳۱ زیر عامل برای ترانسفورماتور و از بین ۱۳ زیرعامل اولیه، ۱۰ زیرعامل برای برقگیر، معرفی گردید. پس از بحث‌های متعدد، جدول ۱ که مشتمل بر عوامل خرابی هر فرآیند برای تجهیز تعمیرپذیر، ترانسفورماتور و تجهیز تعمیرناپذیر، برقگیر بود بدست آمد. در تعیین زیرعوامل، تلاش گردیده از تداخل زیرعوامل با هم جلوگیری شود و همچنین زیرعوامل خرابی، دربرگیرنده تمامی موارد بروز خرابی تجهیز باشد.

همین مراحل به کمک بانک اطلاعات حوادث، برای تعیین علت‌های خرابی اقدام گردید. رویکرد مراحل در راستای همگرایی و دسته‌بندی علت‌های خرابی رایج برای دو تجهیز فوق است. جدول ۲ علت‌های اصلی خرابی دو تجهیز را نشان می‌دهد.

۳-۲- شناسایی ارتباط بین علت‌های خرابی با زیرعامل خرابی هر فرآیند

از دید بهره‌بردار تجهیز، عواملی باعث خرابی تجهیزات می‌شوند. این عوامل با تاثیرگذاشتن بروی نقطه ضعف هر فرآیند باعث بروز خرابی می‌گردند. لذا علت اصلی خرابی که در صورت بروز آن، محرک خرابی نامیده می‌شود می‌تواند باعث ایجاد خرابی در تجهیز شود. شناسایی ارتباط بین علت اصلی خرابی با زیرعامل خرابی هر فرآیند می‌تواند به تعیین نقش هر فرآیند در خرابی تجهیز کمک نماید. بدیهی است که علت‌های اصلی خرابی می‌تواند با تمامی زیرعامل‌های خرابی هر فرآیند، ارتباط نداشته باشد لذا باید براساس روشی جهت سادگی بحث، تنها مواردی که باهم در ارتباط هستند شناسایی شوند.

در این مرحله از روش دلفی برای شناسایی ارتباط بین علت اصلی خرابی و زیرعامل خرابی هر فرآیند استفاده گردیده است. این روش، فرآیند تکراری است که برای جمع‌آوری و اصلاح داوری کارشناسان به کمک یک سری از داده‌های جمع‌آوری شده و طوفان مغزی استفاده می‌کند. بعنوان یک روش جمع‌آوری داده، روش دلفی را می‌توان در مطالعات کمّی و کیفی بکار برد. این روش هنگامیکه مطالعه، پیچیده بوده و یا زمانیکه موضوع، اندکی حساس و یا تعداد اعضای گروه تمرکز نسبتاً کوچک است، استفاده می‌شود[12-11]. برای تحلیل داده‌ها در روش دلفی می‌توان از روشهای مختلفی استفاده نمود ولی استفاده از روشهای آماری نظیر متوسط و میانه، روش متداولی است[13]. توافق بروی یک موضوع خاص هنگامی اتفاق می‌افتد که درصد مشخصی از نظرات در محدوده خاصی قرار گیرند. لذا توافق بروی حداقل ۷۰٪ نظرات، امری عادی خواهد بود. در این مرحله به کمک روش دلفی، نظرسنجی از خبرگان شرکت توزیع برق در خصوص وجود یا عدم وجود ارتباط بین علت اصلی خرابی و زیرعامل خرابی ناشی از هر فرآیند صورت می‌گیرد. گام‌های اجرای کار بصورت زیر می‌باشد.

گام اول: جلسه ابتدایی برای ارائه اهداف کار، مدت انجام کار، توضیح در خصوص انجام روش و زمان عودت فرم‌ها

گام دوم: برای تکمیل فرم تجهیز تعمیرپذیر و تعمیرناپذیر، دو تیم مختلف تشکیل گردید تا افراد هر تیم بطور جداگانه نسبت به تکمیل فرم اقدام نمایند.

گام سوم: ارائه فرم به کارشناسان، راهنمایی جهت تکمیل آن و دریافت و ثبت پیشنهادات هر تیم.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-02-03]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.1.2.5]

گام چهارم: جمع‌آوری فرم‌ها، تحلیل آماری داده‌ها و خلاصه‌سازی اطلاعات درون یک فرم

گام پنجم: ارسال مجدد فرم اولیه و تکمیل شده به همه کارشناسان و درخواست بررسی و اصلاح نظرات.

گام ششم: تکرار مراحل چهارم و پنجم با فرم تکمیل شده جدید برای اینکه اصلاح نظرات جدید انجام شود.

گام هفتم: جمع‌بندی و تهیه گزارش نهایی از فرم‌های ارسالی، بطوریکه جدولی تهیه گردیده که ردیف افقی آن شامل علت‌های خرابی و ردیف عمودی، عوامل خرابی ناشی از هر فرآیند می‌باشد. اگر نتوان ارتباطی بین علت خرابی با عامل خرابی هر فرآیند برقرار نمود، سلول محل تلاقی بصورت هاشورزده و در غیراینصورت سلول جدول، خالی می‌باشد به نحوی که بتوان خرابی تجهیز را به آن تخصیص داد. فرم تکمیل شده به دلیل کمبود فضا در اینجا ارائه نشده است. به کمک این فرم می‌توان اطلاعات خرابی هر ترانسفورماتور را درون سلول، جاسازی نمود. در واقع پس از وقوع خرابی باید یک سلول، بیانگر نقش زیرعامل فرآیند در خرابی تجهیز باشد. بدین طریق می‌توان خرابی تجهیز را درون هر فرآیند ردیابی نمود.

۴- مدلسازی نرخ خرابی ناشی از هر فرآیند

نرخ خرابی یک تجهیز می‌تواند بصورت ثابت یا متغیر با زمان باشد. نرخ خرابی ثابت، محاسبات را ساده نموده و با تقریب بسیار مناسبی برای برنامه‌های بلندمدت و حتی کوتاه‌مدت شرکت‌ها مناسب می‌باشد. ولی چون خرابی تجهیز، مفهومی است که با زمان در ارتباط دارد معمولاً نرخ خرابی ثابت نمی‌تواند درک مناسبی را برای بهبود روند فعالیت‌ها به مدیر دارایی منتقل نماید. لذا استفاده از داده‌های آماری قبلی خرابی و تهیه مدل نرخ خرابی متغیر با زمان به نحوی که عملکرد خرابی‌ها را با زمان مدل نماید می‌تواند روند بهبود تجهیزات با کارکردهای مختلف را نشان دهد. این موضوع بخصوص برای شرکت‌های توزیع برق که هر روزه مواجه با ورود تجهیزات جدید هستند می‌تواند برای تحلیل فرآیندهای مختلف ورود تجهیز، مناسب باشد. در واقع با تحلیل روند خرابی‌ها می‌توان نقش و تاثیر هر فرآیند را در خرابی مشخص نمود.

تجهیزات نیز به دو دسته تعمیرپذیر و تعمیرناپذیر تقسیم‌بندی می‌شوند. طبق تعریف، تجهیز تعمیرپذیر را می‌توان با هر اقدامی اعم از تعویض قطعات یا اصلاح در تنظیمات مجدداً بطور رضایت بخشی به حالت بهره‌برداری برگرداند. ولی تجهیز تعمیرناپذیر با بروز خرابی باعث از رده خارج شدن آن گردیده چراکه اجرای تعمیرات بروی آن از لحاظ فیزیکی، غیرممکن یا غیراقتصادی خواهد بود.

از طرفی، مدلسازی قابلیت اطمینان تجهیز تعمیرپذیر با تعمیرناپذیر متفاوت است. شکل قابلیت اطمینان تجهیز تعمیرناپذیر بصورت احتمال بقاء است. در واقع زمانهای بین خرابی‌های تجهیز تعمیرناپذیر، بطور یکسان و مستقل توزیع شده است[14]. ولی برای تجهیز تعمیرپذیر، قابلیت اطمینان بصورت احتمال عدم خرابی در یک دوره خاص تفسیر می‌شود. لذا در این تحلیل فرض می‌گردد که زمانهای بین خرابی‌ها بطور مستقل یا یکسان توزیع نشده باشد. بنابراین در مدلسازی قابلیت اطمینان تجهیز تعمیرپذیر، فرآیندهای نقطه‌ای تصادفی کاربرد داشته درحالیکه برای تجهیز تعمیرناپذیر از برازش توزیع آماری نظیر توزیع وایبال برای مدلسازی استفاده می‌شود[14].

۴-۱- مدلسازی نرخ خرابی تجهیز تعمیرپذیر

روشهای مختلفی برای مدلسازی تجهیز تعمیرپذیر استفاده شده است[14] که در این مقاله از فرآیند پوآسن غیرهمگن[۳] استفاده می‌شود. در یک سیستم پیچیده، هنگامیکه تعمیر یا تعویض بخش تعمیرشده باعث اصلاح اساسی قابلیت اطمینان تجهیز نشود این روش قادر است به درستی فرآیند خرابی-تعمیر را توصیف نماید آنوقت مدل NHPP را می‌توان بعنوان مدل حداقل تعمیر، تعبیر نمود.

در واقع نمونه‌برداری زمانی فرآیند پوآسن معمولی، باعث ایجاد فرآیند پوآسن غیرهمگن خواهد شد. اگر $\{N(t), t \geq 0\}$ فرآیند پوآسن با نرخ خرابی λ باشد با فرض رخ دادن حادثه‌ای در زمان t که مستقل از قبل از آن بوده و با احتمال $p(t)$ شمارش می‌شود. برای مقدار $N_c(t)$ که تعداد وقایع شمارش شده در زمان t است، فرآیند شمارشی $\{N_c(t), t \geq 0\}$، فرآیند NHPP با تابع چگالی $\lambda(t) = \lambda p(t)$ خواهد بود [15].

بر این اساس نرخ تجمعی وقوع خرابی‌ها برای NHPP معمولاً بصورت $\Lambda(t)$ تعریف شده و داریم[15]:

$$\Lambda(t) = \int_0^t \lambda(u)\mathrm{d}u \qquad (۱)$$

روشهای مختلفی برای پارامتری نمودن تابع شدت $\lambda(t)$ وجود دارند[16-15] ولی دو روش متداول برای مدلسازی روند تعداد خرابی‌ها در یک فاصله زمانی معین در رابطه با سن کلی سیستم برای NHPP عبارتند از روش قانون توان یا Crow-AMSAA و لگاریتم-خطی یا Cox-Lewis می‌باشند.

در مدل قانون توان، نرخ وقوع خرابی‌ها بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$\lambda(t) = \lambda\beta t^{\beta-1} \qquad \lambda, \beta > 0 \quad , t \geq 0 \qquad (۲)$$

اگر $0 < \beta < 1$ باشد روند تجهیز روبه بهبود بوده و اگر $\beta > 1$ باشد در حال فرسودگی است.

در مدل لگاریتم-خطی، نرخ وقوع خرابی‌ها بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$\lambda(t) = e^{\delta+\eta t} \quad -\infty < \delta, \eta < \infty \ , t \geq 0 \qquad (۳)$$

در این حالت اگر $\eta < 0$ باشد تجهیز در حال بهبود و اگر $\eta > 0$ باشد در حال فرسودگی است[16].

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-02-03]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.1.2.5]

برای تخمین پارامترهای مدل می‌توان از روش تخمین حداکثر احتمال[۴] استفاده نمود. با این روش و به کمک داده‌های خرابی‌های تجهیز تعمیرپذیر می‌توان پارامترهای مدل را بدست آورد.

انتخاب مدل آماری مناسبی که بیانگر داده‌های مشاهده شده باشد از طریق آزمون‌های آماری میزان انطباق منحنی‌ها بدست می‌آید. به کمک این آزمونها می‌توان چگونگی مدل کردن داده‌ها توسط توزیع-های احتمالی را سنجید. آزمون خی مربع[۵] آماری برای تحلیل رگرسیون و همبستگی استفاده می‌شود. برای تعیین اینکه ارتباط رگرسیون و ضریب همبستگی آماری قابل قبولی وجود دارد مدلی که معیار خی مربع کمتری داشته باشد انتخاب می‌گردد.

آزمونهای روند آماری نیز برای تعیین روندهای قاعده‌مند آماری در الگوهای خرابی‌ها، معرفی شده‌اند. یکی از روشهای تحلیلی تحت عنوان آزمون لاپلاس[۶] می‌باشد. این آزمون هنگامی بهینه است که مکانیزم واقعی خرابی بصورت مدل لگاریتم-خطی باشد. طبق تعریف، آزمون لاپلاس برای n خرابی مشاهده شده بصورت زیر می‌باشد:

$$L = \frac{1/n \sum_{j=1}^{n} S_j - \left(t_0/2\right)}{t_0/\sqrt{12n}} \qquad (۴)$$

که $S_1, S_2, \ldots$ بعنوان زمانهای خرابی است درحالتیکه سیستم تا لحظه t_0 مشاهده شده باشد. هنگامیکه روندی در داده‌ها وجود ندارد انتظار می‌رود که L معادل با صفر یا بسیار نزدیک به صفر باشد. لذا با فرض صفر برای فرآیند پوآسون و فرض متغیربودن برای فرآیند پوآسون غیرهمگن با شدت یکنواخت، معتبر خواهد بود. بنابراین اگر $L < 0$ باشد سیستم در حال بهبود و اگر $L > 0$ باشد در حال فرسودگی است[16].

یکی دیگر از روشهای آزمون، روش آزمون هندبوک نظامی[۷] بوده که برای فرآیند NHPP با مدل تابع شدت قانون توان، بهینه می‌باشد. برای سیستم با n خرابی مشاهده شده تا زمان t_0 بصورت:

$$MH = 2\sum_{i=1}^{n} ln\frac{t_0}{S_i} \qquad (۵)$$

که در این حالت، مقدار MH برابر با مقدار خی مربع توزیع شده با $2n$ درجه آزادی برای فرض صفر در فرآیند پوآسون همگن است[15]. مقدار کم MH مطابق با فرسودگی سیستم و مقادیر بالای MH مرتبط با بهبود سیستم است. بر این اساس با توجه به داده‌های خرابی تجهیز تعمیرپذیر، مدل نرخ خرابی هر یک از فرآیندهای ورود تجهیز بدست آورده می‌شوند. سپس به کمک مدل نرخ خرابی، تابع توزیع چگالی احتمال خرابی تجهیز برای هر فرآیند، بدست آمده و احتمال بروز خرابی ناشی از هر فرآیند مورد تحلیل قرار می‌گیرد. اگر n رویداد فرآیند پوآسن غیرهمگن با تابع شدت $\lambda(t)$ تا دوره زمانی τ وجود داشته باشد n رویداد می‌تواند بصورت ترتیبی از n مشاهده مستقل با تابع چگالی زیر توزیع شده باشد[17]:

$$f(t) = \frac{\lambda(t)}{\Lambda(\tau)} \qquad (۶)$$

به کمک این تابع می‌توان نقش هر فرآیند را در بروز خرابی مورد نظر، تخمین زد و از این طریق نسبت به اصلاح روند انجام فرآیند در جهت کاهش احتمال بروز خرابی گام برداشت..

۴-۲- مدلسازی نرخ خرابی تجهیز تعمیرناپذیر

در این مقاله، برای مدلسازی نرخ خرابی تجهیز تعمیرناپذیر از تابع توزیع وایبال[۸] استفاده می‌شود. این توزیع یکی از توزیعهای آماری است که در تحلیل قابلیت اطمینان مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر تجهیزی در سیستم توزیع، نصب شود نرخ‌های خرابی تجهیز، با زمان تغییر خواهد کرد بطوریکه می‌توان بطور تقریبی بصورت یک منحنی وانی شکل آنرا نشان داد. رابطه تابع توزیع احتمالی و نرخ خرابی با زمان این توزیع را می‌توان بصورت زیر نمایش داد:

$$f(t) = \frac{m}{\Theta}\left(\frac{t}{\Theta}\right)^{m-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\Theta}\right)^{m}\right] \qquad (۷)$$

$$\lambda(t) = \frac{m}{\Theta}\left(\frac{t}{\Theta}\right)^{m-1} \qquad (۸)$$

که در آن Θ پارامتر مقیاس و m پارامتر شکل است. دلیل استفاده از این توزیع احتمالی این است که می‌تواند تعداد زیادی از داده‌ها و مشخصات عمر را مدل نماید.[18]. برای تعیین پارامترهای مدل از روشهای گرافیکی استفاده می‌شود. روشهای گرافیکی به کمک نمایش داده‌های خرابی مشاهده شده، از لحاظ بصری می‌توانند روند خرابی‌ها را به تصویر بکشند. به کمک این روش، تعداد تجمعی خرابی‌ها با توجه به زمان وقوع آنها، رسم می‌شوند تا نسبت به شناسایی روند بین خرابی‌ها اقدام شود. برای اینکار باید داده‌های خرابی را از مقدار کم تا مقدار زیاد برای تهیه احتمال وایبال، رتبه‌بندی نمود. بر این اساس محورهای افقی و عمودی منحنی احتمال وایبال، مقدار لگاریتم نرمال زمان عمر t و احتمال تجمعی تجهیز خراب شده تا زمان t هستند که بصورت:

$$\ln\ln\left[1/\left(\left(1-F(t)\right)\right)\right] = m\ln(t) - m\ln(\Theta) = mx + k \qquad (۹)$$

رابطه فوق یک تابع مرتبه اول است که مقادیر آن می‌تواند از طریق تحلیل رگرسیون، تخمین زده شود. بطوریکه m شیب خط و پارامتر شکل Θ برابر با $e^{(-k/m)}$ می‌باشد.

بر این اساس به کمک این توزیع و باتوجه به داده‌های خرابی نسبت به مدلسازی خرابی‌های تجهیز تعمیرناپذیر اقدام خواهد گردید.

۵- مطالعه عددی و موردی

در این بخش، نسبت به مدلسازی عددی نرخ خرابی و تابع چگالی احتمال خرابی دو تجهیز نمونه تعمیرپذیر و تعمیرناپذیر یعنی ترانسفورماتور و برقگیر اقدام می‌شود. همانگونه که در بخش ۳ بیان گردید عوامل خرابی ناشی از هر فرآیند و علت‌های اصلی خرابی هر دو

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-02-03]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.1.2.5]

تجهیز تعیین شده‌اند. در ادامه، به کمک اطلاعات خرابی‌های این دو تجهیز در شرکت توزیع نیروی برق استان گیلان، مطالعه عددی ارائه خواهد گردید. شرکت توزیع نیروی برق استان گیلان با بیش از یک میلیون دویست هزار مشترک برق، یکی از پرتراکم‌ترین شرکت‌های توزیع برق ایران است. این شرکت بیش از ۱۶ هزار ترانسفورماتور توزیع داشته و در جنوب دریای خزر نسبت به تامین برق مشترکین فعالیت دارد.

۵-۱- مدلسازی و بررسی خرابی‌های ترانسفورماتور

داده‌های مربوط به خرابی ترانسفورماتور مربوط به سالهای ۱۳۸۸-۱۳۹۲ از بانک اطلاعات حوادث شرکت توزیع برق، استخراج گردید. با همکاری کارشناسان شرکت، اطلاعات خرابی‌ها برمبنای جدول تهیه شده در بخش۳-۲، دسته‌بندی و باتوجه به سلول‌ها و تعاریف جدول، تعداد خرابی‌ها در هر سلول، منظور گردید. به دلیل کمبود اطلاعات، عدم بررسی اولیه خرابی و سانسور اطلاعات، و از طرف دیگر به دلیل تشابه نزدیک رفتار خرابی‌ها، تعداد خرابی‌های مربوط به صاعقه و کلیدزنی(OP-1) به مقدار ۳۷٪، خرابی‌های مربوط به اضافه بار، اتصال کوتاه فشار ضعیف و ناتعادلی (OP-2) به مقدار ۲۴٪ و نشتی روغن، نفوذ رطوبت و عایقی ضعیف(OP-3) به مقدار ۱۷٪ در یک دسته قرار گرفتند. خرابی‌های مربوط به نصب و اجرا(IE) به میزان ۴٪ و خرابی مربوط به فرآیند خرید(CP) به مقدار ۱۸٪ وجود دارند. همچنین تعداد خرابی‌های مربوط به فرآیندهای مهندسی انتخاب، قابل شناسایی و تعیین نبودند.

بدین منظور، نسبت به مدلسازی تابع شدت فرآیندهای CP، IEو فرآیندهای بهره‌برداری در سه حالت OP-1، OP-2 و OP-3 اقدام می‌شود. به دلیل عدم وجود داده‌های خرابی ترانسفورماتور ناشی از فرآیندهای مهندسی انتخاب، امکان مدلسازی تابع شدت این فرآیند وجود نخواهد داشت.

بنابراین تعداد ۱۳ خرابی ناشی از فرآیند خرید که در زیرعوامل مختلف بوجود آمده‌اند و تعداد روز وقوع خرابی، مشخص گردید. تعداد تجمعی خرابی‌ها برحسب زمان‌های تجمعی در شکل ۲ به همراه تابع شدت برازش شده، نمایش داده می‌شود. روند غیریکنواخت در خلال کل دوره مشاهده شده، لذا به کمک داده‌ها، پارامترهای هر دو تابع شدت فرآیند NHPP بدست آورده می‌شوند. مقادیر پارامترها در جدول ۳، آورده شده و مقدار آزمونL، فرض صفر را مردود نموده لذا مدل لگاریتمی-خطی فرآیند، تایید می‌شود. همچنین آزمون MH نیز نسبت به تایید مدل قانون توان، اقدام می‌کند. در این حالت، مدل لگاریتم-خطی که بصورت هاشورزده در جدول ۳ مشخص گردیده با کمترین معیار خی مربع مورد تایید قرار می‌گیرد.

همچنین تعداد ۵ خرابی ناشی از فرآیند نصب و اجرا طی این سالها ثبت گردیده که به کمک این داده‌ها نیز هر دو تابع شدت، برازش شده و آزمون‌هایL و MH نیز توابع شدت را تایید کردند. در این حالت، مدل لگاریتم-خطی، بعنوان مدل نهایی فرآیند انتخاب گردیدند.

مدل فرآیند بهره‌برداری برای سه حالت کلی یعنی OP-1، OP-2و OP-3تهیه می‌شود تا نقش عوامل، بهتر دیده شود. به کمک این داده‌ها نیز آزمون‌های مربوط، محاسبه و مدلی که کمترین معیار خی مربع را داشته یعنی مدل قانون توان بعنوان مدل نهایی انتخاب گردید. بر این اساس، توابع شدت برای فرآیندهای OP-2و OP-3 نیز بدست آورده می‌شود. به کمک کل داده‌های خرابی ناشی از فرآیند بهره‌برداری، تابع شدت مربوط به کل فرآیند(OP) نیز محاسبه گردیده که خلاصه آن در جدول ۳ آورده شده است .

به کمک رابطه ۶ و تابع نرخ خرابی، تابع چگالی احتمالی خرابی ناشی از هر فرآیند بدست می‌آید. این تابع، روند ایجاد خرابی‌ها را برای روزهای کارکرد مختلف نشان می‌دهد. شکل ۳ چگالی احتمالی خرابی ناشی از فرآیند خرید، نصب و اجرا و فرآیند OP-2 می‌باشد. چگالی احتمال خرابی ناشی از فرآیند OP-2 ، احتمال بسیار پایینی داشته و نشان از وضعیت مناسب حفاظت‌ها و یا ظرفیت بالای ترانسفورماتور دارد. فرآیند نصب و اجرا نیز چگالی احتمال خرابی ثابتی دارد که می‌توان نتیجه گرفت که در این خصوص شاید نیاز به پایش بیشتری وجود داشته و یا به دلیل مهم بودن تجهیز ترانسفورماتور، توجه خاصی به نصب آن می‌شود. چگالی احتمال خرابی ناشی از فرآیند خرید، بصورت افزایشی است یعنی با افزایش کارکرد ترانسفورماتور، احتمال خرابی ناشی از این فرآیند بالا بوده که آن هم می‌تواند به علت ایراد در ساخت یا قطعات ترانسفورماتور ساخته شده جدید و عدم دقت در آزمونهای هنگام خرید بوده که با کارکرد ترانسفورماتور، احتمال خرابی آن زیاد می‌شود.

شکل ۴ احتمال خرابی فرآیندهای OP-1و OP-3 و فرآیند کلی بهره‌برداری OP را نشان می‌دهد. طبق شکل، چگالی احتمال خرابی فرآیند OP-1 یعنی برای خرابی‌های ناشی از صاعقه و کلیدزنی، تقریباً ثابت بوده درعوض فرآیند OP-3 یعنی برای خرابی ناشی از ضعف عایقی روغن، با افزایش کارکرد روند کاهشی دارد. این موضوع نشان می‌دهد که در بخش بهره‌برداری، توجه به کنترل عایقی روغن ترانسفورماتور به دلیل انجام سرویس و تعمیرات منظم، اهمیت داشته و بجز برای کارکرد اولیه، روند ثابتی خواهد داشت. نکته مهم، در افزایشی بودن چگالی احتمال خرابی فرآیند کلی بهره‌برداری است یعنی با افزایش کارکرد ترانسفورماتور، احتمال خرابی ناشی از فرآیند کلی بهره‌برداری بالاتررفته که این موضوع، امری عادی است.

برای تعیین درصد هر فرآیند در بروز خرابی، فرض گردد خرابی ناشی از صاعقه بعد از مثلاً ۱۰۰۰ روز کارکرد برای ترانسفورماتور اتفاق بیافتد. طبق شکل ۳، احتمال بروز خرابی ناشی از فرآیند خرید برابر با ۲/۶e-۳ و فرآیند نصب و اجرا برابر با ۰/۷e-۳ خواهد بود. طبق شکل ۴، احتمال بروز خرابی ناشی از فرآیند OP-1 برابر با۲/۵e-۳ می‌باشد.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-02-03]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.1.2.5]

جدول (۱) عوامل و زیرعوامل خرابی ترانسفورماتور و برقگیر ناشی از هر فرآیند

فرآیندها	ترانسفورماتور		برقگیر
	عوامل خرابی	***زیرعوامل خرابی***	***عوامل خرابی***
مهندسی انتخاب	انتخاب ظرفیت ناصحیح	۱-۱: ظرفیت پایین	انتخاب اشتباه حداکثر جریان موجی
	انتخاب نوع و مدل اشتباه	۲-۱: اشتباه در نوع روغنی، خشک یا هرمتیک	انتخاب غلط ولتاژ باقیمانده
			انتخاب غلط ولتاژ کار
			انتخاب غلط ناحیه حفاظتی
		۲-۲: اشتباه در مدل بیرونی یا داخلی	انتخاب اشتباه کلاس تخلیه
خرید تجهیز	عدم کیفیت بخشهای داخلی	۳-۱: عدم کیفیت روغن	عدم کیفیت دیسک
		۳-۲: عدم کیفیت عایق	
		۳-۳: عدم کیفیت هسته	
		۳-۴: عدم کیفیت سیم‌پیچ	عدم عملکرد دیسکانکتور
	عدم تطابق بخش‌های بیرونی با محیط	۴-۱: اشتباه در کلاس بوشینگ‌ها	
		۴-۲: اشتباه در انتخاب شاخک	عدم کیفیت عایق بیرونی
		۴-۳: اشتباه در کلاس تانک	
	عدم دقت در ساخت	۵-۱: ایراد در نوع جوشکاری	عدم کیفیت ساخت
		۵-۲: ایراد در چفت و بست	
نصب و اجرا	اتصالات سست	۶-۱: عدم دقت در نصب اتصالات	ایراد در اتصالات
		۶-۲: عدم استفاده از کفشک	
	آسیب حین حمل	۷-۱: آسیب به بوشینگ‌ها	
		۷-۲: آسیب به تانک	اشکال در سیستم زمین
	عدم تست قبل از برقدار کردن	۸-۱: عدم تست سیم‌پیچ	
		۸-۲: عدم تست عایقی	
		۸-۳: عدم تست راه‌اندازی	
بهره‌برداری	عدم حفاظت اضافه بار	۹-۱: عدم حفاظت فشار ضعیف	مقاومت زمین نامناسب
		۹-۲: عدم حفاظت فشارمتوسط	
		۹-۳: اشکال در حفاظت	
	عدم حفاظت اضافه ولتاژ گذرا	۱۰-۱: خرابی برقگیر	
		۱۰-۲: اشکال در سیستم زمین	عدم آزمایش جریان نشتی
		۱۰-۳: عدم وجود سیم زمین	
	عدم بازرسی شرایط فیزیکی	۱۱-۱: عدم بازرسی	
		۱۱-۲: عدم بازرسی دوره‌ای	
		۱۱-۳: عدم بازرسی اتصالات	
		۱۱-۴: عدم بازرسی حفاظت‌ها	
	عدم انجام آزمایش‌های دوره‌ای	۱۲-۱: عدم انجام آزمایش‌های دوره‌ای روغن	
		۱۲-۲: عدم انجام آزمایش‌های پیری	

جدول (۲) علت‌های اصلی خرابی دو تجهیز ترانسفورماتور و برقگیر

تجهیز	***علت‌های اصلی خرابی***							
ترانسفورماتور	صاعقه	کلیدزنی	اضافه بار	اتصال کوتاه فشارضعیف	نشتی روغن	نفوذ رطوبت	عایقی ضعیف	عدم تعادل بار
برقگیر	آسیب عایق بیرونی		قطع دیسکانکتور		اتصال کوتاه بخش داخلی			

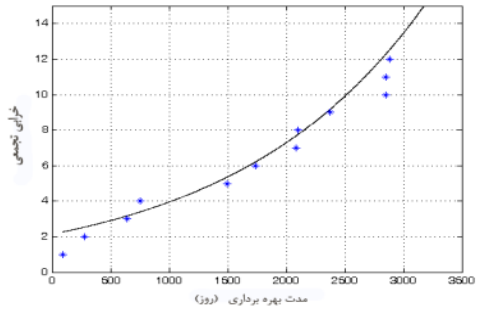
جدول (۳)خلاصه‌ای از پارامترها و آزمونهای آماری مربوط به تجهیز ترانسفورماتور

فرآیندها	تخمین پارامترهای NHPP							
	قانون توان				***لگاریتم-خطی***			
	λ	β	*MH* test	Chi-Sq.	δ	η	*L* test	Chi-Sq.
خرید تجهیز(CP)	۲/۶۷e-۳	۱/۰۷	۲۱/۳۳۶	۷/۰۸۷	۰/۷۶۲	۶/۱۳e-۳	۰/۴۶۶	۶/۶۹
نصب و اجرا(IE)	۰/۶۴۹e-۳	۱/۰۹	۵/۲۵	۰/۶۷۲۸	-۰/۱۵۲	۴/۹۵۵e-۳	۱/۲۲۵۲	۰/۴۸۲۸
OP-1	۰/۲۴۷e-۲	۱/۰۲	۵۴/۰۷۹۲	۱۳۶	۱/۸۸۹	۱/۲e-۳	۲/۱۷۶	۳۷۴
OP-2	۰/۰۱۵e-۳	۱/۴۸۳۵	۱۴/۳۲۷	۵۰/۶۸	۰/۲۶۶	۰/۲۱۹۶e-۳	۰/۳۱۹	۴۴/۶
OP-3	۰/۶۱۳e-۲	۰/۸۲	۲۲/۴۷	۹/۰۹۸	۰/۹۸۹	۱/۲۳e-۳	۰/۰۶۷	۱۴/۲۴
OP	۲/۶۷e-۳	۱/۰۷	۹۹/۳	۹/۵۸	۲/۳۳۲	۰/۱۳۹۸e-۳	۰/۷۷۸	۲۹/۸۸

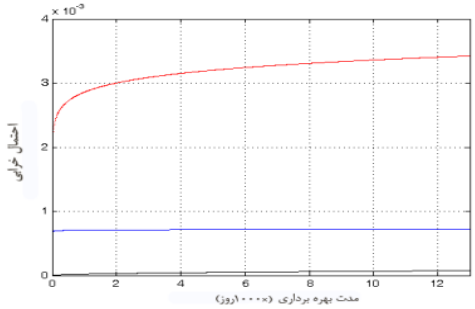
[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-02-03]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.1.2.5]

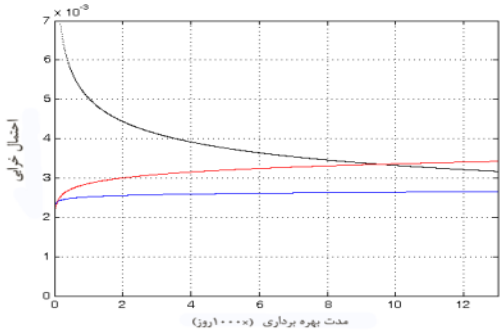
با نرمالیزه کردن این مقادیر، درصد هر فرآیند در بروز خرابی به ترتیب برابر با ۴۵٪، ۱۲٪ و ۴۳٪ می‌شود. درحالیکه این مقدار برای احتمال بروز خرابی با کارکرد ۶۰۰۰ روز به ترتیب برابر با ۵۰٪، ۱۱٪ و ۳۹٪ است.این موضوع نشان می‌دهد با افزایش کارکرد ترانسفورماتور، علیرغم دقت در بهره‌برداری، نقش فرآیند خرید نسبت به فرآیند بهره‌برداری برجسته‌تر است.



شکل (۲) تعداد تجمعی خرابی‌ها برحسب زمان‌های تجمعی و منحنی برازش شده برای فرآیندCP ترانسفورماتور



شکل (۳) **چگالی خرابی ناشی از فرآیند خرید(قرمز)، نصب و اجرا(آبی) و بهره‌برداری OP-2(مشکی) ترانسفورماتور**



شکل (۴) **چگالی خرابی ناشی از فرآیند کلی بهره‌برداری OP(قرمز)، OP-1(آبی)و OP-3(مشکی) ترانسفورماتور**

۵-۲- مدلسازی و بررسی خرابی‌های برقگیر

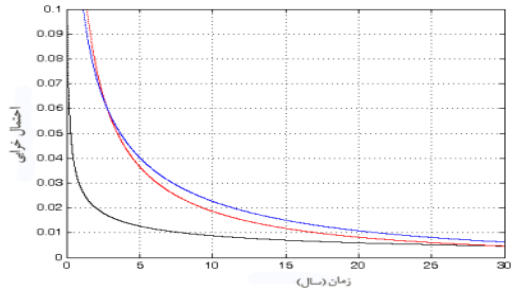
به کمک بانک اطلاعات حوادث شرکت توزیع برق، اطلاعات خرابی‌های برقگیر برای سالهای ۱۳۹۰-۱۳۹۲ استخراج گردید. برای دسته‌بندی و تخصیص هر خرابی مربوط به فرآیندهای ورود تجهیز، از ترکیب گروه تمرکز استفاده شد. با استفاده از اطلاعات اضافی مربوط به خرابی برقگیر نظیر وضعیت جوی حین خرابی، وجود مانورهای متعدد قبل از خرابی، شکل ظاهری خرابی برقگیر و دیگر شواهد ثبت شده، هر خرابی به فرآیند مربوطه تخصیص داده شد. همچنین با نصب چند سری پایشگر برقگیر در نقاط مختلف شبکه و اخذ اطلاعات مربوط به نشتی جریان و تعداد عملکرد برقگیر، سعی گردید تا دسته‌بندی خرابی‌ها با دقت بیشتری انجام گیرد. از بین ۹۹ مورد خرابی، کلاً داده-های تعداد ۴۶ خرابی تهیه گردید. به کمک این داده‌ها و رابطه ۹، پارامترهای مربوط به توزیع وایبال هر فرآیند تخمین زده شد.

پارامترهای تابع وایبال برای فرآیند مهندسی انتخاب به کمک ۱۳ خرابی، فرآیند خرید به کمک ۱۱ خرابی، فرآیند نصب و اجرا به کمک ۷ خرابی و بهره‌برداری به کمک ۱۵ خرابی برقگیر مشاهده شده و توسط گروه تمرکز، تفکیک گردیده و تهیه شده‌اند. جدول ۴ پارامترهای شکل و مقیاس مربوط به هر فرآیند را نشان می‌دهد .

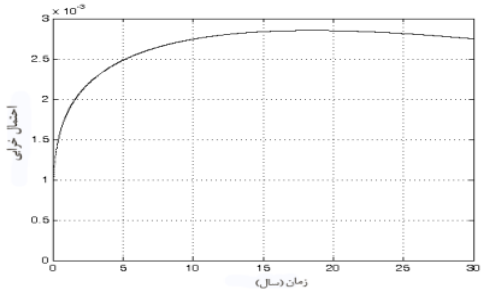
جدول (۴) پارامترهای مقیاس و شکل هر فرآیندمربوط به تجهیز برقگیر

فرآیندها	پارامترهای وایبال	
	پارامتر شکل	پارامتر مقیاس
مهندسی انتخاب(SE)	۰/۶۲	۱۲/۰۳
خرید تجهیز(CP)	۰/۵۰۹	۷/۸۱
نصب و اجرا(IE)	۰/۵۶۰۵	۱۹۴
بهره‌برداری(OP)	۱/۰۸۹	۱۰۴۲

به کمک پارامترهای تهیه شده، می‌توان تابع چگالی احتمال خرابی مربوط به هر فرآیند را به کمک رابطه ۷ بدست آورد. شکلهای ۵ و ۶ منحنی‌های مربوط به چگالی احتمال خرابی هر فرآیند می‌باشند. این توابع، احتمال بروز خرابی مربوط به هر فرآیند را نشان می‌دهند.



شکل (۵): منحنی‌های تابع چگالی احتمال خرابی مربوط به فرآیند مهندسی انتخاب(آبی)، خرید(قرمز) و نصب و اجرا(مشکی) برقگیر



شکل (۶) منحنی تابع چگالی احتمال خرابی مربوط به فرآیند بهره-برداری برقگیر

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-02-03]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.1.2.5]

چگالی احتمال خرابی مربوط به فرآیندهای مهندسی انتخاب، خرید و نصب و اجرا بصورت کاهشی بوده ولی این احتمال برای فرآیند بهره-برداری بصورت افزایشی است. علاوه بر آن میزان تاثیر، فرآیند مهندسی انتخاب نیز در خرابی برقگیر از مابقی فرآیندها بیشتر است.

بنابراین اگر فرض گردد برقگیر بعد از ۲ سال کارکرد، آسیب ببیند بر این اساس، احتمال خرابی ناشی از فرآیندهای مهندسی انتخاب و خرید طبق شکل ۵ تقریباً برابر و حدود ۰/۰۷ و ناشی از فرآیند نصب و اجرا حدود ۰/۰۲ و فرآیند بهره‌برداری بر اساس شکل ۶ برابر با ۳-۲e می‌باشد. بعد از نرمالیزه کردن مقادیر، درصد تاثیر هر فرآیند در خرابی برقگیر برابر با ۴۳٪، ۴۳٪، ۱۲٪ و ۲٪ خواهد بود.

۶- نتیجه‌گیری

این مقاله بروی مدیریت دارایی در شرکت توزیع برق تمرکز داشته و از نگاه قابلیت اطمینان، فرآیندهای مختلف ورود تجهیز به سیستم را مورد بررسی قرار داده است. بر این اساس، مدل ورود تجهیز به سیستم توزیع برمبنای داده‌های ورودی و خروجی هر فرآیند تهیه شده است. به کمک این مدل و با استفاده از کارشناسان خبره، عوامل و زیرعوامل خرابی تجهیز مربوط به هر فرآیند بدست آمده و رابطه آنها با علت‌های اصلی خرابی تجهیز مشخص گردید. بدین ترتیب مدیر دارایی برای تحلیل هر خرابی می‌تواند علت خرابی را درون فرآیندهای ورود تجهیز به سیستم جستجو نماید تا نسبت به رفع آن اقدام کند.

همانطور که در مقاله ارائه گردید، مدل نرخ خرابی و تابع احتمال خرابی هر فرآیند بدست می‌آید تا روند خرابی مربوط به هر فرآیند مشخص گردد. به کمک این مدل می‌توان میزان تاثیرگذاری هر فرآیند در خرابی تجهیز را بدست آورد. برای بررسی بیشتر و مطالعه عددی از دو تجهیز نمونه، تعمیرپذیر و تعمیرناپذیر برای اجرای مدلسازی استفاده شد و نتایج حاصله مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. به کمک این روش می‌توان برای تمام تجهیزات سیستم توزیع، مدلسازی را انجام داده و نقش و تاثیر هر فرآیند در خرابی تجهیز را مورد پایش و بررسی قرار داد.

مراجع

[1] Patel, B., Wang, Z.D., Milanovic, J.V., Jarman, P., *"Investigation of Maximum Likelihood Percentile Estimates for Transformer Asset Management"*, Int. Conf. on Prob. Meth. Appl. to Power Sys., pp. 1-6, 2014.

[2] Dashti, R., Yousefi, S., "*Reliability based asset assessment in electrical distribution systems*", Reli. Eng. And Sys. Safety, Vol. 112, pp. 129-136, 2013.

[3] Johanson, A.,Strachan, S.,Ault, G., *"A framework for asset replacement and investment planning in power distribution networks"*, Asset Manag. Conf. IET&IAM, pp. 1-5, 2012.

[4] Anthony, U., Claudius, A., Joseph, C., *"Asset maintenance planning in electric power distribution network using statistical analysis of outage data"*, Elect. Power and Energy Sys., Vol. 47, pp. 424-435, 2013.

[5] Rayan, P.C., Stewart, M.G., Spencer, N., Li, Y., "*Reliability assessment of power pole infrastructure incorporating deterioration and network maintenance*", Reli. Eng. And Sys. Safety, Vol. 132, pp. 261-273, 2014.

[6] Fazekas, T., Cselko, R., Nemeth, B., "*Application of life data analysis in the aging power system*", 4th Inter. Youth Conf. on Energy, pp. 1-5, 2013.

[7] Martinez, J., "*Data management model for the optimized maintenance of power transformers*", (CIRED) 22nd Inter. Conf. & Exhi. On Elec. Dis., pp. 1-4, 2013.

[8] Mehairjan, R.P.Y. ; Djairam, D. ; Qikai Zhuang ; Smit, J.J., "*Statistical approach to establish failure behavior on incomplete asset lifetime data*", International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, pp. 517-520, 2012.

[9] Caridi,M., Moretton,A., Perego,A., Tumino,A., "*The benefits of supply chain visibility: A value assessment model*", Int. J. Production Economics, Vol. 151, pp. 1-19, 2014.

[10] Sutton, S.G., Arnold, V., "*Focus group methods: Using interactive and nominal groups to explore emerging technology-driven phenomena in accounting and information systems*", Inter. Jour. of Acco. Info. Sys., Vol. 14, pp. 81–88, 2013.

[11] Lilja, K.K., Laakso, K., Palomäki, J., "*Using the Delphi Method*", Proceedings of Technology Management in the Energy Smart World, pp. 1-10, 2011.

[12] Joshi, R., Banwet, D.K., Shankar, R., "*A Delphi-AHP-TOPSIS based benchmarking framework for performance improvement of a cold chain*", Expert Systems with Applications, Vol. 38, pp. 10170–10182, 2011.

[13] Hsu, C., Sandford, B.A., "*The Delphi Technique: Making Sense of Consensus*", Practical Assessment, Research & Evaluation., Vol. 12, No. 10, 2007.

[14] Louit,D.M., Pascual,R., Jardine, A.K.S., "*A practical procedure for the selection of time-to-failure models based on the assessment of trends in maintenance data*", Reli. Eng. and Sys. Safety, Vol. 94, pp. 1618–1628, 2009.

[15] Bae, S.J., Mun, B.M., Kim, K.Y., "*Change-point detection in failure intensity: A case study with repairable artillery systems*", Computers & Industrial Engineering Vol. 64,pp. 11–18, 2013.

[16] Rausand, M., Hoyland A., *System Reliability Theory*. Wiley Press, 2edition, 2004.

[17] Rannestad, B., "*Exact Statistical inference in Non-homogeneous Poisson processes, based on simulation*," *Master of Scie in Phys. & Math.*, 2007, http://www .diva-portal.org/smash/get/diva2:351348/FULLTEXT01.pdf.

[18] Chu, C.M., Moon, J.F., Lee, H.T., Kim, J.C., "*Extraction of Time-varying Failure Rates on power distribution system equipment considering failure modes and regional effects*", Electrical Power and Energy Systems, Vol. 32, pp. 721–727, 2010.

زیرنویس‌ها

[1]Focus Groups
[2]Delphi Method
[3]Non-Homogeneous Poisson Process(NHPP)
[4]Maximum Likelihood Estimation
[5]Chi-Square
[6]Laplace Test
[7]Military Handbook Test
[8]Weibull Distribution Function

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-02-03]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1394.4.1.2.5]