Archive of SID

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (زمستان ۱۳۹۴)
دوره‌ی ۱ - ۳۱، شماره‌ی ۲/۱، ص. ۱۰۷-۱۱۵، (یادداشت فنی)

Research Note

محاسبه‌ی شاخص‌های نگه‌داری و تعمیرات، شناسایی دستگاه‌های بحرانی و واحدهای مرتبط با تأخیر (مطالعه‌ی موردی: واحد تولیدی مهد خودرو فشارکی)

عبدالحمید اشراق‌نیای جهرمی * **(دانشیار)**
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف
سید حسین احمدی (کارشناس ارشد)
دانشکده مدیریت صنعتی، دانشگاه تهران
سعید قیسی‌پور (کارشناس)
مؤسسه‌ی آموزش عالی سجاد

فرایند نگه‌داری و تعمیرات، یکی از حیاتی‌ترین فرایندهای هر سازمان است که وظیفه‌ی اصلی آن نگه‌داری و حفظ ماشین‌آلات در شرایط مطلوب یا بازگرداندن آن‌ها از شرایط نامطلوب به شرایط مطلوب است. خرابی ماشین‌آلات منجر به از دست رفتن زمان دسترسی تجهیزات و افزایش هزینه‌های سازمان می‌شود، و لذا همواره بهبود عملکرد ماشین‌آلات و درنتیجه بهبود فرایند نت مورد توجه متخصصین بوده است. تحقیق حاضر با هدف محاسبه‌ی شاخص‌های «میانگین مدت زمان بین دوخرابی»، «میانگین زمان تا تعمیر»، «قابلیت اطمینان»، «دسترس‌پذیری برحسب زمان» و «احتمال خرابی» در واحد صنعتی مهد خودرو انجام گرفته است. همچنین، این پژوهش به بررسی علل توقفات دستگاه‌ها پرداخته است که با شناسایی دستگاه‌های بحرانی و مهم و تشخیص خرابی‌های تأخیردار و وقفه‌انداز و علل آن‌ها، به شناسایی واحدهای مرتبط با توقفات پرداخته و تأثیر هر واحد را محاسبه می‌کند. نتایج مربوط به ۴ ماهه اخر سال ۸۸ و ۴ ماهه اول سال ۸۹ با ۸ ماهه اول سال ۸۸ مقایسه شد که نشان‌دهنده‌ی کاهش ۲۰۰ ساعتی زمان توقفات در ارتباط با واحدهای تولیدی و اداری بود. تأکید اصلی بر توقفاتی است که ناشی از تعمیر نیستند بلکه دلایلی از قبیل ضعف مدیریتی واحد نت، عدم تعهد پیمانکاران، امور مالی و... دارند.

واژگان کلیدی: قابلیت اطمینان، دسترس‌پذیری، نگه‌داری و تعمیرات، میانگین مدت زمان بین دو خرابی، میانگین زمان تا تعمیر، احتمال خرابی.

eshragh@sharif.edu
hosein.ahmadi@ut.ac.ir
gheysipour_s@yahoo.com

۱. مقدمه

علم «نگه‌داری و تعمیرات (نت)»، در حال حاضر زمینه‌یی مساعد برای نیل به بهبود کیفی و به‌تبع آن بهبود سودآوری، فراهم آورده است. این علم که بهتر است آن را شیوه‌یی کاربردی برای بهبود وضعیت غیرنظام‌مند صنعت حال حاضر نامید، دارای پایه و اساس نظری بسیار کاربردی است.

از دیرباز بشر برای طرح‌ریزی تولید، ملزم به بررسی عوامل اساسی همچون برآورد میزان تولید، برآورد نیازمندی‌هایی از قبیل دستگاه‌ها، نیروی انسانی و... بوده است. اما یکی از مشکلات بزرگی که راه را بر تحقق این اهداف ناهموار می‌سازد، بحث خرابی‌های اتفاقی دستگاه‌هاست که تأثیر کاملاً محسوسی بر تولید داشته است. این علم در حال حاضر به‌لحاظ نظری و تجربی قادر به حل درصد زیادی از این مشکل است. البته گفتنی است که این کاربرد تنها بخش کوچکی از علم وسیع «نگه‌داری و تعمیرات (نت)» است.

در این پژوهش، با نگاهی کاربردی و به‌صورت عملی به پیاده‌سازی اصول قابلیت اطمینان و نت مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) در مطالعه‌یی موردی پرداخته‌ایم. بر این مبنا نمونه‌یی از دستگاه‌ها در واحد تولیدی مهد خودرو فشارکی در نظر گرفته شده که از بین خراب‌ترین و بحرانی‌ترین دستگاه‌ها و ماشین‌آلات این واحد تولیدی انتخاب شده است.

برای این دستگاه‌ها شاخص‌هایی از قبیل «میانگین مدت زمان بین دو خرابی»، «میانگین زمان تا تعمیر»، «قابلیت اطمینان»، «در دسترس‌پذیری بر حسب زمان»، «احتمال خرابی» و... محاسبه شده است.

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۲/۵/۲۷، اصلاحیه ۱۳۹۲/۱۱/۱، پذیرش ۱۳۹۳/۱/۳۰.

www.SID.ir

Archive of SID

۲. مرور ادبیات (پیشینه‌ی تحقیق)

از دیرباز بشر با به‌کارگیری ابزار تولید سعی داشته میزان بهره‌گیری خود از منابع موجود را تا حد ممکن افزایش داده، و به آسان‌ترین نحو از ابزار تولید بهره بگیرد. به‌همین دلیل از مدت زمانی پیش اهمیت نگه‌داری و تعمیر صحیح ابزار تولید برای بشر مطرح بوده، به‌طوری که در فرهنگ رشدیافته‌ی صنعتی، موضوع نگه‌داری و تعمیر از مقوله‌ی به‌کارگیری ابزار تولید فراتر رفته و مواردی چون طراحی ماشین‌های تولیدی، تکنولوژی تولید، سهولت انجام نگه‌داری و تعمیر، کاهش هزینه‌ها، افزایش قابلیت اطمینان، تروتکنولوژی و... را در برگرفته است.[۱]

در سال‌های اخیر روند شتابنده‌ی توسعه‌ی دانش و فنّاوری‌های در دست بشر از یک سو و از سوی دیگر دست‌یابی به زمینه‌های نوین علوم و تکنولوژی، منجر به طراحی، ساخت و تولید سیستم‌ها و تجهیزات پیچیده و حساس مهندسی شده است. این سامانه‌های پیشرفته عموماً در صنایع بسیار حساسی نظیر صنایع وابسته به خودرو، صنایع هوایی، دفاعی و نظیر آن‌ها کاربرد دارد. از آنجا که نقص در عملکرد چنین سیستم‌هایی ممکن است منجر به بروز خسارات شدید و جبران‌ناپذیر جانی و مالی شود، حصول اطمینان از عملکرد درست آن‌ها در بازه‌های زمانی مورد نظر، از ملزومات اصلی در طراحی و ساخت آن‌هاست. نظر به اهمیت موضوع یاد شده، در سالیان اخیر طراحان پارامترهای طراحی جدیدی را تدوین و در محصولات خود لحاظ کرده‌اند، که یکی از مهم‌ترین آن‌ها قابلیت اطمینان (پایایی) است.[۲]

همان‌طورکه می‌دانید قابلیت اطمینان عبارت است از احتمال عملکرد صحیح یک سیستم تا زمانی مشخص و تحت شرایط کاری معین. با توجه به این تعریف باید زمان و شرایط کاری مشخص و تعریف شده باشد. نخستین بار در صنایع هواپیمایی آمریکا در سال ۱۹۶۰، هزینه‌های سرسام‌آور دستورالعمل‌های سخت‌گیرانه‌ی ابلاغی شرکت هواپیمایی بوئینگ برای انجام تعمیرات پیشگیرانه، متخصصین این شرکت را مجبور به چاره‌اندیشی برای کاهش هزینه‌های تعمیرات با حفظ قابلیت اطمینان بالای تجهیزات در حین کار و در شرایط کاری عملیاتی کرد.[۳] در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در زمینه‌ی نگه‌داری و تعمیرات صورت گرفته است. برخی از محققین از شبیه‌سازی به‌منظور ارزیابی راهکارهای تعویض در تأسیسات همسان استفاده کرده‌اند.[۴] برخی از شبیه‌سازی برای پیش‌بینی زمان خرابی تجهیزات برمبنای تخمین رشد ترک‌های قطعات در نگه‌داری و تعمیرات مبتنی بر شرایط بهره گرفتند.[۵] عده‌یی دیگر از محققین در زمینه‌ی بهینه‌سازی و بهبود آن، مدل‌ها[۶-۹] و روش‌های حل متعددی ــ نظیر ضریب لاگرانژ،[۱۰] رویکردهای ابتکاری و فراابتکاری،[۱۱-۱۴] برنامه‌ریزی عدد صحیح،[۱۵و۱۶] الگوریتم‌های ژنتیک،[۱۷-۲۱] الگوریتم مورچگان،[۲۲-۲۴] الگوریتم زنبور عسل[۲۵] و شبکه‌های عصبی[۲۶و۲۷] ــ پیشنهاد کرده‌اند.

با وجود اهمیت نت مبتنی بر قابلیت اطمینان و لزوم استفاده از این مقوله در صنعت و کارخانجات، تاکنون در ایران و در بخش صنعت، تحقیقات گسترده‌یی در این زمینه صورت نگرفته و تنها تحقیقاتی معدود در زمینه‌ی بهره‌گیری از این رویکرد در شرکت بهره‌برداری نفت و گاز زاگرس جنوبی انجام شده است که طی آن، با استفاده از تکنیک‌های FMEA و نمودار علت و معلولی و شبیه‌سازی رایانه‌یی، مدلی برای صنایع مختلف کشور ارائه شده است.[۲۸] در این مطالعه‌ی موردی، کاربردهای عملی مباحث قابلیت اطمینان و نت مبتنی بر قابلیت اطمینان برای اولین بار در ایران بررسی شده، و نتایج پیاده‌سازی RCM در چهار ماه اول سال ۸۹ با ۸ ماه ابتدای سال ۸۸ مقایسه شده است.

۱.۲. معرفی واحد صنعتی مورد بحث

واحد صنعتی مورد بحث «گروه تولیدی مهد خودرو فشارکی» است. این واحد دو سایت تولیدی به نام‌های «مبین خودرو توس» و «پارس خودرو توس» دارد که در فاز ۱ شهرک صنعتی توس واقع شده‌اند. این واحد دارای بیش از ۳۰۰ نفر نیروی صف و ستاد است و در زمینه‌ی تولید قطعات خودرو فعال است. ازجمله محصولاتی که انحصاراً در این واحد تولید می‌شود می‌توان به «ضربه‌گیرهای درب پراید»، «لولای درب سمند»، «مجموعه‌ی کلاچ و ترمز ریو»، «مجموعه‌ی کلاچ و ترمز نیسان»، «محافظ باک CNG» (فریم وانت)، «لولای اتوبوس»، «لولای کامیون»، «لولای وانت» و نظایر آن، که جمعاً به بیش از ۱۳۰ مجموعه می‌رسد، اشاره کرد.

واحد نگه‌داری و تعمیرات به‌صورت نیمه‌متمرکز با ۱۲ پرسنل صف و یک پرسنل ستاد در این واحد تولیدی فعالیت می‌کند. شیوه‌ی توزیع افراد واحد نت به این گونه است که ۶ پرسنل مستقر در مبین خودرو و ۶ پرسنل صفی دیگر در پارس خودرو مستقرند که به‌صورت شیفتی در هر شیفت سه نفر در سایت تولیدی مربوط به خود حضور دارند.

واحد نت در چارت سازمانی این واحد صنعتی از جایگاهی مناسب برخوردار نیست که این خود یکی از مباحث ویژه‌ی این پروژه است. این واحد تولیدی دارای معاونت‌هایی از قبیل «تولید»، «مهندسی»، «مالی»، «بازرگانی» و «سیستم‌ها و روش‌ها» است. واحد نت این کارخانه مستقیماً زیر نظر «معاونت واحد مهندسی» فعالیت می‌کند، اگرچه با توجه به انبوه فعالیت‌های واحد نت یکی از شروط اساسی برای بهبود، جایگزینی این واحد به‌عنوان یکی از معاونت‌هاست که مستقیماً زیر نظر مدیرعامل فعالیت کند تا با کسب استقلال در سطح سازمانی، تأثیر خود را در بهبود نمایان می‌سازد.

۲.۲. محاسبه‌ی شاخص‌ها

۱.۲.۲. محاسبه‌ی شاخص‌های MTBF و MTTR و MTTF

واحد تولیدی مهد خودرو نزدیک به ۱۲۶ دستگاه مشغول به کار دارد که تاکنون هیچ‌گونه اقدامی در راستای برآورد شاخص‌های عملکرد دستگاه‌ها از طرف واحد نت انجام نشده است. اطلاعات و داده‌های آماری مدون و قابل استفاده به‌صورت رایانه‌یی نیز صرفاً برای هشت ماه اول سال ۱۳۸۸ موجود بود. اگرچه داده‌های آماری مربوط به چند سال اخیر هم موجود بود، با توجه به مشورت انجام شده با واحد نت کارخانه، داده‌های سال ۸۸ محکم‌تر و قابل اعتمادتر معرفی شد و بنابراین موضوع شاخص‌های مذکور با توجه به فرمول پیشنهادی واحد نت و گروه انجام‌دهنده‌ی پروژه (روابط ۱ تا ۳) استفاده شد.

$$\mathrm{MTTR} = \frac{\sum_{i=1}^{\text{تعداد تعمیرات}} \text{مدت زمان تعمیر}}{\text{تعداد تعمیرات}} \qquad i = \text{مرتبه‌ی تعمیر} \qquad (۱)$$

$$\mathrm{MTTF} = \frac{\text{زمان در دسترس دستگاه}}{\text{تعداد تعمیرات}} \qquad (۲)$$

$$\mathrm{MTBF} = \mathrm{MTTR} + \mathrm{MTTF} \qquad (۳)$$

علاوه بر محاسبه‌ی شاخص‌های مذکور، با توجه به خرابی‌های دستگاه‌ها طی هشت ماه اول سال ۸۸ تعداد خرابی احتمالی در چهار ماه دیگر به‌صورتی کاملاً تقریبی برآورد و پیش‌بینی شد. دلیل اصلی این کار را می‌توان کمک به رده‌گذاری دستگاه‌ها

www.SID.ir

Archive of SID

وکلاس‌بندی آن‌ها به‌طور ویژه، و نیز زنگ خطری برای دستگاه‌های کلاس‌های پایین به‌طور عام، دانست. این شاخص‌ها به دو صورت محاسبه شده است:

- طریقه‌ی ابتدایی (برحسب ساعت اعلام)؛
- طریقه‌ی ثانویه (برحسب ساعت تعمیر).

الف) طریقه‌ی ابتدایی محاسبه

در این روش تاریخ و زمان اعلام خرابی، مبدأ تعمیر در نظرگرفته شده است. بدین مفهوم که فرض می‌شود دستگاه از لحظه‌ی اعلام خرابی در حال تعمیر است و تمام زمان توقف دستگاه مربوط به تعمیر بی‌وقفه‌ی آن می‌شود. در این صورت MTTR محاسبه شده مربوط به کل توقف دستگاه است.

ب) طریقه‌ی ثانویه‌ی محاسبه

در این روش تاریخ و زمان شروع تعمیر، مبدأ تعمیر در نظرگرفته شده است. بدین مفهوم که زمان توقف دستگاه منحصراً منوط به تعمیر آن می‌شود و در حالت خرابی زمان توقفی وجود ندارد که در آن تعمیر صورت نگیرد. در این صورت تمامی زمان‌هایی که دستگاه متوقف است و روی آن تعمیری انجام نمی‌شود، جزء زمان‌های در دسترس محسوب می‌شود، یعنی با این که دستگاه متوقف است اما آن زمان‌ها به MTTF نسبت داده می‌شوند. در هر دو حالت بالا MTBFهای برابر به دست می‌آید. علت این کار بررسی و تحلیل علل توقف بی‌مورد دستگاه‌هاست که در ادامه به تفصیل به آن خواهیم پرداخت.

۳.۲. محاسبه قابلیت اطمینان و در دسترس‌پذیری

چنان که می‌دانید قابلیت اطمینان، احتمال عملکرد صحیح یک سیستم تا زمان مشخص و تحت شرایط کاری معین است. با توجه به تعریف باید زمان و شرایط کاری مشخص و تعریف شده باشد. برای مثال اگر در مدت زمانی دستگاه بی‌وقفه در حال کار است و روی آن فشار وارد می‌شود نباید در محاسبات قابلیت اطمینان قرار گیرد مگر آن که فقط به قابلیت اطمینان دوره‌های پرکار نیاز داشته باشیم. بر این اساس نباید محاسبات زمان‌های پرکار و کم‌کار دستگاه با یکدیگر ترکیب شوند.

تعریف بعدی، نرخ خرابی یا همان تعداد خرابی در واحد زمان است؛ این پارامتر در محاسبه‌ی تابع قابلیت اطمینان و تابع خرابی بسیار مهم است و به نوعی پیش‌نیاز هرگونه محاسبات آماری است. این پارامتر غالباً با واحدهای مختلف ذکر می‌شود، مثلاً خرابی بر روز، خرابی بر ساعت و خرابی بر دقیقه. احتمال خرابی دستگاه همان توزیع تجمعی خرابی است که متمم قابلیت اطمینان به حساب می‌آید و از تفریق عدد ۱ از قابلیت اطمینان به دست می‌آید.

آخرین تعریف مربوط به تابع دسترس‌پذیری است. تابع دسترس‌پذیری تابعی است با پارامتر زمان، و اعداد به دست آمده از آن به‌معنای این است که دستگاه تا زمان مشخص شده با چه احتمالی آماده به کار است. برای محاسبه‌ی این شاخص نیاز به پارامتر تعمیرپذیری است که در ادامه به تفصیل در رابطه با محاسبات آن توضیح داده خواهد شد.

۳. تعریف مسئله

در این بخش قصد داریم تا تمامی شاخص‌های عملکردی فوق به‌صورت عددی و ملموس برای سه دستگاه «پرس هیدرولیک ۲۵۰ تن»، «پرس ضربه‌یی ۶۵ تن» و «فرز هکرت» محاسبه، و تابع قابلیت اطمینان و دسترس‌پذیری ارائه شود. شایان ذکر است برای این سه دستگاه اطلاعات مربوط به سال‌های ۸۵، ۸۶، ۸۷ و ۸۸ محاسبه شده است؛ البته با مقدار زیادی کسری، که به‌دلیل استفاده از تابع نمایی به‌عنوان تابع توزیع اصلی، و با توجه به خاصیت بی‌حافظگی از آن به راحتی گذشتیم.

۴. نتایج محاسبات

۱.۴. محاسبه‌ی متوسط نرخ خرابی

برای محاسبه‌ی میانگین نرخ خرابی، درجه‌بندی واحد زمان بسیار ضروری بود. به‌همین منظور واحد زمان را روز در نظرگرفته و مبدأ اول سال ۸۵ محسوب شده است. این بدان معناست که روز ۱ همان روز اول سال ۸۵ است و روز ۳۶۶ روز اول سال ۸۶ و به‌همین ترتیب روزهای مورد بررسی عددگذاری شده‌اند. روزهای هر خرابی در جدولی همچون جدول ۱ ثبت شده، که هر روز و هر خانه‌ی جدول مربوط به یک خرابی است. در ردیف دوم جدول دو بار عدد ۴۰۰ را ملاحظه می‌کنید، این بدان معناست که دستگاه در روز ۴۰۰ دو بار خراب شده است، پس فاصله‌ی زمانی بین دو خرابی برابر صفر روز است. برای محاسبه‌ی متوسط نرخ خرابی، تعداد خرابی‌ها (یعنی عدد ۴۴) را بر بازه وقوع این تعداد خرابی (یعنی ۱۳۱۴ روز) تقسیم می‌کنیم؛ عدد به‌دست آمده را نرخ میانگین خرابی می‌نامند.

$$\lambda = (\text{تعداد خرابی})/(\text{بازه زمانی در نظرگرفته‌شده}) = ۴۴/۱۳۱۴ = ۰/۰۳۳۵ \quad (۴)$$

با توجه به متوسط نرخ خرابی به دست آمده، مرحله‌ی بعد یعنی محاسبه‌ی قابلیت اطمینان مطرح می‌شود.

۲.۴. محاسبه‌ی تابع قابلیت اطمینان

برای به دست آوردن تابع قابلیت اطمینان ابتدا باید فاصله‌ی بین خرابی‌ها را به دست آورد و سپس توزیع نزدیک به آن‌ها را برازش کرد. داده‌های جدول ۲ نمایانگر فاصله‌ی زمانی بین خرابی‌هاست. توابع توزیعی که در اغلب موارد فاصله‌ی بین خرابی‌ها از آن‌ها تبعیت می‌کنند، چگالی توزیع‌های «نمایی»، «وایبال» و «نرمال» هستند. البته توزیع‌های دیگری هم می‌تواند وجود داشته باشد، اما با توجه به تجربه‌ی علم آمار در شاخه‌ی نگه‌داری و تعمیرات به فرض همین سه توزیع بسنده می‌شود. فرض صفر توزیع نمایی با پارامتر ۰/۰۳۳۵ در نظر گرفته می‌شود، بنابراین تابع توزیع تجمعی زمان خرابی‌ها عبارت است از:

$$F(t) = \int_{۰}^{t} \lambda e^{-\lambda t} = \int_{۰}^{t} ۰/۰۳۳۵ e^{-۰/۰۳۳۵t} = ۱ - e^{-۰/۰۳۳۵t} \quad (۵)$$

جدول ۱. روزهای خرابی پرس ۲۵۰ تن (در ۴ سال).

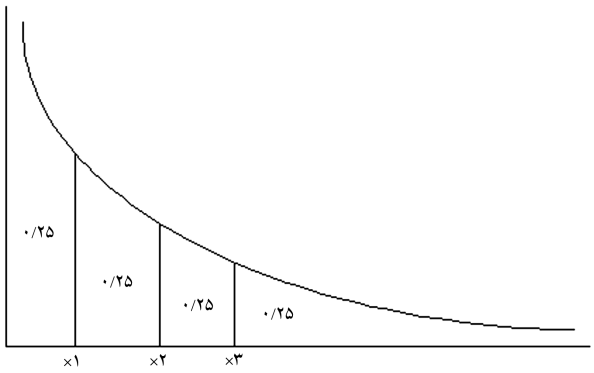
روز	۶۳	۶۷	۸۸	۱۶۴	۱۷۵	۲۱۶	۲۸۹	۳۱۲
روز	۴۰۰	۴۰۰	۴۱۵	۴۳۳	۴۵۷	۷۴۷	۷۴۹	۷۶۱
روز	۷۶۱	۷۹۱	۷۹۱	۷۹۲	۸۲۱	۸۳۹	۸۴۷	۸۵۲
روز	۹۳۸	۹۴۱	۹۵۵	۱۰۲۹	۱۰۴۰	۱۱۱۹	۱۱۲۶	۱۱۴۴
روز	۱۱۶۷	۱۱۸۰	۱۱۸۸	۱۱۹۴	۱۲۲۲	۱۲۸۰	۱۲۸۲	۱۲۸۷
روز	۱۲۹۴	۱۳۰۷	۱۳۰۸	۱۳۱۴	اعداد مبین روزهای خرابی دستگاه است			

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. فاصله‌ی زمانی بین دو خرابی برای پرس ۲۵۰ تن بر حسب روز (در ۴ سال).

روز	۶۳	۴	۲۱	۷۶	۱۱	۴۱	۷۳	۲۳
روز	۸۸	۰	۱۵	۱۸	۲۴	۲۹۰	۲	۱۲
روز	۰	۳۰	۰	۱	۲۹	۱۸	۸	۵
روز	۸۶	۳	۱۴	۷۴	۱۱	۷۹	۷	۱۸
روز	۲۳	۱۳	۸	۶	۲۸	۵۸	۲	۵
روز	۷	۱۳	۱	۶	اعداد مبین روزهای خرابی دستگاه است			



شکل ۱. نمودار احتمال خرابی (توزیع نمایی).

جدول ۳. مشاهدات، برآورد و مربع خطای برآورد شده.

O_j	E_j	$(E_j - O_j)^2/E_j$
۱۷	۱۱	۳/۲۷۲۷
۱۰	۱۱	۰/۰۹۰۹
۸	۱۱	۰/۸۱۸۲
۹	۱۱	۰/۳۶۳۶

تابع احتمال خرابی به‌صورت شکل ۱ است که به چهار بخش با احتمال‌های مساوی ۲۵٪ تقسیم می‌شود.

مقادیر x_1، x_2 و x_3 را به دست می‌آوریم. مقادیر به دست آمده بدین معناست که برای مثال ۲۵٪ از داده‌ها باید در بین بازه (۸ و ۰) باشند. از طرفی اگر تعداد خرابی‌ها ۴۴تاست باید در هر بازه ۲۵ درصدی ۱۱ خرابی وجود داشته باشد. تعداد خرابی که انتظار می‌رود با توجه به توزیع در هر بازه وجود داشته باشد با E_j نشان داده می‌شود و تعداد داده‌ی مشاهده شده در واقعیت در هر بازه O_j نامیده شده است. مقدار مربع خطا با توجه به رابطه‌ی $\frac{(E_j-O_j)^2}{E_j}$ برای هر دسته محاسبه می‌شود. سپس تمامی مقادیر با هم جمع شده و با توجه به روابط «آزمون k^2» با مقدار عددی $\chi^2_{(k-m-1),\alpha}$ (k تعداد دسته‌ها؛ m تعداد پارامترهای برآورد شده؛ α سطح معنی‌داری) مقایسه می‌شود. چنانچه مربعات خطا کم‌تر از مقدار ذکر شده باشد فرض ما درست و تابع توزیع خرابی یک تابع نمایی است (جدول ۳).

$$۰/۲۵ = \int_{۰}^{x_1} ۰/۰۳۳۵e^{-۰/۰۳۳۵t} = ۱ - e^{۰/۰۳۳۵x_1} \rightarrow X_1 = ۸/۵۹ \quad (۶)$$

$$۰/۵ = \int_{۰}^{x_2} ۰/۰۳۳۵e^{-۰/۰۳۳۵t} = ۱ - e^{۰/۰۳۳۵x_2} \rightarrow X_2 = ۲۰/۷۴ \quad (۷)$$

$$۰/۷۵ = \int_{۰}^{x_3} ۰/۰۳۳۵e^{-۰/۰۳۳۵t} = ۱ - e^{۰/۰۳۳۵x_3} \rightarrow X_3 = ۴۱/۴۰ \quad (۸)$$

مجموع مربعات خطا عبارت است از:

$$\sum_{j=1}^{۴} \frac{(E_j - O_j)^2}{E_j} = ۳/۲۷ + ۰/۰۹۱ + ۰/۸۲ + ۰/۳۶ = ۴/۵۵ \quad (۹)$$

از طرفی با مراجعه به جدول توزیع k^2 داریم:

$$\chi^2_{(۴-۱-۱),۰/۰۵} = ۱۰/۶ \quad (۱۰)$$

از مقایسه‌ی این دو عدد نتیجه می‌گیریم که فرض ما درست بوده و زمان خرابی‌ها دارای توزیع نمایی با پارامتر $\lambda = ۰/۰۳۳۵$ است.

$$\sum_{j=1}^{۴} \frac{(E_j - O_j)^2}{E_j} = ۴/۵۵ \prec ۱۰/۶ = \chi^2_{۴,۰/۰۵} \quad (۱۱)$$

بنابراین می‌توان قابلیت اطمینان را از رابطه‌ی ۱۲ محاسبه کرد که در آن λ میانگین نرخ خرابی در واحد روز و t زمان خرابی دستگاه در واحد روز است.

$$R(t) = \mathrm{Exp}(-\lambda t) = \mathrm{Exp}(-۰/۰۳۳۵t) \quad (۱۲)$$

جدول ۴ قابلیت اطمینان دستگاه «پرس ۲۵۰ تن هیدرولیک» را در بازه ۱۰۰ روزه با توجه به روزهای مختلف نشان می‌دهد.

و نهایتاً، هنگامی که زمان‌های خرابی از توزیع نمایی پیروی کنند، شاخص «میانگین زمان بین هر خرابی» با معکوس پارامتر «میانگین نرخ خرابی» نسبت مستقیم دارد و چنین به دست می‌آید:

$$\mathrm{MTBF} = \frac{۱}{\lambda} = ۲۹/۸۶ = ۳۰ \quad (۱۳)$$

عدد به دست آمده به این مفهوم است که دستگاه به‌طور میانگین هر ۳۰ روز یک بار خراب می‌شود و با توجه به قابلیت اطمینان به دست آمده برای ۳۰ روز به این نتیجه می‌رسیم که این دستگاه دارای احتمال کارکرد ۳۷٪ تا روز میانگین خرابی خود است.

۳.۴. محاسبه‌ی تابع احتمال خرابی

تابع احتمال خرابی همان احتمال کارنکردن دستگاه است و احتمال خراب شدن در هر بازه زمانی را نشان می‌دهد که می‌توان این تابع را با توجه به تابع قابلیت اطمینان به دست آورد. رابطه‌ی ۱۴ بیان‌گر تابع توزیع تجمعی خرابی دستگاه «پرس ۲۵۰ تن هیدرولیک» است:

$$F(t) = ۱ - R(t) = ۱ - \mathrm{Exp}(-\lambda t) = ۱ - \mathrm{Exp}(-۰/۰۳۳۵t) \quad (۱۴)$$

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. قابلیت اطمینان برحسب روز.

زمان t (روز)	۲	۴	۶	۸	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۱۰۰
قابلیت اطمینان $R(t) = \mathrm{Exp}(-\lambda t)$	۰٫۹۳۵۲	۰٫۸۷۴۶	۰٫۸۱۸	۰٫۷۶۵	۰٫۷۱۵۴	۰٫۶۰۵۱	۰٫۵۱۱۹	۰٫۴۳۲۹	۰٫۳۶۶۲	۰٫۳۰۹۷	۰٫۲۶۲	۰٫۲۲۱۶	۰٫۱۸۷۴	۰٫۰۳۵۱

جدول ۵. احتمال خرابی برحسب روز.

زمان t (روز)	۲	۴	۶	۸	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۱۰۰
احتمال خرابی $F(t) = ۱ - R(t)$	۰٫۰۶۴۸	۰٫۱۲۵۴	۰٫۱۸۲	۰٫۲۳۵	۰٫۲۸۴۶	۰٫۳۹۴۹	۰٫۴۸۸۱	۰٫۵۶۷۱	۰٫۶۳۳۸	۰٫۶۹۰۳	۰٫۷۳۸	۰٫۷۷۸۴	۰٫۸۱۲۶	۰٫۹۶۴۹

جدول ۵ نشان‌دهنده‌ی احتمال خرابی دستگاه «پرس ۲۵۰ تن هیدرولیک» با توجه به زمان‌های تعیین شده در بازه صفر تا ۱۰۰ روز است.

گفتنی است با توجه به «میانگین زمان بین هر خرابی» در بخش قبل، و نمایش احتمال خرابی این نتیجه به دست می‌آید که این دستگاه در زمان میانگین خرابی خود ۶۳٪ احتمال خرابی دارد.

۴.۴. محاسبه‌ی تابع دسترس‌پذیری

تابع «دسترس‌پذیری» تابعی است با پارامتر زمان و اعداد به دست آمده از آن، بدین معنا که دستگاه تا زمان مشخص شده با چه احتمالی آماده به کار است. برای محاسبه‌ی این شاخص نیاز به پارامتر «تعمیرپذیری» داریم.

برای محاسبه‌ی پارامتر «تعمیرپذیری» نیز، به مدت زمان تعمیر در هر مرحله از خرابی نیازمندیم. با توجه به توزیع به دست آمده پارامتر «تعمیرپذیری» با معکوس شاخص «متوسط زمان تعمیر» رابطه‌ی مستقیم دارد و از رابطه ۱۵ به دست می‌آید:

$$\mu = \frac{۱}{\mathrm{MTTR}} \qquad (۱۵)$$

با توجه به اطلاعات موجود، با محاسبه‌ی «متوسط زمان تعمیر» برای دستگاه «پرس ۲۵۰ تن»، پارامتر «تعمیرپذیری» چنین به دست می‌آید:

$$\mathrm{MTTR} = ۰٫۰۸ \text{ (روز)} \;\rightarrow \mu = \frac{۱}{\mathrm{MTTR}} = ۱۲٫۴۴ \qquad (۱۶)$$

بنابراین تابع دسترس‌پذیری یا همان $A(t)$ مطابق رابطه‌ی ۱۷ محاسبه می‌شود:

$$A(t) = \frac{\mu}{\mu+\lambda} + \frac{\lambda}{\lambda+\mu}\mathrm{Exp}[-(\mu+\lambda)t] \qquad (۱۷)$$

برای محاسبه‌ی دسترس‌پذیری پایدار زمان طولانی در نظر گرفته شده و قسمت تابع Exp برابر صفر می‌شود. در این صورت خواهیم داشت:

$$A = \frac{\mathrm{MTBF}}{\mathrm{MTBF}+\mathrm{MTTR}} = \frac{\mu}{\mu+\lambda} = ۰٫۹۹۷۲ \qquad (۱۸)$$

شاخص MTTR محاسبه شده را نمی‌توان در دسترس‌پذیری کاملاً کارا در نظر گرفت، چرا که اطلاعاتی همچون زمان‌های خواب دستگاه به‌صورت کامل موجود نبوده و مدت زمان توقف همان مدت زمان تعمیر به حساب آورده شده است. محاسبات مربوط به دو دستگاه دیگر (پرس ۶۵ تن و دستگاه هیکریت) به‌دلیل حجم بالا در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶. شاخص‌های دیگر ماشین‌آلات.

نام شاخص	پرس ۶۵ تن	هکرت	۲۵۰ تن
MTTF	۶۰۰	۷۹۹	۶۵۰
MTTR	۰٫۳۵	۰٫۲۶	۰٫۰۸
MTBF	۳۵	۴۲	۳۰
Availability	۹۶٫۲۴	۹۸٫۲۵	۹۹٫۷۲

۵. بررسی علل تأخیرانداز در تعمیرات دستگاه‌ها

۱.۵. روش کار

داده‌های مربوط به اول سال ۸۸ تا آبان همان سال به‌طور نیمه مدون ثبت شده و در کارخانه موجود است. برخی از آن‌ها ثبت رایانه‌یی شده‌اند و برخی دیگر به‌صورت دستی و داخل پوشه‌هایی از اوراقِ ثبت شده ذخیره شده‌اند. داده‌هایی که در رایانه ثبت شده‌اند مربوط به تعداد خرابی‌ها، علل خرابی، مدت زمان تعمیر و مدت زمان خواب دستگاه‌هاست و داده‌هایی که دستی ثبت و ضبط شده‌اند مربوط به علل توقف دستگاه‌هاست که در قالب فرم‌هایی محتوی علت خرابی، تاریخ اعلام، وسایل مورد نیاز، نام تعمیرکار، مدت تعمیر و مدت تأخیر در تعمیر دستگاه ذخیره شده‌اند.

روش کار این‌گونه است که با توجه به شاخص‌های به دست آمده و با به دست آوردن اختلاف میانگین زمان تعمیرهای مربوط به ساعت اعلام و ساعت تعمیر، بحرانی‌ترین اختلاف‌ها انتخاب، و مثلاً برای چند دستگاه الگوریتمی مطابق شکل ۲ اجرا می‌شود.

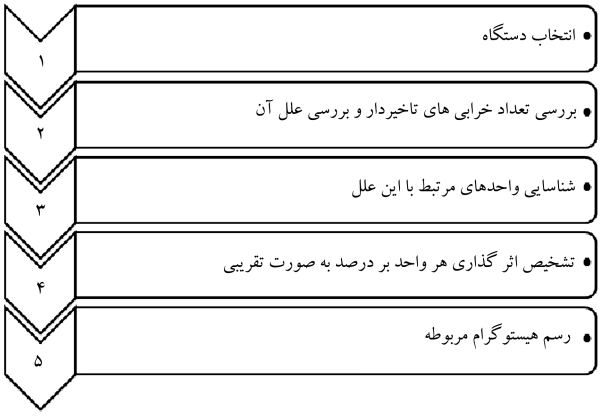
دستگاه‌ها با توجه به در نظرگرفتن بزرگی عدد اختلاف MTTRها اولویت‌بندی می‌شوند و از بین آن‌ها چهار دستگاهی که دارای بیشترین خرابی و بیشترین تعداد توقفات و تأخیر بیش از حد برای خط تولید بوده‌اند به‌عنوان بحرانی‌ترین دستگاه‌ها انتخاب و برای مطالعه در نظر گرفته شده‌اند. این دستگاه‌ها عبارت‌اند از:

- فرز عمودی روس (۳۰۴۱۵۱۱)
- جوش CO_2 (۳۰۴۱۸۰۷)
- پرس ضربه‌یی ۱۰۰ تنی (۳۰۴۰۶۰۱)
- نقطه‌جوش ۱۲۷ KV (۳۰۴۱۶۰۳)

سپس این ۴ دستگاه را به‌عنوان نمونه‌های برآورنده‌ی کل جامعه در نظر می‌گیرند. این دلایل برای اجرای روند جدید نگه‌داری و تعمیرات تعمیم داده خواهد شد، و در آخر راه‌کارهای پرهیز از این دلایل مخرب ارائه می‌شود.

www.SID.ir

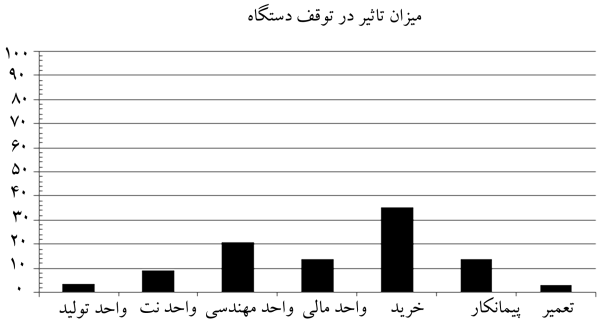
Archive of SID



شکل ۲. الگوریتم شناسایی عوامل مؤثر در توقف دستگاه‌های مورد بررسی.

جدول ۷. میزان تأثیر عوامل در توقف فرز عمودی روس.

عامل	زمان تأخیر	میزان تأثیر (درصد)
واحد تولید	۱۲	۳/۵۱
واحد نت	۳۲	۹/۳۶
واحد مهندسی	۷۲	۲۱/۰۵
واحد مالی	۴۸	۱۴/۰۴
خرید	۱۲۰	۳۵/۰۹
پیمانکار	۴۸	۱۴/۰۴
نصب و تعمیر	۱۰	۲/۹۲



نمودار ۱. میزان تأثیر درصدی عوامل در توقف فرز عمودی روس.

الف) فرز عمودی روس

- تعداد خرابی: ۱ مرتبه
- مدت زمان تعمیر: ۱۰ ساعت
- مدت زمان توقف: ۳۴۲ ساعت
- علت خرابی: عدم حرکت میز
- محل استقرار: قالب‌سازی مهد خودرو

محاسبات انجام شده برای دست‌یابی به میزان تأثیر هرکدام از عوامل در جدول ۷ آمده است.

هیستوگرام درصدبندی شده‌ی میزان تأثیر عوامل در توقف فرز عمودی روس در قالب نمودار ۱ رسم شده است.

ب) جوش CO_2

- تعداد خرابی: ۷ مرتبه (۱ خرابی تأخیردار)
- مدت زمان تعمیر: ۱ ساعت
- مدت زمان توقف: ۲۶۴۵ ساعت
- علت خرابی: جوش ندادن دستگاه
- محل استقرار: مبین خودرو

محاسبات انجام شده برای دست‌یابی به میزان تأثیر هرکدام از عوامل در جدول ۸، و نمودار میزان تأثیر عوامل در توقفات نیز در نمودار ۲ آمده است.

گفتنی است علت درصد بسیار بالای تأثیر پیمانکار در توقف دستگاه (۱۰۵ روز) عدم پرداخت مطالبات پیشین پیمانکار بوده که بر این اساس شرکت «گام‌الکتریک» (پیمانکار) دستگاه را مدت ۱۰۵ روز توقیف کرده است.

ج) پرس ضربه‌یی ۱۰۰ تنی

- تعداد خرابی: ۶ مرتبه (۱ خرابی تأخیردار)
- مدت زمان تعمیر: ۸ ساعت
- مدت زمان توقف: ۵۸۴ ساعت
- علت خرابی: صدای غیرطبیعی دستگاه
- محل استقرار: مبین خودرو

محاسبات انجام شده برای دست‌یابی به میزان تأثیر هرکدام از عوامل پرس ضربه‌یی ۱۰۰ تنی در جدول ۹، و نمودار میزان تأثیر عوامل در توقفات نیز در نمودار ۳ آمده است.

این دستگاه برای تعمیر نیاز به قطعاتی به‌نام‌های «بوبین ۲۴» و «شیر برقی ۳/۴» داشته که این خود می‌تواند دلیلی بر تأخیر بیش از حد واحد مالی و خرید باشد.

جدول ۸. میزان تأثیر عوامل در توقف جوش CO_2.

عامل	زمان تأخیر	میزان تأثیر (درصد)
واحد تولید	۵	۰/۱۹
واحد نت	۲۴	۰/۹۱
واحد مهندسی	۲۴	۰/۹۱
واحد مالی	۴۸	۱/۸۱
خرید	—	—
پیمانکار	۲۵۲۰	۹۵/۲۷
نصب و تعمیر	۲۴	۰/۹۱

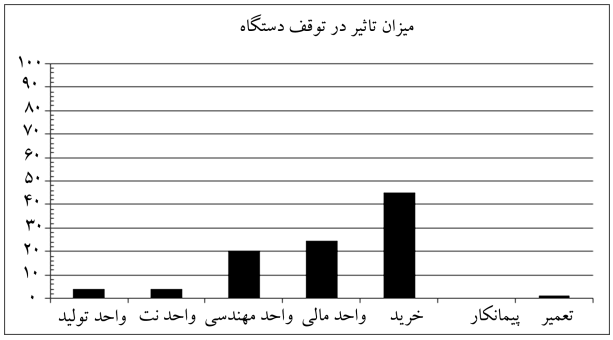
نمودار ۲. میزان تأثیر درصدی عوامل در توقف جوش CO_2.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۹. میزان تأثیر عوامل در توقف نقطه پرس ضربه‌یی ۱۰۰ تن.

عامل	زمان تأخیر	میزان تأثیر (درصد)
واحد تولید	۲۴	۴٫۱۱
واحد نت	۲۴	۴٫۱۱
واحد مهندسی	۱۲۰	۲۰٫۵۵
واحد مالی	۱۴۴	۲۴٫۶۶
خرید	۲۶۴	۴۵٫۲۱
پیمانکار	—	—
نصب و تعمیر	۸	۱٫۳۷



نمودار ۳. میزان تأثیر درصدی عوامل در توقف پرس ضربه‌یی ۱۰۰ تنی.

جدول ۱۰. میزان تأثیر عوامل در توقف نقطه جوش ۱۲۷ KV.

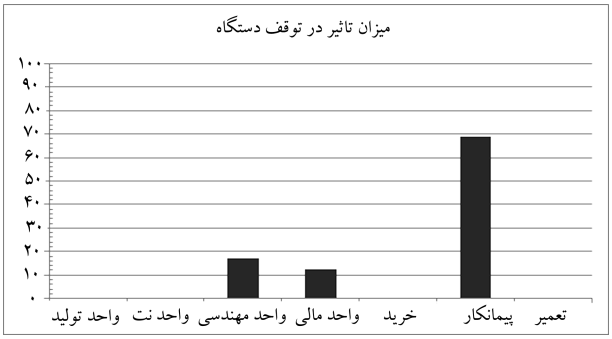
عامل	زمان تأخیر	میزان تأثیر (درصد)
واحد تولید	۵	۰٫۵۱
واحد نت	۴	۰٫۴۱
واحد مهندسی	۱۶۸	۱۷٫۲۵
واحد مالی	۱۲۰	۱۲٫۳۲
خرید	—	—
پیمانکار	۶۷۲	۶۸٫۹۹
نصب و تعمیر	۵	۰٫۵۱

د) نقطه‌جوش ۱۲۷ KV

- تعداد خرابی: ۴ مرتبه (۱ خرابی تأخیردار)
- مدت زمان تعمیر: ۱ ساعت
- مدت زمان توقف: ۹۷۴ ساعت
- علت خرابی: جوش ندادن دستگاه
- محل استقرار: مبین خودرو

محاسبات انجام شده برای دست‌یابی به میزان تأثیر هرکدام از عوامل نقطه‌جوش ۱۲۷ KV در جدول ۱۰، و نمودار میزان تأثیر عوامل در توقفات نیز در نمودار ۴ آمده است.

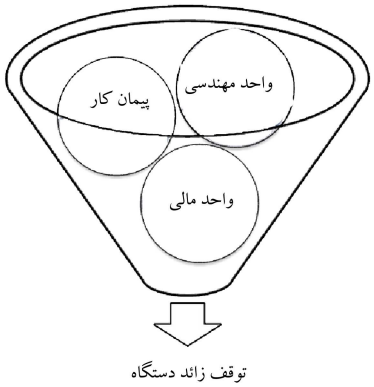
برای تعمیر این دستگاه واحد تولیدی، شرکت مهد خودرو به‌ناچار تابلوبرق دستگاه‌ها را به نمایندگی تهران «الکتروجوش» ارسال کرد. این رفت و آمد مدت ۲۸ روز طول کشید. تأیید واحد مهندسی برای جابه‌جایی بین شهری یکی از دستگاه‌ها و تأیید واحد مالی برای تقبل هزینه مدت زیادی به طول انجامید.



نمودار ۴. میزان تأثیر درصدی عوامل در توقف نقطه جوش ۱۲۷ KV.

جدول ۱۱. میانگین میزان تأثیر عوامل در توقف دستگاه‌ها مذکور.

عامل	زمان تأخیر	میزان تأثیر (درصد)
واحد تولید	۴۶	۱٫۰۱
واحد نت	۸۴	۱٫۸۵
واحد مهندسی	۳۸۴	۸٫۴۵
واحد مالی	۳۶۰	۸٫۴۵
خرید	۳۸۴	۷٫۹۲
پیمانکار	۳۲۴۰	۷۱٫۲۹
نصب و تعمیر	۴۷	۱٫۰۳



شکل ۳. مهم‌ترین عوامل مؤثر در توقف دستگاه‌های بررسی شده.

۲.۵. شناسایی عوامل تأثیرگذار و پیشنهادهایی برای رفع آن‌ها

در این بخش تأثیر عوامل انتخاب شده ــ به‌صورت مجموع زمانی و درصدبندی در توقفات این دستگاه‌ها که به‌عنوان نمونه‌یی از جامعه در نظرگرفته شده ــ سنجیده می‌شود. در جدول ۱۱ می‌توانید تمامی اطلاعات محاسبه‌شده را ملاحظه کنید.

با توجه به جدول ۱۱ می‌توان نتیجه گرفت که مهم‌ترین عوامل در تأخیر را می‌توان با حذف عوامل کم‌اثر، به سه دسته تقسیم کرد (شکل ۳).

۱.۲.۵. واحد مهندسی

در صورتی که واحد مهندسی یکی از عوامل تأثیرگذار نامیده شود، می‌توان برای نمونه به راهکار تعویض چارت سازمانی در این واحد تولیدی اشاره کرد و واحد نت را به‌عنوان یکی از معاونت‌ها به‌صورت جدی‌تر زیر نظر مدیر عامل در نظرگرفت.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۲. مقایسه‌ی میزان تأثیر عوامل در توقف دستگاه‌ها.

عامل	زمان تأخیر ۸ ماه اول	زمان تأخیر ۸ ماه بعدی	تفاوت زمان(کاهش ساعت) نت
واحد تولید	۴۶	۳۰	۱۶
واحد نت	۸۴	۴۹	۳۵
واحد مهندسی	۳۸۴	۲۵۲	۱۳۲
واحد مالی	۳۶۰	۳۴۰	۲۰
خرید	۳۸۴	۳۹۲	۸
پیمانکار	۳۲۴۰	۲۴۳۰	۸۱۰
نصب و تعمیر	۴۷	۴۵	۲

در این صورت، دیگر به‌علت مشغله‌های فراوان واحد مهندسی کارهای واحد نت چندان به تأخیر نمی‌افتد.

۲.۲.۵. واحد مالی

در صورت درنظر گرفتن تنخواهی برای واحد نت، واحد مالی دیگر به‌عنوان یک معضل اساسی در تأخیر مطرح نمی‌شود و این واحد دیگر ناچار نیست چند روز در انتظار دریافت مبلغی هرچند کم برای خرید یا تعمیر یک دستگاه باشد. در اقدامی دیگر می‌توان با برگزاری جلسه‌یی بین معاونت‌ها فوریت‌هایی برای واحد نت قائل شد مشروط بر آن که این واحد نیز فهرستی از اقلام مورد نیازش را به واحد مالی تحویل دهد تا بودجه‌یی تقریبی برای آن در نظر گرفته شود.

۳.۲.۵. پیمانکار

مشکلات ایجادشده در این حوزه از دو جنبه مورد بررسی قرار می‌گیرد: ۱. مشکل کاملاً از طرف پیمانکار است؛ ۲. احتمالاً مشکل داخلی است. برای مثال، چنانچه پیمانکار تمامی کارهای شرکت را دیر انجام و تحویل می‌دهد لازم است توجه و بررسی شود که آیا ما نیز تعهدات‌مان را نسبت به او کامل انجام داده‌ایم یا خیر؟ به‌علاوه راهکاری که در این زمینه به نظر مناسب می‌رسد استفاده از پیمانکاران دیگر و تغییر پیمانکار در راستای کاهش زمان نت و کاهش هزینه‌هاست.

۴.۲.۵. مقایسه‌ی نتایج

در این قسمت ضمن اجرای راهکارهای ارائه شده، نتایج حاصله را با وضعیت فعلی کارخانه مقایسه می‌کنند؛ این نتایج برای میزان توقفات دستگاه‌ها در ۴ ماهه‌ی آخر سال ۸۸ و ۴ ماهه‌ی اول سال ۸۹ در جدول ۱۲ ثبت و با ۸ ماهه‌ی اول سال ۸۸ مقایسه شده است.

چنان که مشاهده می‌شود با استفاده از برنامه‌ریزی نت مبتنی بر قابلیت اطمینان حدود ۱۰۰۰ ساعت از توقفات دستگاه‌ها در ۸ ماهه‌ی بعدی کاهش یافته است؛ البته بخش قابل توجهی از این کاهش زمان مربوط به تعویض پیمانکار بوده و پیمانکار جدید برای اثبات خود و از دست ندادن نت این کارخانه سعی بر بهبود زمان تا حد امکان داشته است. به‌علاوه فعالیت‌های صورت‌گرفته در این پژوهش باعث شده تا حدود ۱۳۰ ساعت از زمان توقف دستگاه‌ها در واحد مهندسی و براساس نت مبتنی بر قابلیت اطمینان کاهش یابد. همچنین در واحد تولیدی نیز نتایج این پژوهش چنین بود که حدود ۱۶ ساعت زمان توقف کاهش یافت و در خود واحد نت نیز ۳۵ ساعت از توقفات دستگاه‌ها کاسته شد و در مجموع از ۱۳۰۵ ساعت توقفات دستگاه‌ها که توسط واحدهای تولیدی و اداری ایجاد شده بود در این پروژه حدود ۲۰۰ ساعت کاهش یافت. پیش‌بینی می‌شود با ادامه‌ی روند ارائه‌شده در این پژوهش بتوان ۱۱۰۰ ساعت باقی‌مانده را نیز تدریجاً و با برنامه‌ریزی مدون به شدت کاهش داد.

۶. نتیجه‌گیری

در این نوشتار، هدف فازابتدایی انجام محاسبات آماری برای ملموس‌تر شدن استفاده‌ی کاربردی از این محاسبات در دنیایی واقعی بود، که این هدف در این پژوهش حاصل گشت.

پس از انجام محاسبات آماری و به دست آوردن تابعی که خرابی‌ها از آن پیروی می‌کنند (که مطابق تابع نمایی بود)، شاخص‌های «میانگین مدت زمان بین دو خرابی»، «میانگین زمان تا تعمیر»، «قابلیت اطمینان»، «دسترس‌پذیری برحسب زمان» و «احتمال خرابی» در واحد صنعتی مهد خودرو نیز محاسبه شد تا علاوه بر بررسی و تحلیل این شاخص‌ها، به علل توقفات دستگاه‌هایی که تأکید اصلی‌شان بر توقفات ناشی از تعمیر نیست و بیشتر دلایلی چون ضعف مدیریتی واحد نت، عدم تعهد پیمانکاران، امور مالی و... دارند نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی‌ها در بخش ۵ نوشتار حاضر ارائه شده است. لازم به ذکر است، با شناسایی عوامل ضعف و وقفه‌انداز در تولید راه‌کارهایی برای جلوگیری و رفع این عوامل ارائه شده است.

در پایان شایان ذکر است که هدف کلی از انجام این پروژه ارائه‌ی روشی برای به دست آوردن شکل تابع خرابی و پیش‌بینی خرابی‌های آتی مطابق با این چگالی بوده است. همچنین بهبود وضعیت کلان نگه‌داری و تعمیرات در کارخانجات و در سطح وسیع‌تر در کل کشور ایران مد نظر بوده و مقصد نهایی این پروژه‌ی نمادین، ارتقای کارخانه به سطح استانداردهای مناسب بود که تا حد قابل قبولی این نتایج حاصل شد.

۷. مطالعات آتی

پیش‌تر بیان شد که این پژوهش به بررسی علل توقفات دستگاه‌ها پرداخته است، و تأکید اصلی آن بر توقفات ناشی از تعمیر نبوده و بیشتر به دلایلی چون ضعف مدیریتی واحد نت، عدم تعهد پیمانکاران، امور مالی و... می‌پردازد. مقصود از این بخش از پژوهش شناسایی عوامل ضعف و وقفه‌انداز در تولید بوده است و لذا پیشنهادات مورد نظر به‌عنوان مطالعات آتی ارائه شده‌اند:

- اعمال پیشنهادات مطرح شده برای بهبود عملکرد سازمان، و بررسی نتایج حاصل از اعمال تغییرات در گذر زمان.
- استفاده از شیوه‌های پویایی‌شناسی سیستم در بررسی تأثیرات بازخوردی عوامل بر یکدیگر، و انجام تحلیل‌های پویا در زمینه‌ی چگونگی تأثیر عوامل مختلف در عملکرد سازمان.
- بررسی میزان تناسب سایر توزیع‌های مطرح‌شده در ادبیات قابلیت اطمینان به‌عنوان چگالی خرابی دستگاه‌ها.
- تمرکز بر علل وقفه‌انداز و ارائه‌ی راه‌کار برای جلوگیری از ایجاد این وقفه‌ها از طریق ایجاد انگیزه در واحدهای مهندسی، مالی و پیمانکاران، و سپس سنجش میزان اثربخشی این مقاله برای واحد تولیدی مهد خودرو.
- شناسایی و بررسی دستگاه‌های کلیدی در واحد تولیدی و قطعات کلیدی و تمرکز بر آنان به‌منظور ارتقای تولیدات و همین‌طور سطح نگه‌داری و تعمیرات واحد تولیدی مهد خودرو.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع (References)

1. Namin, M.H.S., *Maintenance Strategies and Reliability*, Publishing Center of Amirkabir University (Tehran Polytechnic) (1378).
2. Majzobi, F. "Excess allocation in parallel systems - set to improve reliability", Master's thesis, Department of Industrial Engineering, Sharif University of Technology, Department of Industrial Engineering (1387).
3. Carretero, J., Pérez, J.M., García-Carballeira, F., Calderón, A., Fernández, J., García, J.D. and et al. "Applying RCM in large scale systems: a case study with railway networks", *Reliability Engineering & System Safety*, **82**, pp. 257-273 (2003).
4. Clavareau, J. and Labeau, P.-E. "Maintenance and replacement policies under technological obsolescence", *Reliability Engineering & System Safety*, **94**, pp. 370-381 (2009).
5. Cadini, F., Zio, E. and Avram, D. "Model-based Monte Carlo state estimation for condition-based component replacement", *Reliability Engineering & System Safety*, **94**, pp. 752-758 (2009).
6. Tavakkoli-Moghaddam, R., Safari, J. and Sassani, F. "Reliability optimization of series-parallel systems with a choice of redundancy strategies using a genetic algorithm", *Reliability Engineering and System Safety*, **93**, pp. 550-556 (2008).
7. Belzunce, F., Martinez-Puertas, H. and Ruiz, J.M. "On optimal allocation of redundant components for series and parallel systems of two dependent components", *Journal of Statistical Planning and Inference,* **141**, pp. 3094-3104 (2011).
8. Benkamra, Z., Terbeche, M. and Tlemcani, M. "Tow stage design for estimating the reliability of series/parallel systems", *Mathematics and Computers in Simulation*, **81**, pp. 2062-2072 (2011).
9. Rabhi, N., Guedri, M., Hassis, H. and Bouhaddi, N. "Structure dynamic reliability: A hybrid approach and robust meta-models", *Mechanical Systems and Signal Processing,* **25**, pp. 2313-2323 (2011).
10. Misra, K. "Reliability optimization of series-parallel system", *IEEE Transactions on Reliability*, **21**, pp. 230-238 (1972).
11. Ramirez-Marquez, J.E. and Coit, D.W. "A heuristic for solving the redundancy allocation problem for multi-state series-parallel systems", *Reliability Engineering and System Safety*, **83**, pp. 341-349 (2004).
12. Chen, T.-C. "IAs based approach for reliability redundancy allocation problems", *Applied Mathematics and Computation*, **182**, pp. 1556-1567 (2006).
13. Sadjadi S.J. and Soltani, R. "An efficient heuristic versus a robust hybrid meta-heuristic for general framework of serial–parallel redundancy problem", *Reliability Engineering and System Safety*, **94**, pp. 1703-1710 (2009).
14. Tian, Z., Levitin, G. and Zuo, M.J. "A joint reliability–redundancy optimization approach for multi-state series–parallel systems", *Reliability Engineering and System Safety*, **94**, pp. 1568-1576 (2009).
15. Sharma, U. and Misra, K. "An efficient algorithm to solve integer programming problems in reliability optimization", *International Journal of Quality & Reliability Management,* **7**, pp. 44-56 (1990).
16. Coit, D.W. and Liu, J. "System reliability optimization with k-out-of-n subsystems", *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, **7**, pp. 129-142 (2000).
17. Coit, D.W. and Smith, A.E. "Optimization approaches to the redundancy allocation problem for series-parallel systems", *Cite as Proceedings of the Fourth Industrial Engineering Research Conference (IERC)* (1995).
18. Coit, D.W. and Smith, A.E. "Reliability optimization of series-parallel systems using a genetic algorithm", *IEEE Transactions on Reliability*, **45**, pp.254-260 (1996).
19. Gen, M. and Yun, Y. "Soft computing approach for reliability optimization: State-of-the-art survey", *Reliability Engineering and System Safety,* **91**, pp. 1008-1026 (2006).
20. Tian, Z., Zuo, M.J. and Huang, H. "Reliability-redundancy allocation for multi-state series-parallel systems", *IEEE Transactions on Reliability,* **57**, pp.303-310 (2008).
21. Qi C. and Shu-ping, H. "Reliability optimizing of the series-parallel system owing to immune genetic algorithm", *Second International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems* (2009).
22. Nahas, N. and Nourelfath, M. "Ant system for reliability optimization of a series system with multiple-choice and budget constraints", *Reliability Engineering and System Safety*, **87**, pp. 1-12 (2005).
23. Ahmadizar, F. and Soltanpanah, H. "Reliability optimization of a series system with multiple-choice and budget constraints using an efficient ant colony approach", *Expert Systems with Applications,* **38**, pp. 3640-3646 (2011).
24. Sharma, V.K., Agarwal, M. and Sen, K. "Reliability evaluation and optimal design in heterogeneous multi-state series-parallel systems", *Information Sciences,* **181**, pp. 362-378 (2011).
25. Yeh, W.-C. and Hsieh, T.-J. "Solving reliability redundancy allocation problems using an artificial bee colony algorithm", *Computers & Operations Research,* **38**, pp. 1465-1473 (2011).
26. Sung, C.S. and Cho, Y.K. "Reliability optimization of a series system with multiple-choice and budget constraints", *European Journal of Operational Research*, **127**, pp. 159-171 (2000).
27. Nourelfath, M. and Nahas, N. "Quantized hopfield networks for reliability optimization", *Reliability Engineering and System Safety*, **81**, pp. 191-196 (2003).
28. Rashedi, H., Owlia, M.S., Hoseininasab, H. and Zaremehrjerdi, Y. "Application of RCM to enhance the efficency and effictiveness of maintenance prosecc (case study: OIL and GAS production, south zagros company of Iran)", *Sharif Journal Of Industrial Engineering & Management,* **28-1**, pp. 133-140 (2013).

www.SID.ir