

سورة التوبة



دانشکده مهندسی معدن، ژئوفیزیک و نفت

گروه مهندسی استخراج معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد

مدل سازی و شبیه سازی قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل

(مطالعه موردی: معدن طلای زرمهر تربت حیدریه)

حسین حیدری نوقابی

اساتید راهنما:

دکتر محمد عطایی

دکتر رضا خالو کاکایی

شهریور ۱۳۹۴

تقدیم و تشکر

با نام و یاد خدای عز و جل که داده‌اش نعمت و نداده‌اش حکمت است. شکر و سپاس فراوان نزد پروردگار هستی که بنده حقیر را مورد لطف و رحمت خویش قرار داد و مرا در انجام تمام مراحل این پایان‌نامه یاری نمود.

پس از اتمام این پایان‌نامه آروزی سرافرازی و سربلندی برای اساتید محترم جناب آقایان دکتر عطایی و دکتر خالو کاکایی را دارم و موفقیت خویش را مدیون راهنمایی‌های دلسوزانه این اساتید عزیز می‌دانم. تلاش‌های بی وقفه و شبانه روزی پدر و مادرم را در تمام مراحل زندگی‌ام ارج نهاده و ثواب دنیوی و اخروی را برایشان از درگاه ایزد منان مسئلت می‌کنم.

در نهایت از همسر عزیز و مهربانم که دلگرمی وجودش باعث انگیزه مضاعف برای اینجانب در انجام این پایان‌نامه شد، تشکر می‌کنم و امیدوارم بتوانم همسفری تمام عیار برای ادامه راه زندگی‌اش باشم.

حسین حیدری نوقابی

تعهد نامه

اینجانب حسین حیدری نوقابی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی استخراج معدن دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه مدل سازی و شبیه سازی قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل (مطالعه موردی: معدن طلای زرمهر تربت-حیدریه) تحت راهنمایی دکتر محمد عطایی و دکتر رضا خالو کاکایی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه شاهرود » و یا « Shahrood University » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

در صنایع معدنی و واحدهای تولیدی، به منظور دستیابی به بهترین شرایط عملیاتی و در نتیجه بهبود شرایط اقتصادی پروژه، استفاده از شاخصی مهندسی به نام قابلیت اطمینان به این مهم کمک می‌کند. در یک عملیات معدنکاری حجم سرمایه‌گذاری در بخش ماشین‌آلات معدنی می‌تواند کل پروژه را تحت تأثیر قرار دهد. در پروژه‌های معدنی، به منظور داشتن تولیدی پیوسته، حفظ عملکرد سالم ماشین‌آلات بسیار حیاتی محسوب می‌شود.

عملکرد ضعیف سیستم ترابری در چرخه تولید یک واحد معدنی، می‌تواند باعث توقف و یا حتی تعطیلی کامل سیستم معدنکاری شود. از این رو در این پایان‌نامه قابلیت اطمینان سیستم ترابری مورد ارزیابی قرار گرفته است. سیستم ترابری شامل دو بخش باربری و بارگیری می‌شود. سیستم بارگیری شامل بیل مکانیکی و سیستم باربری شامل کامیون می‌شود.

در ادامه طی مطالعه موردی در معدن طلای زرمهر تربت‌حیدریه، ۳ دستگاه بیل مکانیکی و ۳ دستگاه کامیون جهت بررسی قابلیت اطمینان سیستم ترابری مورد مطالعه قرار گرفتند. بیل‌های مکانیکی شامل ۴ زیرسیستم مکانیکی، بارگیری، حرکتی و برقی و هر کدام از کامیون‌ها شامل ۳ زیرسیستم مکانیکی، حرکتی و برقی می‌باشند. سپس داده‌های خرابی و توقفات ناشی از هر دو سیستم بارگیری و باربری برای این شش دستگاه در یک دوره‌ی شش ماهه ثبت شد. این داده‌ها برای تحلیل قابلیت اطمینان سیستم ترابری با استفاده از روش‌های مارکوف، مدل‌سازی و شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج حاصل از روش مارکوف نشان داد در حالتی که هر شش دستگاه مشغول بکار می‌باشد، قابلیت اطمینان سیستم ترابری حدود ۶۸,۸٪ می‌باشد. برای مدل‌سازی قابلیت اطمینان سیستم ترابری، ابتدا قابلیت اطمینان زیرسیستم‌های بیل‌های مکانیکی و کامیون‌ها محاسبه شد. پس از محاسبه‌ی قابلیت اطمینان زیرسیستم‌ها، قابلیت اطمینان هر دستگاه حاصل شد. سپس قابلیت اطمینان سیستم‌های بارگیری و باربری بدست آمد. با توجه به سری بودن بخش‌های بارگیری و

باربری در سیستم ترابری، قابلیت اطمینان کل سیستم ترابری معدن طلای زرمهر محاسبه شد. نتایج نشان داد قابلیت اطمینان سیستم پس از ۸۰ ساعت تقریباً به صفر می‌رسد. همچنین با استفاده از روش مونت کارلو کامات و رایلی (K-R)، قابلیت اطمینان سیستم ترابری شبیه‌سازی گردید. برای اجرای الگوریتم شبیه‌سازی یک برنامه کامپیوتری در نرم افزار Microsoft Visual Studio 2010 تهیه شد. با استفاده از این برنامه منحنی قابلیت اطمینان شبیه‌سازی شده رسم گردید و مشخص شد، قابلیت اطمینان سیستم ترابری پس از ۸۰ ساعت به صفر می‌رسد که با نتایج حاصل از مدل‌سازی همخوانی بسیار زیادی دارد اما منحنی شبیه‌سازی از توانایی بالاتری برای پیش‌بینی قابلیت اطمینان سیستم ترابری برخوردار است.

در پایان با استفاده از نتایج حاصل از تحلیل قابلیت اطمینان، برنامه تعمیر و نگهداری پیشگیرانه برای بهبود عملکرد و قابلیت اطمینان سیستم ترابری معدن طلای زرمهر پیشنهاد شده است.

کلمات کلیدی: معدن طلای زرمهر تربت حیدریه، سیستم ترابری، بیل مکانیکی، کامیون، مارکوف، مدل‌سازی، شبیه‌سازی، تعمیر و نگهداری پیشگیرانه.

فهرست مطالب

۱-۱-

۲	مقدمه
۳-۱	بیان مسأله و سؤال‌های اصلیتحقیق
۳-۱	ضرورت انجام تحقیق
۴-۱	اهداف تحقیق
۵-۱	معدن طلای زرمهر تربت حیدریه
۵-۱-۱	معدنکاری باستانی
۵-۱-۲	معرفی جبهه کارهای استخراجی
۵-۱-۳	عملیات استخراج
۶-۱	ساختار تحقیق

فصل دوم: مفاهیم کلی و روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان

۱-۲	مقدمه
۲-۲	تعاریف پارامترهای رایج در مهندسی قابلیت اطمینان
۳-۲	روش‌های متداول در تحلیل قابلیت اطمینان سیستم‌های معدنی
۳-۲-۱	روش تحلیل انواع خرابی‌ها و تأثیرات آنها (FMEA)
۳-۲-۲	روش مارکوف
۳-۲-۳	روش تحلیل درخت خطا (FTA)
۳-۲-۴	روش تحلیل آماری
۴-۲	تحلیل آماری و مدل‌سازی قابلیت اطمینان
۴-۲-۱	آزمون‌های مستقل و مانا بودن داده‌ها
۴-۲-۱-۱	آزمون‌های روند
۴-۲-۱-۲	آزمون همبستگی سری
۴-۲-۲	فرآیند تجدید شونده
۴-۲-۳	فرآیند پواسون
۴-۲-۴	فرآیند قانون توان
۵-۲	شبیه‌سازی قابلیت اطمینان
۵-۲-۱	شبیه‌سازی مونت کارلو
۵-۲-۲	الگوریتم‌های مونت کارلو برای شبیه‌سازی قابلیت اطمینان
۵-۲-۳	روش شبیه‌سازی قابلیت اطمینان مونت کارلو (K-R)
۶-۲	نتیجه‌گیری

فصل سوم: سابقه‌ی علمی موضوع

۱-۳	مقدمه
۲-۳	تحقیقات قابلیت اطمینان در حوزه‌ی مهندسی معدن
۳-۳	نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

فصل چهارم: تعیین زیرسیستم‌های بخش بارگیری و باربری

۴۸.....	۱-۴- مقدمه
۴۸.....	۲-۴- تعیین زیرسیستم‌های مربوط به دستگاه‌های بارگیری
۴۹.....	۳-۴- تعیین زیرسیستم‌های بیل‌های مکانیکی
۵۰.....	۱-۳-۴- زیرسیستم مکانیکی
۵۱.....	۲-۳-۴- زیرسیستم بارگیری
۵۲.....	۳-۳-۴- زیرسیستم حرکتی
۵۳.....	۴-۳-۴- زیرسیستم برقی
۵۳.....	۴-۴- طبقه‌بندی زیرسیستم‌های دستگاه‌های باربری
۵۳.....	۵-۴- تعیین زیرسیستم‌های کامیون
۵۴.....	۱-۵-۴- زیرسیستم مکانیکی
۵۴.....	۲-۵-۴- زیرسیستم حرکتی
۵۵.....	۳-۵-۴- زیرسیستم برقی
۵۵.....	۶-۴- نتیجه‌گیری

فصل پنجم: ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم ترابری معدن طلای زرمهر تربت‌حیدریه با استفاده از روش‌های مارکوف، تحلیل آماری (مدل‌سازی) و شبیه‌سازی

۵۸.....	۱-۵- مقدمه
۵۸.....	۲-۵- طبقه‌بندی و جمع‌آوری داده‌های خرابی
۶۰.....	۳-۵- تحلیل پارتو
۶۱.....	۴-۵- ارزیابی قابلیت اطمینان با استفاده از روش مارکوف
۶۱.....	۱-۴-۵- روش مارکوف
۶۳.....	۲-۴-۵- ارزیابی سیستم ترابری معدن طلای زرمهر
۶۹.....	۳-۴-۵- نتایج
۷۰.....	۵-۵- مدل‌سازی قابلیت اطمینان سیستم ترابری
۷۰.....	۱-۵-۵- مقدمه
۷۰.....	۲-۵-۵- روش کلی تحلیل خرابی‌ها و مدل‌سازی قابلیت اطمینان
۷۱.....	۶-۵- تحلیل خرابی و ارزیابی مدل‌سازی قابلیت اطمینان بخش بارگیری
۷۲.....	۱-۶-۵- مدل‌سازی قابلیت اطمینان بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو
۷۲.....	۱-۱-۶-۵- زیرسیستم مکانیکی بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو
۷۵.....	۲-۱-۶-۵- زیرسیستم بارگیری بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو
۷۷.....	۳-۱-۶-۵- زیرسیستم حرکتی بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو
۷۹.....	۴-۱-۶-۵- زیرسیستم برقی بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو
۸۱.....	۵-۱-۶-۵- قابلیت اطمینان کلی بیل ۲۲۰ کوماتسو
۸۱.....	۲-۶-۵- مدل‌سازی قابلیت اطمینان بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان
۸۱.....	۱-۲-۶-۵- زیرسیستم مکانیکی بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان
۸۴.....	۲-۲-۶-۵- زیرسیستم بارگیری بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان
۸۶.....	۳-۲-۶-۵- زیرسیستم حرکتی بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان
۸۸.....	۴-۲-۶-۵- زیرسیستم برقی بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان

۹۰.....	۵-۲-۶-۵- قابلیت اطمینان کلی بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان.....
۹۰.....	۵-۳-۶-۵- مدل سازی قابلیت اطمینان بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای.....
۹۰.....	۵-۱-۳-۶-۵- زیرسیستم مکانیکی بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای.....
۹۳.....	۵-۲-۳-۶-۵- زیرسیستم بارگیری بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای.....
۹۵.....	۵-۳-۳-۶-۵- زیرسیستم حرکتی بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای.....
۹۷.....	۵-۴-۳-۶-۵- زیرسیستم برقی بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای.....
۹۹.....	۵-۵-۳-۶-۵- قابلیت اطمینان کلی بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای.....
۹۹.....	۵-۴-۶-۵- قابلیت اطمینان کلی بخش بارگیری سیستم ترابری معدن طلای زرمهر.....
۱۰۰.....	۵-۷-۵- تحلیل خرابی و ارزیابی مدل سازی قابلیت اطمینان بخش باربری.....
۱۰۱.....	۵-۱-۷-۵- مدل سازی قابلیت اطمینان کامیون دنگ فنگ.....
۱۰۱.....	۵-۱-۱-۷-۵- زیرسیستم مکانیکی کامیون دنگ فنگ.....
۱۰۳.....	۵-۲-۱-۷-۵- زیرسیستم حرکتی کامیون دنگ فنگ.....
۱۰۵.....	۵-۳-۱-۷-۵- زیرسیستم برقی کامیون دنگ فنگ.....
۱۰۷.....	۵-۴-۱-۷-۵- قابلیت اطمینان کلی کامیون دنگ فنگ.....
۱۰۷.....	۵-۲-۷-۵- مدل سازی قابلیت اطمینان کامیون بنز ۲۰۱۱.....
۱۰۷.....	۵-۱-۲-۷-۵- زیرسیستم مکانیکی کامیون بنز ۲۰۱۱.....
۱۰۹.....	۵-۲-۲-۷-۵- زیرسیستم حرکتی کامیون بنز ۲۰۱۱.....
۱۱۲.....	۵-۳-۲-۷-۵- زیرسیستم برقی کامیون بنز ۲۰۱۱.....
۱۱۵.....	۵-۴-۲-۷-۵- قابلیت اطمینان کلی کامیون بنز ۲۰۱۱.....
۱۱۵.....	۵-۳-۷-۵- مدل سازی قابلیت اطمینان کامیون بنز ۱۹۹۲.....
۱۱۵.....	۵-۱-۳-۷-۵- زیرسیستم مکانیکی کامیون بنز ۱۹۹۲.....
۱۱۷.....	۵-۲-۳-۷-۵- زیرسیستم حرکتی کامیون بنز ۱۹۹۲.....
۱۱۹.....	۵-۳-۳-۷-۵- زیرسیستم برقی کامیون بنز ۱۹۹۲.....
۱۲۱.....	۵-۴-۳-۷-۵- قابلیت اطمینان کلی کامیون بنز ۱۹۹۲.....
۱۲۱.....	۵-۴-۷-۵- قابلیت اطمینان کلی بخش باربری معدن طلای زرمهر.....
۱۲۲.....	۵-۸-۵- قابلیت اطمینان کلی سیستم حمل و نقل (ترابری) معدن طلای زرمهر.....
۱۲۴.....	۵-۹-۵- شبیه سازی قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل (ترابری) معدن طلای زرمهر.....
۱۲۸.....	۵-۱۰-۵- نتیجه گیری.....

فصل ششم: تعمیر و نگهداری سیستم حمل و نقل معدن طلای زرمهر

۱۳۲.....	۶-۱- اهمیت تعمیر و نگهداری ماشین آلات معدنی.....
۱۳۲.....	۶-۲- تعمیر و نگهداری.....
۱۳۳.....	۶-۳- استراتژی های تعمیر و نگهداری.....
۱۳۳.....	۶-۱-۳- تعمیر و نگهداری اصلاحی.....
۱۳۴.....	۶-۲-۳- تعمیر و نگهداری پیشگیرانه.....
۱۳۵.....	۶-۱-۲-۳- تعمیر و نگهداری پیشگیرانه مبتنی بر پایش وضعیت (C.B.M).....
۱۳۵.....	۶-۲-۲-۳- تعمیر و نگهداری مبتنی بر زمان (T.B.M).....
۱۳۷.....	۶-۴- تعیین استراتژی تعمیر و نگهداری.....

۱۳۹.....	۵-۶- تعمیر و نگهداری سیستم حمل و نقل معدن طلای زرمهر.....
۱۳۹.....	۱-۵-۶- مقدمه.....
۱۴۰.....	۲-۵-۶- تعیین استراتژی تعمیر و نگهداری برای معدن طلای زرمهر.....
۱۴۰.....	۶-۶- تدوین برنامه تعمیر و نگهداری پیشگیرانه برای سیستم حمل و نقل (ترابری).....
۱۴۳.....	۷-۶- تأثیر تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بر روی قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل.....
۱۴۳.....	۱-۷-۶- تأثیر تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بر بخش بارگیری.....
۱۴۳.....	۱-۱-۷-۶- تأثیر تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو.....
۱۴۵.....	۲-۱-۷-۶- تأثیر تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان.....
۱۴۷.....	۳-۱-۷-۶- تأثیر تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای.....
۱۴۸.....	۴-۱-۷-۶- قابلیت اطمینان کلی سیستم بارگیری پس از اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه.....
۱۵۰.....	۲-۷-۶- تأثیر تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بر بخش باربری.....
۱۵۰.....	۱-۲-۷-۶- تأثیر تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بر روی کامیون دنگفنگ.....
۱۵۲.....	۲-۲-۷-۶- تأثیر تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بر روی کامیون بنز ۲۰۱۱.....
۱۵۴.....	۳-۲-۷-۶- تأثیر تعمیر و نگهداری پیشگیرانه ب روی کامیون بنز ۱۹۹۲.....
۱۵۵.....	۴-۲-۷-۶- قابلیت اطمینان سیستم باربری با اعمال برنامه تعمیر و نگهداری پیشگیرانه.....
۱۵۷.....	۳-۷-۶- قابلیت اطمینان سیستم ترابری معدن طلای زرمهر.....
	با اعمال برنامه تعمیر و نگهداری پیشگیرانه
۱۵۹.....	۸-۶- جمع بندی.....

فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۱۶۲.....	۱-۷- نتیجه گیری.....
۱۶۵.....	۲-۷- پیشنهادات.....
۱۶۶.....	منابع و مراجع.....
۱۶۹.....	پیوست.....

شکل ۱-۱- راه‌های دسترسی به

معدن [۲].....	۶
شکل ۱-۲- نمونه‌ای از حفاریات قدیمی در منطقه کوه‌زر.....	۷
شکل ۱-۳- عملیات استخراجی در معدن شهریار.....	۸
شکل ۱-۲- رابطه‌ی بین قابلیت اطمینان، تابع توزیع چگالی احتمال و تابع توزیع تجمعی.....	۱۵
شکل ۲-۲- منحنی وان شکل میزان خرابی.....	۱۶
شکل ۳-۲- الگوریتم انتخاب روش مناسب برای مدل‌سازی قابلیت اطمینان [۷،۵،۴].....	۲۴
شکل ۴-۲- آزمون گرافیکی جهت بررسی وجود یا عدم وجود روند.....	۲۶
شکل ۵-۲- آزمون همبستگی سری.....	۲۶
شکل ۱-۳- تغییرات شاخص قابلیت اطمینان زیرسیستم‌های کارخانه بوکسیت جاجرم [۴].....	۴۴
شکل ۱-۴- نمای کلی بیل مکانیکی.....	۴۹
شکل ۲-۴- بخش‌هایی از زیرسیستم مکانیکی بیل مکانیکی.....	۵۰
شکل ۳-۴- اجزای تشکیل دهنده زیرسیستم بارگیری بیل مکانیکی.....	۵۱
شکل ۴-۴- زیرسیستم حرکتی بیل مکانیکی.....	۵۲
شکل ۵-۴- نمای کلی یک کامیون.....	۵۴
شکل ۱-۵- نمودارهای مربوط به تحلیل پارتو بخش بارگیری.....	۶۰
شکل ۲-۵- نمودارهای مربوط به تحلیل پارتو بخش باربری.....	۶۱
شکل ۳-۵- حالت‌های مختلف قرارگیری دستگاه‌ها در سیستم ترابری معدن طلای زرمهر.....	۶۴
شکل ۴-۵- ماتریس انتقال P تشکیل شده.....	۶۸
شکل ۵-۵- مدل‌سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم مکانیکی بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو.....	۷۴
شکل ۶-۵- مدل‌سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم بارگیری بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو.....	۷۶
شکل ۷-۵- مدل‌سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم حرکتی بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو.....	۷۸
شکل ۸-۵- مدل‌سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم برقی بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو.....	۸۰
شکل ۹-۵- نمودار قابلیت اطمینان کلی بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو.....	۸۱
شکل ۱۰-۵- مدل‌سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم مکانیکی بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان.....	۸۳
شکل ۱۱-۵- مدل‌سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم بارگیری بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان.....	۸۵
شکل ۱۲-۵- مدل‌سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم حرکتی بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان.....	۸۷
شکل ۱۳-۵- مدل‌سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم برقی بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان.....	۸۹
شکل ۱۴-۵- نمودار قابلیت اطمینان کلی بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان.....	۹۰
شکل ۱۵-۵- مدل‌سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم مکانیکی بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای.....	۹۲
شکل ۱۶-۵- مدل‌سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم بارگیری بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای.....	۹۴
شکل ۱۷-۵- مدل‌سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم حرکتی بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای.....	۹۶
شکل ۱۸-۵- مدل‌سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم برقی بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای.....	۹۸
شکل ۱۹-۵- نمودار قابلیت اطمینان کلی بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای.....	۹۹
شکل ۲۰-۵- نمودار قابلیت اطمینان سیستم بارگیری معدن طلای زرمهر.....	۱۰۰
شکل ۲۱-۵- مدل‌سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم مکانیکی کامیون دنگ‌فنگ.....	۱۰۲

- شکل ۵-۲۲- مدل سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم حرکتی کامیون دنگ فنگ ۱۰۴
- شکل ۵-۲۳- مدل سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم برقی کامیون دنگ فنگ ۱۰۶
- شکل ۵-۲۴- نمودار قابلیت اطمینان کلی کامیون دنگ فنگ ۱۰۷
- شکل ۵-۲۵- مدل سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم مکانیکی کامیون بنز ۲۰۱۱ ۱۰۸
- شکل ۵-۲۶- مدل سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم حرکتی کامیون بنز ۲۰۱۱ ۱۱۱
- شکل ۵-۲۷- مدل سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم برقی کامیون بنز ۲۰۱۱ ۱۱۳
- شکل ۵-۲۸- نمودار قابلیت اطمینان کلی کامیون بنز ۲۰۱۱ ۱۱۴
- شکل ۵-۲۹- مدل سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم مکانیکی کامیون بنز ۱۹۹۲ ۱۱۶
- شکل ۵-۳۰- مدل سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم حرکتی کامیون بنز ۱۹۹۲ ۱۱۸
- شکل ۵-۳۱- مدل سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم برق کامیون بنز ۱۹۹۲ ۱۲۰
- شکل ۵-۳۲- نمودار قابلیت اطمینان کلی کامیون بنز ۱۹۹۲ ۱۲۱
- شکل ۵-۳۳- نمودار قابلیت اطمینان سیستم ترابری معدن طلای زرمهر ۱۲۲
- شکل ۵-۳۴- نمودار قابلیت اطمینان سیستم ترابری معدن طلای زرمهر ۱۲۳
- شکل ۵-۳۵- مسیرهای مختلف جهت بررسی عملکرد سیستم ترابری معدن طلای زرمهر ۱۲۵
- شکل ۵-۳۶- روند نمای شبیه سازی قابلیت اطمینان سیستم ترابری معدن طلای زرمهر ۱۲۶
- شکل ۵-۳۷- نمودار قابلیت اطمینان سیستم ترابری معدن طلای زرمهر با استفاده از روش شبیه سازی ۱۲۸
- شکل ۵-۳۸- نمودار قابلیت اطمینان روش های مدل سازی و شبیه سازی ۱۲۹
- شکل ۶-۱- انواع استراتژی تعمیر و نگهداری [۱۵، ۵، ۴، ۳] ۱۳۴
- شکل ۶-۲- تأثیر اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بر قابلیت اطمینان [۱۵] ۱۳۶
- شکل ۶-۳- تأثیر اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بر نرخ خرابی ۱۳۶
- شکل ۶-۴- الگوریتم انتخاب روش مناسب تعمیر و نگهداری [۵، ۴] ۱۳۸
- شکل ۶-۵- منحنی قابلیت اطمینان بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه ۱۴۵
- شکل ۶-۶- منحنی قابلیت اطمینان بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه ۱۴۷
- شکل ۶-۷- منحنی قابلیت اطمینان بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه ۱۴۸
- شکل ۶-۸- منحنی قابلیت اطمینان سیستم بارگیری با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه ۱۵۰
- شکل ۶-۹- منحنی قابلیت اطمینان کامیون دنگ فنگ با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه ۱۵۲
- شکل ۶-۱۰- منحنی قابلیت اطمینان کامیون بنز ۲۰۱۱ با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه ۱۵۳
- شکل ۶-۱۱- منحنی قابلیت اطمینان کامیون بنز ۱۹۹۲ با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه ۱۵۵
- شکل ۶-۱۲- منحنی قابلیت اطمینان سیستم ترابری با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه ۱۵۶
- شکل ۶-۱۳- منحنی قابلیت اطمینان سیستم ترابری معدن طلای زرمهر قبل و بعد از اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه ۱۵۹

جدول ۱-۲- توابع توزیع پرکاربرد در تحلیل قابلیت اطمینان [۱۵،۱۱،۹،۵].....	۲۹
جدول ۲-۲- روش‌های شبیه‌سازی قابلیت اطمینان مونت کارلو قابل استفاده در سیستم‌های غیر قابل تعمیر [۵].....	۳۴
جدول ۱-۴- مشخصات فنی دستگاه‌های بخش بارگیری.....	۴۸
جدول ۲-۴- مشخصات فنی دستگاه‌های بخش باربری.....	۵۳
جدول ۱-۵- مشخصات دستگاه‌های مورد مطالعه.....	۵۸
جدول ۲-۵- نمونه‌ای از داده‌های جمع‌آوری شده.....	۵۹
جدول ۳-۵- تبدیل حالت مارکوف.....	۶۵
جدول ۴-۵- احتمال قرارگیری دستگاه‌ها در وضعیت‌های مختلف.....	۶۷
جدول ۵-۵- نتایج حاصل از روش مارکوف برای وضعیت‌های مختلف.....	۶۹
جدول ۱-۶- زمان رسیدن به قابلیت اطمینان ۸۵٪ و دوره تعمیرات پیشگیرانه برای دستگاه‌های سیستم.....	۱۴۱
ترابری معدن طلای زرمهر	
جدول ۲-۶- دوره‌های تعمیرات پیشگیرانه بهبود یافته برای زیرسیستم‌های ترابری معدن طلای زرمهر.....	۱۴۲
جدول ۳-۶- دوره‌های تعمیرات پیشگیرانه برای زیرسیستم‌های بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو.....	۱۴۳
جدول ۴-۶- تغییرات قابلیت اطمینان بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه.....	۱۴۴
جدول ۵-۶- دوره‌های تعمیرات پیشگیرانه برای زیرسیستم‌های بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان.....	۱۴۵
جدول ۶-۶- تغییرات قابلیت اطمینان بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه.....	۱۴۶
جدول ۷-۶- دوره‌های تعمیرات پیشگیرانه برای زیرسیستم‌های بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای.....	۱۴۷
جدول ۸-۶- تغییرات قابلیت اطمینان بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه.....	۱۴۸
جدول ۹-۶- تغییرات قابلیت اطمینان سیستم بارگیری با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه.....	۱۴۹
جدول ۱۰-۶- دوره‌های تعمیرات پیشگیرانه برای زیرسیستم‌های کامیون دنگ‌فنگ.....	۱۵۰
جدول ۱۱-۶- تغییرات قابلیت اطمینان کامیون دنگ‌فنگ با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه.....	۱۵۱
جدول ۱۲-۶- دوره‌های تعمیرات پیشگیرانه برای زیرسیستم‌های کامیون بنز ۲۰۱۱.....	۱۵۲
جدول ۱۳-۶- تغییرات قابلیت اطمینان کامیون بنز ۲۰۱۱ با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه.....	۱۵۳
جدول ۱۴-۶- دوره‌های تعمیرات پیشگیرانه برای زیرسیستم‌های کامیون بنز ۱۹۹۲.....	۱۵۴
جدول ۱۵-۶- تغییرات قابلیت اطمینان کامیون بنز ۱۹۹۲ با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه.....	۱۵۴
جدول ۱۶-۶- تغییرات قابلیت اطمینان سیستم باربری با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه.....	۱۵۶
جدول ۱۷-۶- قابلیت اطمینان سیستم ترابری معدن طلای زرمهر با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه.....	۱۵۸

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

در هر جامعه مدرن، مهندسان و مدیران فنی مسئول برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت و بهره‌برداری از ساده‌ترین محصول تا پیچیده‌ترین سیستم‌ها هستند. توقف یک سیستم یا نوسان در تولید، سبب ایجاد مشکلات در سطوح مختلفی می‌شود و می‌تواند حتی به عنوان تهدیدی شدید برای جامعه تلقی شود. از این رو انتظار جامعه وجود محصول و سیستمی پایا، اطمینان بخش و ایمن است.

امروزه در تمامی صنایع تولیدی یک عامل مهم و بحرانی پیوستگی در سیستم تولید می‌باشد. این پیوستگی در امر تولید یک رابطه مستقیم با عملکرد زیر سیستم‌های آن مجموعه دارد. از این رو امروزه استراتژی بسیاری از واحدهای تولیدی بر این مبناست تا حد الامکان از وقفه و خرابی‌های غیرقابل انتظار سیستم‌ها به منظور داشتن تولیدی پیوسته جلوگیری کنند. بدین منظور موضوع قابلیت اطمینان و برنامه تعمیر و نگهداری در این صنایع مورد بررسی قرار می‌گیرد.

یکی از سیستم‌های حیاتی در معدنکاری روباز، سیستم حمل و نقل (بارگیری و باربری) معدن می‌باشد که بطور مستقیم با تولید رابطه دارد و توقف در این سیستم باعث توقف در امر تولید و در نهایت منجر به توقف عملیات در کارگاه استخراج می‌شود. با توجه به حجم بالای سرمایه‌گذاری ماشین آلات معدنی و همچنین هزینه‌های بالای عملیات معدنکاری روباز، داشتن یک عملیات استخراجی با نرخ و توان تولید بالا و نیز پیوستگی در تولید یک امر ضروری و حیاتی محسوب می‌شود. با توجه به این موارد ضرورت عملکرد صحیح و دسترس پذیری سیستم حمل و نقل معادن به خوبی آشکار است.

به منظور جلوگیری از توقف‌های ناخواسته و افزایش راندمان عملکرد سیستم حمل و نقل، اطلاع از شرایط کاری ماشین‌آلات معدنی و کنترل آماری دقیق آن‌ها یکی از رهیافت‌های عملی به شمار می‌آید. یکی از روشهای بسیار توانمند برای پیش‌بینی خرابی‌ها و عملکرد مناسب سیستم در یک زمان مشخص، ارزیابی

"قابلیت اطمینان" سیستم می‌باشد. با استفاده از این روش می‌توان احتمال عدم خرابی و عملکرد مطلوب دستگاه در یک بازه زمانی را تخمین زد.

در این پژوهش قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل در معادن روباز با استفاده از روش‌های مدل‌سازی، شبیه‌سازی و مارکوف مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج این روش‌ها مقایسه خواهند شد. مطالعه موردی این تحقیق در معدن طلای زرمهر تربت‌حیدریه می‌باشد.

۱-۲- بیان مسأله و سؤال‌های اصلی تحقیق

روش استخراج پلکانی یکی از پر کاربردترین روشها در بین روش‌های معدنکاری روباز است. اجزای موجود در این روش که شامل عملیات حفاری، آتشباری، حمل و نقل و لقی‌گیری (طراحی مجدد پله‌ها) است، در یک تعامل تنگاتنگ، باعث تشکیل یک زنجیر تولید پیوسته می‌شوند. مهمترین عضو این مجموعه سیستم حمل و نقل است که از اهمیت بالایی برخوردار است. ارزیابی و بهبود قابلیت اطمینان حمل و نقل در معدن، یکی از راهکارهای بسیار کارآمد برای داشتن تولیدی پیوسته با کمترین اتلاف وقت و حداکثر قابلیت دسترسی می‌باشد. با ارزیابی دقیق این پارامتر می‌توان از صرف هزینه‌های گزاف مربوط به تعمیرات دستگاه‌ها و در نتیجه هزینه کلی تمام شده برای تولید هر تن کانسنگ جلوگیری نمود. برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل، آشنایی با سیستم عملکرد بیل هیدرولیکی^۱ و کامیون^۲ و همچنین تهیه جامعه‌ی آماری مربوط به خرابی دستگاه‌ها امری ضروری است. در این پژوهش به سؤال‌های زیر پاسخ داده خواهد شد:

- هر کدام از بخش‌های حمل و نقل شامل چه زیر سیستم‌هایی هستند؟

^۱ . Hydraulic Excavator

^۲ . Truck

- نحوه‌ی تعامل زیر سیستم‌ها بطور سری یا موازی است؟ آیا توقف یک بخش باعث توقف تولید می‌شود؟
- حساس‌ترین زیر سیستم‌های هر بخش کدامند؟
- رفتار خرابی هر زیر سیستم از چه تابع توزیع احتمالی پیروی میکند؟
- منحنی قابلیت اطمینان زیر سیستم‌ها و در نتیجه کل سیستم مورد مطالعه به چه صورت است؟
- بازه‌ی قابلیت اطمینان سیستم در سطح اعتمادهای مختلف چه میزان است؟
- بهترین زمان تعمیر و نگهداری پیشگیرانه(نت) برای هر زیر سیستم چه زمانی است؟
- تأثیر این برنامه تعمیر و نگهداری روی رفتار سیستم چگونه است؟

۱-۳- ضرورت انجام تحقیق

بطور کلی مهم‌ترین دلایل انجام این پژوهش عبارتند از:

- اهمیت بسیار بالای سیستم حمل و نقل در معادن برای رسیدن به تولیدی پیوسته و مطلوب
- شناسایی زیر سیستم‌های بحرانی مربوط به ماشین‌آلات معدنی و بالابردن سطح دسترس‌پذیری
- کاهش هزینه‌های مربوط به تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات معدنی
- افزایش طول عمر ماشین‌آلات معدنی در نتیجه‌ی داشتن برنامه نت مدون

۴-۱- اهداف تحقیق

هدف از انجام این تحقیق مدل کردن قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل و در نتیجه ارائه برنامه‌ای مدون برای تعمیر و نگهداری پیشگیرانه این سیستم است. ماه‌حاصل این پژوهش بالا بردن سطح تولید عملیات استخراج در معدن طلای زرمهر تربت‌حیدریه است. دیگر اهداف این پژوهش عبارتند از :

- کمینه کردن توقف‌ها و در نتیجه پیوستگی تولید
- ارائه مدل قابلیت اطمینان کلی سیستم مورد مطالعه
- کاهش هزینه‌های مربوط به واحد تعمیر و نگهداری
- افزایش طول عمر ماشین‌آلات معدن
- بالا بردن سطح اقتصادی کل عملیات معدنکاری

۵-۱- معدن طلای زرمهر تربت‌حیدریه

معدن طلای زرمهر در ۴۰ کیلومتری غرب تا شمال غرب شهرستان تربت‌حیدریه و ۳ کیلومتری روستای فدیپه واقع می‌باشد. این معدن در منطقه‌ای به نام کوه‌زر قرار دارد. راه‌های دسترسی به معدن در شکل ۱-۱ نشان داده شده است. این منطقه در رشته‌کوه‌های شمال گسل درونه با راستای شرقی-غربی قرار دارد. بطور کلی منطقه مورد نظر دارای شرایط کوهستانی با توپوگرافی خشن و دره‌های پرشیب و یا تصادفی است. این منطقه عموماً توسط سنگ‌های ولکانیکی و پلوتونیک ترشیاری پوشیده شده و در محدوده‌ی نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت‌حیدریه و ۱:۱۰۰۰۰۰ فیض‌آباد قرار می‌گیرد. کانی‌سازی طلا عمدتاً بصورت رگه و رگچه در مجموعه سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری اسیدی تاحد واسط ترشیاری حادث شده است. کانی‌سازی طلا در کوارتز و هماتیت (اسپیکولاریت) صورت گرفته است.

متوسط عیار طلا حدود ۵/۷۱ گرم در تن و ذخیره کانسار طبق برآوردهای اولیه حدود ۷۲۴۰۰۰ تن تخمین زده شده است [۱].



شکل ۱-۱- راه‌های دسترسی به معدن [۲]

۱-۵-۱- معدنکاری باستانی

در منطقه کوه‌ز آثار معدنکاری باستانی موسوم به شدادی که شامل حفاریات معدنی و سرباره‌ها می‌باشد، به وفور دیده می‌شود. نام‌گذاری قله کوه‌ز نیز بی‌شک ریشه در معدنکاری باستانی دارد. بر اساس نقشه‌برداری‌های صورت گرفته، عمق بعضی از حفاریات به ۵۵ متر می‌رسد. شکل ۱-۲ تعدادی از حفاریات قدیمی صورت گرفته در منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲- نمونه‌ای از حفاریات قدیمی در منطقه کوه‌زر

۱-۵-۲- معرفی جبهه‌کارهای استخراجی

در معدن طلای زرمهر به دلیل اینکه کانسار مد نظر بصورت رگه‌ای می‌باشد، شامل جبهه‌کارهای متعددی می‌باشد که تمامی آن‌ها به صورت پلکانی استخراج می‌شوند. اسامی جبهه‌کارها برگرفته از اسامی قدیمی منطقه می‌باشند. جبهه‌کارهای استخراجی و مهم این معدن عبارتند از: غارکفتی، شهریار، کوه‌زرغری، فرشمی، چاک‌علیرضا، محمدبیگی، غارصالحه، تنگه‌پیزی، قله خرد، امراللهی، بازه‌موشی، تاریک‌دره، کلاته‌حسین، اشترراه و لوپیا. در حال حاضر هشت جبهه‌کار اصلی در حال استخراج می‌باشند. شکل ۱-۳- عملیات استخراج را در معدن شهریار نشان می‌دهد. رگه استخراجی موسوم به شهریار یکی از بهترین جبهه‌کارهای استخراجی فعلی معدن طلای زرمهر می‌باشد که از سال ۸۹ عملیات استخراج در آن آغاز شده است.



شکل ۱-۳- عملیات استخراج در معدن شهریار

۱-۵-۳- عملیات استخراج

با توجه به رگه‌ای بودن کانسارهای موجود در معادن طلای زرمهر و به دلیل اینکه ترقیق مواد معدنی و باطله در کمترین حد ممکن باشد عملیات استخراج در دو مرحله‌ی مجزا صورت می‌گیرد. به منظور برداشت باطله‌ی موجود در کمر بالای رگه و باطله‌ی مربوط به پله‌ها، عملیات چالزنی و آتشباری بر روی باطله صورت می‌گیرد و باطله‌ی موجود به دمپ باطله حمل می‌شود. برداشت مواد معدنی بدون استفاده از چالزنی و آتشباری و فقط توسط پیکور صورت می‌گیرد. ترابری در معادن طلای زرمهر توسط بیل و کامیون صورت می‌گیرد. بیل‌ها وظیفه‌ی بارگیری و پیکورزنی و کامیون‌ها وظیفه حمل و تخلیه مواد معدنی و باطله را بر عهده دارند. بدلیل شرایط کوهستانی منطقه و نداشتن عرض کافی راه‌های دسترسی و پله‌های ایمنی و در نتیجه حفظ نسبت باطله‌برداری در حد بهینه و اقتصادی، از دام‌تراک‌های معدنی استفاده نمی‌شود. در این معدن در حال حاضر تعداد ۲۰ دستگاه بیل با مدل‌ها و ظرفیت‌های متفاوت مشغول به کار هستند. همچنین تعداد کامیون‌های فعال در این معدن ۲۵ دستگاه می‌باشد.

۱-۶- ساختار تحقیق

در فصل دوم این تحقیق مفاهیم کلی و تعاریف مرتبط با مهندسی قابلیت اطمینان معرفی شده است. همچنین روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان و خصوصیات کمی و کیفی هرکدام ذکر شده است. پس از آن روابط ریاضی و توابع توزیع پرکاربرد در مدل‌سازی قابلیت اطمینان ارائه شده است. روش‌های شبیه‌سازی و مارکوف که برای ارزیابی قابلیت اطمینان در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند در این فصل معرفی شده‌اند.

در فصل سوم به سابقه‌ی عملی موضوع پرداخته شده است و تعدادی از کاربردهای قابلیت اطمینان در معدنکاری مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج حاصل بطور خلاصه ارائه شده است.

در فصل چهارم سیستم حمل و نقل معدن طلای زرمهر بطور خلاصه معرفی و زیرسیستم‌های فرعی مشخص شده است. نحوه‌ی تعامل زیرسیستم‌های مختلف بخش‌های باربری، بارگیری و بطور کلی سیستم حمل و نقل مورد بررسی قرار گرفته است.

در فصل پنجم، در ابتدا با استفاده از روش مارکوف با توجه به داده‌های جمع‌آوری شده، قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل معدن طلای زرمهر محاسبه شده است. همچنین در این فصل، نتایج مدل‌سازی و شبیه‌سازی قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل معدن طلای زرمهر ارائه شده است و در انتهای فصل این دو روش با یکدیگر مقایسه شده و مورد تحلیل قرار گرفته است.

در فصل ششم، ابتدا به بررسی تعمیر و نگهداری و ضرورت انجام آن پرداخته شده است و سپس استراتژی‌های مختلف برای تعمیر و نگهداری بطور کامل طبقه‌بندی شده است. در انتها با توجه به نتایج تحلیل قابلیت اطمینان، استراتژی مناسب برای تعمیر و نگهداری سیستم حمل و نقل انتخاب شده و با

توجه به این استراتژی، برنامه زمانی مناسب برای تعمیر و نگهداری سیستم حمل و نقل معدن طلای زرمهر ارائه شد. نتایج اعمال تعمیر و نگهداری برروی قابلیت اطمینان زیرسیستم‌های مختلف سیستم حمل و نقل بطور مجزا ارائه شده است.

در فصل هفتم به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات برای مطالعات آینده و بهبود وضعیت عملیاتی سیستم حمل و نقل معدن طلای زرمهر تربت‌حیدریه پرداخته شده است.

فصل دوم

مفاهیم کلی و روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان

۲-۱- مقدمه

عملکرد یک سیستم در هیچ موردی به صورت قطعی قابل تعریف نیست و دارای طبیعت اتفاقی بوده و به صورت اتفاقی در تغییر است. ارزیابی فرآیندهای اتفاقی صرفاً با شیوه‌های احتمالات میسر است. ولی باید توجه داشت که تئوری احتمالات به تنهایی قادر به پیش‌بینی قابلیت اطمینان و یا ایمنی یک سیستم نیست و باید درک کاملی از سیستم، طرح آن، طریقه‌ی عمل و از کار افتادن آن، محیط عمل و تنش‌هایی که تحت آن شرایط واقع می‌شود، در اختیار داشت. لذا در اینجا بایستی قضاوت‌های مهندسی را به کار برد. بنابراین تئوری احتمالات فقط ابزاری است تا بوسیله‌ی آن اطلاعات یک سیستم را تبدیل به پیش‌بینی عملکرد احتمالی سیستم نمود.

در این فصل به منظور آشنایی بیشتر و جلوگیری از تکرار برخی از مطالب در فصل‌های بعدی، برخی از تعاریف و مفاهیم کلی در حوزه‌ی مهندسی قابلیت اطمینان شرح داده شده و در ادامه روش‌های کلی ارزیابی قابلیت اطمینان مورد بررسی قرار گرفته است. روش‌های مورد استفاده برای تحلیل قابلیت اطمینان سیستم حمل‌ونقل این پژوهش در پایان این فصل نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲-۲- تعاریف پارامترهای رایج در مهندسی قابلیت اطمینان

مهندسی قابلیت اطمینان بر مفاهیم علم آمار و جمع‌آوری داده‌های آماری استوار است. در کلیه مراحل مدل‌سازی و ارزیابی قابلیت اطمینان از تکنیک‌های آماری استفاده می‌شود. خرابی دستگاه و زمان، دو رکن اصلی قابلیت اطمینان محسوب می‌شوند.

برخی از تعاریف کمیت‌های کلیدی مورد استفاده در مهندسی قابلیت اطمینان به شرح زیر می‌باشند [۹،۸،۷،۶،۵،۴،۳]:

• **زیرسیستم^۱**: هریک از بخش‌های یک دستگاه را که وظیفه مشخص و قابل ملاحظه‌ای انجام می‌دهند.

• **قابلیت اطمینان^۲**: احتمال عملکرد رضایت‌بخش یک سیستم تحت شرایط کار مشخص برای مدت زمان معین.

• **خرابی^۳**: ناتوانی یک بخش یا یک قطعه از دستگاه در انجام وظایف تعریف شده در شرایط معین.

• **نرخ خرابی^۴**: تعداد خرابی در واحد زمان.

• **زمان بین خرابی‌ها (TBF)^۵**: فاصله‌ی زمانی بین خرابی‌های متوالی یک بخش از سیستم.

• **زمان خرابی (TTR)^۶**: فاصله‌ی زمانی از لحظه خرابی تا زمانی که دوباره به حالت عملیاتی خود بازگردد (زمان تعمیر).

• **زمان تا خرابی (TTF)^۷**: مدت زمان کارکرد یک زیرسیستم غیر قابل تعمیر از دستگاه تا لحظه‌ی خرابی.

• **میانگین زمان بین خرابی‌ها (MTBF)^۸**: میانگین فاصله زمانی بین خرابی‌های یک بخش

یا قطعه قابل تعمیر از سیستم نامیده می‌شود و بصورت رابطه‌ی ۱-۲ بیان می‌شود:

$$MTBF = \frac{TH - DT - SH}{NF} \quad (1-2)$$

¹ . Subsystem

² . Reliability

³ . Failure

⁴ . Failure Rate

⁵ . Time Between Failures

⁶ . Time To Repair

⁷ . Time To Failure

⁸ . Mean Time Between Failures

که در این رابطه TH زمان کل، DT زمان از کار افتادگی، SH زمان آماده به کار و NF تعداد خرابی‌ها می‌باشد.

- **میانگین زمان تا خرابی (MTTF)^۱:** میانگین عمر یک بخش یا یک قطعه غیر قابل تعمیر از دستگاه "میانگین زمان تا خرابی" می‌نامند.

- **میانگین زمان تعمیرات (MTTR)^۲:** میانگین زمانی صرف شده برای تعمیرات یک بخش از دستگاه را "میانگین زمان تعمیرات" می‌نامند.

- **مدل قابلیت اطمینان^۳:** رابطه ریاضی که برای ارزیابی، تخمین و بهینه سازی قابلیت اطمینان یک دستگاه به صورت تابعی از زمان ارائه می‌شود، "مدل قابلیت اطمینان" نامیده می‌شود.

- **تابع چگالی احتمال (f(t)):** این تابع نحوه ی توزیع خرابی‌ها را نشان می‌دهد. در مهندسی قابلیت اطمینان، این تابع به "تابع چگالی خرابی"^۴ خوانده می‌شود. زمان بین خرابی‌ها (TBF) به عنوان متغیر تصادفی در نظر گرفته می‌شود. ویژگی مشترک بین تمام توابع چگالی اینست که سطح زیر منحنی آن‌ها برابر یک می‌باشد. این تابع به صورت زیر بیان می‌شود:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (۲-۲)$$

بطوری که F(t) تابع توزیع تجمعی می‌باشد.

^۱. Mean Time To Failures
^۲. Mean Time To Repair
^۳. Reliability Model
^۴. Failure Density Function

- **تابع توزیع تجمعی (تابع توزیع خرابی)^۱ ($F(t)$):** این تابع توزیع احتمال وقوع

شکست یا خرابی را بیان می‌کند. سطح زیر منحنی تابع چگالی احتمال برابر با تابع توزیع تجمعی است. این تابع بصورت رابطه زیر بیان می‌شود:

$$F(t) = \int_0^t f(x) dx \quad (۳-۲)$$

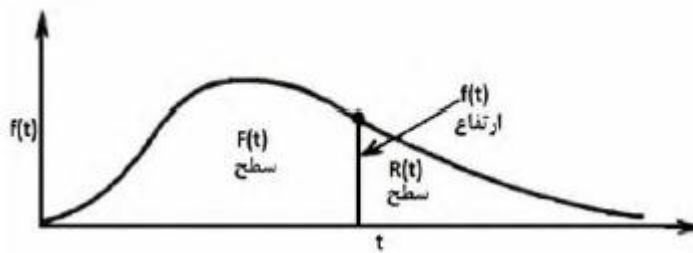
که در آن t زمان و $f(x)$ تابع چگالی احتمال می‌باشد.

- **تابع قابلیت اطمینان ($R(t)$):** طبق منابع موجود، تعریف ریاضی قابلیت اطمینان یک دستگاه

بطور کلی به صورت رابطه ذیل است:

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(x) dx \quad (۴-۲)$$

که در آن، $R(t)$ ، قابلیت اطمینان در زمان t می‌باشد. رابطه‌ی بین تابع چگالی احتمال، تابع توزیع تجمعی و تابع قابلیت اطمینان به صورت شکل ۱-۲ می‌باشد.



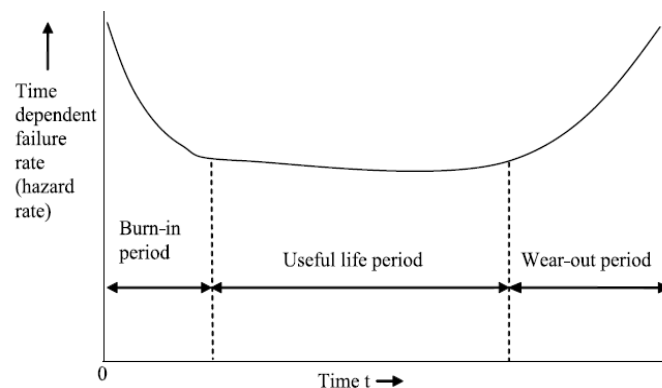
شکل ۱-۲- رابطه بین قابلیت اطمینان، تابع توزیع چگالی احتمال و تابع توزیع تجمعی [۷ و ۱۳]

- **تابع نرخ خرابی ($\lambda(t)$):** این کمیت نشان دهنده‌ی میزان خرابی دستگاه در واحد زمان است و

نشان دهنده‌ی این موضوع است که وضعیت دستگاه رو به بهبودی یا رو به زوال می‌باشد. این تابع همچنین دید مناسبی از وضعیت عملکردی و سطح آمادگی دستگاه به ما ارائه می‌دهد. بطور کلی

¹ . Failure Distribution Function

با تغییرات در نرخ خرابی هر دستگاه نموداری همانند شکل ۲-۲ حاصل می‌گردد. این نمودار شامل سه مرحله متفاوت می‌باشد که وضعیت دستگاه را در بازه‌های مختلف عملکردی نشان می‌دهد. زمانی که دستگاه نرخ خرابی آن تقریباً ثابت است، دوره‌ی عمر مفید خود را سپری می‌کند. نمودار شکل ۲-۲ به منحنی "وان شکل"^۱ شهرت یافته است. طبق نمودار در اوایل عمر دستگاه، به دلیل عدم آگاهی کاربر از نحوه‌ی کارکرد و ابعاد فنی دستگاه، نرخ خرابی به نسبت بالا می‌باشد. با توجه به این شکل بایستی در نظر داشت که در ابتدای شروع بکار سیستم، کنترل کیفیت ضعیف و عدم آشنایی اپراتور با نحوه‌ی عملکرد دستگاه و مشخصات فنی آن باعث خرابی و توقف‌هایی در سیستم شده که به نسبت نرخ آن بالا می‌باشد و با گذشت زمان با توجه به افزایش سطح شناخت اپراتور از نحوه عملکردی دستگاه و رسیدگی به خرابی‌های آن، دستگاه از لحاظ خرابی به حالتی نسبتاً پایدار می‌رسد و نرخ خرابی در این بازه زمانی تقریباً ثابت می‌ماند. با نزدیک شدن به اسقاطی شدن و فرسودگی بخش‌های مختلف، نرخ خرابی دستگاه افزایش می‌یابد.



شکل ۲-۲- منحنی وان شکل میزان نرخ خرابی [۴]

تعریف ریاضی نرخ خرابی یک دستگاه به طور کلی به صورت رابطه ۲-۵ است:

¹ . Bathtub Failure Rate Curve

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)} \quad (5-2)$$

تعیین نرخ خرابی یک دستگاه می تواند دید مناسبی از شرایط عملیاتی و سطح آمادگی دستگاه ارائه نماید. همچنین تعیین این شاخص در بازه های زمانی مشخص باعث می شود تا کاربر از وضعیت فرسودگی و نیز عمر مفید باقیمانده دستگاه مطلع شود. با استفاده از این شاخص می توان با کنترل آماری خرابی های یک بخش یا یک قطعه از دستگاه، زمان بهینه تعویض یک قطعه را پیش بینی کرد. علاوه بر این موارد، از منحنی نرخ خرابی می توان به منظور استخراج اطلاعات با ارزشی مثل موارد ذیل بهره جست :

- پیش بینی زمان بهینه و هزینه دوره ضمانت دستگاه

- پیش بینی و مدیریت قطعات یدکی

- تخمین زمان پایان بازه شروع کار.

• **قابلیت دسترسی^۱ (A):** برابر است با زمان کارکرد دستگاه به زمان کل.

• **شبکه قابلیت اطمینان:** تعامل زیرسیستم های یک سیستم تشکیل یک زیرسیستم را

می دهد. این زیرسیستم می توانند به صورت سری یا موازی با یکدیگر در ارتباط باشند.

نحوه ی محاسبه ی قابلیت اطمینان زیرسیستم هایی که بصورت سری و موازی با یکدیگر در

تعامل اند به ترتیب روابط ۶-۲ و ۷-۲ محاسبه می شوند.

$$R_{System} = R_1 * R_2 * ... * R_n = \prod_{i=1}^n R_i \quad (6-2)$$

$$R_{System} = 1 - (1 - R_1) * (1 - R_2) * ... * (1 - R_n) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (7-2)$$

¹ . Availability

که در این روابط R_i قابلیت اطمینان زیرسیستم‌ها، R_{System} قابلیت اطمینان کل سیستم و n تعداد زیرسیستم‌ها می‌باشد.

۲-۳- روش‌های متداول در تحلیل قابلیت اطمینان سیستم‌های مهندسی

برای بررسی و تحلیل قابلیت اطمینان، روشهای متعددی ارائه شده است که در ادامه با روش‌های متداول و پر کاربرد در این رابطه آشنا می‌شویم.

۲-۳-۱- روش تحلیل انواع خرابی‌ها و تأثیرات آن‌ها (FMEA)^۱

روش FMEA یک روش کیفی برای ارزیابی قابلیت اطمینان محسوب می‌شود و برای اولین بار در اوایل دهه ۱۹۲۰ برای ارزیابی طراحی‌های سیستم‌های کنترل پرواز ارائه شد. مراحل اجرای این روش از فاز طراحی دستگاه شروع شده و در تمامی مراحل عمر دستگاه ادامه می‌یابد [۳].

با استفاده از روش FMEA، متخصصان تعمیر و نگهداری هر سیستم می‌توانند به یک پایگاه اطلاعاتی مناسب و قوی در مورد آن سیستم یا دستگاه‌های موجود دست یابند. این امر در آینده، تشخیص و رفع خرابی‌ها را در هر سیستمی تسریع می‌بخشد. عدم ارائه تحلیلی کمی در رابطه با قابلیت اطمینان، استفاده از این روش را بسیار محدود کرده و از این رو بزرگترین مشکل این روش عدم ارائه تحلیلی کمی در رابطه با قابلیت اطمینان می‌باشد [۳، ۵، ۶].

۲-۳-۲- روش مارکوف^۲

این روش بر مبنای حالت‌های سیستم استوار بوده و با حل معادلات دیفرانسیلی سیستم، قابلیت اطمینان سیستم را محاسبه می‌نماید. روش مارکوف برای مدل‌سازی رفتار اتفاقی سیستم‌هایی قابل کاربرد است که

^۱ . Failure Modes and Effects Analysis

^۲ . Markov

بطور پیوسته و یا ناپیوسته نسبت به زمان و یا در فضای حالت در تغییراند. این تغییرات پیوسته یا ناپیوسته را اصطلاحاً فرآیند اتفاقی می‌نامند [۱۰، ۸، ۳].

برای بکارگیری روش مارکوف در یک سیستم، بایستی رفتار آن سیستم فاقد حافظه باشد، یعنی حالت و وضعیت آینده سیستم باید مستقل از وضعیت‌های گذشته، بجز آخرین وضعیت آن باشد. بنابراین رفتار اتفاقی آتی یک سیستم صرفاً باید بستگی به وضعیت حال آن داشته و هیچ‌گونه وابستگی به گذشته آن و یا چگونگی حصول وضعیت فعلی نداشته باشد. به عبارت دیگر رفتار سیستم باید در همه مقاطع زمانی یکسان و احتمال تبدیل وضعیت آن به وضعیت‌های دیگر همواره در همه زمان‌ها ثابت بماند. رشته آزمایش‌هایی که نتایج آنها نظیر $X_1, X_2, \dots, X_n$ دو ویژگی زیر را برآورده می‌سازند، فرآیند تصادفی زنجیر مارکوف نامیده می‌شود.

الف- هر نتیجه مجموعه متناهی نتایج یعنی $\{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ که فضای حالت دستگاه نامیده می‌شود، متعلق باشد. در این شرایط اگر نتیجه آزمایش n ام، a_i باشد آنگاه دستگاه در زمان n یا در مرحله n ام در حالت a_i قرار دارد.

ب- نتیجه هر آزمایش فقط به نتیجه‌ی آزمایش ماقبل آن وابسته باشد و از نتیجه آزمایشات ماقبل دیگر مستقل باشد. به عبارت دیگر برای هر زوج از حالت‌ها، نظیر (a_i, a_j) احتمال معینی مانند p_{ij} وجود داشته باشد به نحوی که a_j بلافاصله بعد از a_i رخ دهد.

اعداد P_{ij} بنام احتمال انتقال خوانده می‌شوند و بصورت ماتریسی که ماتریس انتقال نامیده می‌شود، آرایش می‌یابند. شکل زیر ماتریس انتقال P که هر یک از درایه‌های آن احتمال انتقال p_{ij} است، را نشان می‌دهد.

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{m1} & p_{m2} & \dots & p_{mm} \end{pmatrix} \quad (۸-۲)$$

یکی از مهمترین ویژگی‌های ماتریس تصادفی این است که هر ماتریس تصادفی منظم مانند P دارای یک بردار ثابت یکتا مانند t می‌باشد که ضرب ماتریس تصادفی از راست، مقدار آن را تغییر نمی‌دهد. به عبارت دیگر برای این ویژگی می‌توان رابطه‌ی زیر را تعریف کرد:

$$t \times P = t \quad (۹-۲)$$

$$\sum_{i=1}^n t_i = 1 \quad (۱۰-۲)$$

اگر ماتریس انتقال P در زنجیر مارکوف، یک ماتریس تصادفی منظم باشد، آنگاه برای زمان طولانی احتمال اینکه حالت a_j رخ دهد، تقریباً با مولفه‌ی t_j از بردار احتمال یکتای t ماتریس P برابر است. به این حالت توزیع ماندگار زنجیر مارکوف گویند [۸].

در سیستم‌های بسیار پیچیده با زیر سیستم‌های زیاد نیز روش مارکوف از توانایی بالایی برای تحلیل برخوردار است. اما، پیچیدگی روش و حجم زیاد محاسبات ریاضی، باعث افزایش زمان محاسبات و تحلیل می‌شوند. همین امر، باعث محدودیت در استفاده از این روش در میان محققان حوزه قابلیت اطمینان شده است. در این پژوهش از این روش برای ارزیابی قابلیت اطمینان استفاده شده است و در فصل پنجم با نحوه‌ی استفاده از این روش در تحلیل قابلیت اطمینان بیشتر آشنا می‌شویم.

۲-۳-۳- روش تحلیل درخت خطا (FTA)^۱

روش تحلیل درخت خطا یکی از جامع‌ترین روش‌های موجود در مهندسی قابلیت اطمینان و تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات است. این روش به صورت یک ساختار منظم، تمامی دلایل خرابی و قطعات مربوط به هر دستگاه را در یک ساختار بالا به پائین که شبیه درخت است، مرتب کرده و از این ساختار برای محاسبه احتمال خرابی یا سالم بودن یک دستگاه یا مجموعه استفاده می‌کند. این روش اولین بار در آزمایشگاه‌های تلفن بل ارائه و توسعه داده شده است [۵،۳].

این روش دارای شش گام اصلی برای تشکیل درخت خطا است که در زیر به طور خلاصه ارائه می‌شوند [۳]:

- ۱- ارائه تعریفی از سیستم و تشریح رخداد‌های نامطلوب در آن
 - ۲- ساخت درخت خطا با استفاده از منطق ریاضی و سایر علائم استاندارد
 - ۳- ارزیابی کیفی درخت خطای تشکیل شده
 - ۴- جمع‌آوری اطلاعات پایه شامل نرخ خرابی اجزای مختلف و احتمال وقوع خرابی در آن‌ها
 - ۵- ارزیابی کمی درخت خطا
 - ۶- پیشنهاد اقدامات لازم برای اصلاح و بهبود.
- امروزه این روش بیشتر برای تشخیص خرابی و ریشه‌یابی دلایل خرابی‌های دستگاه استفاده می‌شود و برای تحلیل قابلیت اطمینان کمتر از آن استفاده می‌شود.

^۱ . Fault Tree Analysis

۲-۳-۴- روش تحلیل آماری

روش آماری پایه‌ای‌ترین روش تحلیل و مدل‌سازی قابلیت اطمینان است. با توجه به اینکه خرابی سیستم‌ها کاملاً تصادفی و غیر منظم رخ می‌دهند بنابراین خرابی‌ها از توابع توزیع آماری پیروی می‌کنند و در نتیجه قابلیت اطمینان یک کمیت آماری و مبتنی بر تئوری احتمالات است. توانمندترین روش تحلیل قابلیت اطمینان روش تحلیل آماری به شمار می‌آید [۸].

۲-۴- تحلیل آماری و مدل‌سازی قابلیت اطمینان

با توجه به تعریف توزیع احتمال و رابطه‌ی، تابع توزیع احتمال زمان بین خرابی‌ها به عنوان اصلی‌ترین بخش محاسبات قابلیت اطمینان مطرح است. لذا یافتن بهترین تابع توزیع چگالی احتمال سازگار با داده‌ها، اولین گام در محاسبات قابلیت اطمینان به شمار می‌آید که نیازمند یک جامعه‌ی آماری کامل و دقیق می‌باشد. سه روش مهم برای مدل‌سازی قابلیت اطمینان عبارتند از [۱۱،۳]:

- الف) فرآیند تجدیدشونده (RP)^۱
- ب) فرآیند پواسون همگن (HPP)^۲
- ج) فرآیند پواسون ناهمگن (NHPP)^۳

برای معین کردن نوع داده‌ها و انتخاب روش مدل‌سازی مناسب، دو مرحله آزمون روی داده‌ها صورت می‌گیرد. در مرحله اول، داده‌ها برای وجود یا عدم وجود روند مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و با توجه به نوع داده‌ها از روش‌های مختلف برای تحلیل قابلیت اطمینان استفاده می‌شود. در صورتی که بین داده‌ها روند وجود داشته باشد از فرآیند پواسون ناهمگن و در صورت عدم وجود روند، داده‌ها برای وجود یا عدم وجود همبستگی مورد بررسی قرار می‌گیرند. در صورت وجود همبستگی بین داده‌ها، روش‌های زیر مجموعه

¹ . Renewal Process

² . Homogenous Poison Process

³ . Nonhomogeneous Poison Process

فرآیند پواسون همگن و در صورت عدم وجود روند و همبستگی (مستقل و مانا)^۱ از فرآیندهای تجدیدشونده و آمار کلاسیک استفاده می‌شود. فرایند کلی برای انتخاب روش مدل‌سازی و تحلیل قابلیت اطمینان در شکل ۲-۳ ارائه شده است. در ادامه انواع آزمون‌های روند و همبستگی سری (آزمون‌های مستقل و مانا بودن داده‌ها) و مدل‌سازی قابلیت اطمینان ارائه شده است.

۲-۴-۱- آزمون‌های مستقل و مانا بودن داده‌ها

۲-۴-۱-۱- آزمون‌های روند^۲

به الگوی خرابی یک دستگاه یا زیرسیستم روند گفته می‌شود که به صورت یکنواخت یا غیریکنواخت می‌باشد. در صورتی که تغییرات چندانی در TBF های یک دستگاه رخ ندهد، دستگاه را پایدار^۳ می‌نامند. در حالت یکنواخت در صورتی که زمان بین خرابی‌ها رو به افزایش باشد شرایط دستگاه رو به بهبود^۴ خوانده می‌شود. اگر فاصله زمانی بین خرابی‌ها با افزایش عمر دستگاه کاهش یابد، شرایط دستگاه رو به زوال^۵ خوانده می‌شود [۵].

برای کنترل وجود یا عدم وجود روند در داده‌ها، آزمون‌های مختلفی ارائه شده است که شامل دو آزمون تحلیلی و گرافیکی می‌شود. در بین آزمون‌های تحلیلی روش هندبوک نظامی^۶ از کاربرد بیشتری نسبت به سایر آزمون‌ها برخوردار است [۵، ۱۲].

^۱ . Independent and Identically Distributed

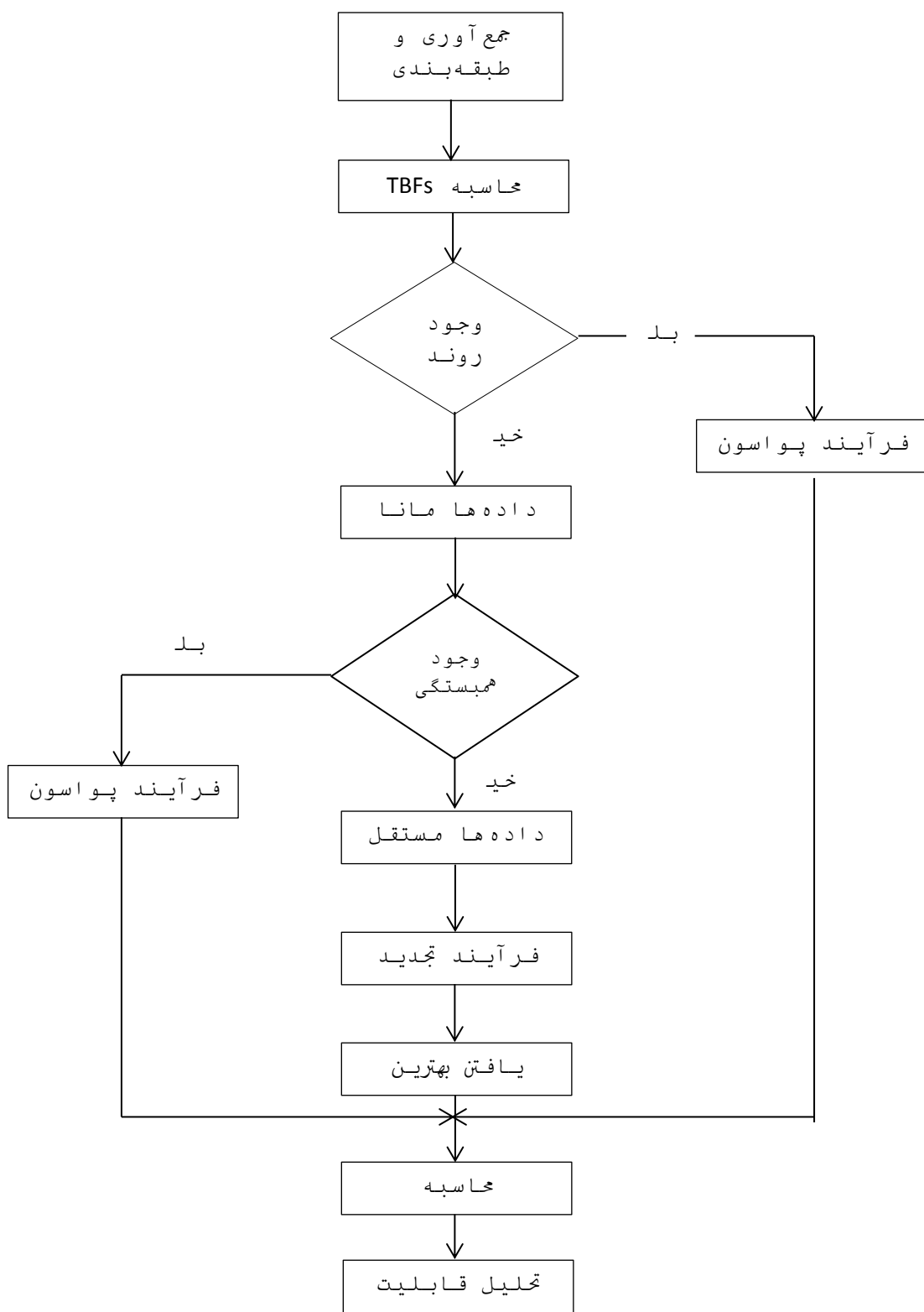
^۲ . Trend Test

^۳ . Stable

^۴ . Improving System

^۵ . Deteriorating System

^۶ . Military Handbook Test

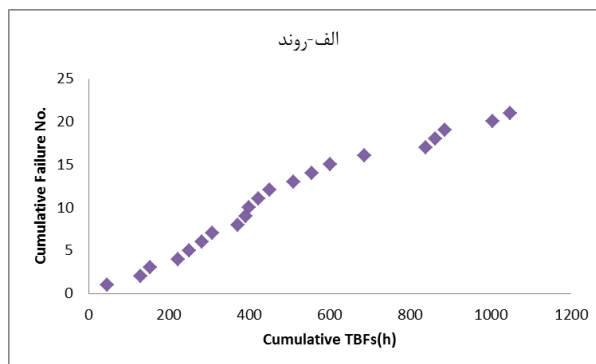


شکل ۲-۳- الگوریتم انتخاب روش مناسب برای مدل سازی قابلیت اطمینان [۷،۵،۴]

در آزمون نظامی ارزیابی وجود روند در داده‌ها با استفاده از محاسبه یک شاخص آماری (U) انجام می‌شود [۷،۵،۴].

$$U=2 \sum_{i=1}^{n-1} \ln(T_n/T_i) \quad (۱۱-۲)$$

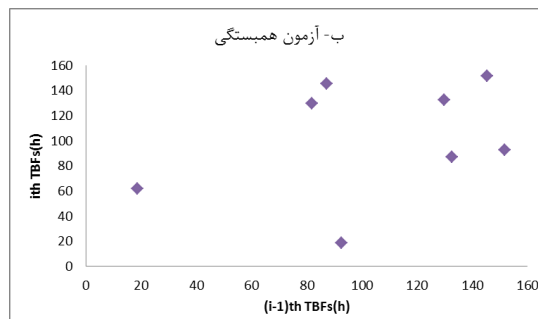
که در آن، n تعداد خرابی، T_n زمان آخرین خرابی، T_i زمان خرابی i ام می‌باشد. در این روش فرض صفر این است که داده‌ها از فرآیند پواسون ناهمگن تبعیت نمی‌کنند. بر مبنای این فرض، شاخص U دارای توزیع کی-دو (χ^2) با درجه آزادی $2(n-1)$ است. برای کنترل صحت فرض صفر، پس از محاسبه U برای داده‌ها، از جدول استاندارد توزیع کی-دو استفاده می‌شود. اگر U از عدد بحرانی قرائت شده در جدول استاندارد بزرگتر باشد، فرض صفر پذیرفته می‌شود. در صورتی که فرض موجود در سطح اعتماد ۹۰٪ پذیرفته شود، آنگاه مشخص می‌شود که داده‌ها دارای روند نیستند. در صورت رد این فرض، داده‌ها دارای روند تشخیص داده می‌شوند. آزمون گرافیکی نسبت به روش‌های تحلیلی کاربرد بیشتری دارند. در این آزمون شماره خرابی بر اساس تابعی از زمان تجمعی وقوع هر خرابی به صورت نقاط مجزایی رسم می‌شوند. نحوه‌ی قرارگیری این نقاط نشان دهنده‌ی نوع رفتار دستگاه و وجود یا عدم وجود روند در داده‌ها است. در صورت قرارگیری نقاط به صورت خطی، داده‌ها عاری از روند می‌باشند. وجود حالت تحدب، تقعر و یا به طور کلی انحنا در نحوه قرارگیری نقاط نشان دهنده‌ی روند در داده‌هاست [۵،۸]. عدم وجود روند در داده‌ها در شکل ۲-۴ نشان داده شده است. مهمترین مزیت این روش نسبت به روش تحلیلی تشخیص همزمان روند و نوع "رو به بهبود" یا "رو به زوال" بودن دستگاه است که در روش‌های تحلیلی قابل تشخیص نیست. در این پژوهش از هر دو روش برای بررسی روند در داده‌ها استفاده شده است.



شکل ۲-۴- آزمون گرافیکی جهت بررسی وجود یا عدم وجود روند

۲-۴-۱-۲- آزمون همبستگی سری^۱

هدف از این آزمون بررسی استقلال یا همبستگی بین داده‌ها می‌باشد. برای این مهم از روش گرافیکی استفاده می‌شود. در این روش n آمین داده‌های خرابی به صورت تابعی از $(n-1)$ آمین داده‌های خرابی در فضای دو بعدی رسم می‌شود. اگر نقاط رسم شده دارای نظم و ترتیب خاصی نباشد نتیجه گیری می‌شود که داده‌های متوالی دارای همبستگی نیستند. در غیر این صورت داده‌ها غیرمستقل خوانده می‌شود [۵]. در شکل ۲-۵ عدم وجود همبستگی بین داده‌ها نشان داده شده است. در این شکل با توجه به پراکندگی و عدم نظم در نحوه‌ی قرارگیری نقاط در نمودار، لذا همبستگی در بین داده‌ها وجود ندارد و داده‌های به صورت مستقل می‌باشند.



شکل ۲-۵- آزمون همبستگی سری

^۱ . Serial Correlation Test

۲-۴-۲- فرآیند تجدیدشونده

این فرآیند برای داده‌های مانا و مستقل بکار برده می‌شود. در این فرآیند از آمار کلاسیک به منظور بدست آوردن بهترین تابع توزیع برای داده‌های زمانی بین رخدادها استفاده می‌شود [۵]. درجدول ۱-۲ تعدادی از توابع توزیع پیوسته که در تحلیل قابلیت اطمینان کاربرد بیشتری دارند، ارائه شده‌اند. برای بررسی میزان تطابق توابع توزیع بر داده‌های آماری از آزمون‌های آماری تطابق برازش^۱ استفاده می‌شود. سه آزمون اصلی این آمار عبارتند از: روش آزمون مربع کی^۲، کلموگروف-اسمیرنوف^۳ (K-S) و روش حداقل مربعات^۴. در این بین، روش (K-S) بیشترین کاربرد را در بررسی تطابق توابع توزیع دارد [۵، ۹، ۱۳].

۲-۴-۳- فرآیند پواسون

یک فرآیند تصادفی شمارشگر است که برای وقوع رخدادهای تصادفی بر روی یک بازه زمانی یا یک فاصله مکانی تعریف می‌شود [۵].

۲-۴-۴- فرآیند قانون توان^۵

در مهندسی قابلیت اطمینان یکی از پرکاربردترین انواع فرآیندهای پواسون، فرآیند قانون توان می‌باشد که در مدل‌سازی رفتار خرابی ماشین‌آلات از توانایی بالایی برخوردار است. این روش برای مطالعه قابلیت اطمینان دستگاه‌های تعمیر پذیر بکار می‌رود. کرو^۶ این فرآیند را به صورت یک فرآیند پواسون ناهمگن فرموله کرده و تابع نرخ خرابی را به صورت تابعی از زمان به شکل زیر ارائه کرد [۱۴]:

^۱ . Goodness-of-fit- test

^۲ . χ^2 test

^۳ . Kolmogorov-Smirnov test

^۴ . Least Squares

^۵ . Power Law Process

^۶ . Crow

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \quad (12-2)$$

که در آن θ پارامتر مقیاس و β پارامتر شکل می‌باشند که طبق پیشنهاد کرو می‌توان آن‌ها را با استفاده از تخمین نزدیک‌ترین همسایگی و روابط زیر محاسبه نمود:

$$\hat{\beta} = \frac{n}{\sum_{i=1}^{n-1} \ln\left(\frac{t_n}{t_i}\right)} \quad (13-2)$$

$$\hat{\theta} = \frac{t_n}{n^{1/\beta}}$$

که در آن‌ها t_i ، زمان پیشامد i امین خرابی، t_n ، زمان کل عملکرد دستگاه و n ، تعداد کل خرابی دستگاه می‌باشد. در نهایت تابع چگالی خرابی و قابلیت اطمینان فرآیند قانون توان به صورت روابط زیر می‌باشند:

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}\right] \quad (14-2)$$

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}\right] \quad (15-2)$$

جدول ۲-۱- توابع توزیع پر کاربرد در تحلیل قابلیت اطمینان [۵، ۸، ۹، ۱۳]

نام تابع توزیع	تابع توزیع تجمعی	تابع قابلیت اطمینان	تابع نرخ خرابی
نمایی	$1 - e^{-\lambda t}$	$e^{-\lambda t}$	λ
ویبول	$1 - e^{-(\frac{t}{\alpha})^\beta}$	$e^{-(\frac{t}{\alpha})^\beta}$	$\frac{\beta}{\alpha} (\frac{t}{\alpha})^{\beta-1}$
گاما	$\frac{1}{\Gamma(\beta)} \int_0^{\lambda t} x^{\beta-1} e^{-x} dx$	$\int_t^\infty \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} t^{\alpha-1} e^{-\frac{t}{\beta}} dt$	$\frac{t^{\alpha-1} e^{-\frac{t}{\beta}}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha) [1 - \Gamma(\frac{t}{\beta}; \alpha)]}$
نرمال	$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx$	$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_t^\infty e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx$	$\frac{\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(\frac{t-\mu}{\sigma})^2}}{\int_t^\infty \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(\frac{x-\mu}{\sigma})^2} dx}$
لاگ نرمال	$\int_{-\infty}^{(lnt-\mu)/\sigma} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx$	$1 - \int_{-\infty}^{(lnt-\mu)/\sigma} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx$	$\frac{\varphi(\frac{lnt-\mu}{\sigma})}{\sigma t * R(t)}$

۲-۵- شبیه سازی قابلیت اطمینان^۱

امروزه با پیچیده تر شدن دستگاه ها و سیستم های مهندسی، مسأله مدیریت و ارزیابی آن ها نیز پیچیده تر شده و نیازمند ابزارهای کارآمدتری است. پیچیدگی های مذکور، حاصل اندرکنش و ارتباطات داخلی اجزای سیستم ها بوده و تغییر در یکی از این بخش ها تغییرات زیادی در سایر بخش ها و در کل سیستم ایجاد می کند. علم تحلیل سیستم ها، به ارزیابی این تغییرات و شدت آن ها می پردازد [۵]. یکی از ابزارهای توانمند در زمینه تحلیل سیستم ها، شبیه سازی است.

^۱ . Reliability Simulation

چنانچه شرح داده شد، مدل‌سازی قابلیت اطمینان در نهایت منجر به پیش‌بینی قابلیت اطمینان در هر لحظه از عملکرد دستگاه می‌شود. به طور کلی چهار مشکل عمده در مدل‌سازی قابلیت اطمینان دستگاه‌های بزرگ مقیاس به وجود می‌آید [۱۵]:

- ۱- شبکه قابلیت اطمینان ممکن است بسیار پیچیده باشد
 - ۲- زیر سیستم‌ها ممکن است دارای توابع چگالی خرابی متفاوتی باشند
 - ۳- زیرسیستم‌ها ممکن است پس از تعمیر دارای توابع خرابی دلخواهی باشند
 - ۴- داده‌های مربوط به زیر سیستم‌ها ممکن است کافی نباشند
- از طرفی، به دلیل ماهیت آماری، قابلیت اطمینان همواره با عدم اعتماد و عدم قطعیت^۱ همراه است. لذا اطلاع از میزان قطعیت قابلیت اطمینان محاسبه شده برای دستگاه در یک زمان مشخص، امری مهم و ضروری است [۵].

باتوجه به مشکلات مذکور، همواره متخصصان به دنبال راه چاره‌ای برای رفع این موارد و بهبود تحلیل قابلیت اطمینان بوده‌اند. یکی از راهکارهای عملی و جدی برای رفع این مشکلات، شبیه‌سازی قابلیت اطمینان است. در شبیه‌سازی قابلیت اطمینان، قابلیت اطمینان به عنوان یک سیستم مجازی در نظر گرفته می‌شود. این در حالی است که، از دیدگاه مدل‌سازی کلاسیک، قابلیت اطمینان یک مشخصه سیستم است. شبیه‌سازی قابلیت اطمینان به دو روش عمده قابل اجرا است [۱۵]:

الف) روش ترتیبی^۲: این روش تمامی بازه‌های زمانی موجود در محدوده شبیه‌سازی شده را به صورت مرتب (به ترتیب) آزموده و محاسبه می‌کند.

^۱ . Uncertainty

^۲ . Sequential

ب) **روش تصادفی^۱**: این روش با انتخاب تصادفی بازه‌های زمانی موجود، محاسبات مربوط به شبیه‌سازی را انجام می‌دهد.

روش تصادفی که با نام "شبیه‌سازی مونت کارلو"^۲ شناخته می‌شود، یک ابزار توانمند برای شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده و تعیین سطح اطمینان خروجی مدل‌های قابلیت اطمینان است که بر مبنای مدل‌های احتمال و تولید اعداد تصادفی کار می‌کند [۱۵]. در ادامه این بحث برای آشنایی بیشتر، روش مونت کارلو به صورت عمومی ارائه شده و سپس روش‌های مونت کارلو مورد استفاده در شبیه‌سازی قابلیت اطمینان توضیح داده خواهند شد.

۲-۵-۱- شبیه‌سازی مونت کارلو

روش شبیه‌سازی مونت کارلو در دهه ۱۹۴۰ در طی تحقیقات برای ساخت بمب اتمی برای اولین بار در آزمایشگاه ملی لاس آلاموس^۳ برای مطالعه پخش‌شدگی تصادفی نوترون‌ها استفاده شد. روش مونت کارلو با تولید اعداد تصادفی یا شبه تصادفی، از توزیع چگالی مربوط به هر یک از اجزای سیستم نمونه‌گیری کرده و با قرار دادن این نمونه‌ها در مدل نهایی سیستم، توزیع خروجی را به دست می‌دهد و برای هر نوع توزیع ورودی و خروجی قابل استفاده است [۵]. این روش در حقیقت با استفاده از مدل احتمالاتی سیستم و شبیه‌سازی متغیرهای تصادفی، یک راه‌حل اساسی برای مسائل ریاضی و فنی ارائه می‌کند. از جمله مهم‌ترین ویژگی‌های این روش می‌توان به انعطاف‌پذیری بالا و عدم وابستگی به ابعاد سیستم اشاره نمود. گام‌های اجرای شبیه‌سازی مونت کارلو به شرح زیر است [۱۶]:

۱- تعریف تابع توزیع احتمال برای هر یک از متغیرهای ورودی با استفاده از داده‌های تجربی

^۱ . Random

^۲ .Monte Carlo Simulation

^۳ . Los Alamos

۲- نمونه‌گیری تصادفی از توزیع احتمال هر متغیر ورودی

۳- استفاده از مقادیر انتخاب شده به عنوان پارامترهای ورودی و محاسبه خروجی

۴- تکرار گام‌های (۲) و (۳) تا جایی که یک توزیع احتمال پایدار برای خروجی حاصل شود

۵- محاسبه احتمال رخداد خروجی با مقدار دلخواه با استفاده از هیستوگرام به دست آمده

فرض کنیم یک دستگاه متشکل از چهار بخش مجزا (زیر سیستم) که به صورت سری کار می‌کنند را در اختیار داریم و توابع $F_1(t), F_2(t), F_3(t), F_4(t)$ به ترتیب توابع توزیع تجمعی خرابی مربوط به هر زیرسیستم هستند. مدل قابلیت اطمینان این دستگاه را در حالت کلی می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$R(t) = (1 - F_1(t))(1 - F_2(t))(1 - F_3(t))(1 - F_4(t)) \quad (۱۶-۲)$$

برای شبیه‌سازی باید با استفاده از توابع تولیدکننده اعداد تصادفی، اعدادی بین صفر و یک انتخاب کرده و زمان t متناظر با هر زیر سیستم را استخراج کرد و سپس این زمان‌ها را در معادله فوق قرار داده و قابلیت اطمینان دستگاه را تعیین نمود. این عمل برای تعداد دفعات زیادی به طور مرتب تکرار می‌شود و در نهایت هیستوگرام قابلیت اطمینان دستگاه به دست می‌آید. اما در عمل این امر و عملیات ریاضی فوق امکان اجرا ندارند. زیرا، طبق رابطه فوق، مدل نهایی به دست آمده از شبیه‌سازی قابلیت اطمینان دستگاه خود تابعی از توابع تجمعی خرابی‌های زیر سیستم‌ها است. حال مشکل این است که مشخص نمی‌شود که قابلیت اطمینان به دست آمده مربوط به چه زمانی (t) است. بنابراین، از مونت کارلو کلاسیک نمی‌توان در شبیه‌سازی قابلیت اطمینان استفاده کرد.

۲-۵-۲- الگوریتم‌های مونت کارلو برای شبیه‌سازی قابلیت اطمینان

روش جامع برای شبیه‌سازی مونت کارلو در سال ۱۹۶۵ توسط مور^۱ ارائه شد ولی این روش برای اولین بار در سال ۱۹۶۰ توسط ارکاند^۲ در کشور آمریکا، با تعیین سطح اعتماد قابلیت اطمینان، وارد حیطه مهندسی اطمینان شد. در سال ۱۹۶۱ بورت و ویلز^۳ شبیه‌سازی مونت کارلو را برای تعیین سطح اعتماد استفاده کردند و روشی را برای شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده با تابع خرابی نمایی ارائه کردند. برنهورف^۴ در سال ۱۹۶۳ از شبیه‌سازی قابلیت اطمینان مونت کارلو را در مرکز تکنولوژی نیروی هوایی آمریکا مورد مطالعه قرار داد. وی و دانشجویانش در طی ۱۵ سال، مطالعات گسترده و بنیادی در این زمینه انجام داده و روش‌های مختلفی را توسعه دادند [۵].

امروزه شبیه‌سازی قابلیت اطمینان به طور گسترده در سیستم‌های برق (قدرت)، مهندسی عمران، مهندسی هسته‌ای و مکانیک آماری کاربرد دارد. هریک از روش‌های ارائه شده، به شبیه‌سازی نوع خاصی از مسائل قابلیت اطمینان و سیستم‌های مختلف پرداخته‌اند. اما در این میان روش‌های عمومی‌تر و جامع‌تری وجود دارند که بیشتر مورد توجه و استفاده قرار می‌گیرند. تمامی تحقیقات گذشته بر روی تجهیزات مهندسی را می‌توان به طور کلی در دو بخش مورد مطالعه قرار داد: شبیه‌سازی دستگاه‌های تعمیرپذیر و شبیه‌سازی دستگاه‌های غیرقابل تعمیر. شبیه‌سازی دستگاه‌های تعمیرپذیر به مراتب مشکل‌تر از دستگاه‌های تعمیرناپذیر می‌باشد. لذا، تحقیقات و روش‌های ارائه شده برای سیستم‌های غیرقابل تعمیر بیشتر از روش‌هایی است که برای دستگاه‌های تعمیرپذیر ارائه شده است.

^۱ . Moore

^۲ . Orkand

^۳ . Burennett & Wales

^۴ . Bernhoff

پنج روش به عنوان روش‌های پرکاربرد و شناخته‌شده در مهندسی قابلیت اطمینان مطرح می‌باشند و سایر روش‌ها در حد پیشنهاد و راه‌حلی برای موارد بسیار خاص باقی مانده‌اند. نام و موارد کاربرد پنج روش پرکاربرد به طور خلاصه در جدول ۲-۲ ارائه شده است. روش‌های ذکر شده در جدول ۲-۲، راه‌حل‌های مناسبی برای رفع مشکلات موجود در ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های پیچیده ارائه می‌نمایند. در مجموع این روش‌ها دارای مزایایی به شرح زیر می‌باشند [۸،۵]:

الف) قابل استفاده در ساختارهای پیچیده

ب) تعیین دسترس‌پذیری سیستم‌ها و MTBF سیستم‌های غیرقابل تعمیر

ج) استفاده از برنامه‌نویسی کامپیوتری در این روش‌ها

د) تعیین بازه‌ی قابلیت اطمینان با سطح اعتماد مشخص

جدول ۲-۲- روش‌های شبیه‌سازی قابلیت اطمینان مونت کارلو قابل استفاده در سیستم‌های غیرقابل تعمیر [۵]

نام روش	ارائه دهندگان	موارد کاربرد
K-R	Kamat & Riley 1975	شبیه سازی قابلیت اطمینان هر نوع سیستم با ساختار آزاد
R-M	Rice & Moore 1983	شبیه سازی قابلیت اطمینان سیستم های پیچیده و دارای زیرسیستم های دارای خرابی صفر
C-H	Chao & huang 1987	قابل استفاده برای کاهش خطا در حد بالای قابلیت اطمینان روش R-M
L-D-L	Lin et al 1988	سیستمهای دارای توزیع خرابی دو جمله ای
L-D	Lin & Donaghy 1993	روش ترکیبی بین مونت کارلو و روش گرافیکی "دیگرام بلوکی قابلیت اطمینان" و عدم ارائه بازه‌های سطح اعتماد برای قابلیت اطمینان

در دستگاه‌های تعمیرپذیر، شبیه‌سازی با دشواری‌هایی نسبت به دستگاه‌های غیرقابل تعمیر همراه است. شبیه‌سازی تنها راه تعیین سطح اعتماد محاسبات قابلیت اطمینان در سیستم‌های تعمیرپذیر به شمار می‌رود.

تاکنون شبیه‌سازی قابلیت اطمینان دستگاه‌های تعمیرپذیر توسط محققانی مورد مطالعه قرار گرفته و روش‌های محدودی برای این منظور ارائه شده است. در میان روش‌های مذکور، روش کامات و فرانزمیر عمومی‌ترین روش به حساب می‌آید. این روش که بر مبنای مفهوم و تئوری روش K-R ارائه شده، از سهولت بالا و زمان اجرای کمتری برخوردار است [۱۵].

۲-۵-۳- روش شبیه‌سازی قابلیت اطمینان مونت کارلو K-R

در روش K-R فرض می‌شود زیرسیستم‌های یک دستگاه مستقل از هم بوده و غیرقابل تعمیر می‌باشند. همچنین برای شروع این الگوریتم، توابع توزیع داده‌های خرابی و پارامترهای آماری مربوط به هر زیرسیستم باید تعیین شده باشد. این روش برای محاسبه قابلیت اطمینان با سطح اعتماد مشخص، مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۷، ۵]. گام‌های اجرای این روش برای یافتن بازه قابلیت اطمینان سیستم در زمان t با سطح اعتماد مشخص به شرح زیر است:

گام اول) یافتن تمامی مسیرها شامل زیرسیستم‌های مختلف، که کل سیستم را از ابتدا به انتها می‌رسانند.

گام دوم) تولید زمان‌های خرابی تصادفی (t_i) با استفاده از تابع توزیع زمان‌های خرابی هر سیستم i نشان دهنده i امین زیر سیستم می‌باشد).

گام سوم) مقایسه t_i با t برای تمامی زیر سیستم‌ها اگر $t_i > t$ باشد این امر نشان دهنده این است که در زمان t زیرسیستم به خوبی کار می‌کند و اگر $t_i < t$ باشد نشان دهنده آن است که زیرسیستم مورد نظر در زمان t خراب است.

گام چهارم) تخمین این که آیا کل سیستم در زمان t در حال کار است یا به دلیل خرابی برخی از زیرسیستم‌ها (با توجه به نتایج گام ۳) از کار افتاده است. برای این منظور زیر سیستم‌های موجود در کوتاه‌ترین مسیر موجود در سیستم، از دیدگاه گام سوم کنترل می‌شوند، حال اگر تمامی اجزاء، در وضعیت عملیاتی باشند آن‌گاه سیستم درست کار می‌کند. اگر در کوتاه‌ترین مسیر، یک زیرسیستم یا بیشتر خراب باشند، آن‌گاه آن مسیر خاص در سیستم، در زمان t خراب است. در مرحله بعدی، مسیرهای دیگر کنترل می‌شوند تا یک مسیر غیر خراب کشف شود. اگر حداقل یک مسیر غیرخراب در کنترل سیستم یافت نشود، آن‌گاه کل سیستم در زمان t دچار خرابی است.

گام پنجم) تکرار گام‌های دوم، سوم و چهارم برای m بار. در طی این تکرار، تعداد دفعات خرابی و تعداد دفعات سالم بودن سیستم شمارش می‌شود. در این حالت رابطه زیر برقرار است:

$$m = n_S(t) + n_F(t) \quad (۱۷-۲)$$

که در آن ، $n_S(t)$ تعداد دفعات عدم خرابی در کل دفعات تکرار و $n_F(t)$ تعداد دفعات خرابی در کل دفعات تکرار می‌باشند.

گام ششم) تخمین قابلیت اطمینان در زمان t با استفاده از رابطه :

$$\hat{R}(t) = \frac{n_S(t)}{n_S(t) + n_F(t)} \quad (۱۸-۲)$$

خروجی شبیه‌سازی از نوع توزیع دو جمله‌ای است. با توجه به شباهت‌های توزیع نرمال و توزیع دو جمله‌ای، بازه‌های قابلیت اطمینان با سطح اعتماد $100(1-\gamma)\%$ در زمان t با رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$[R_L(t), R_U(t)] = \hat{R}(t) \pm z_\gamma \frac{\hat{R}(t)(1-\hat{R}(t))}{[n_S(t) + n_F(t)]^{1/2}} \quad (19-2)$$

که در آن، $R_L(t)$ نشان‌دهنده حد پائین قابلیت اطمینان، $R_U(t)$ حد بالای قابلیت اطمینان و z_γ برابر است با 100γ درصد مساحت دو طرفه زیر منحنی توزیع نرمال با مقدار میانه صفر و واریانس یک است.

با استفاده از روش مونت کارلو، به راحتی می‌توان قابلیت اطمینان را در زمان‌های مختلف و در سطح اعتماد مطلوب تعیین نمود. اطلاع از میزان قطعیت قابلیت اطمینان محاسبه شده، یک هدف عالی در تمامی مطالعات و تکنیک‌های تحلیل قابلیت اطمینان به حساب می‌آید.

۲-۶- نتیجه‌گیری

در این فصل، مفاهیم پایه مورد استفاده در قابلیت اطمینان معرفی شده و مورد بحث قرار گرفتند. همچنین، مفاهیم شبیه‌سازی قابلیت اطمینان و مزایا و معایب روش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفتند. در فصل بعدی سابقه‌ی علمی موضوع بررسی شده است.

فصل سوم

سابقه‌ی علمی موضوع

۳-۱- مقدمه

قابلیت اطمینان یک شاخص عمومی برای ارزیابی عملکرد سیستم‌های مختلف مهندسی است. به رغم اینکه مفهوم قابلیت اطمینان برای اولین بار در سال ۱۹۳۰ ارائه شده است، اولین کاربردهای جدی مهندسی قابلیت اطمینان به جنگ جهانی دوم برمی‌گردد. در طی جنگ جهانی دوم، آلمان‌ها برای بهبود شرایط عملیاتی موشک‌های V_1 و V_2 خود از مفاهیم قابلیت اطمینان استفاده کردند. پس از آن تاریخ، قابلیت اطمینان به سرعت در کارهای نظامی و سپس به طور بسیار گسترده‌ای در تمامی شاخه‌های مهندسی از جمله هوا فضا، تسلیحات نظامی، صنعت حمل و نقل (قطار، کشتی و...)، تولید و انتقال برق، مخابرات، نیروگاه‌های اتمی و غیره مورد استفاده قرار گرفته است. در این فصل تحقیقات انجام شده در زمینه قابلیت اطمینان سیستم‌ها و ماشین‌آلات معدنی مورد مطالعه و مرور اجمالی قرار می‌گیرند.

۳-۲- تحقیقات قابلیت اطمینان در حوزه مهندسی معدن

اولین کاربردهای قابلیت اطمینان در مهندسی معدن به اواخر دهه ۱۹۶۰ برمی‌گردد. با این وجود اولین کاربرد واقعی قابلیت اطمینان در عملیات معدنکاری به اواسط و اواخر دهه ۱۹۸۰ برمی‌گردد که شکلی پیشرفته و مهندسی به خود گرفته بود. محققان تاکنون تحقیقاتی بر روی LHD^۱ها، لاستیک کامیون‌ها، دراگلاین، شیرر، سیستم ترابری، سیستم تولید، سیستم تهویه، سیستم معدنکاری زیرزمینی و ... در حوزه مهندسی معدن در رابطه با قابلیت اطمینان انجام داده‌اند. در ادامه، تحقیقات مهم و تأثیرگذار صورت گرفته، به طور مختصر مورد بررسی قرار گرفته است.

دهه ۱۹۸۰ و به ویژه ۱۹۹۰ را دهه ثبات و نیز گسترش مدل‌سازی‌های آماری دانست. پس از سال ۲۰۰۰ با افزایش رویکرد جهانی به ماشین‌آلات و مهندسی قابلیت اطمینان، مهندسی معدن نیز با رویکرد

^۱ . Load-Haul-Dump

قوی‌تری نسبت به چهار دهه گذشته رو به رو گردید. در مجموع می‌توان دهه ۱۹۸۰ و دهه ۲۰۰۰ را فعال‌ترین سال‌های تحقیقاتی در این زمینه دانست [۵].

کومار و گرانهولم^۱ در سال ۱۹۸۸ به طور جدی مفاهیم پایه، روش‌های تحلیل قابلیت اطمینان و کاربردهای آن‌ها را در مهندسی معدن به طور عمومی مطرح نمودند [۱۸].

یک سال بعد، پاولویچ^۲ اولین کتاب در زمینه قابلیت اطمینان سیستم‌های معدنی را در سال ۱۹۸۹ به چاپ رسانید [۱۹].

موخوپادیای^۳، برای اولین بار قابلیت اطمینان مجموعه عملیات استخراج در معادن روباز را مورد ارزیابی قرار داد. وی با در نظر گرفتن نرخ خرابی ثابت برای کلیه زیر سیستم‌های معدن، قابلیت اطمینان و میانگین زمان بین خرابی‌های معدن را در دو حالت ذکر شده محاسبه نمود [۲۰].

کومار^۴ در سال ۱۹۹۰، نتایج مطالعات خود را بر روی تحلیل و مدل‌سازی قابلیت اطمینان دستگاه LHD در معادن ارائه نمود. در این تحقیق، داده‌های مربوط به خرابی‌های شش دستگاه دیزلی در معدن سنگ آهن کایرونا مورد استفاده و ارزیابی قرار گرفتند و با استفاده از داده‌های خرابی، قابلیت اطمینان کل دستگاه محاسبه و تدابیر تعمیر و نگهداری پیشگیرانه برای بهبود وضعیت عملیاتی دستگاه ارائه شد [۲۱]. در سال ۱۹۹۳ کومار و هوانگ^۵، قابلیت اطمینان سیستم تولید معدن زیر زمینی کایرونا سوئد را مورد تحلیل و بررسی قرار دادند [۲۲]. نتایج تحقیق نشان داد که از دیدگاه قابلیت اطمینان، LHD ها بحرانی‌ترین زیرسیستم در معدن بوده و بیشترین نقش را در قابلیت اطمینان و تولید معدن دارند.

¹. Granholm

². Pavlovic

³. Mukhopadhyay

⁴. Kumar

⁵. Huang

سامانتا^۱ و همکارانش علل خرابی‌ها و عوامل توقف تولید مربوط به شاول را با استفاده از روش درخت خطا تحلیل نمودند [۱۲].

هال و دانشمند^۲ در سال ۲۰۰۳ قابلیت اطمینان ماشین‌آلات سیار موجود در یک معدن زیرزمینی در کشور شیلی را مدل‌سازی نمودند. برای این منظور از داده‌های تعمیر و نگهداری ۱۵ ماه معدن استفاده شد. در تحلیل‌های آماری و مدل‌سازی، برای کامیون‌ها سه زیرسیستم: موتور، بخش‌های حرکتی و هیدرولیکی در نظر گرفته شده و بهترین توزیع مرتبط با هر کدام به دست آمده است. در نهایت با در نظر گرفتن شبکه سری بین کلیه اجزاء، مدل قابلیت اطمینان برای هر کامیون ارائه شد [۲۳].

در سال ۲۰۰۵، کومرال^۳ با تکیه بر مفهوم قابلیت اطمینان، سیستم تولید یک معدن زیرزمینی را با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی کرد [۲۴]. وی برای این منظور، عملیات استخراج در معادن زیرزمینی را شامل پنج زیر سیستم: حفاری، آتشکاری، بارگیری، باربری و تهویه در نظر گرفت. نتایج تحقیق کومرال نشان داد که در بهترین حالت، قابلیت اطمینان حفاری ۰/۸۹، آتشکاری ۰/۸۷، بارگیری ۰/۸۹، باربری ۰/۹۶ و تهویه ۰/۹۵ است.

طی تحقیق دیگری در سال ۲۰۰۵، قدرتی برای اولین بار در مهندسی معدن، با استفاده از روش "مدل خطر متناسب"^۴ تاثیر پارامترهای محیطی همچون دما و رطوبت را بر قابلیت اطمینان و نیز تعداد قطعات یدکی مورد نیاز را مطالعه نمود. مطالعات موردی این تحقیق بر روی جک‌های هیدرولیکی LHDها و سیستم ترمز لودرهای معدنی انجام شده است [۲۵].

1. Samanta

2. Hall & Daneshmend

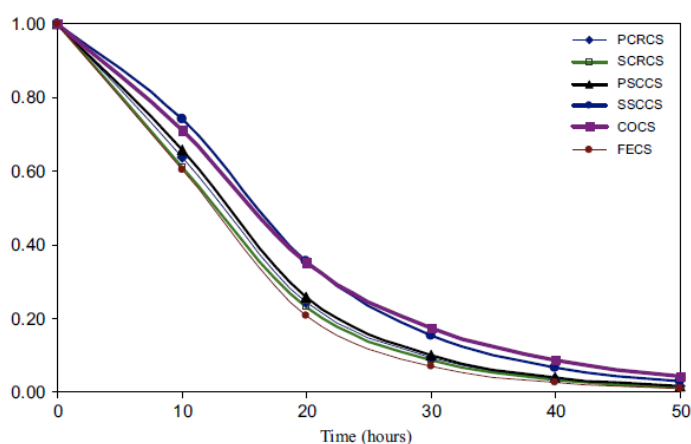
3. Kumral

4. Proportional Hazard Model

گوپتا و بهاتاچاریا در سال ۲۰۰۷ با استفاده از روش تحلیل درخت خطا، تمامی دلایل خرابی مربوط به ناو زنجیری (AFC) را مورد مطالعه قرار دادند و منحنی قابلیت اطمینان این دستگاه را ارائه نمودند [۲۶].

در سال ۲۰۰۸، Elevli و همکارانش، قابلیت تعمیرپذیری هفت شاول کابلی را مورد بررسی و مطالعه قرار دادند و نشان دادند که دو شاول کابلی در شرایط بحرانی هستند و نیاز به تمهیدات ویژه برای تعمیر و نگهداری دارند [۲۷].

در سال ۲۰۰۸، برآبادی^۱ و کومار طی یک تحقیق قابلیت اطمینان سیستم تولید کارخانه فرآوری بوکسیت جاجرم را مورد بررسی قرار دادند [۴]. شش زیر سیستم اصلی شامل: سیستم خوراک‌دهنده (FECS)، نوار نقاله (COCS)، سنگ‌شکن اولیه (PCRCS)، سنگ‌شکن ثانویه (SCRCS)، سرند اولیه (PSCCS) و سرند ثانویه (SSCCS) برای کارخانه در نظر گرفته شدند. قابلیت اطمینان کلی کارخانه بوکسیت جاجرم پس از بدست آوردن مدل‌های قابلیت اطمینان برای زیرسیستم‌ها، محاسبه شد. همچنین برنامه‌ای مدون و بهینه برای زمان‌های تعمیر و نگهداری پیشگیرانه با در نظر گرفتن سطوح قابلیت اطمینان مختلف ارائه شد. نتایج کلی این تحقیق به صورت شکل ۳-۱ می‌باشد.



شکل ۳-۱- تغییرات شاخص قابلیت اطمینان زیرسیستم‌های کارخانه‌ی بوکسیت جاجرم [۴]

¹. Barabady

در تحقیق دیگری در سال ۲۰۰۹، شارما و همکارانش قابلیت اطمینان سیستم تولید در معادن روباز را مورد مطالعه قرار داده و با مطالعه تأخیرهای پیش آمده شاول، سنگ‌شکن، آتشکاری و غیره، اعلام کردند که هزینه متوسط برای تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات مورد مطالعه ۶/۱۲ میلیون دلار در سال است [۲۸].

جلالی و فروهنده، در سال ۲۰۱۱ برای اولین بار روش مارکوف را برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم تهویه تونل زاگرس به کار بردند. در این تحقیق هفت حالت مختلف برای وضعیت عملیاتی بادبزن‌های موجود در نظر گرفته شد. قابلیت اطمینان سیستم تهویه در صورتی که دو بادبزن اصلی فعال و دو بایزن فرعی در حالت آماده بکار باشند حدود ۸۹٪ بدست آمد [۲۹].

حسینی در سال ۲۰۱۱ در رساله‌ی دکتری خود به بررسی قابلیت اطمینان شیرر در معدن ذغال سنگ طبس پرداخت. وی نتایج حاصل از مدل‌سازی و شبیه‌سازی قابلیت اطمینان را با یکدیگر مقایسه کرد و در نهایت برنامه نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه را برای شیرر تدوین کرد. وی نشان داد که قابلیت اطمینان کل دستگاه پس از ۱۰۰ ساعت تقریباً به صفر می‌رسد [۵].

رحیم‌دل در سال ۲۰۱۲ قابلیت اطمینان دستگاه‌های حفاری را با تعریف کردن ۶ زیرسیستم برای دستگاه‌های حفاری معدن مس سرچشمه بدست آورد. همچنین برنامه‌ی تعمیر و نگهداری پیشگیرانه با در نظر داشتن سطح قابلیت اطمینان ۹۰٪ برای دستگاه‌های حفاری ارائه شد [۳۰].

کیاسری و همکاران در سال ۱۳۹۲ قابلیت اطمینان سیستم ترابری معدن مس سرچشمه را مورد بررسی قرار دادند و برنامه تعمیر و نگهداری را برای بهبود شرایط عملیاتی این سیستم ارائه دادند. طبق این تحقیق قابلیت اطمینان سیستم ترابری پس از ۲۰۰ ساعت به صفر می‌رسد و طبق برنامه تعمیر و نگهداری پیشنهادی، قابلیت اطمینان تا ۹۸ درصد بهبود می‌یابد [۳۱].

کهنه در سال ۱۳۹۳ قابلیت اطمینان سیستم تولید معدن سنگ آهن سیریز زرنده کرمان را مورد مطالعه قرار داد. سه بخش حفاری، بارگیری و باربری برای سیستم تولید معدن مذکور در نظر گرفته شد و مشخص شد قابلیت اطمینان سیستم تولید معدن پس از ۳۰۰ ساعت به صفر می‌رسد. همچنین برنامه تعمیر و نگهداری پیشگیرانه برای ارتقاء بخشیدن به سطح قابلیت اطمینان ارائه گردید [۱۳].

۳-۳- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

با توجه به تعداد زیاد مطالعات انجام شده، اهمیت این موضوع بیش از پیش احساس می‌شود. با گذشت زمان و پیشرفت تکنولوژی معدنکاری و ماشین‌آلات موجود در معادن، مطالعات به سمت مدل‌سازی سوق پیدا کرده است. مهمترین دلیل این موضوع را می‌توان هزینه‌های بالای تعمیر و نگهداری و نیز اهمیت میزان تولید در دهه اخیر دانست.

تاکنون تنها از روش FMEA در مطالعات قابلیت اطمینان ماشین‌آلات معدنی استفاده نشده است. همچنین روش مدل‌سازی آماری که روش اصلی و عمومی تحلیل قابلیت اطمینان به شمار می‌رود در حد بسیار مناسبی استفاده شده و پرکاربردترین روش در ماشین‌آلات معدنی به شمار می‌آید. در مقایسه بین روش‌های مختلف برای ارزیابی قابلیت اطمینان، روش شبیه‌سازی بصورت بسیار محدودی استفاده شده است، این موضوع در حالی است که این روش از سطح اعتماد بالاتری نسبت به سایر روش‌ها برای ارزیابی قابلیت اطمینان برخوردار است. در این تحقیق نیز از این روش برای ارزیابی قابلیت اطمینان استفاده شده است.

فصل چهارم

تعیین زیرسیستم‌های بخش بارگیری و باربری

۴-۱- مقدمه

یکی از اساسی‌ترین مراحل برای ارزیابی تحلیل قابلیت اطمینان، تعیین زیرسیستم‌های دستگاه‌های مرتبط با سیستم مورد مطالعه می‌باشد. همچنین تعیین زیرسیستم‌های دستگاه‌ها نیازمند شناخت کامل بخش‌های مختلف و نحوه عملکردی دستگاه می‌باشد. تعیین مناسب و دقیق زیرسیستم‌ها، زمینه ساز تحلیل و مدیریت مناسب دستگاه می‌باشد.

در این فصل، ابتدا مشخصات فنی دستگاه‌های مورد مطالعه معرفی و پس از آن زیرسیستم‌های مربوط به بخش بارگیری و باربری مشخص شده و نشان داده شده است که خرابی هر قطعه مربوط به کدام زیرسیستم می‌باشد.

۴-۲- طبقه بندی زیرسیستم‌های مربوط به دستگاه‌های بارگیری

سیستم بارگیری معدن طلای زرمهر متشکل از ۲۰ دستگاه بیل مکانیکی است که با مدل‌ها و ظرفیت‌های مختلف در جبهه کارهای این معدن، مشغول به کار می‌باشند. به علت حجم زیاد محاسبات و صرفه جویی در وقت، یک فضای نمونه از بین بیل‌ها انتخاب شد. باید در نظر داشت که هر تعداد دستگاه‌های مدنظر برای فضای نمونه مورد مطالعه بیشتر باشد جواب مسأله به واقعیت نزدیک‌تر خواهد بود. فضای نمونه متشکل از سه دستگاه بیل به مشخصات جدول ۴-۱ می‌باشد. ملاک‌هایی همچون شرکت سازنده، سال ساخت، قدرت دستگاه و ظرفیت بارگیری در انتخاب فضای نمونه تأثیر گذار بودند.

جدول ۴-۱- مشخصات فنی دستگاه‌های بخش بارگیری

نام دستگاه	توان (کیلووات)	ظرفیت جام (مترمکعب)	حداکثر ارتفاع دسترسی (متر)	وزن دستگاه (تن)
بیل مکانیکی PC220 کوماتسو	۱۲۵	۰/۹	۹/۶	۲۲/۸۴
بیل مکانیکی 300LCV دوسان	۱۹۷	۱/۲	۱۱	۲۹/۳
بیل مکانیکی 320LC-7 هیوندای	۲۷۸	۱/۴۵	۱۱/۲	۳۳

۴-۳- تعیین زیرسیستم‌های بیل‌های مکانیکی

با کسب اطلاعات کافی از شرایط فنی و شناسایی نقاط حساس و مهم دستگاه، زیرسیستم‌های مربوط به بیل‌ها تعیین شد. این زیرسیستم‌ها شامل بخش مکانیکی، بارگیری، حرکتی، برقی دستگاه می‌شود. تعیین این زیرسیستم‌ها بصورتی انجام شده که تمامی بخش‌های دستگاه را شامل شود و قابلیت تعمیر و نگهداری دستگاه را تا حد بالایی تحت تأثیر قرار دهد. معمولاً برای تعیین یک شبکه‌ی قابلیت اطمینان سعی می‌شود تا با کمترین تعداد زیرسیستم، بهترین ارزیابی صورت گیرد. در این تحقیق نیز این اصل رعایت شده است. با توجه به اینکه هر گونه خرابی در زیرسیستم‌های بیل باعث توقف دستگاه و قطع عملیات می‌شود، لذا شبکه قابلیت اطمینان بیل، سری در نظر گرفته شده است. این زیرسیستم‌ها در ادامه بطور کامل توضیح داده شده‌اند. شکل ۴-۱ نمای کلی بیل مکانیکی را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱- نمای کلی بیل مکانیکی

۴-۳-۱- زیرسیستم مکانیکی

این زیرسیستم مهمترین بخش در بیل‌های مکانیکی به شمار می‌آید. این زیرسیستم شامل موتور، پمپ مادر (هیدرولیک)، واترپمپ، رادیاتور، شلنگ‌های روغن و رادیاتور، پمپ گازوئیل، تسمه‌های کولر، دینام و موتور، شیشه و ... می‌باشد. بسیاری از هزینه‌های مربوط به تعمیر و نگهداری صرف این زیرسیستم در دستگاه می‌شود. این زیرسیستم نسبت به سایر زیرسیستم‌ها، از تعداد فراوانی بیشتری از لحاظ خرابی برخوردار است. شکل ۴-۲ بخشی از قطعات مربوط زیرسیستم مکانیکی را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲- بخشی از زیرسیستم مکانیکی بیل

۴-۳-۲- زیرسیستم بارگیری

این قسمت از دستگاه بیشترین تعامل با پمپ هیدرولیک دستگاه را دارد. این زیرسیستم از اجزای زیر تشکیل شده است:

- جک استیک و دکل
 - لورهای مربوط به بارگیری
 - باکت(جام) و متعلقات شامل: ناخن و پین
 - پین‌های استیک و دکل
- با توجه به سری بودن شبکه قابلیت اطمینان، خرابی در این زیرسیستم باعث توقف عملیات بارگیری توسط بیل خواهد شد. اجزای این زیرسیستم در شکل ۴-۳ نشان داده شده است.



شکل ۴-۳- اجزای تشکیل دهنده زیرسیستم بارگیری بیل مکانیکی

۴-۳-۳- زیرسیستم حرکتی

این زیرسیستم وظیفه‌ی جابجایی دستگاه در جبهه‌کار و تغییر سمت قرارگیری کابین اپراتور جهت عملیات بارگیری را دارد. این زیرسیستم شامل اجزای زیر می‌باشد:

- چرخ دنده خورشیدی
- چرخ زنجیری (شامل کفشک‌ها و پین‌ها)
- رولیک‌ها
- گردون
- چرخ دنده
- لورهای حرکتی

این زیرسیستم از تعداد کم فراوانی از لحاظ خرابی برخوردار است اما هزینه‌های مربوط به تعمیر و نگهداری این بخش بسیار بالا می‌باشد لذا بایستی شرایط تعمیر و نگهداری ویژه‌ای برای این زیرسیستم، در نظر گرفت. شکل ۴-۴ بخشی از زیرسیستم حرکتی بیل مکانیکی را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۴- زیرسیستم حرکتی بیل مکانیکی

۴-۳-۴- زیرسیستم برقی

این زیرسیستم شامل سیستم روشنایی، باطری، کابل های برق، دینام، سوئیچ، بوق، کوئل و ... می باشد. خرابی های این زیرسیستم از زمان تعمیر نسبتا کمی برخوردار هستند و همچنین فراوانی خرابی های آن در تمامی دستگاه های مورد مطالعه پایین بوده است.

۴-۴- طبقه بندی زیرسیستم های دستگاه های باربری

این بخش از سیستم ترابری معدن طلای زرمهر، متشکل از ۲۵ دستگاه کامیون ده چرخ می باشد که بصورت سری با بخش باربری در تعامل است. ظرفیت باربری همه ی کامیون ها بین ۱۸ تا ۲۲ تن (حدود ۱۰ متر مکعب) می باشد. بر اساس توضیحات مربوط به محدودیت در انتخاب تعداد بیشتر دستگاه ها برای مطالعه، فضای نمونه برای این بخش شامل سه دستگاه کامیون می باشد که بصورت موازی در بخش باربری با یکدیگر در تعامل می باشند. کامیون های مشغول بکار در این معدن بیشتر از نوع بنز و دنگ فنگ می باشند. فضای نمونه در نظر گرفته شده شامل دو دستگاه کامیون بنز و یک دستگاه دنگ فنگ می باشد. مشخصات فنی این دستگاه ها در جدول ۴-۲ ارائه شده است.

جدول ۴-۲- مشخصات فنی دستگاه های بخش باربری

نام دستگاه	توان	تناژ قابل حمل	قابلیت کارکرد تاشیب(درصد)	سال ساخت
دنگ فنگ	۱۹۸	۱۸	۱۴	۲۰۰۳
بنز ده چرخ	۲۱۰	۲۲		۲۰۱۱
بنز ده چرخ	۲۱۰			۱۹۹۲

۴-۵- تعیین زیرسیستم‌های کامیون

زیرسیستم‌های کامیون‌ها بطوری انتخاب شده که تمام خرابی‌ها مربوط به قطعات کامیون، زیرشاخه‌ی یکی از زیرسیستم‌های تعیین‌شده باشد. تعیین صحیح زیرسیستم‌ها، کمک شایانی به قابلیت دسترسی دستگاه می‌کند و بهره‌وری مربوط به دستگاه را افزایش می‌دهد. شبکه سری برای قابلیت اطمینان کامیون‌ها شامل زیرسیستم‌های مکانیکی، حرکتی و برقی می‌باشد. شکل ۴-۵ نمای کلی یک کامیون را در معدن طلای زرمهر نشان می‌دهد. این زیرسیستم‌ها در ادامه توضیح داده شده‌اند.



شکل ۴-۵- نمای کلی یک کامیون

۴-۵-۱- زیرسیستم مکانیکی

این سیستم شامل خرابی قطعات موتور، گیربکس، واترپمپ، رادیاتور، شلنگ‌های رادیاتور و روغن، پمپ روغن، جک کمپرس و ... می‌شود. فراوانی خرابی و هزینه‌ی مربوط به این زیرسیستم نسبت به سایر زیرسیستم‌ها بالاتر می‌باشد و لذا تمهیدات ویژه‌ای برای تعمیر و نگهداری این زیرسیستم بایستی در نظر گرفت.

۴-۵-۲- زیرسیستم حرکتی

قطعاتی همچون لاستیک، کوزه و کاسه ترمز، لنت، دیفرانسیل، جعبه فرمان، محورها، گاردون، اکسل و غیره، مربوط به زیرسیستم حرکت می‌باشند. خرابی در هر کدام از این قطعات باعث توقف دستگاه می‌شود. خرابی‌های ثبت شده برای این زیرسیستم نسبت به تعداد قطعات مربوط به این زیرسیستم بالا می‌باشد.

۴-۵-۳- زیرسیستم برقی

این زیرسیستم شامل استارت، باتری، دینام، کابل‌های برق، لامپ‌های روشنایی، آمپرهای نشان‌دهنده‌ی سطح دما، آب و روغن، بوق و ... می‌شود. فراوانی کم خرابی قطعات، از مشخصه‌های این زیرسیستم می‌باشد.

۴-۶- نتیجه‌گیری

در این فصل فضای نمونه در نظر گرفته شده برای هر دو بخش باربری و بارگیری تعیین و مشخصات فنی مربوط به هر دستگاه ارائه شد. پس از آن به شناسایی زیرسیستم‌های دستگاه‌های بارگیری و باربری پرداخته شد و قطعات مربوط به هر زیرسیستم طبقه‌بندی شد. بر اساس این زیرسیستم‌ها، برنامه تعمیر و نگهداری دستگاه صورت می‌گیرد و در صورت انتخاب درست زیرسیستم‌ها، قابلیت دسترسی دستگاه بالا می‌رود.

فصل پنجم

ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم ترابری معدن طلای زرمهر تربت حیدریه با

استفاده از روش‌های مارکوف، تحلیل آماری (مدل سازی) و شبیه سازی

۵-۱- مقدمه

در این فصل با توجه به طبقه‌بندی داده‌های جمع‌آوری شده، ابتدا تحلیل پارتو برای شناسایی بحرانی‌ترین زیرسیستم‌ها صورت گرفته است. پس از آن تحلیل قابلیت اطمینان سیستم ترابری معدن طلای زرمهر با استفاده از روش‌های مارکوف، مدل‌سازی و شبیه‌سازی انجام شد. در انتهای فصل نیز نتایج روش‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

۵-۲- طبقه‌بندی و جمع‌آوری داده‌های خرابی

مهمترین پارامتر برای ارزیابی قابلیت اطمینان داده‌های مربوط به خرابی زیرسیستم‌ها است و لذا بایستی حساسیت خاصی در تمامی مراحل جمع‌آوری، طبقه‌بندی و ارزیابی این داده‌ها صرف نمود.

در این پایان‌نامه، برای بررسی قابلیت اطمینان سیستم حمل‌ونقل معدن طلای زرمهر، داده‌های مربوط به کارکرد و تعمیر و نگهداری برای سه دستگاه بیل و سه دستگاه کامیون با مشخصات فنی متفاوت که در این معدن مشغول بکار هستند، جمع‌آوری شده است. این دستگاه‌ها بطور تصادفی برای فضای نمونه‌ای انتخاب شده‌اند. مشخصات فنی دستگاه‌های انتخاب شده برای فضای نمونه مطابق جدول ۵-۱ است.

جدول ۵-۱- مشخصات دستگاه‌های مورد مطالعه

نام دستگاه	نام اختصاری	ظرفیت جام (مترمکعب)	سال ساخت	کشور تولید کننده
بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو	EXC1	۰/۸	۲۰۰۸	ژاپن
بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان	EXC2	۱	۲۰۱۰	کره جنوبی
بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای	EXC3	۱/۲	۲۰۱۱	کره جنوبی
کامیون ده‌چرخ دنگ‌فنگ	TR1	۹	۲۰۰۳	چین
کامیون ده‌چرخ بنز	TR2	۱۱	۲۰۱۱	بنز
کامیون ده‌چرخ بنز	TR3	۱۰	۱۹۹۲	بنز

داده‌های مربوط به خرابی دستگاه‌ها طی مدت شش ماه از آذر ۱۳۹۲ الی خرداد ۱۳۹۳ در قالب فرم‌های مطابق جدول ۵-۲ جمع‌آوری شد. در مرحله بعد، زمان خرابی بین زیرسیستم‌های هر دستگاه (TBF)، زمان تعمیر (TTR)، فراوانی خرابی، شناسایی زیرسیستم‌های بحرانی و ... انجام شد. همچنین در جدول مذکور، نحوه‌ی محاسبه‌ی زمان بین خرابی مربوط به زیرسیستم حرکتی این دستگاه نشان داده شده است. اطلاعات مربوط به داده‌های خرابی‌های دستگاه‌ها در پیوست ارائه شده است.

جدول ۵-۲- نمونه‌ای از داده‌های جمع‌آوری شده

تاریخ	نوع دستگاه	زیرسیستم معیوب	نوع خرابی	مدت زمان کارکرد (دقیقه)
۱۳۹۲/۱۱/۱۳	EXC1	بارگیری	تعویض ناخن+جوشکاری	۲۱۵
۱۳۹۲/۱۱/۱۴	EXC1			۳۵۵
۱۳۹۲/۱۱/۱۵	EXC1			۴۱۰
۱۳۹۲/۱۱/۱۶	EXC1			۴۰۵
۱۳۹۲/۱۱/۱۷	EXC1	مکانیکی	تعویض روغن +فیلتر	۳۰۰
۱۳۹۲/۱۱/۱۸	EXC1		.	.
۱۳۹۲/۱۱/۱۹	EXC1			۴۱۰
۱۳۹۲/۱۱/۲۰	EXC1	حرکتی	لیور از کار افتاده	۳۶۵
۱۳۹۲/۱۱/۲۱	EXC1			۳۹۰
۱۳۹۲/۱۱/۲۲	EXC1		.	.
۱۳۹۲/۱۱/۲۳	EXC1			۳۹۰
۱۳۹۲/۱۱/۲۴	EXC1			۴۰۰
۱۳۹۲/۱۱/۲۵	EXC1	حرکتی	شکستگی کفشک	۳۷۵
۱۳۹۲/۱۱/۲۶	EXC1	برقی	بخاری خراب شده	۳۰۵

مجموع این اعداد =TBF = ۱۵۴۵ دقیقه

۵-۳- تحلیل پارتو^۱

این روش به منظور تعیین فراوانی خرابی‌های مربوط به زیرسیستم‌های هر دستگاه و شناسایی بحرانی‌ترین زیرسیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد. نمودار مربوط به خرابی‌های زیرسیستم هر دستگاه مطابق شکل‌های ۵-۱ و ۵-۲ می‌باشد. این تحلیل برای هر دو دستگاه بیل و کامیون مورد بررسی قرار گرفته که نتایج آن در نمودارهای زیر ارائه شده است.



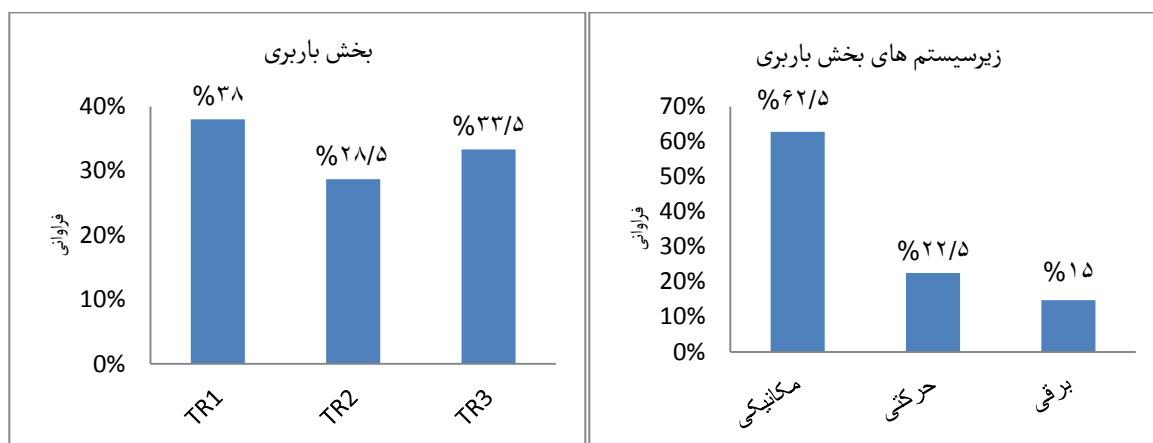
شکل ۵-۱- نمودارهای مربوط به تحلیل پارتو بخش بارگیری

مطابق نمودار شکل ۵-۱ در بخش بارگیری، زیر سیستم مکانیکی بیشترین فراوانی خرابی را دارد، و از این رو بحرانی‌ترین زیرسیستم شناخته می‌شود. در بخش بارگیری دو زیر سیستم حرکتی و برقی دستگاه بهترین شرایط کارکرد را دارند. با توجه به نمودار بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو دارای بیشترین مقدار خرابی در بین سایر بیل‌ها می‌باشد و در نتیجه بایستی نسبت به دیگر دستگاه‌های بارگیری مورد توجه بیشتری توسط گروه تعمیر و نگهداری قرار گیرد.

با توجه به نمودار شکل ۵-۲، در بخش باربری زیر سیستم مکانیکی بحرانی‌ترین زیر سیستم شناخته می‌شود و همچنین زیر سیستم برق دارای بهترین شرایط عملیاتی می‌باشد. همچنین در بخش باربری این

¹ . Pareto Analysis

معدن، کامیون دنگ‌فنگ با داشتن ۳۸٪ خرابی‌ها، بایستی نسبت به سایر دستگاه‌های باربری مورد توجه گروه تعمیر و نگهداری قرار گیرد. همچنین در برنامه تعمیر و نگهداری هر دو دستگاه (بیل و کامیون)، بایستی توجه بیشتری به بخش مکانیکی نسبت به سایر بخش‌ها صورت گیرد. در ادامه به مدل‌سازی و تحلیل قابلیت اطمینان زیرسیستم‌ها و در نتیجه قابلیت اطمینان کلی سیستم حمل‌ونقل (ترابری) این معدن پرداخته شده است.



شکل ۵-۲- نمودارهای مربوط به تحلیل پارتو بخش باربری

۴-۵- ارزیابی قابلیت اطمینان با استفاده از روش مارکوف

۴-۵-۱- روش مارکوف

در این پروژه برای تحلیل قابلیت اطمینان از روش زنجیره‌ی مارکوفی بر اساس اصول فرآیندهای احتمالاتی که بر مبنای اصول ریاضیاتی می‌باشد، استفاده شده است. روش مارکوف یکی از توانمندترین و پرکاربردترین روش‌های تحلیل قابلیت اطمینان است. این روش بر مبنای حالت‌های سیستم استوار بوده و با حل دیفرانسیلی سیستم، قابلیت اطمینان سیستم را محاسبه می‌نماید. این روش برای مدل‌سازی رفتار اتفاقی سیستم‌هایی قابل کاربرد است که بطور پیوسته و یا ناپیوسته نسبت به زمان و یا در فضای حالت

در تغییر هستند. این تغییرات پیوسته و یا ناپیوسته اتفاقی را اصطلاحاً فرآیند اتفاقی (Stochastic Process) می‌نامند. به منظور استفاده از روش مارکوف رفتار سیستم بایستی نمایانگر فقدان حافظه باشد، بدین معنی که حالت و وضعیت آینده سیستم باید مستقل از وضعیت‌های گذشته، بجز آخرین وضعیت آن باشد. بنابراین رفتار اتفاقی آتی یک سیستم صرفاً باید بستگی به وضعیت حال آن داشته و هیچگونه وابستگی به گذشته آن و یا چگونگی حصول وضعیت حال نداشته باشد. به عبارت دیگر رفتار سیستم باید در همه‌ی مقاطع زمانی یکسان و احتمال تبدیل وضعیت آن به وضعیت‌های دیگر همواره در همه زمان‌ها ثابت بماند [۸، ۱۰].

بطور کلی در مدل‌های مارکوف، هم زمان و هم فضا به شکل پیوسته و یا ناپیوسته قابل تلقی است. در ارزیابی قابلیت اطمینان بطور اخص، معمولاً فضا را به عنوان تابع ناپیوسته ارائه می‌کنند، زیرا موقعیت مکانی به صورت ناپیوسته هویت‌پذیر و مشخص کننده محل استقرار برای یک سیستم و اجزای آن است. در حالی که زمان، هم به صورت پیوسته و هم ناپیوسته می‌تواند منظور شود. بطور کلی موارد ناپیوسته به عنوان زنجیره‌های مارکوفی و موارد پیوسته به نام فرآیند مارکوفی شناخته می‌شوند که زنجیره‌ی مارکوف، حالت خاصی از فرآیند مارکوفی است [۱۰].

به منظور استفاده از این روش دو نوع اطلاعات مورد نیاز است. در ابتدا بایستی هر یک از شرایطی را که ممکن است برای سیستم بوجود آید، تعیین کرد. در روش زنجیره‌ی مارکوفی هریک از این شرایط به عنوان یک فضای حالت شناخته می‌شود. اطلاعات دیگر تعیین احتمال قرارگیری سیستم در هر یک از فضاهای حالت است.

یکی از مهمترین ویژگی‌های ماتریس تصادفی این است که هر ماتریس تصادفی منظم مانند p دارای یک بردار ثابت یکتا همانند t می‌باشد که ضرب ماتریس تصادفی از راست، مقدار آن را تغییر نمی‌دهد. به عبارت دیگر برای این ویژگی می‌توان رابطه زیر را تعریف نمود:

$$\begin{cases} [P_1, P_2, P_3, \dots, P_{64}] \times P = [P_1, P_2, P_3, \dots, P_{64}] \\ \sum_{i=1}^{64} P_i = 1 \end{cases} \quad (1-5)$$

بطوریکه برای هر i ، P_i احتمال وقوع حالتی است که سیستم در حالت S_i قرار دارد. اگر ماتریس انتقال P در زنجیر مارکوف، یک ماتریس تصادفی منظم باشد، آنگاه برای زمان طولانی احتمال اینکه حالت a_j رخ دهد، تقریباً با مولفه t_j از بردار احتمال یکتای t ماتریس P برابر است. به این حالت توزیع ماندگار زنجیر مارکوف گویند.

۵-۴-۲- ارزیابی سیستم ترابری معدن طلای زرمهر

به منظور استفاده از روش مارکوف از شش دستگاه مورد مطالعه در این تحقیق استفاده شده است. وضعیت عملیاتی دستگاه‌ها در سیستم ترابری معدن طلای زرمهر ممکن است یکی از این چهار حالت باشد: سالم، خراب، تحت تعمیر، تعمیر شده. بررسی شده است. همچنین سیستم ترابری معدن طلای زرمهر ممکن است به صورت‌های زیر مشغول به فعالیت باشد: ۶ دستگاه فعال، ۵ دستگاه فعال و ۱ دستگاه غیر فعال، ۴ دستگاه فعال و ۲ دستگاه غیر فعال، ۳ دستگاه فعال و ۳ دستگاه غیر فعال، ۲ دستگاه فعال و ۴ دستگاه غیر فعال، ۱ دستگاه فعال و ۵ دستگاه غیر فعال و ۶ دستگاه غیر فعال می‌باشد که در نهایت ۶۴ حالت مختلف برای حل این مسأله ثبت شده است. در شکل ۵-۳ حالت‌های مختلف قرارگیری دستگاه‌ها در سیستم ترابری معدن طلای زرمهر نشان داده شده است.

حالت سالم بودن به شرایط عادی دستگاه گفته می‌شود و دستگاه در مرحله‌ی قبل نیز بطور عادی مشغول به فعالیت بوده است.

حالت خراب به حالتی گفته می‌شود که دستگاه در مرحله قبلی سالم بوده و در این مرحله از کار افتاده است.

حالت تعمیر شده به حالتی گفته می‌شود که دستگاه در مرحله‌ی قبل خراب بوده و در این مرحله پس از تعمیر مشغول به فعالیت عادی خود می‌باشد.

حالت تحت تعمیر به حالتی گفته می‌شود که دستگاه در مرحله قبلی خراب بوده و در این مرحله نیز در حالت خرابی و در حال تعمیر می‌باشد.

به منظور روشن‌تر شدن موضوع، مثال زیر ارائه شده است. دو حالت S_{23} , S_{22} مطابق جدول ۳-۵ می‌باشند.

جدول ۳-۵- تبدیل حالت مارکوف

وضعیت دستگاه		حالت
غیر فعال	فعال	
EXC2, EXC3	TR1, TR2, TR3, EXC1	S_{22}
TR1, TR2, TR3	EXC1, EXC2, EXC3	S_{23}

با تغییر حالت از S_{22} به S_{23} تغییر حالت برای دستگاه‌ها به شرح زیر است:

EXC1 , EXC2 نسبت به مرحله قبل تعمیر شده‌اند و مشغول به فعالیت عادی خود می‌باشند. EXC3 سالم می‌باشد و نسبت به مرحله‌ی قبل تغییری در آن صورت نگرفته است. TR1, TR2, TR3 نسبت به مرحله‌ی قبل خراب می‌باشند. در صورتی که هر کدام از بیل‌ها در مرحله S_{22} غیر فعال بوده و در مرحله‌ی S_{23} نیز غیر فعال باشد، در حالت تحت تعمیر تلقی می‌شود.

این حالت‌ها بسته به فعال یا غیر فعال بودن دستگاه‌ها بررسی شده‌اند. ابتدا احتمال قرارگیری هر دستگاه در وضعیت‌های مختلف (سالم، خراب، تعمیرشده و تحت تعمیر) محاسبه شده‌اند. نتایج این محاسبات در جدول ۴-۵ ارائه شده است. برای مثال، احتمال قرارگیری TR2 در حالت‌های مختلف عملیاتی در سیستم ترابری معدن طلای زرمهر به صورت زیر محاسبه می‌شود:

در بازه‌ی زمانی در نظر گرفته شده برای سیستم ترابری معدن طلای زرمهر، این دستگاه حدود ۱۶۰ روز کاری داشته است. طبق نظرات کارشناسی و تحلیل‌های آماری صورت گرفته، متوسط زمان مفید کارکرد یک دستگاه در یک شیفت ۱۰ ساعته، حدود ۷/۵ ساعت می‌باشد. بنابراین کل زمان در دسترس برای عملیات در این بازه‌ی زمانی، ۱۲۰۰ ساعت می‌باشد. طبق داده‌های جمع‌آوری شده، کل زمان خرابی و توقف دستگاه در این بازه‌ی زمانی حدود ۷۰ ساعت می‌باشد. بنابراین احتمال اینکه TR2 خراب شود برابر است با:

$$\text{احتمال خرابی} = \frac{\text{زمان کل خرابی}}{\text{کل زمان در دسترس}} = \frac{70}{1200} = 0/058$$

با محاسبه‌ی احتمال خرابی دستگاه، احتمال سالم بودن دستگاه برابر با ۰/۹۴۲ می‌شود. بر طبق نظرات کارشناسی، تمام مدت زمانی که دستگاه به دلیل خرابی متوقف است، صرف تعمیرات نمی‌شود و در این مواقع کسری از زمان از بین می‌رود. این زمان صرف نبود تعمیرکار، عدم وجود قطعه‌ی مورد نظر برای تعویض و ... می‌شود. برآوردهای صورت گرفته نشان می‌دهد تنها حدود ۵۰٪ زمان توقف دستگاه، صرف تعمیرات می‌شود. با توجه به این موضوع، احتمال اینکه در این بازه‌ی زمانی در نظر گرفته شده برای سیستم ترابری معدن طلای زرمهر، TR2 تحت تعمیر باشد برابر با ۰/۰۲۹ است. در نتیجه احتمال اینکه TR2 در حالت تعمیر شده باشد برابر با ۰/۹۷۱ می‌باشد.

جدول ۴-۵- احتمال قرارگیری دستگاه‌ها در وضعیت‌های مختلف

دستگاه	احتمال سالم بودن	احتمال خراب شدن	احتمال تعمیر شدن	احتمال تحت تعمیر
EXC1	۰/۹۵۵	۰/۰۴۵	۰/۹۷	۰/۰۳
EXC2	۰/۹۳۰۸	۰/۰۶۹۲	۰/۹۵۴	۰/۰۴۶۱
EXC3	۰/۹۴۰۸	۰/۰۵۹۲	۰/۹۶۱	۰/۰۳۹۴
TR1	۰/۹۲۱۳	۰/۰۷۸۷	۰/۹۴۸	۰/۰۵۲۵
TR2	۰/۹۴۲	۰/۰۵۸۳	۰/۹۷۱	۰/۰۲۹۲
TR3	۰/۹۴۷۵	۰/۰۵۲۵	۰/۹۶۵	۰/۰۳۵

پس از این مرحله نوبت به محاسبه احتمال تغییر حالت‌ها می‌باشد. بطور مثال احتمال تغییر حالت S22 به S23 به طریق زیر محاسبه می‌شود.

$$P_{22-23}(S22 \rightarrow S23) = 0/97 * 0/9539 * 0/9408 * 0/0787 * 0/0576 * 0/0525 = 0/000207$$

P_{22-23} احتمال گذار سیستم از فضای حالت S22 به S23 می‌باشد. احتمال گذار از حالت S1 تا S64 باید از قوانین زنجیره‌ی مارکوف تبعیت کند، به این معنی که مجموع احتمالات هر ردیف برابر با یک باشد.

$$\sum_{i=1}^{64} P_{ij} = 1 \text{ for } j = 1, 2, 3, \dots, 64 \quad (۲-۵)$$

پس از محاسبه‌ی احتمالات مختلف می‌توان ماتریس انتقال را تشکیل داد. ماتریس انتقال به صورت ماتریس مربعی است که تعداد سطرها و ستون‌های آن برابر با تعداد فضاهای حالت ممکن است. هرکدام از درایه‌های این ماتریس نشان‌دهنده‌ی احتمال تبدیل یک حالت به حالت دیگر است. ماتریس انتقال P تشکیل شده برای این مسأله مطابق شکل ۴-۵ می‌باشد.

با استفاده از نرم افزار Matlab، توزیع ماندار زنجیره مارکوف را که نشان دهنده ی باقی ماندن دستگاه در هر یک از حالات S_1 تا S_{64} می باشد را محاسبه نمود که در آن $t_1, t_2, t_3, \dots, t_{64}$ به ترتیب حالات پایدار ماندن در وضعیت های $S_1, S_2, S_3, \dots, S_{64}$ است. نتایج حاصل مطابق جدول ۵-۵ می باشد.

حالت	قابلیت اطمینان (درصد)	حالت	قابلیت اطمینان (درصد)	حالت	قابلیت اطمینان (درصد)	حالت	قابلیت اطمینان (درصد)
S_1	۶۸/۸	S_{17}	۰/۰۰۳۵	S_{33}	ناچیز	S_{49}	ناچیز
S_2	۰/۰۳۷۵	S_{18}	۰/۰۰۴۲	S_{34}	ناچیز	S_{50}	ناچیز
S_3	۰/۰۴۲	S_{19}	۰/۰۰۲۷	S_{35}	ناچیز	S_{51}	ناچیز
S_4	۰/۰۵۷	S_{20}	۰/۰۰۲	S_{36}	ناچیز	S_{52}	ناچیز
S_5	۰/۰۴۲۴	S_{21}	۰/۰۰۳۱	S_{37}	ناچیز	S_{53}	ناچیز
S_6	۰/۰۴۹۹	S_{22}	۰/۰۰۲۳	S_{38}	ناچیز	S_{54}	ناچیز
S_7	۰/۰۳۲	S_{23}	ناچیز	S_{39}	ناچیز	S_{55}	ناچیز
S_8	۰/۰۰۲۳	S_{24}	ناچیز	S_{40}	ناچیز	S_{56}	ناچیز
S_9	۰/۰۰۳۱	S_{25}	ناچیز	S_{41}	ناچیز	S_{57}	ناچیز
S_{10}	۰/۰۰۱۸	S_{26}	ناچیز	S_{42}	ناچیز	S_{58}	ناچیز
S_{11}	۰/۰۰۲۷	S_{27}	ناچیز	S_{43}	ناچیز	S_{59}	ناچیز
S_{12}	۰/۰۰۲۳	S_{28}	ناچیز	S_{44}	ناچیز	S_{60}	ناچیز
S_{13}	۰/۰۰۳۴	S_{29}	ناچیز	S_{45}	ناچیز	S_{61}	ناچیز
S_{14}	۰/۰۰۲۶	S_{30}	ناچیز	S_{46}	ناچیز	S_{62}	ناچیز
S_{15}	۰/۰۰۳	S_{31}	ناچیز	S_{47}	ناچیز	S_{63}	ناچیز
S_{16}	۰/۰۰۱۹	S_{32}	ناچیز	S_{48}	ناچیز	S_{64}	ناچیز

جدول ۵-۵- نتایج حاصل از روش مارکوف برای وضعیت های مختلف

۵-۴-۳- نتایج

در این حالت ماتریس F توسط ماتریس $P^{11350000}$ حاصل شده است. بنابر نتایج حاصله قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل در حالتی که تمامی دستگاه ها فعال می باشد برابر با ۶۸/۸٪ می باشد. همچنین قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل در حالتی که یک دستگاه غیر فعال می باشد برابر با ۲۶٪ می باشد و مشخص می شود توقف یک دستگاه تا حد بسیار زیادی بر روی قابلیت اطمینان سیستم ترابری

معدن طلای زرمهر تأثیر گذاشته و باعث کاهش شدید این پارامتر شده است. در حالتی که دو دستگاه غیر فعال

می باشند قابلیت اطمینان برابر با ۴٪ می باشد که نشان می دهد عملاً سیستم کارایی خود را از دست داده است.

۵-۵- مدل سازی قابلیت اطمینان سیستم ترابری

۵-۵-۱- مقدمه

در این فصل برای مدل سازی قابلیت اطمینان واقعی مبتنی بر زیرسیستم های مربوط به سیستم حمل و نقل معدن طلای زرمهر تربت حیدریه صورت گرفته است. زیرسیستم های این سیستم شامل دو بخش بارگیری و باربری می باشد. بارگیری توسط بیل مکانیکی و باربری توسط کامیون صورت می گیرد. تمامی داده های مربوط به خرابی، توقف و کارکرد هر دو بخش بارگیری و باربری به صورت مجزا جمع آوری و ارزیابی شده است. در ادامه قابلیت اطمینان کلی این سیستم با استفاده از دو روش مدل سازی و شبیه سازی مورد تحلیل قرار گرفته و در نهایت نتایج با یکدیگر مقایسه شده است.

۵-۵-۲- روش کلی تحلیل خرابی ها و مدل سازی قابلیت اطمینان

با توجه به تعیین زیرسیستم های مربوط برای هر سیستم در فصل چهارم، برای مدل سازی قابلیت اطمینان دستگاه بایستی ابتدا قابلیت اطمینان زیرسیستم های آن مشخص شود. برای این منظور مطابق مراحل زیر برای هر زیر سیستم عمل کرده و مدل قابلیت اطمینان و تابع نرخ خرابی برای هر زیر سیستم بدست می آید و در نهایت تحلیل خرابی های هر زیرسیستم صورت می گیرد.

در مرحله‌ی اول خرابی‌های هر زیر سیستم مرتب شده و نوع خرابی، اعمال تعمیرات بر روی زیرسیستم و زمان‌های بین خرابی (TBF) ثبت می‌شود. سپس آزمون‌های روند و همبستگی سری به دو صورت گرافیکی و تحلیلی، بر روی داده‌ها صورت می‌گیرد و با توجه به این نتایج، نوع داده‌ها و بهترین روش

مدل‌سازی تعیین می‌شود. در مرحله بعدی محاسبات مربوط به تعیین بهترین تابع چگالی احتمال خرابی انجام می‌شود. برای این منظور از روش کلموگروف-اسمیرنوف برای انتخاب بهترین تابع چگالی خرابی استفاده می‌شود. برای تطابق ظاهری توابع مورد بررسی با هیستوگرام داده‌ها و نیز نمودار P-P (برای کنترل اختلاف احتمال پیش‌بینی شده توسط تابع توزیع انتخابی با داده‌های واقعی)، به عنوان شاخص-های کمکی، برای انتخاب بهترین توزیع مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق از نرم افزار آماری EasyFit برای انتخاب بهترین تابع توزیع می‌شود. این تابع کاربر را در انتخاب بهترین تابع برازش‌شده بر داده‌های موجود یاری می‌کند. توابع اصلی شناخته شده و پر کاربرد در حوزه‌ی مهندسی قابلیت اطمینان شامل هشت تابع نمایی، گاما، گامای تعمیم یافته، نرمال، لاگ نرمال، ویبول دوپارامتری، ویبول سه پارامتری و ارلانگ است که در این تحقیق از این هشت تابع برای برازش داده‌ها استفاده می‌شود. روند کلی برای تحلیل قابلیت اطمینان مطابق شکل ۲-۳ می‌باشد.

در ادامه تابع قابلیت اطمینان و تابع نرخ خرابی هر زیر سیستم بدست می‌آید و از طریق رسم این توابع در فضای دو بعدی، تحلیل‌های مربوط به این نمودارها صورت می‌گیرد. با انجام این روند برای تمام زیرسیستم‌ها، می‌توان قابلیت اطمینان کل سیستم را بدست آورد. در ادامه این روند برای تمامی زیرسیستم‌های مربوط به بخش بارگیری و باربری انجام شده و پس از آن قابلیت اطمینان کل سیستم حمل و نقل محاسبه شده است.

۵-۶- تحلیل خرابی و ارزیابی مدل‌سازی قابلیت اطمینان بخش بارگیری

سیستم بارگیری دارای سه زیرسیستم اصلی شامل بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو، بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان و بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای می‌باشد. با توجه به تحلیل پارتو صورت گرفته، بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو حدود ۴۰٪ تعداد خرابی‌ها را دارا می‌باشد و از این حیث به عنوان زیرسیستم بحرانی شناخته می‌شود. هر کدام از این زیرسیستم‌ها شامل ۴ زیرسیستم فرعی هستند. زیرسیستم‌های فرعی شامل ۴ بخش مکانیکی، بارگیری، حرکتی و برقی هستند. در بین این زیرسیستم‌ها، بخش مکانیکی با داشتن ۴۹٪ تعداد خرابی‌ها به عنوان زیرسیستم بحرانی شناخته می‌شود. در ابتدا ارزیابی قابلیت اطمینان هر بیل با توجه به ۴ زیرسیستم فرعی انجام و در انتها قابلیت اطمینان و نرخ خرابی کل بخش بارگیری محاسبه و ارزیابی می‌شود. در ادامه قابلیت اطمینان و نرخ خرابی همه‌ی زیرسیستم‌های بخش بارگیری می‌شود.

۵-۶-۱- مدل سازی قابلیت اطمینان بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو

۵-۶-۱-۱- زیرسیستم مکانیکی بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو

در این مرحله، داده‌های مربوط به خرابی زیرسیستم مکانیکی از نظر وجود روند و همبستگی سری مورد ارزیابی قرار گرفتند. از آنجا که شکل قرارگیری نقاط در آزمون روند بسیار به حالت خطی نزدیک است، بنابراین داده‌ها دارای روند نیستند و به صورت مانا توزیع شده‌اند. همچنین با توجه به روش تحلیلی و بزرگتر بودن U محاسبه شده از مقدار بحرانی (۳۹/۸۰۴)، لذا فرض صفر رد نمی‌شود و این آزمون نیز عدم وجود روند در داده‌ها را تأیید می‌کند. همچنین قرارگیری نامنظم داده‌ها در آزمون همبستگی سری نشان-دهنده‌ی عدم وجود همبستگی در داده‌ها است. با توجه عدم وجود روند و همبستگی در داده‌ها، لذا روش فرآیند تجدید شونده، بهترین روش برای مدل سازی قابلیت اطمینان این زیرسیستم است. نتایج آزمون‌های روند و همبستگی در شکل ۵-۵ ارائه شده است. در گام بعدی زمان‌های بین خرابی‌ها (TBF) به عنوان

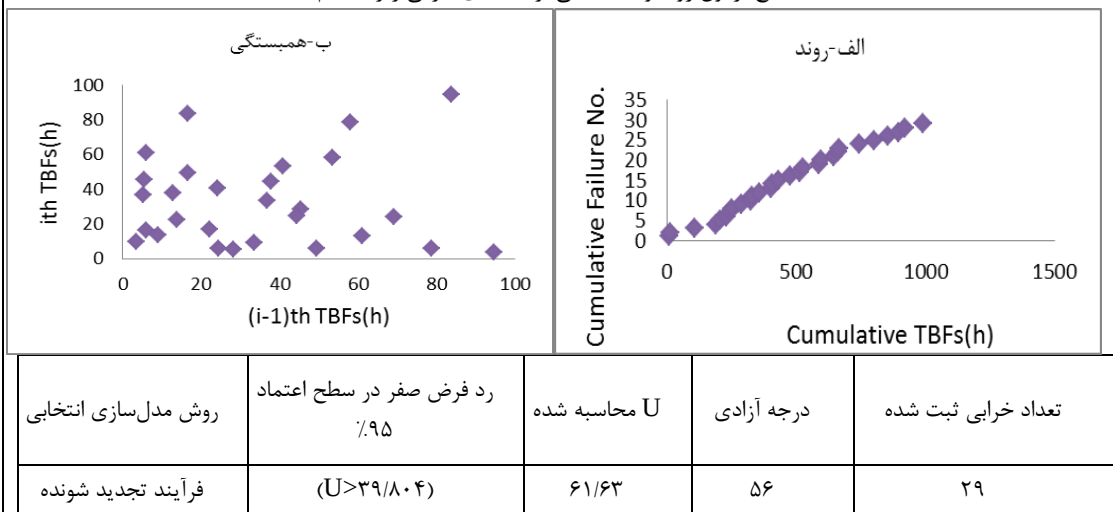
ورودی اصلی، وارد نرم‌افزار مورد اشاره به منظور برازش بهترین تابع توزیع شدند. از بین هشت تابع اصلی پرکاربرد در مهندسی قابلیت اطمینان، تابعی که از مقدار کمینه در آزمون تطابق کلموگروف-اسمیرنوف (K-S) و بهترین تطابق ظاهری تابع توزیع چگالی احتمال با هیستوگرام داده‌ها برخوردار بود، انتخاب شد. به منظور کنترل اختلاف میزان احتمال پیش‌بینی شده توسط تابع توزیع انتخابی با داده‌های واقعی، از

نمودار P-P استفاده شد. مقدار واقعی میانگین بین داده‌ها برابر با $34/175$ می‌باشد. با توجه به موارد ذکر شده، تابع ویبول به عنوان بهترین تابع برازش شده بر داده‌های این زیرسیستم انتخاب شد.

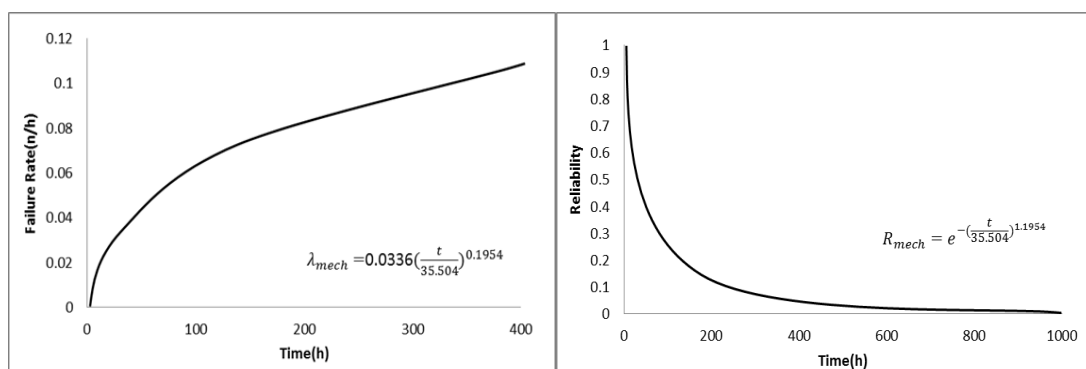
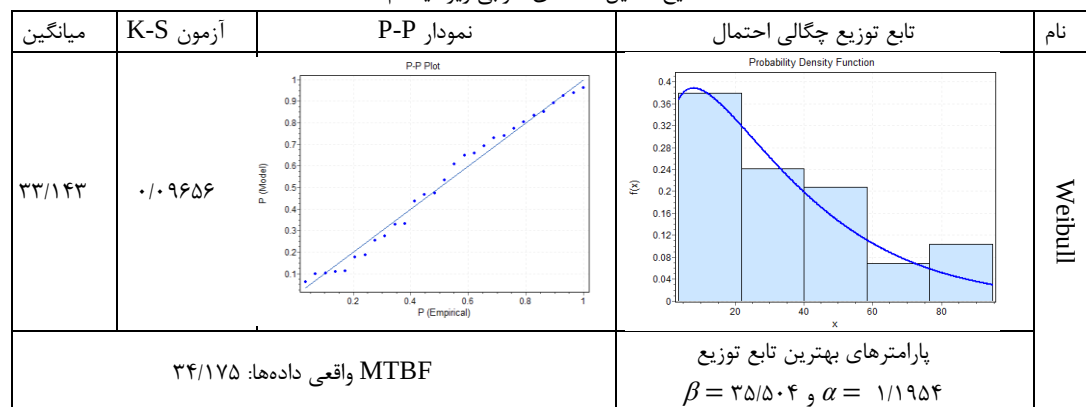
با توجه به نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها، مدل قابلیت اطمینان و تابع نرخ خرابی مطابق شکل ۵-۶ حاصل شد. طبق منحنی قابلیت اطمینان بدست آمده در شکل مذکور، قابلیت اطمینان زیرسیستم مکانیکی بیل ۲۲۰ کوماتسو پس از گذشت ۲۰۰ ساعت به زیر ۲۰٪ می‌رسد و احتمال خرابی آن بیش از ۸۰٪ می‌شود و بایستی تدابیری برای جلوگیری از خسارات احتمالی ناشی از خرابی این زیرسیستم اندیشید.

همچنین با دقت در نمودار نرخ خرابی، مشخص شد که نرخ خرابی این زیر سیستم افزایشده و شتابدار است. نرخ خرابی در شروع فعالیت صفر بوده و با شیب نسبتاً زیادی افزایش یافته و پس از زمان ۴۰۰ ساعت تقریباً به بیش از ۰/۱ خرابی در ساعت می‌رسد. طبق این نمودار، این زیر سیستم همواره در حال فرسودگی افزایشده قرار دارد و در صورت عدم کنترل و تعمیر و نگهداری پیشگیرانه این زیر سیستم دچار خرابی بسیار زیادی خواهد شد.

نتایج آزمون روند و همبستگی بر داده‌های خرابی زیرسیستم



نتایج تحلیل داده‌های خرابی زیرسیستم



منحنی نرخ خرابی

منحنی قابلیت اطمینان

شکل ۵-۵- مدل‌سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم مکانیکی بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو

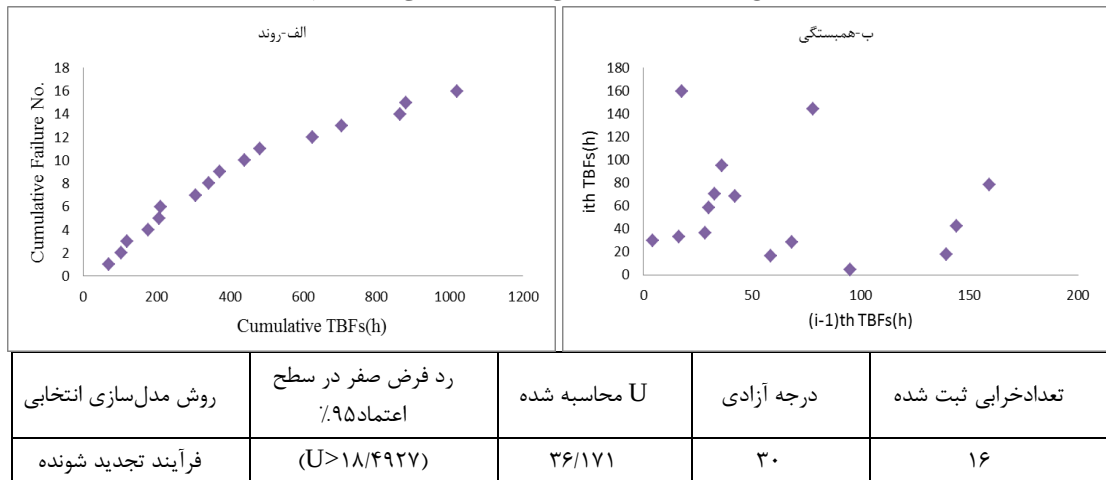
۵-۶-۱-۲- زیرسیستم بارگیری بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو

با توجه به شکل ۵-۶، نتایج حاصل از آزمون گرافیکی و تحلیلی برای بررسی روند و همبستگی در داده‌ها عدم وجود روند و همبستگی را به اثبات می‌رساند و در نتیجه داده‌ها به صورت مانا و مستقل توزیع شده‌اند، لذا از روش فرآیند تجدید شونده برای مدل‌سازی قابلیت اطمینان این زیرسیستم استفاده شده است.

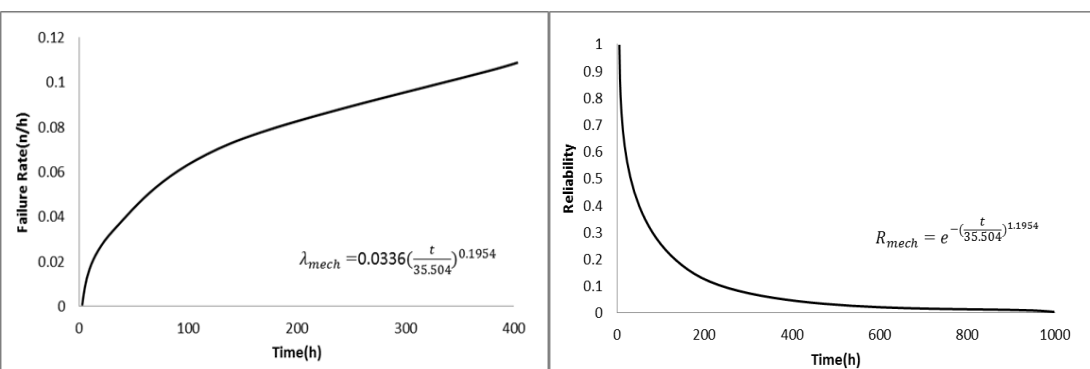
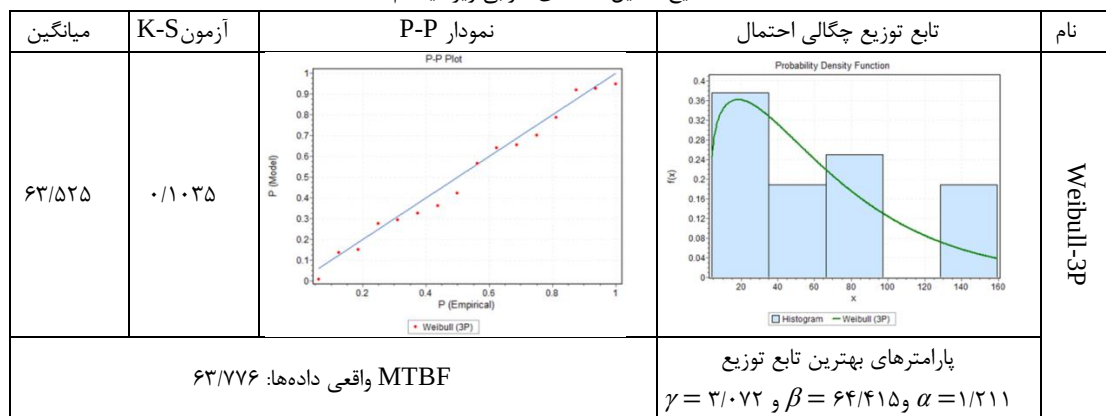
با در نظر گرفتن کمترین مقدار آزمون K-S، تابع ویبول سه پارامتری به عنوان بهترین تابع برازش بر داده‌های این زیرسیستم انتخاب شده است. با توجه به میزان MTBF، مشاهده می‌شود که میانگین زمان خرابی‌های محاسبه شده توسط این تابع با مقدار واقعی داده‌ها اختلاف ناچیزی دارد. نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها در شکل ۵-۶ ارائه شده است.

روابط مربوط به مدل قابلیت اطمینان و تابع نرخ خرابی در شکل ۵-۶ ارائه شده است. با دقت در منحنی مربوط به قابلیت اطمینان مشخص می‌شود که قابلیت اطمینان زیرسیستم بارگیری دستگاه مذکور، پس از گذشت ۲۰۰ ساعت تقریباً به صفر می‌رسد. همچنین مشخص می‌شود احتمال اینکه این زیرسیستم ۱۰۰ ساعت بدون خرابی کار کند حدود ۲۰٪ است. نتایج حاصل از نمودار نرخ خرابی این زیرسیستم نشان‌دهنده این است که نرخ خرابی این زیرسیستم در شروع فعالیت صفر بوده و با گذشت زمان از نرخ خرابی شتابدار و افزایش‌دهنده برخوردار می‌باشد. با گذشت ۲۰۰ ساعت از شروع فعالیت خود به نرخ خرابی ۰/۰۲۳۷ خرابی در ساعت می‌رسد. در مورد این زیرسیستم بایستی کنترل دقیق و عملیات تعمیر و نگهداری پیشگیرانه برای مهار خرابی اتخاذ کرد.

نتایج آزمون روند و همبستگی بر داده‌های خرابی زیرسیستم



نتایج تحلیل داده‌های خرابی زیرسیستم



منحنی نرخ خرابی

منحنی قابلیت اطمینان

شکل ۵-۶- مدل سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم بارگیری بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو

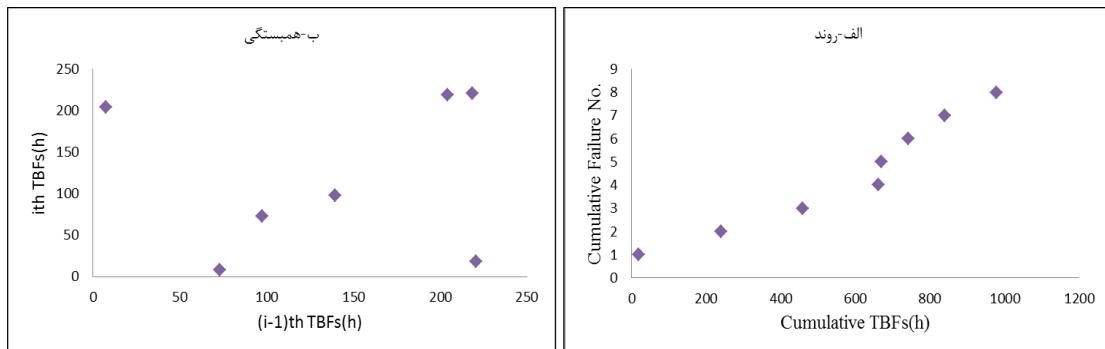
۵-۶-۱-۳- زیرسیستم حرکتی بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو

با استفاده از روش‌های گرافیکی و تحلیلی آزمون روند مشخص شد، داده‌ها دارای روند نمی‌باشند و بنابراین داده‌ها مانا توزیع شده‌اند. همچنین با توجه به عدم قرارگیری منظم نقاط در نمودار مربوط به همبستگی داده‌ها، عدم همبستگی و مستقل بودن داده‌ها مشخص می‌شود و بر این اساس از روش فرآیند تجدید شونده برای مدل‌سازی قابلیت اطمینان استفاده می‌شود. نتایج این آزمون‌ها در شکل ۵-۷ ارائه شده است.

با توجه به تحلیل داده‌ها و نتایج حاصل از برازش بهترین تابع، مشخص شد تابع نمایی از کمترین مقدار K-S برخوردار است. همچنین مقدار میانگین بدست آمده توسط تابع نمایی با مقدار میانگین واقعی داده‌ها برابر است و نمودار P-P نیز تطابق این توزیع را با داده‌ها تأیید می‌کند. پراکندگی نقاط نسبت به نیمساز X-Y در نمودار مشخص است. نتایج این تحلیل در شکل ۵-۷ نشان داده شده است.

با توجه به نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها و انتخاب تابع نمایی به عنوان بهترین تابع برازش، روابط مربوط به مدل قابلیت اطمینان و تابع نرخ خرابی مطابق شکل ۵-۷ حاصل شدند. همچنین منحنی‌های معادل با مدل قابلیت اطمینان و تابع نرخ خرابی در شکل مذکور ارائه شده‌اند. با دقت در نمودار قابلیت اطمینان مشخص می‌شود که قابلیت اطمینان این زیر سیستم پس از ۶۰۰ ساعت تقریباً برابر با صفر می‌شود. پس از گذشت تنها ۱۰۰ ساعت از شروع عملکرد، قابلیت اطمینان این زیر سیستم به ۴۵٪ می‌رسد. همچنین نرخ خرابی این زیر سیستم در تمام مدت فعالیتش ثابت و برابر ۰/۰۰۸۱۷ خرابی در ساعت است.

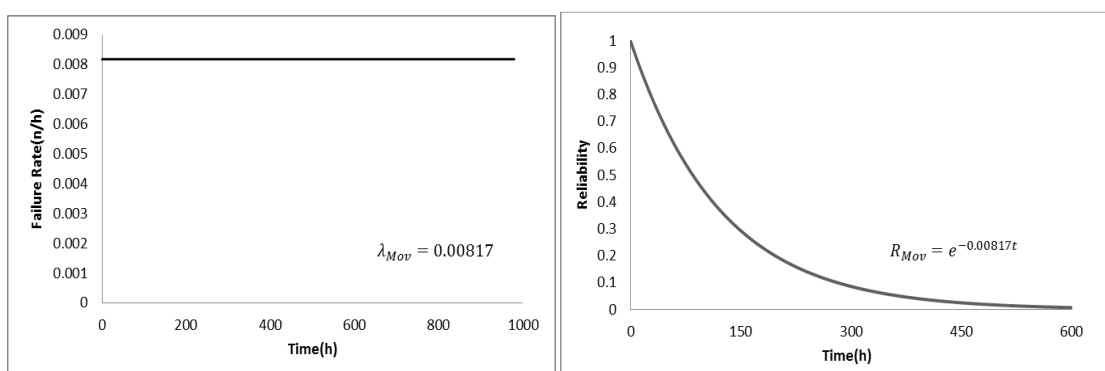
نتایج آزمون روند و همبستگی بر داده‌های خرابی زیرسیستم



تعدادخرابی ثبت شده	درجه آزادی	U محاسبه شده	رد فرض صفر در سطح اعتماد ۹۵٪	روش مدل سازی انتخابی
۸	۱۴	۱۴/۷	(U>۶/۵۷۱)	فرآیند تجدید شونده

نتایج تحلیل داده‌های خرابی زیرسیستم

نام	تابع توزیع چگالی احتمال	نمودار P-P	آزمون K-S	میانگین
Exponential			۰/۱۹۹۰۲	۱۲۲/۳۳
	پارامترهای بهترین تابع توزیع $\lambda = 0.00817$	MTBF واقعی داده‌ها: ۱۲۲/۳۳		



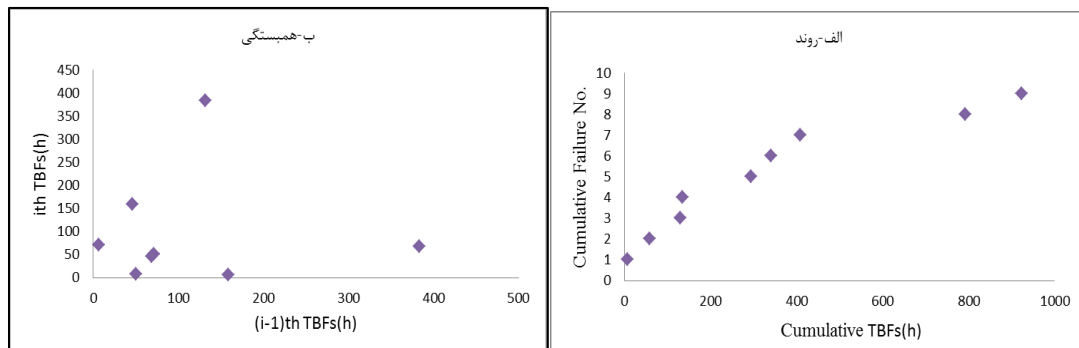
شکل ۵-۷- مدل سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم حرکتی بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو

۵-۶-۱-۴- زیرسیستم برقی بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو

آزمون‌های گرافیکی و تحلیلی به منظور بررسی روند و همبستگی بر روی داده‌های خرابی صورت گرفت. با توجه به نحوه‌ی قرارگیری خطی نقاط در نمودار مربوط به آزمون روند، مشخص شد داده‌ها دارای روند نمی‌باشند. همچنین با توجه به پراکندگی قرارگیری نقاط در شکل مربوط به همبستگی داده‌ها، مشخص شد که همبستگی بین داده‌ها وجود ندارد در نتیجه داده‌ها بطور مستقل و مانا توزیع شده‌اند و فرآیند تجدید شونده بهترین روش برای مدل‌سازی قابلیت اطمینان این زیر سیستم می‌باشد.

با توجه به نتایج حاصل از برازش توابع توزیع، مشخص شد که تابع نمایی بهترین تابع توزیع می‌باشد. توابع قابلیت اطمینان و نرخ خرابی متناسب با تابع نمایی در شکل ۵-۸ ارائه شده است. طبق منحنی مربوط به قابلیت اطمینان، مشخص شد این زیر سیستم پس از ۴۰۰ ساعت کارکرد، قابلیت اطمینان آن تقریباً صفر می‌رسد و عملکرد آن پس از این مدت متوقف خواهد شد. بنابراین ضروری است برای پرهیز از خسارت عملیاتی، تدابیر عملی اندیشه شود. همچنین پس از گذشت ۱۰۰ ساعت، احتمال خرابی این زیر سیستم به بیش از ۶۰٪ می‌رسد. مطابق شکل نرخ خرابی این زیر سیستم همواره در طول عملیات ثابت بوده است.

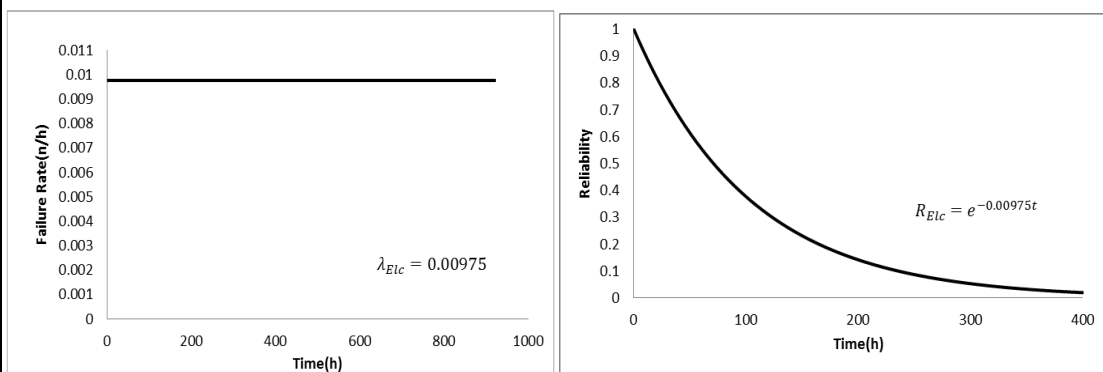
نتایج آزمون روند و همبستگی بر داده‌های خرابی زیرسیستم



تعدادخرابی ثبت شده	درجه آزادی	U محاسبه شده	رد فرض صفر در سطح اعتماد ۹۵٪	روش مدل سازی انتخابی
۹	۱۶	۲۹/۳	($U > ۷/۹۷$)	فرآیند تجدید شونده

نتایج تحلیل داده‌های خرابی زیرسیستم

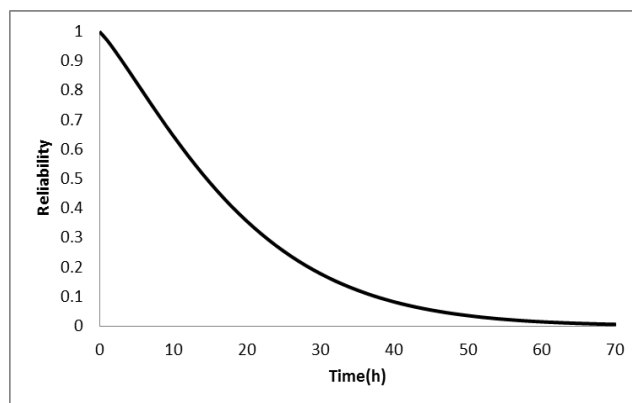
نام	تابع توزیع چگالی احتمال	نمودار P-P	آزمون K-S	میانگین
Exponential			۰/۱۶۵۹۳	۱۰۲/۵۷
	پارامترهای بهترین تابع توزیع $\lambda = ۰/۰۰۹۷۵$	MTBF واقعی داده‌ها: ۱۰۲/۵۷		



شکل ۵-۸- مدل سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم برقی بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو

۵-۶-۱-۵- قابلیت اطمینان کلی بیل ۲۲۰ کوماتسو

با بررسی چهار زیر سیستم این سیستم بارگیری می توان نمودار قابلیت اطمینان و نرخ خرابی این سیستم را بدست آورد. با توجه به اینکه ساختار و شبکه قابلیت اطمینان و عملیات بیل بصورت سری تعریف شده است، لذا قابلیت اطمینان کل دستگاه را می توان با استفاده از رابطه ۲-۶ محاسبه نمود. طبق رابطه مذکور، منحنی قابلیت اطمینان بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو در شکل ۵-۹ ارائه شده است. با دقت در منحنی قابلیت اطمینان مشخص می شود که قابلیت اطمینان این دستگاه پس از زمان ۷۰ ساعت تقریباً به صفر می رسد.



شکل ۵-۹- نمودار قابلیت اطمینان کلی بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو

۵-۶-۲- مدل سازی قابلیت اطمینان بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان

۵-۶-۲-۱- زیر سیستم مکانیکی بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان

با توجه به نتایج گرافیکی و تحلیلی آزمون روند و آزمون همبستگی در شکل ۵-۱۰، بهترین روش برای مدل سازی قابلیت اطمینان استفاده از روش فرآیند تجدید شونده است. عدم وجود روند با توجه به خطی بودن قرارگیری نقاط در شکل مذکور و بیشتر بودن مقدار U محاسبه شده از مقدار بحرانی اثبات می شود

و همچنین عدم همبستگی و مستقل بودن داده ها با توجه به چیدش نامنظم نقاط در نمودار مربوط به همبستگی داده ها مشخص می شود.

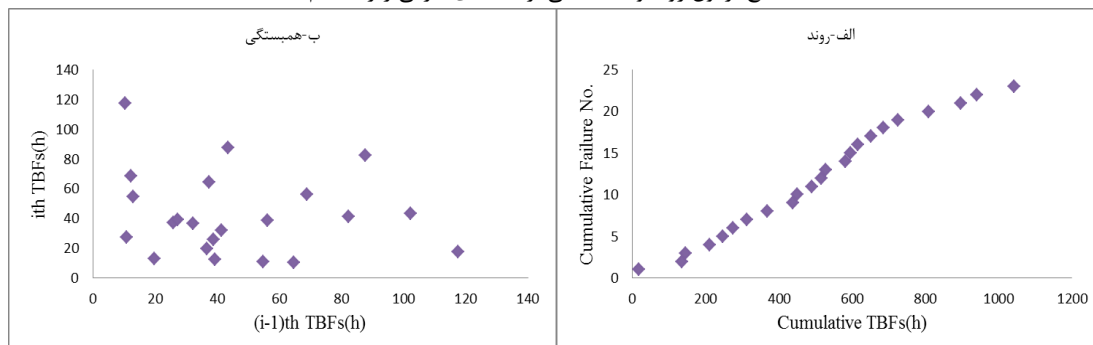
پس از تحلیل داده ها مشخص شد که بهترین تابع برای برازش داده ها از تابع گاما پیروی می کند. با توجه به تحلیل داده ها مشخص می شود که مقدار میانگین واقعی داده ها برابر با $45/286$ می باشد که با مقدار میانگین محاسبه شده توسط تابع گاما برابر است. نتایج حاصل از این تحلیل در شکل ۵-۱۰ ارائه شده است.

با توجه به نتایج حاصل از تحلیل داده ها و مقادیر محاسبه شده برای α ($2/2828$) و β ($19/838$)، مدل قابلیت اطمینان و نرخ خرابی محاسبه شد. همچنین منحنی های معادل با این روابط در شکل ۵-۱۰ ارائه شده است.

با دقت در شکل مذکور، مشخص می شود که قابلیت اطمینان این زیر سیستم پس از ۱۵۰ ساعت تقریباً به صفر می رسد. قابلیت اطمینان این زیرسیستم با شیب نسبتاً زیادی کاهش می یابد بطوریکه در ۴۰ ساعت از شروع عملکرد دستگاه، احتمال خرابی این زیرسیستم حدود ۵۰٪ است.

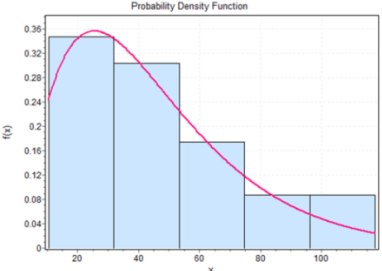
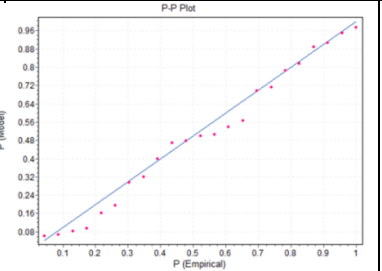
همچنین طبق شکل مذکور مشخص می شود که نمودار نرخ خرابی در ابتدا صفر بوده و با گذشت زمان با شیب نسبتاً زیادی رو به افزایش است و پس از گذشت ۱۵۰ ساعت تقریباً نرخ خرابی ثابت می شود.

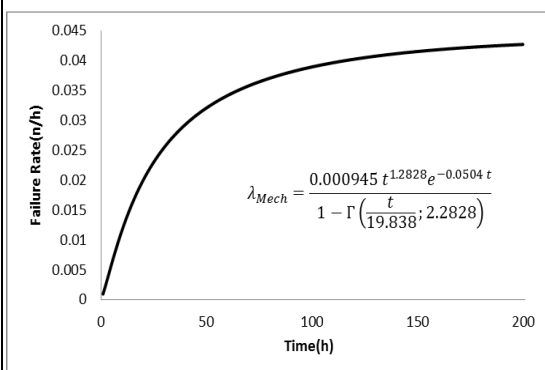
نتایج آزمون روند و همبستگی بر داده‌های خرابی زیرسیستم



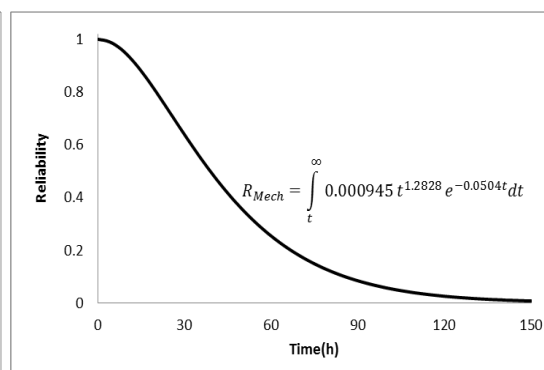
تعداد خرابی ثبت شده	درجه آزادی	U محاسبه شده	رد فرض صفر در سطح اعتماد ۹۵٪	روش مدل سازی انتخابی
۲۳	۴۴	۴۳/۹	(U > ۲۹/۷۹)	فرآیند تجدید شونده

نتایج تحلیل داده‌های خرابی زیرسیستم

نام	تابع توزیع چگالی احتمال	نمودار P-P	آزمون K-S	میانگین
Gamma			۰/۰۸۶۴۳	۴۵/۲۸۶
	پارامترهای بهترین تابع توزیع $\beta = ۱۹/۸۳۸$ و $\alpha = ۲/۲۸۲۸$	MTBF واقعی داده‌ها: ۴۵/۲۸۶		



منحنی نرخ خرابی



منحنی قابلیت اطمینان

شکل ۵-۱۰- مدل سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم مکانیکی بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان

۵-۶-۲- زیرسیستم بارگیری بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان

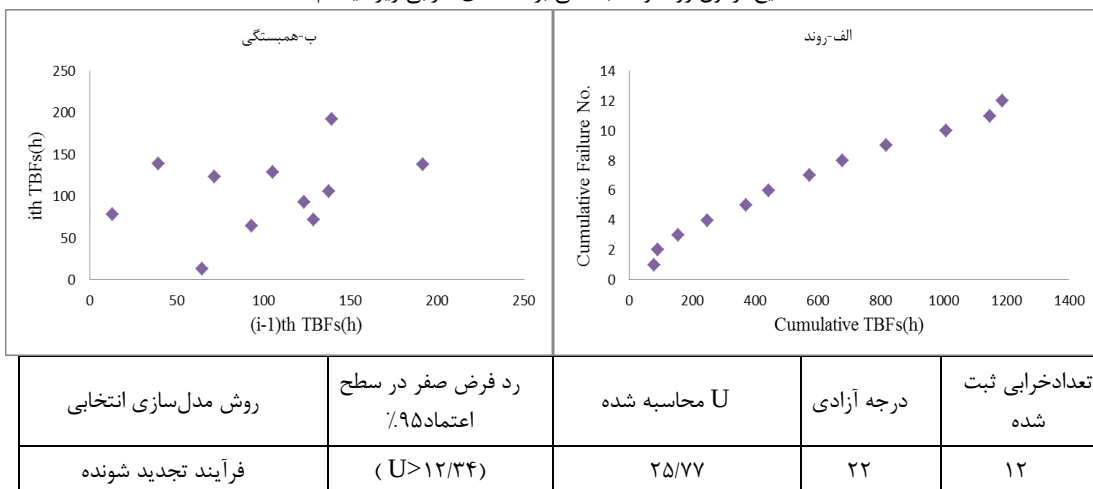
با بررسی و مشاهده نتایج حاصل از آزمون‌های روند و همبستگی مشخص می‌شود که داده‌ها بصورت مانا و مستقل توزیع شده‌اند و بنابراین بهترین روش برای مدل‌سازی، استفاده از فرآیند تجدید شونده می‌باشد. نتایج حاصل از آزمون‌های روند و همبستگی در شکل ۵-۱۱ ارائه شده است.

با بررسی و تحلیل داده‌های مربوط به زیرسیستم بارگیری مشخص می‌شود که توزیع داده‌ها از تابع ویبول سه پارامتری پیروی می‌کند. میانگین واقعی بین داده‌ها (۹۹) با میانگین بدست آمده از تابع ویبول سه پارامتری برابر است. کمترین مقدار K-S در بین توابع مربوط به تابع ویبول سه پارامتری با مقدار ۰/۱۱۷۷۱ می‌باشد. نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها در شکل ۵-۱۱ ارائه شده است.

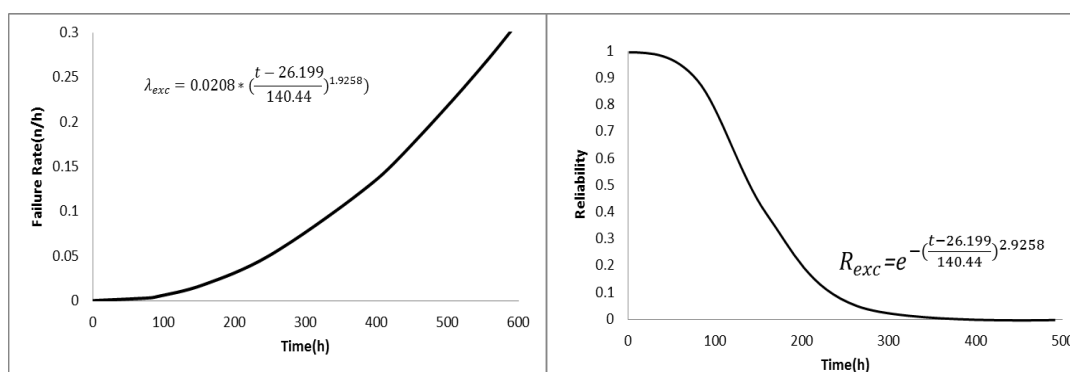
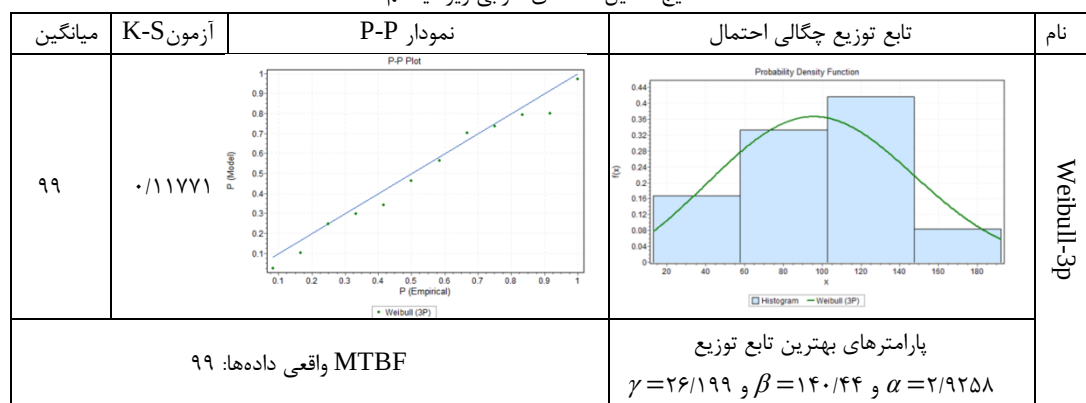
با توجه به مقادیر بدست آمده برای α (۲/۹۲۵۸)، β (۱۴۰/۴۴) و λ (۲۶/۱۹۹)، مدل قابلیت اطمینان و تابع نرخ خرابی مطابق روابط شکل ۵-۱۲ حاصل شد.

همچنین منحنی‌های مربوط به قابلیت اطمینان و نرخ خرابی زیرسیستم بارگیری مطابق شکل ۵-۱۱ می‌باشند. مطابق شکل مذکور قابلیت اطمینان این زیرسیستم پس از ۴۰۰ ساعت تقریباً به صفر می‌رسد. پس از گذشت ۲۰۰ ساعت از شروع عملکرد دستگاه احتمال خرابی و توقف این زیرسیستم تقریباً به ۸۰٪ می‌رسد. با توجه به منحنی نرخ خرابی و مقایسه با منحنی وانی شکل نرخ خرابی، این زیرسیستم در دوره فرسودگی طول عمر خود قرار دارد. همچنین با توجه به نمودار نرخ خرابی پس از گذشت حدود ۶۰۰ ساعت از شروع فعالیت دستگاه، نرخ خرابی به ۰/۳ خرابی بر ساعت می‌رسد.

نتایج آزمون روند و همبستگی بر داده‌های خرابی زیرسیستم



نتایج تحلیل داده‌های خرابی زیرسیستم



شکل ۵-۱۱- مدل‌سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم بارگیری بیل ۳۰۰ دوسان

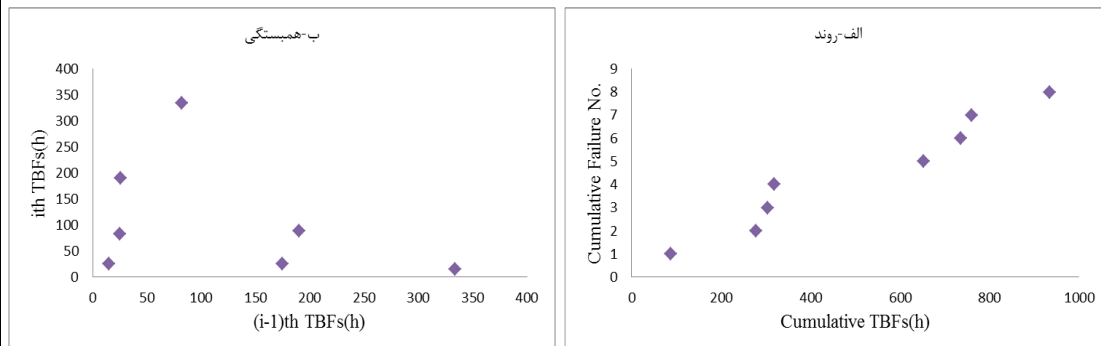
۵-۶-۲-۳- زیرسیستم حرکتی بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان

با توجه به روش گرافیکی برای آزمون روند، مشاهده می‌شود نمودار شامل دو بخش مجزا در آزمون روند می‌باشد. هر دو بخش این نمودار بطور مجزا عدم وجود روند را در داده‌ها نشان می‌دهند. در این موارد به منظور تصمیم‌گیری نهایی در مورد وجود یا عدم وجود روند در داده‌ها از رهیافت "جعبه سیاه" مورد استفاده قرار می‌گیرد و فقط نتایج آزمون تحلیلی که مبتنی بر جمعیت کل داده‌هاست به عنوان ملاک برای وجود یا عدم وجود روند در داده‌ها استفاده می‌شود. نتایج حاصل از آزمون گرافیکی و تحلیلی برای آزمون روند و همبستگی در شکل ۵-۱۲ ارائه شده است.

با توجه نتایج تحلیلی، عدم وجود روند در داده‌ها اثبات و بنابراین داده‌ها به صورت مانا توزیع شده‌اند. با توجه به عدم همبستگی در داده‌ها، لذا روش فرآیند تجدید شونده بهترین روش برای مدل‌سازی قابلیت اطمینان می‌باشد.

با تحلیل آماری داده‌های ارائه شده، نتایج مربوط به تعیین بهترین تابع توزیع احتمال خرابی و مشخصات آماری آن حاصل می‌گردد. میانگین واقعی بین داده‌ها برابر با ۱۱۶/۷۷ است. کمترین مقدار K-S مربوط به تابع نمایی است و همچنین نمودار P-P تطابق این توزیع را با داده‌ها تأیید می‌کند. این نتایج در شکل ۵-۱۲ ارائه شده است. بر اساس تابع خرابی نمایی برازش شده بر داده‌های خرابی، مدل قابلیت اطمینان و تابع نرخ خرابی سیستم حرکتی محاسبه شدند. منحنی‌های معادل با این نمودارها در شکل ۵-۱۲ ارائه شده است. مطابق شکل مذکور قابلیت اطمینان زیرسیستم حرکتی پس از حدود ۶۰۰ ساعت تقریباً به صفر می‌رسد. همچنین پس از حدود ۸۰ ساعت از شروع عملکرد دستگاه، احتمال خرابی به بیش از ۵۰٪ می‌رسد. طبق نمودار تابع خرابی ارائه شده، مشخص می‌شود که نرخ خرابی در طول زمان عملکردی دستگاه ثابت و برابر با ۰/۰۰۸۵۶ است.

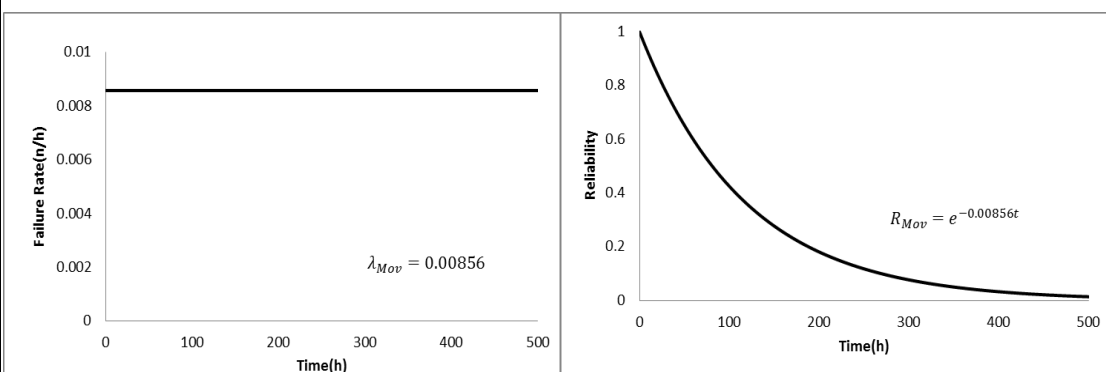
نتایج آزمون روند و همبستگی بر داده‌های خرابی زیرسیستم



تعداد خرابی ثبت شده	درجه آزادی	U محاسبه شده	رد فرض صفر در سطح اعتماد ۹۵٪	روش مدل سازی انتخابی
۸	۱۴	۱۳/۱۵۷۵	$(U > ۶/۵۷)$	فرآیند تجدید شونده

نتایج تحلیل داده‌های خرابی زیرسیستم

نام	تابع توزیع چگالی احتمال	نمودار P-P	آزمون K-S	میانگین
Exponential			۰/۱۷۷۶۸	۱۱۶/۷۷
	پارامترهای بهترین تابع توزیع $\lambda = ۰/۰۰۸۵۶$	MTBF واقعی داده‌ها: ۱۱۶/۷۷		



شکل ۵-۱۲- مدل سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم حرکتی بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان

۵-۶-۲-۴- زیرسیستم برقی بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان

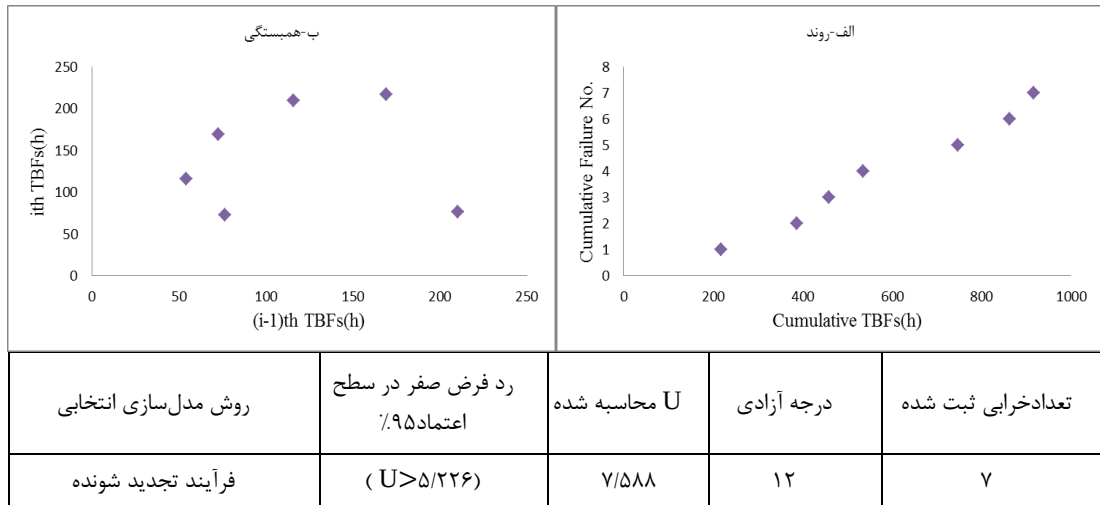
با توجه به آزمون‌های گرافیکی و تحلیلی برای مانا بودن و مستقل بودن داده‌ها، عدم وجود روند و همبستگی مطابق شکل ۵-۱۳ به اثبات می‌رسد و در نتیجه فرآیند تجدید شونده مناسب‌ترین روش برای مدل‌سازی قابلیت اطمینان این زیرسیستم می‌باشد.

با بررسی و تحلیل داده‌های آماری تابع ویبول به عنوان بهترین تابع چگالی احتمال در بین دیگر توابع انتخاب شده است. مقدار میانگین واقعی بین داده‌ها برابر با $130/845$ می‌باشد. کمترین مقدار K-S مربوط به تابع ویبول می‌باشد. نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها در شکل ۵-۱۳ ارائه شده است.

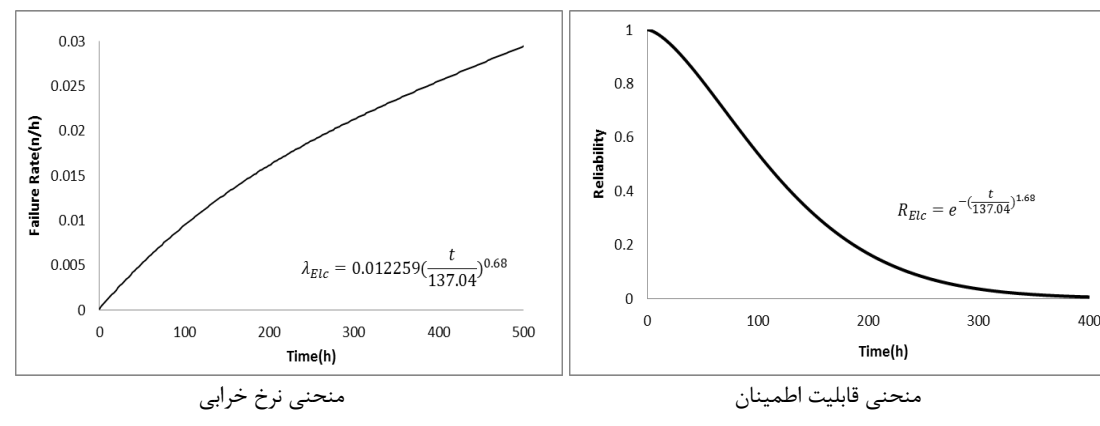
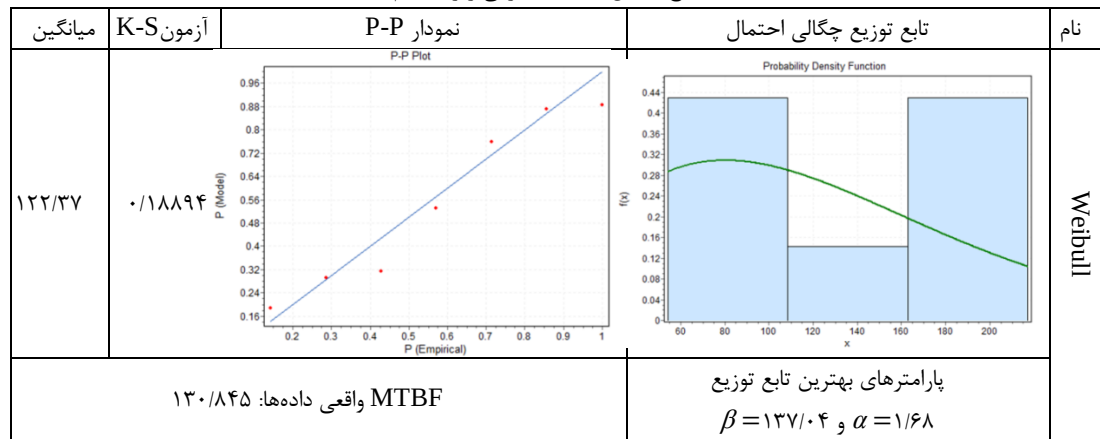
با توجه به تحلیل داده‌ها و استفاده از تابع ویبول برای مدل‌سازی قابلیت اطمینان، مقادیر α و β برای این تابع محاسبه شده است. روابط برای مدل قابلیت اطمینان و نرخ خرابی ارائه شده است. همچنین نمودارهای مربوط با این توابع در شکل ۵-۱۳ ارائه شده است.

با دقت در شکل ۵-۱۳ مشخص می‌شود که پس از ۴۰۰ ساعت از شروع فعالیت دستگاه، قابلیت اطمینان تقریباً برابر با صفر می‌شود. همچنین با گذشت تنها ۱۰۰ ساعت از شروع فعالیت، احتمال خرابی زیرسیستم برق حدود ۴۵٪ است. همچنین در نمودار مربوط به نرخ خرابی در شکل مذکور مشاهده می‌شود که در ابتدا نرخ خرابی صفر بوده و با گذشت زمان روند افزایشی دارد و نشان می‌دهد که این زیرسیستم در حال فرسودگی افزایشده قرار دارد و در صورت عدم کنترل و تعمیر و نگهداری پیشگیرانه، این سیستم دچار خرابی بسیار زیادی خواهد شد.

نتایج آزمون روند و همبستگی بر داده‌های خرابی زیرسیستم



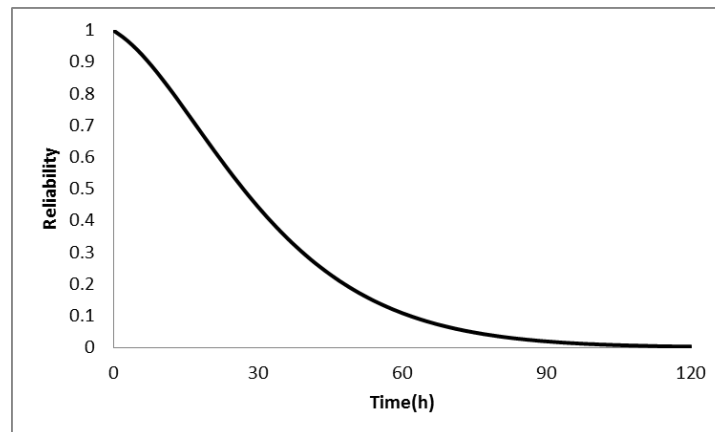
نتایج تحلیل داده‌های خرابی زیرسیستم



شکل ۵-۱۳- مدل سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم برقی بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان

۵-۶-۲-۵- قابلیت اطمینان کلی بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان

پس از محاسبه قابلیت اطمینان چهار زیرسیستم مربوط به این سیستم بارگیری، می‌توان قابلیت اطمینان کلی این سیستم را با استفاده از رابطه ۶-۲ بدست آورد. همچنین نمودار مربوط به قابلیت اطمینان این سیستم بارگیری در شکل ۵-۱۴ ارائه شده است. همانطور که در شکل مشخص است، قابلیت اطمینان پس از حدود ۱۰۰ ساعت تقریباً برابر با صفر می‌شود. همچنین پس از حدود ۳۰ ساعت قابلیت اطمینان به کمتر از ۵۰٪ می‌رسد.



شکل ۵-۱۴- نمودار قابلیت اطمینان کلی بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان

۵-۶-۳- مدل سازی قابلیت اطمینان بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای

۵-۶-۳-۱- زیرسیستم مکانیکی بیل ۳۲۰ هیوندای

برای بدست آوردن بهترین روش مدل سازی، از روش گرافیکی و تحلیلی برای آزمون روند و همبستگی استفاده شده است. با توجه به قرارگیری خطی نقاط در آزمون گرافیکی روند و بزرگتر بودن مقدار U محاسبه شده از مقدار بحرانی، عدم وجود روند در داده‌ها به اثبات می‌رسد. همچنین با پراکندگی نقاط در نمودار مربوط به همبستگی مشخص می‌شود که داده‌ها به صورت مستقل از یکدیگر می‌باشند. در نتیجه

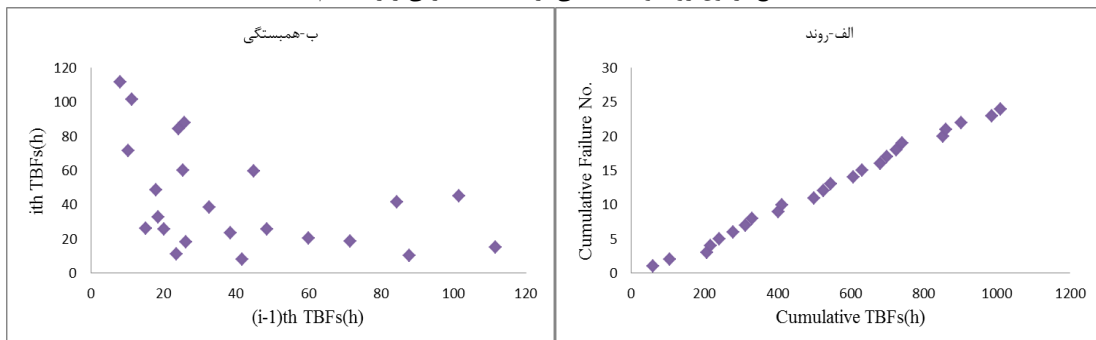
داده‌ها به صورت مانا و مستقل توزیع شده‌اند. بنابراین بهترین روش برای مدل‌سازی استفاده از فرآیند تجدید شونده می‌باشد. نتایج این آزمون‌ها در شکل ۵-۱۵ ارائه شده است.

با استفاده از داده‌های خرابی مربوط به زیرسیستم بارگیری و برازش توابع توزیع بر روی داده‌های این زیرسیستم، تابع لاگ نرمال به عنوان بهترین تابع برای برازش داده‌ها انتخاب گردید. کمترین مقدار K-S در بین توابع به این تابع اختصاص دارد. مقدار میانگین واقعی بین داده‌ها برابر با $42/104$ می‌باشد. نتایج حاصل از این برازش در شکل ۵-۱۵ ارائه شده است.

با توجه به نتایج حاصل از برازش توابع مختلف و مقادیر بدست آمده برای μ و σ روابط حاصل می‌شوند. این روابط در شکل ۵-۱۵ ارائه شده است. نمودارهای مربوط به قابلیت اطمینان و نرخ خرابی در شکل مذکور ارائه شده است. بر طبق این نمودارها مشخص می‌شود که قابلیت اطمینان این زیر سیستم پس از حدود ۱۵۰ ساعت به صفر نزدیک می‌شود. همچنین پس از گذشت حدود ۵۰ ساعت قابلیت اطمینان حدود ۷۰٪ کاهش می‌یابد.

همچنین با دقت در نمودار نرخ خرابی مشخص می‌شود که نرخ خرابی با گذشت زمان با شیب بسیار زیاد در حال افزایش است بطوریکه پس از مدت زمان ۱۵۰ ساعت از شروع فعالیت دستگاه، نرخ به حدود $0/6$ خرابی در ساعت می‌رسد. با مقایسه این نمودار با منحنی وانی شکل خرابی، این زیرسیستم در حال فرسودگی قرار دارد.

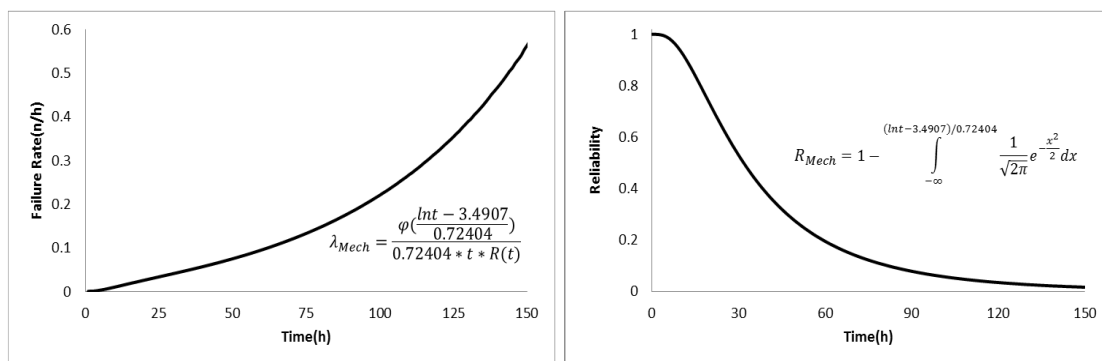
نتایج آزمون روند و همبستگی بر داده‌های خرابی زیرسیستم



تعداد خرابی ثبت شده	درجه آزادی	U محاسبه شده	رد فرض صفر در سطح اعتماد ۹۵٪	روش مدل سازی انتخابی
۲۴	۴۶	۳۹/۷۵	($U > ۳۱/۴۴$)	فرآیند تجدید شونده

نتایج تحلیل داده‌های خرابی زیرسیستم

نام	تابع توزیع چگالی احتمال	P-P نمودار	آزمون K-S	میانگین
Lognormal			۰/۱۲۰۹۵	۴۲/۶۳۹
	پارامترهای بهترین تابع توزیع $\sigma = ۰/۷۲۴۰۴$ و $\mu = ۳/۴۹۰۷$	MTBF واقعی داده‌ها: ۴۲/۱۰۴		



منحنی نرخ خرابی

منحنی قابلیت اطمینان

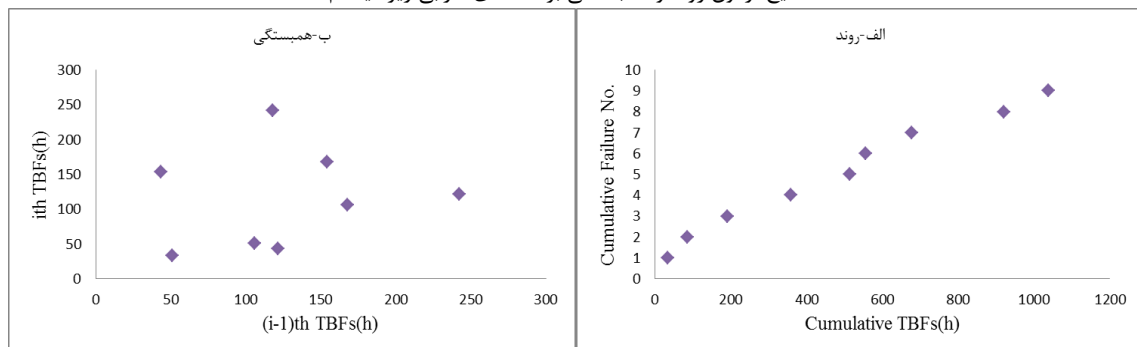
شکل ۵-۱۵- مدل سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم مکانیکی بیل ۳۲۰ هیوندای

۵-۶-۳-۲- زیرسیستم بارگیری بیل ۳۲۰ هیوندای

با استفاده از روش‌های گرافیکی و تحلیلی به منظور بررسی روند و همبستگی می‌توان مستقل و مانا بودن داده‌ها را مورد بررسی قرار داد. نتایج حاصل از این آزمون‌ها در شکل ۵-۱۶ ارائه شده است. با دقت در نمودار مربوط به آزمون گرافیکی روند مشخص می‌شود که قرارگیری نقاط به حالت خطی بسیار نزدیک می‌باشد و همچنین طبق نتایج ارائه شده، مقدار U محاسبه شده از مقدار بحرانی بیشتر می‌باشد و در نتیجه عدم وجود روند در داده‌ها به اثبات می‌رسد. با دقت در نمودار مربوط به آزمون همبستگی مشخص می‌شود قرارگیری نقاط در نمودار بصورت پراکنده می‌باشد و در نتیجه عدم همبستگی در داده‌ها اثبات می‌شود و در نتیجه بهترین روش برای مدل‌سازی قابلیت اطمینان استفاده از روش فرآیند تجدید شونده می‌باشد. با استفاده از داده‌های خرابی زیرسیستم بارگیری می‌توان برازش توابع مختلف را برای این داده‌ها بدست آورد. با انجام این برازش مشخص می‌شود که بهترین تابع برای برازش برای این داده‌ها، تابع نرمال می‌باشد. کمترین مقدار $K-S$ مربوط به این تابع می‌باشد. همچنین مقدار میانگین واقعی داده‌ها برابر با ۱۱۵/۳۲ می‌باشد. نتایج حاصل از این برازش مطابق شکل ۵-۱۶ می‌باشد.

با استفاده تحلیل داده‌ها، مقادیر μ و σ برای تابع نرمال محاسبه شد. مقادیر قابلیت اطمینان و نرخ خرابی طبق روابط شکل ۵-۱۷ محاسبه می‌شوند. همچنین نمودارهای مربوط به قابلیت اطمینان و نرخ خرابی در شکل ۵-۱۶ ارائه شده است. طبق شکل مذکور مشخص است قابلیت اطمینان ۳۰۰ ساعت بعد از شروع عملیات نزدیک به صفر می‌رسد. همچنین پس از ۱۰۰ ساعت، احتمال خرابی این زیرسیستم به حدود ۴۰٪ می‌رسد. با دقت در نمودار نرخ خرابی مشاهده می‌شود که این سیستم در حال فرسودگی می‌باشد و در صورت عدم کنترل و تعمیر و نگهداری پیشگیرانه، این سیستم دچار خرابی بسیار زیادی خواهد شد و در نتیجه توقف عملیات را در بر خواهد داشت.

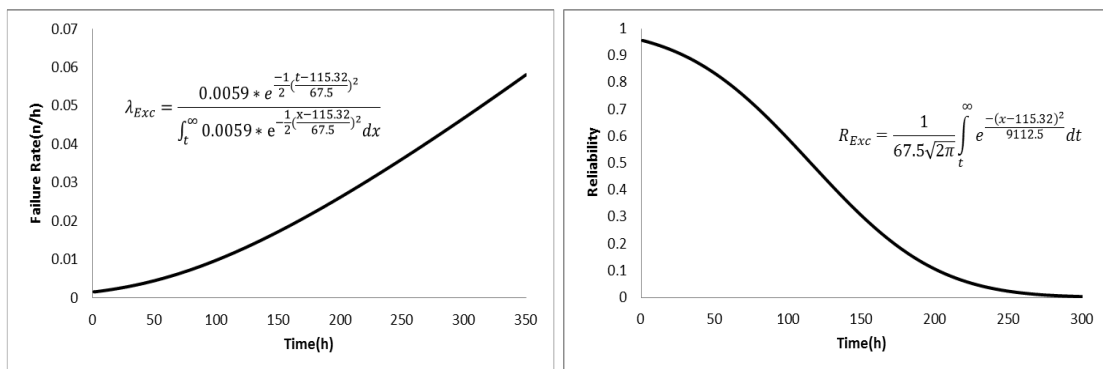
نتایج آزمون روند و همبستگی بر داده‌های خرابی زیرسیستم



تعداد خرابی ثبت شده	درجه آزادی	U محاسبه شده	رد فرض صفر در سطح اعتماد ۹۵٪	روش مدلسازی انتخابی
۹	۱۶	۲۱/۱۱	(U > ۷/۹۶۱۶)	فرآیند تجدید شونده

نتایج تحلیل داده‌های خرابی زیرسیستم

نام	تابع توزیع چگالی احتمال	نمودار P-P	آزمون K-S	میانگین
Normal			۰/۱۶۲۴۲	۱۱۵/۳۲
	پارامترهای بهترین تابع توزیع $\mu = ۱۱۵/۳۲$ و $\sigma = ۶۷/۵$	MTBF واقعی داده‌ها: ۱۱۵/۳۲		



شکل ۵-۱۶- مدل سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم بارگیری بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای

۵-۶-۳-۳- زیرسیستم حرکتی بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای

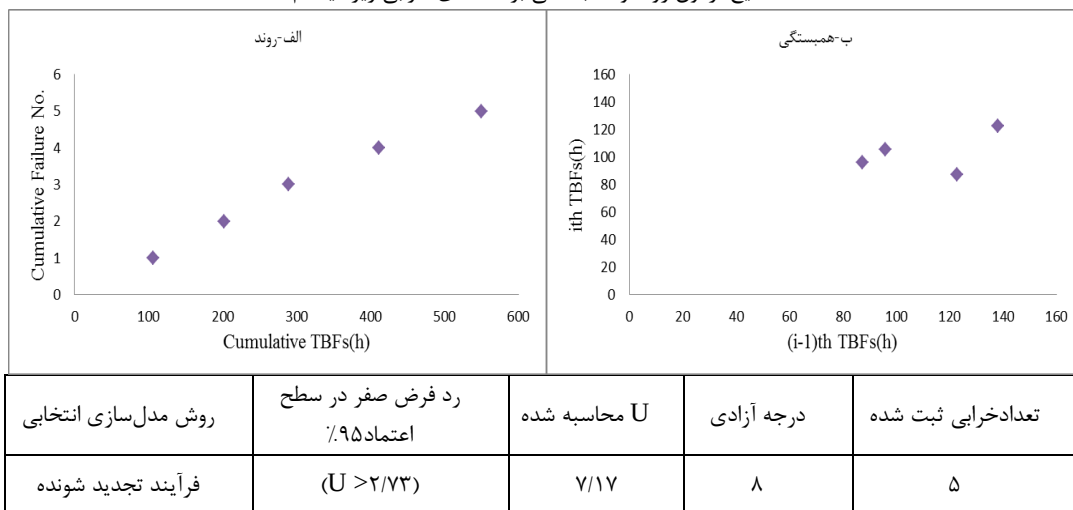
نتایج حاصل از آزمون‌های روند و همبستگی سری داده‌های خرابی این زیرسیستم در شکل ۵-۱۷ ارائه شده است. همانطور که در شکل مذکور مشاهده می‌شود قرارگیری نقاط در نمودار مربوط به آزمون روند به حالت خطی بسیار نزدیک است و همچنین مقدار U محاسبه شده از مقدار بحرانی بیشتر می‌باشد و لذا داده‌ها بصورت مانا توزیع شده‌اند. همچنین در شکل مذکور قرارگیری نامنظم نقاط در نمودار مربوط به همبستگی، عدم همبستگی داده‌ها را نشان می‌دهد. بنابراین با توجه به مانا و مستقل بودن داده‌ها، فرآیند تجدید شونده بهترین روش برای مدل‌سازی قابلیت اطمینان می‌باشد.

با تحلیل‌های آماری انجام شده بر روی داده‌های خرابی این زیرسیستم مشخص شد که بهترین برازش برای این داده‌ها استفاده از تابع گاما می‌باشد. نتایج حاصل در شکل ۵-۱۷ ارائه شده است. کمترین مقدار $K-S$ مربوط به تابع گاما می‌باشد و همچنین منحنی توزیع گاما از تطابق بسیار خوبی با داده‌ها برخوردار است.

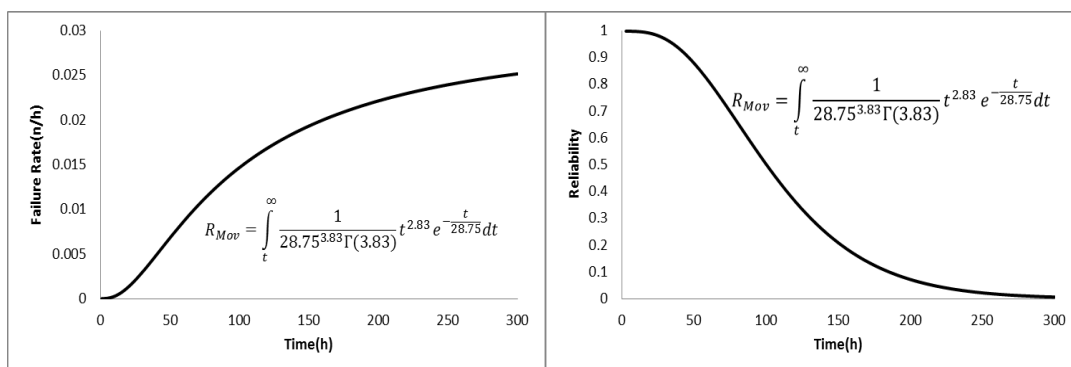
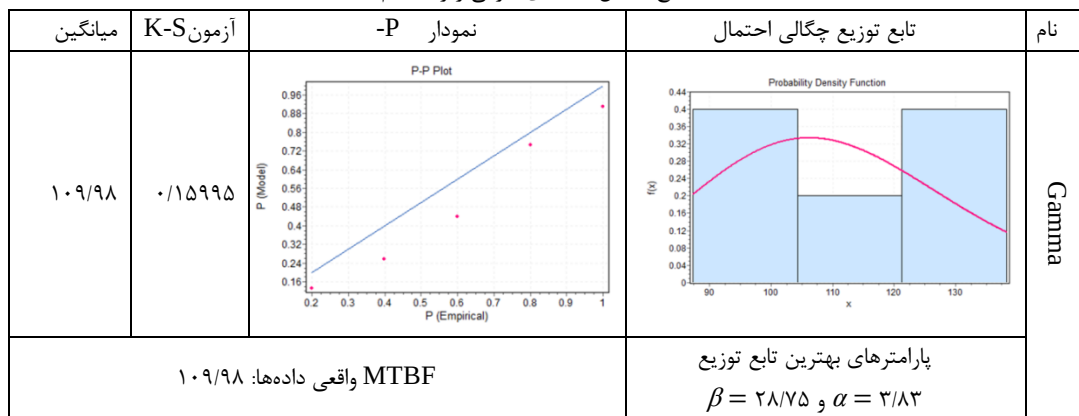
مدل قابلیت اطمینان و تابع نرخ خرابی با استفاده از تابع گاما محاسبه می‌شود. همچنین نمودارهای مرتبط با قابلیت اطمینان و نرخ خرابی در شکل ۵-۱۷ ارائه شده است.

با دقت در شکل ۵-۱۷ مشخص می‌شود که قابلیت اطمینان پس از ۳۰۰ ساعت به صفر نزدیک می‌شود و پس از حدود ۱۰۰ ساعت از شروع فعالیت دستگاه احتمال خراب شدن و سالم بودن دستگاه برابر می‌باشد. همچنین ملاحظه می‌شود که احتمال خرابی این زیرسیستم پس از ۱۰۰ ساعت حدود ۵۰٪ می‌باشد. ۷۰ ساعت پس از شروع عملیات، قابلیت اطمینان حدود ۲۵٪ کاهش می‌یابد.

نتایج آزمون روند و همبستگی بر داده‌های خرابی زیرسیستم



نتایج تحلیل داده‌های خرابی زیرسیستم



منحنی نرخ خرابی

منحنی قابلیت اطمینان

شکل ۵-۱۷- مدل سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم حرکتی بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای

۵-۶-۳-۴- زیرسیستم برقی بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای

نتایج حاصل از آزمون‌های مستقل و مانا بودن داده‌ها برای بررسی روند و همبستگی مطابق شکل ۵-۱۸ می‌باشد. با توجه به نتایج این آزمون‌ها و توزیع داده‌ها به صورت مانا و مستقل، بهترین روش برای مدل‌سازی قابلیت اطمینان این زیرسیستم استفاده از روش فرآیند تجدید شونده می‌باشد.

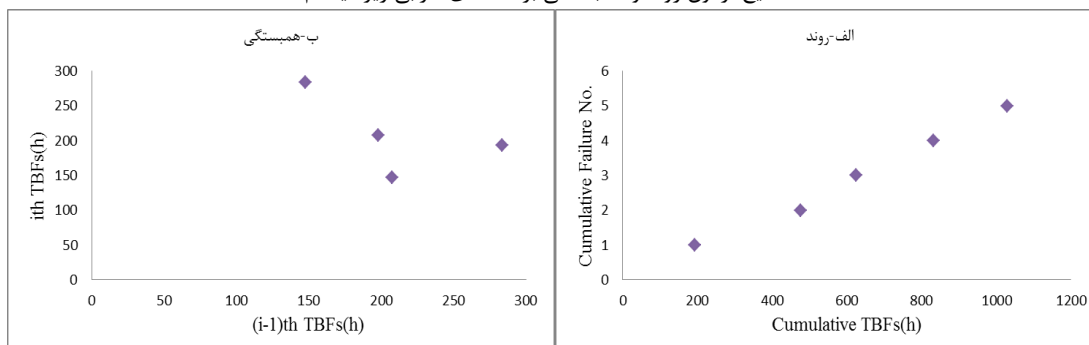
با بررسی برازش توابع مختلف بر روی داده‌های خرابی مشخص شد تابع لاگ نرمال بهترین تطابق را با توزیع چگالی احتمال داده‌ها دارد. همچنین این تابع دارای کمترین مقدار $K-S$ می‌باشد. مقدار میانگین واقعی بین داده‌ها برابر با $205/93$ است. نتایج حاصل از این برازش در شکل ۵-۱۸ ارائه شده است.

با بدست آمدن مقادیر σ و μ در تابع لاگ نرمال، روابط برای محاسبه قابلیت اطمینان و نرخ خرابی حاصل می‌شوند. این روابط در شکل ۵-۱۸ ارائه شده‌اند. همچنین منحنی‌های مربوط به قابلیت اطمینان و نرخ خرابی مطابق شکل حاصل شده است.

با دقت در نمودار قابلیت اطمینان مشخص می‌شود که پس از گذشت ۳۰۰ ساعت، قابلیت اطمینان این زیرسیستم تقریباً برابر با صفر می‌شود. همچنین نکته قابل توجه در این نمودار این است که قابلیت اطمینان این زیر سیستم پس از گذشت ۱۳۰ ساعت از شروع فعالیت ثابت و برابر با یک می‌باشد.

با دقت در نمودار مربوط به نرخ خرابی در شکل ۵-۱۸ مشخص می‌شود که در ۱۵۰ ساعت ابتدایی فعالیت دستگاه، نرخ خرابی این زیرسیستم تقریباً صفر است که نشان‌دهنده‌ی سطح بالای کیفیت شرایط فنی این زیرسیستم می‌باشد. با ادامه فعالیت دستگاه نرخ خرابی رو به افزایش است به طوری که پس از حدود ۲۵۰ ساعت به ۰/۱ خرابی بر ساعت می‌رسد در نتیجه برای این سیستم باید از استراتژی تعمیر و نگهداری پیشگیرانه استفاده نمود.

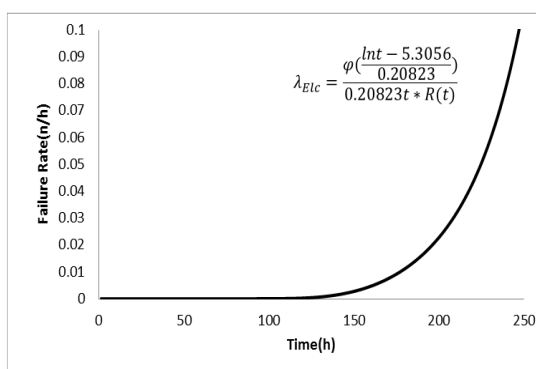
نتایج آزمون روند و همبستگی بر داده‌های خرابی زیرسیستم



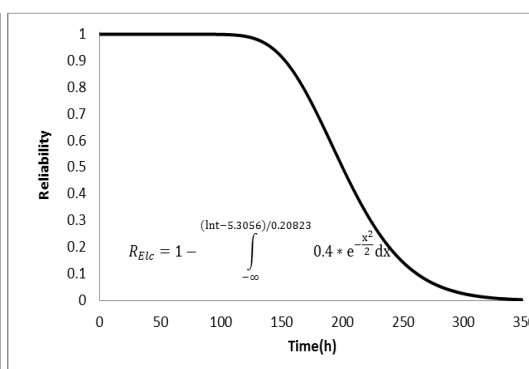
تعدادخرابی ثبت شده	درجه آزادی	U محاسبه شده	رد فرض صفر در سطح اعتماد ۹۵٪	روش مدل سازی انتخابی
۵	۸	۶/۳۱۶	(U > ۲/۷۳)	فرآیند تجدید شونده

نتایج تحلیل داده‌های خرابی زیرسیستم

نام	تابع توزیع چگالی احتمال	نمودار P-P	آزمون K-S	میانگین
Lognormal			۰/۲۴۴۴۸	۲۰۵/۸۸
	پارامترهای بهترین تابع توزیع $\sigma = ۰/۲۰۸۲۳$ و $\mu = ۵/۳۰۵۶$	MTBF واقعی داده‌ها: ۲۰۵/۹۳		



منحنی نرخ خرابی

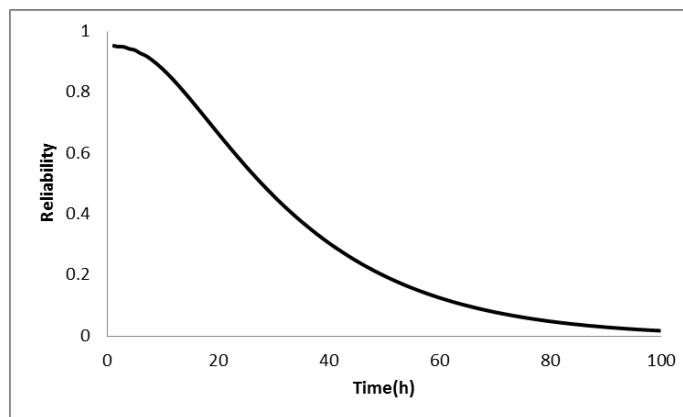


منحنی قابلیت اطمینان

شکل ۵-۱۸- مدل سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم برقی بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای

۵-۶-۳-۵- قابلیت اطمینان کلی بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای

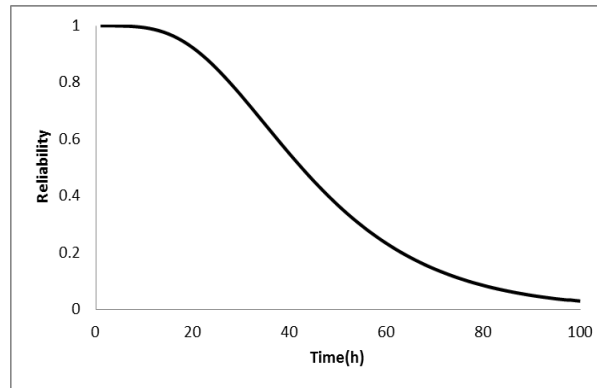
قابلیت اطمینان این دستگاه با توجه به سری بودن چهار زیرسیستم آن مطابق رابطه ۶-۲ محاسبه می‌شود. با دقت در نمودار شکل ۱۹-۵ مربوط به قابلیت اطمینان بیل ۳۲۰ هیوندای مشخص می‌شود که پس از گذشت ۱۰۰ ساعت از شروع فعالیت دستگاه، قابلیت اطمینان تقریباً برابر با صفر می‌شود. همچنین پس از حدود ۳۰ ساعت از شروع دستگاه قابلیت اطمینان ۵۰٪ کاهش می‌یابد.



شکل ۱۹-۵- نمودار قابلیت اطمینان کلی بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای

۵-۶-۴- قابلیت اطمینان کلی بخش بارگیری سیستم ترابری معدن طلای زرمهر

پس از محاسبه قابلیت اطمینان سه زیرسیستم مربوط به بخش بارگیری، قابلیت اطمینان کلی این بخش را می‌توان محاسبه نمود. طبق نتایج قبلی قابلیت اطمینان بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو پس از ۷۰ ساعت، بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان پس از ۱۰۰ ساعت و همچنین بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای پس از ۱۰۰ ساعت تقریباً صفر می‌شود. برای محاسبه قابلیت اطمینان کلی بخش بارگیری، زیرسیستم‌های بارگیری (بیل‌ها) بصورت موازی با یکدیگر در نظر گرفته شده‌اند. با توجه به موازی بودن شبکه‌ی بخش بارگیری، برای محاسبه قابلیت اطمینان از رابطه‌ی ۷-۲ استفاده شده است.



شکل ۵-۲۰- نمودار قابلیت اطمینان سیستم بارگیری معدن طلای زرمهر

با دقت در شکل ۵-۲۰ مشاهده می‌شود که قابلیت اطمینان بخش بارگیری سیستم حمل و نقل معدن طلای زرمهر پس از مدت ۱۰۰ ساعت تقریباً برابر با صفر می‌شود. قابلیت اطمینان در طی ۵۰ ساعت اول حدود ۶۵٪ کاهش می‌یابد. همچنین با دقت در نمودار مشخص می‌شود که بطور میانگین در هر ساعت یک درصد از قابلیت اطمینان بخش بارگیری کاسته می‌شود.

۵-۷- تحلیل خرابی و ارزیابی مدل سازی قابلیت اطمینان بخش باربری

به منظور تحلیل قابلیت اطمینان بخش باربری در معدن طلای زرمهر سه عدد دستگاه کامیون ده چرخ مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مشخصات مربوط به این کامیون‌ها در جدول ۵-۱ ارائه شده است. هر کدام از این کامیون‌ها یک زیرسیستم اصلی برای بخش باربری محسوب می‌شوند و هر زیرسیستم اصلی به سه زیرسیستم فرعی تقسیم می‌شوند. زیرسیستم‌های فرعی شامل بخش‌های مکانیکی، حرکتی و برقی می‌باشند. در بین زیرسیستم‌های اصلی کامیون دنگ‌فنگ با داشتن ۳۸٪ خرابی‌ها به عنوان دستگاه بحرانی و زیرسیستم مکانیکی با داشتن ۶۲/۵٪ خرابی‌ها به عنوان زیرسیستم بحرانی شناخته می‌شود. به منظور ارزیابی سیستم باربری، ابتدا ارزیابی زیرسیستم‌های فرعی هر دستگاه صورت می‌گیرد و در نتیجه قابلیت اطمینان هر دستگاه محاسبه می‌شود. در نهایت با داشتن قابلیت اطمینان هر دستگاه، قابلیت

اطمینان کل سیستم باربری محاسبه می‌شود. تحلیل‌های مربوط به قابلیت اطمینان و نرخ خرابی زیرسیستم‌های فرعی و اصلی بخش باربری در ادامه ارائه شده است.

۵-۷-۱- مدل سازی قابلیت اطمینان کامیون دنگ فنگ

۵-۷-۱-۱- زیرسیستم مکانیکی کامیون دنگ فنگ

آزمون‌های گرافیکی و تحلیلی برای بررسی روند و همبستگی در شکل ۵-۲۱ ارائه شده است. نتایج حاصل از آزمون روند و همبستگی حاکی از عدم وجود روند و همبستگی در داده‌ها می‌باشد و داده‌ها بصورت مستقل و مانا توزیع شده‌اند و در نتیجه بهترین روش برای مدل سازی قابلیت اطمینان، روش فرآیند تجدید شونده می‌باشد.

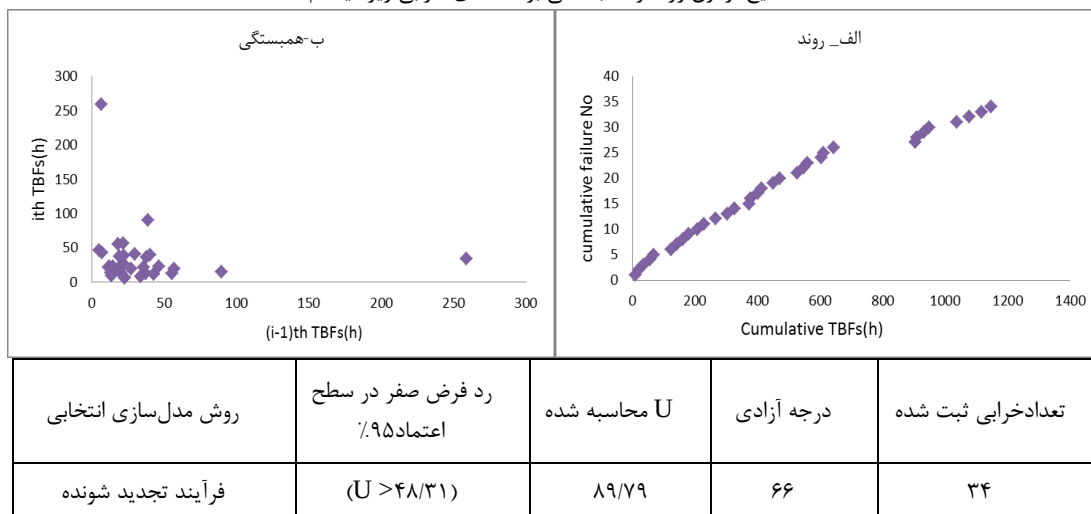
با بررسی برازش توابع مختلف بر روی داده‌های خرابی مربوط به این زیرسیستم مشخص می‌شود که تابع لاگ نرمال بهترین تابع برای مدل سازی قابلیت اطمینان این زیرسیستم می‌باشد. نتایج حاصل از این برازش در شکل ۵-۲۱ ارائه شده است. مقدار میانگین واقعی بین داده‌ها برابر با ۳۳/۷۴۵ می‌باشد.

با توجه به نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها و مقادیر محاسبه شده برای σ و μ مدل قابلیت اطمینان و تابع نرخ خرابی حاصل شد. همچنین منحنی‌های معادل با قابلیت اطمینان و نرخ خرابی ارائه شده‌اند.

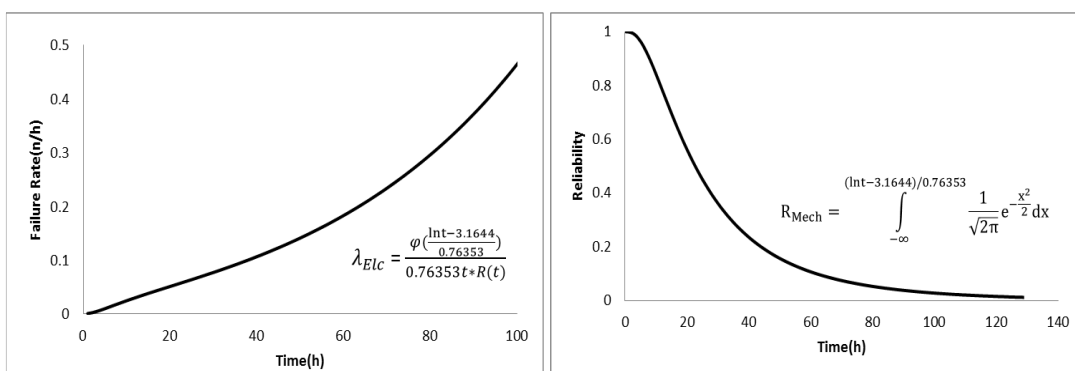
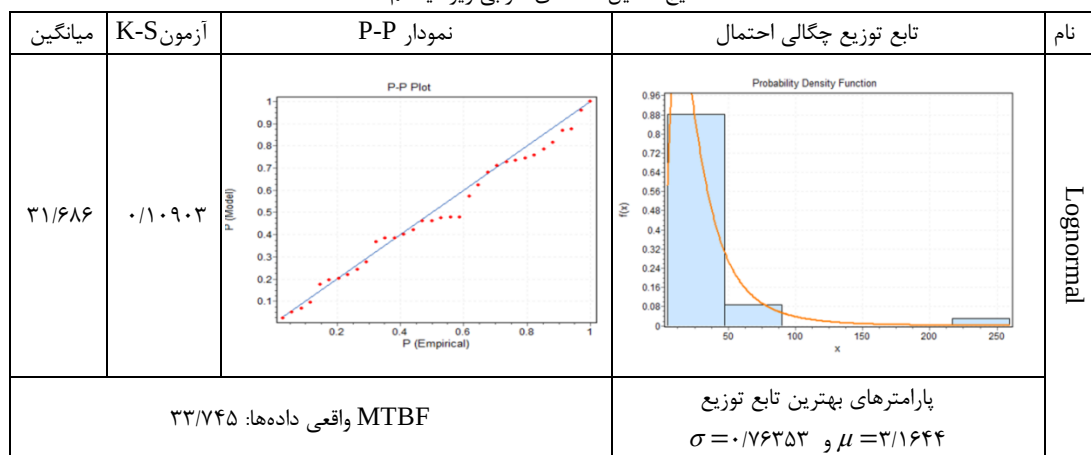
با دقت در نمودار شکل ۵-۲۱ مشخص شده است که قابلیت اطمینان پس از حدود ۱۲۰ ساعت به صفر می‌رسد. همچنین پس از حدود ۴۵ ساعت، قابلیت اطمینان به ۲۰٪ می‌رسد.

با توجه به نمودار مربوط به نرخ خرابی در شکل مذکور مشخص می‌شود نرخ خرابی مربوط به این زیرسیستم به نسبت بالا می‌باشد و بایستی تمهیدات ویژه‌ای برای این زیرسیستم در نظر گرفت تا از توقف‌های ناخواسته تا حدالامکان جلوگیری شود.

نتایج آزمون روند و همبستگی بر داده‌های خرابی زیرسیستم



نتایج تحلیل داده‌های خرابی زیرسیستم



شکل ۵-۲۱- مدل سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم مکانیکی کامیون دنگ فنگ

۵-۷-۱-۲- زیرسیستم حرکتی کامیون دنگ فنگ

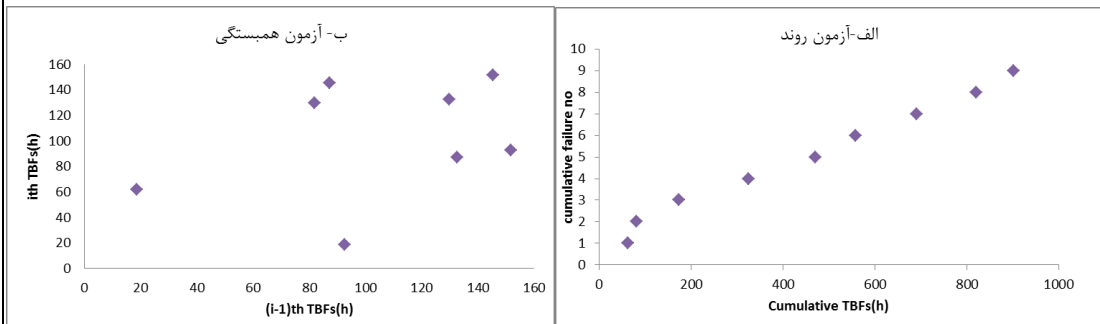
با توجه به تحلیل پارتو صورت گرفته بر روی داده‌ها مشخص شد که زیرسیستم حرکتی دومین زیرسیستم مهم سیستم باربری در معدن طلای زرمهر است.

با دقت در نمودار مربوط به آزمون روند، مشخص می‌شود قرارگیری نقاط در نمودار به صورت خطی می‌باشد. همچنین آزمون تحلیلی برای بررسی روند، عدم وجود روند در داده‌ها را به اثبات می‌رساند در نتیجه داده‌ها به صورت مانا توزیع شده‌اند. قرارگیری نقاط در نمودار همبستگی به صورت پراکنده می‌باشد لذا داده‌ها به صورت مستقل توزیع شده‌اند. بنابراین فرآیند تجدید شونده بهترین روش برای مدل‌سازی قابلیت اطمینان این زیرسیستم می‌باشد. نتایج حاصل از این آزمون‌ها در شکل ۵-۲۲ ارائه شده است.

به منظور تعیین بهترین تابع توزیع، برازش توابع مختلف بر روی داده‌های موجود صورت گرفت و تابع نرمال به عنوان بهترین تابع توزیع انتخاب شد. مقدار آزمون K-S برابر با ۰/۱۹۵۰۹ می‌باشد. همچنین مقدار میانگین واقعی بین داده‌ها برابر با ۱۰۰/۲۳ می‌باشد. شکل ۵-۲۲ نتایج برازش بهترین تابع توزیع را نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها و تعیین تابع نرمال به عنوان بهترین تابع توزیع، مدل قابلیت اطمینان و تابع نرخ خرابی حاصل می‌شود. همچنین نمودارهای مربوط به این توابع در شکل ۵-۲۲ ارائه شده‌اند.

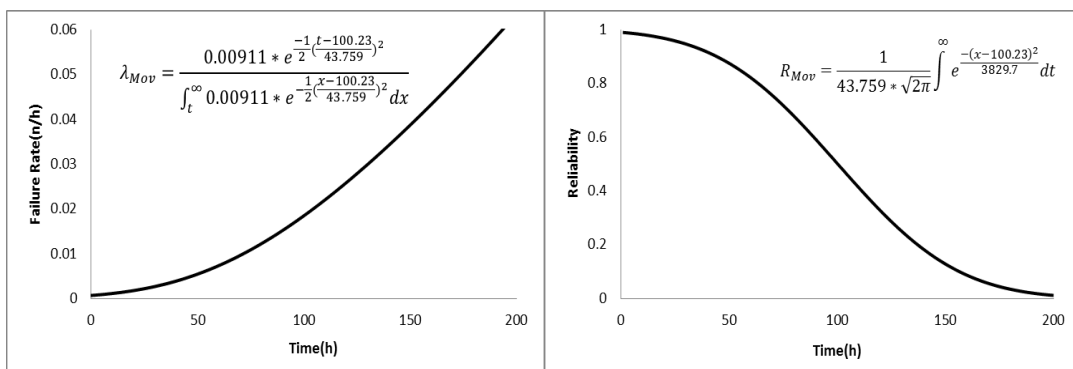
نتایج آزمون روند و همبستگی بر داده‌های خرابی زیرسیستم



تعداد خرابی ثبت شده	درجه آزادی	U محاسبه شده	رد فرض صفر در سطح اعتماد ۹۵٪	روش مدل سازی انتخابی
۹	۱۶	۱۸/۵۰۹	(U > ۷/۹۶۱۶)	فرآیند تجدید شونده

نتایج تحلیل داده‌های خرابی زیرسیستم

نام	تابع توزیع چگالی احتمال	نمودار P-P	آزمون K-S	میانگین
Normal			۰/۱۹۵۰۹	۱۰۰/۲۳
	پارامترهای بهترین تابع توزیع $\mu = ۱۰۰/۲۳$ و $\sigma = ۴۳/۷۵۹$	MTBF واقعی داده‌ها: ۱۰۰/۲۳		



شکل ۵-۲۲- مدل سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم حرکتی کامیون دنگ فنگ

با دقت در نمودار مربوط به قابلیت اطمینان در شکل ۵-۲۲ مشخص می‌شود که پس از حدود ۲۰۰ ساعت قابلیت اطمینان به صفر می‌رسد. همچنین تنها پس از حدود ۵۰ ساعت از شروع فعالیت دستگاه، قابلیت اطمینان این زیرسیستم ۱۵٪ کاهش می‌یابد. همچنین با دقت در نمودار شکل مذکور مشخص می‌شود که نرخ خرابی با شتاب افزایش در حال افزایش است و این زیرسیستم در دوره فرسودگی قرار دارد.

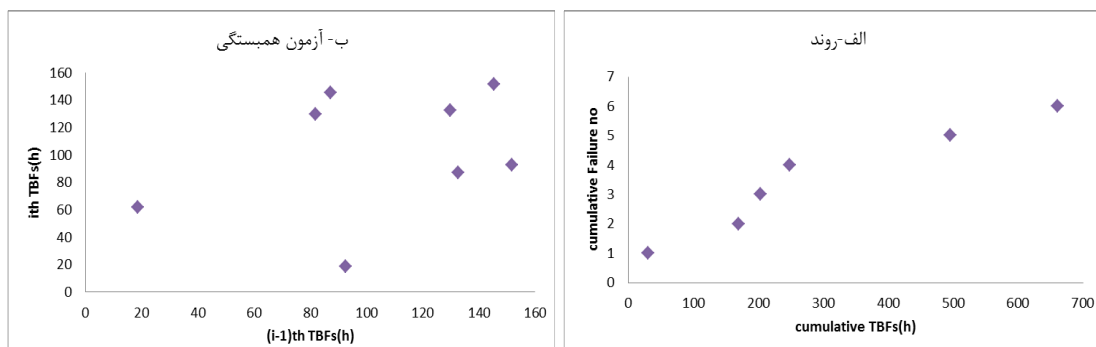
۵-۷-۱-۳- زیرسیستم برقی کامیون دنگ‌فنگ

به منظور تعیین بهترین روش برای مدل‌سازی قابلیت اطمینان متناسب با داده‌ها از این روش استفاده شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که این داده‌ها بصورت مستقل و مانا توزیع شده‌اند و روش فرآیند تجدید شونده بهترین روش برای مدل‌سازی قابلیت اطمینان این زیرسیستم می‌باشد. نتایج حاصل از روش‌های گرافیکی و تحلیلی برای بررسی وجود روند و همبستگی در شکل ۵-۲۳ ارائه شده است.

با انجام برازش توابع مختلف بر روی داده‌های مربوط به زیرسیستم برقی مشخص شد که تابع نمایی بهترین تابع توزیع برای داده‌ها می‌باشد. همچنین شایان به ذکر است که مقدار میانگین واقعی بین داده‌ها برابر با $101/77$ می‌باشد. نتایج حاصل از برازش داده‌ها در شکل ۵-۲۳ ارائه شده است. با توجه به نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها، مدل قابلیت اطمینان و تابع نرخ خرابی پس از تعیین مقدار λ بدست می‌آید. نمودارهای مربوط به قابلیت اطمینان و نرخ خرابی در شکل مذکور ارائه شده است.

با دقت در نمودار شکل ۵-۲۳ مشخص می‌شود که قابلیت اطمینان زیرسیستم برقی پس از حدود ۵۰۰ ساعت به صفر می‌رسد و پس از این مدت دستگاه متوقف می‌شود. همچنین قابلیت اطمینان زیرسیستم برقی پس از ۷۰ ساعت به ۵۰٪ می‌رسد. همچنین با بررسی در شکل مذکور مشخص می‌شود که مقدار نرخ خرابی زیرسیستم ثابت و تقریباً برابر با $0/01$ خرابی بر ساعت می‌باشد.

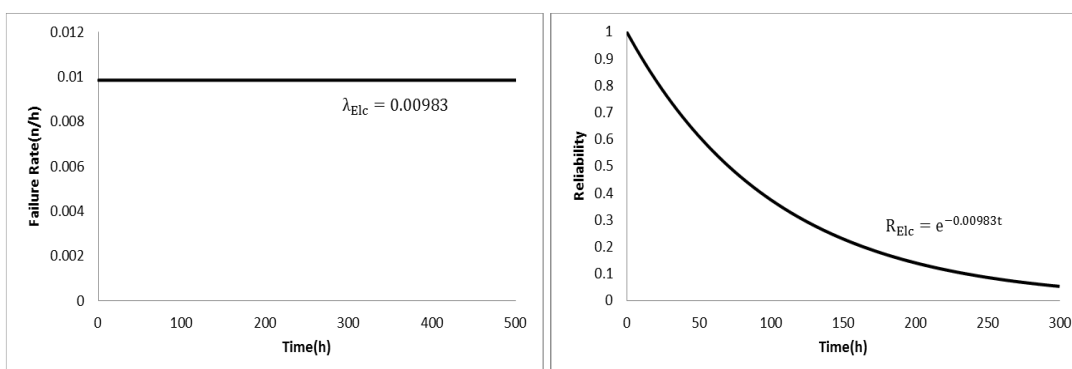
نتایج آزمون روند و همبستگی بر داده‌های خرابی زیرسیستم



تعدادخرابی ثبت شده	درجه آزادی	U محاسبه شده	رد فرض صفر در سطح اعتماد ۹۵٪	روش مدل سازی انتخابی
۶	۱۰	۱۰/۸۲	(U > ۳/۹۴۰۳)	فرآیند تجدید شونده

نتایج تحلیل داده‌های خرابی زیرسیستم

نام	تابع توزیع چگالی احتمال	نمودار P-P	آزمون K-S	میانگین
Exponential	پارامترهای بهترین تابع توزیع $\lambda = 0.00983$		۰/۲۵۸۹۴	۱۰/۷۸
	MTBF واقعی داده‌ها: ۱۰۱/۷۷			

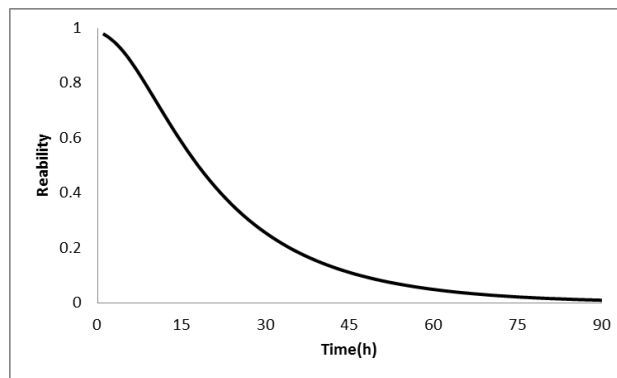


شکل ۵-۲۳- مدل سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم برقی کامیون دنگ فنگ

۵-۷-۱-۴- قابلیت اطمینان کلی کامیون دنگ فنگ

با انجام محاسبات قابلیت اطمینان مربوط به زیرسیستم‌های دستگاه می‌توان قابلیت اطمینان کلی دستگاه را محاسبه نمود. با توجه به سری بودن زیرسیستم‌های این دستگاه در نحوه‌ی عملکردی دستگاه، قابلیت اطمینان کلی مطابق رابطه ۲-۶ محاسبه می‌شود.

نمودار مربوط به قابلیت اطمینان این زیرسیستم در شکل ۵-۲۴ ارائه شده است. مطابق نمودار قابلیت اطمینان این کامیون پس از مدت زمان ۹۰ ساعت به صفر می‌رسد. پس از ۳۰ ساعت از شروع فعالیت دستگاه، قابلیت اطمینان آن به ۲۵٪ می‌رسد.



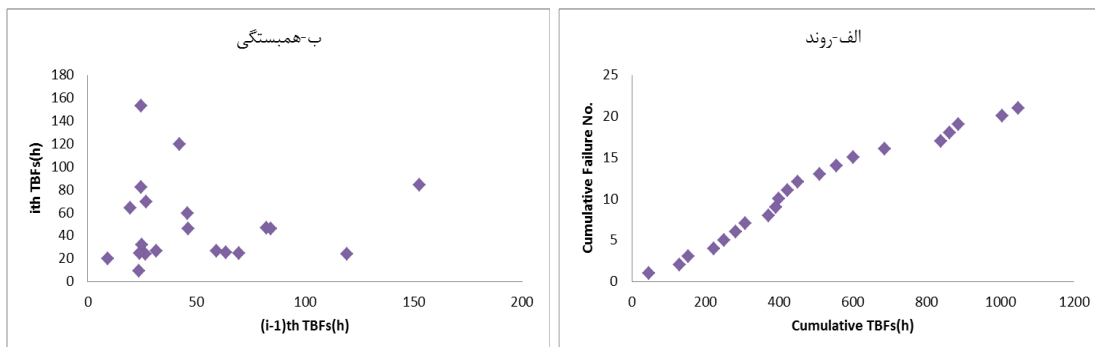
شکل ۵-۲۴- نمودار قابلیت اطمینان کلی کامیون دنگ فنگ

۵-۷-۲- مدل سازی قابلیت اطمینان کامیون بنز ۲۰۱۱

۵-۷-۲-۱- زیرسیستم مکانیکی کامیون بنز ۲۰۱۱

با استفاده از روش‌های گرافیکی و تحلیلی برای وجود روند و همبستگی در داده‌ها مشخص شد که داده‌ها فاقد وجود روند و همبستگی می‌باشند و لذا داده‌ها بصورت مانا و مستقل توزیع شده‌اند و روش فرآیند تجدید شونده بهترین روش برای مدل سازی قابلیت اطمینان می‌باشد. نتایج حاصل از این آزمون‌ها در شکل ۵-۲۵ ارائه شده است.

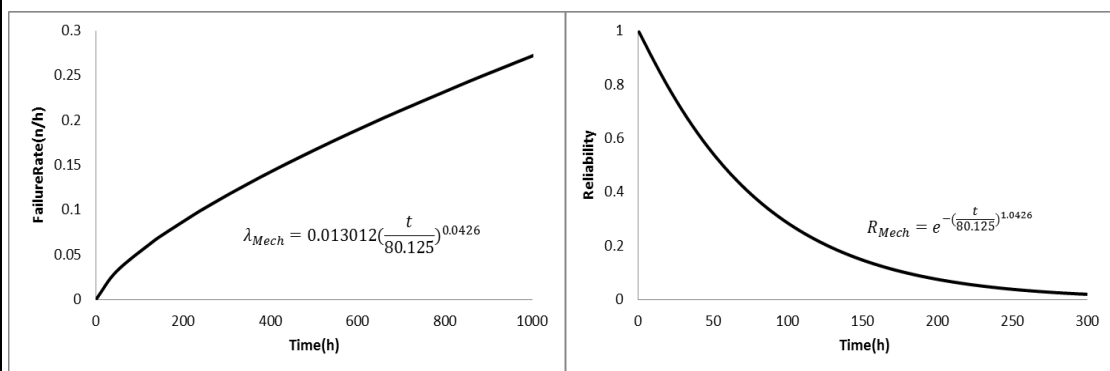
نتایج آزمون روند و همبستگی بر داده‌های خرابی زیرسیستم



تعداد خرابی ثبت شده	درجه آزادی	U محاسبه شده	رد فرض صفر در سطح اعتماد ۹۵٪	روش مدل سازی انتخابی
۲۱	۴۰	۴۰/۷۰۵	$(U > ۲۶/۵۱)$	فرآیند تجدید شونده

نتایج تحلیل داده‌های خرابی زیرسیستم

نام	تابع توزیع چگالی احتمال	نمودار P-P	آزمون K-S	میانگین
Weibull	پارامترهای بهترین تابع توزیع $\beta = ۸۰/۱۲۵$ و $\alpha = ۱/۰۴۲۶$		۰/۱۴۵۴۷	۴۵/۶۲
		MTBF واقعی داده‌ها: ۴۵/۸۴		



شکل ۵-۲۵- مدل سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم مکانیکی کامیون بنز ۲۰۱۱

با بررسی برازش توابع مختلف بر روی داده‌های این زیرسیستم مشخص شد که تابع ویبول دارای بهترین تطابق نسبت به سایر توابع می‌باشد. مقدار واقعی میانگین داده‌ها برابر با $45/84$ می‌باشد. نتایج حاصل از این برازش در شکل ۵-۲۵ ارائه شده است.

با توجه به نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها و بدست آوردن مقادیر α ($80/125$) و β ($1/0426$)، مدل قابلیت اطمینان و تابع نرخ خرابی حاصل می‌شود. نمودارهای مربوط به قابلیت اطمینان و نرخ خرابی در شکل ۵-۲۵ ارائه شده است.

طبق شکل مذکور مشخص می‌شود که مقدار قابلیت اطمینان پس از حدود ۴۰۰ ساعت تقریباً به صفر می‌رسد و پس از آن عملاً دستگاه متوقف می‌شود. همچنین با دقت در نمودار مشخص می‌شود که پس از حدود ۱۰۰ ساعت قابلیت اطمینان دستگاه به ۳۰٪ می‌رسد و این زیرسیستم ریسک عملیاتی آن به شدت افزایش می‌یابد. همچنین با دقت در نمودار نرخ خرابی در شکل مذکور مشخص می‌شود نرخ خرابی روند افزایشی دارد و لذا زیرسیستم در دوره‌ی فرسودگی قرار دارد. مطابق این نمودار پس از گذشت ۶۰۰ ساعت، نرخ خرابی به ۰/۲ خرابی بر ساعت می‌رسد.

۵-۷-۲-۲- زیرسیستم حرکتی کامیون بنز ۲۰۱۱

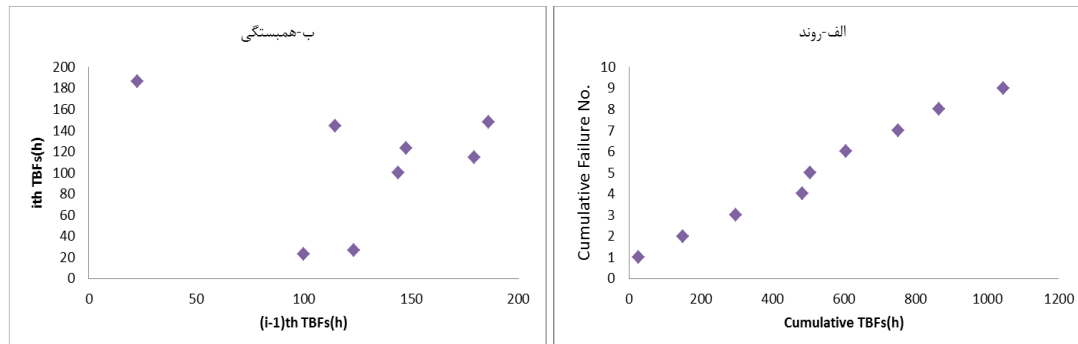
با انجام آزمون‌های گرافیکی و تحلیلی برای بررسی وجود یا عدم وجود روند و همبستگی بین داده‌ها نتایج شکل ۵-۲۶ حاصل گردید. مطابق این نتایج داده‌ها به صورت مستقل و مانا توزیع شده‌اند و لذا روش فرآیند تجدید شونده بهترین روش برای مدل‌سازی قابلیت اطمینان می‌باشد.

با انجام برآزش توابع مختلف بر روی داده‌های مربوط به این زیرسیستم مشخص شد که تابع نرمال بهترین تابع برای مدل‌سازی قابلیت اطمینان این زیرسیستم می‌باشد. مقدار K-S این تابع برابر با ۰/۱۷۰۵۶ می‌باشد. نتایج حاصل از برآزش این تابع بر روی داده‌ها در شکل ۵-۲۶ ارائه شده است.

با استفاده از نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها، مدل قابلیت اطمینان و تابع نرخ خرابی برای این زیر سیستم حاصل شد. همچنین نمودارهای مربوط به قابلیت اطمینان و نرخ خرابی در شکل ۵-۲۶ ارائه شده است.

با دقت در نمودار مربوط به قابلیت اطمینان در شکل ۵-۲۶ مشخص می‌شود که پس از گذشت ۱۲۰ ساعت کارکرد دستگاه، قابلیت اطمینان این زیر سیستم ۵۰٪ کاهش می‌یابد. همچنین با دقت در نمودار نرخ خرابی، مشخص می‌شود که نرخ خرابی پس از ۲۵۰ ساعت کارکرد دستگاه، نرخ خرابی به بالاتر از مقدار ۰/۰۴ خرابی بر ساعت می‌رسد.

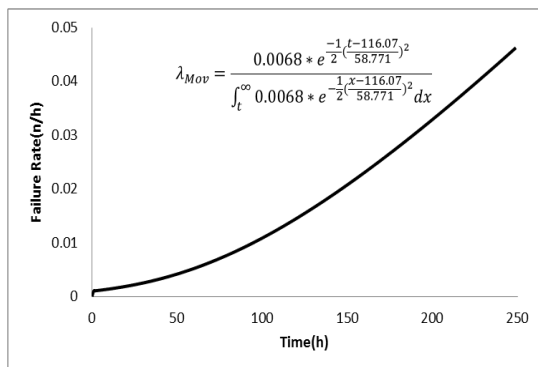
نتایج آزمون روند و همبستگی بر داده‌های خرابی زیرسیستم



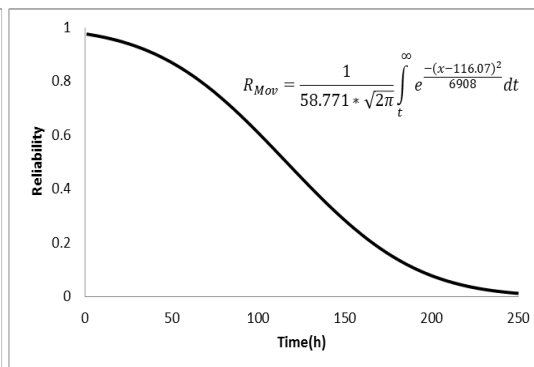
تعدادخرابی ثبت شده	درجه آزادی	U محاسبه شده	رد فرض صفر در سطح اعتماد ۹۵٪	روش مدل سازی انتخابی
۹	۱۶	۱۸/۸۱۸	(U > ۷/۹۶۱۶)	فرآیند تجدید شونده

نتایج تحلیل داده‌های خرابی زیرسیستم

نام	تابع توزیع چگالی احتمال	نمودار P-P	آزمون K-S	میانگین
Normal			۰/۱۷۰۵۶	۱۱۶/۰۷
	پارامترهای بهترین تابع توزیع $\sigma = ۵۸/۷۷۱$ و $\mu = ۱۱۶/۰۷$	MTBF واقعی داده‌ها: ۱۱۶/۰۷		



منحنی نرخ خرابی



منحنی قابلیت اطمینان

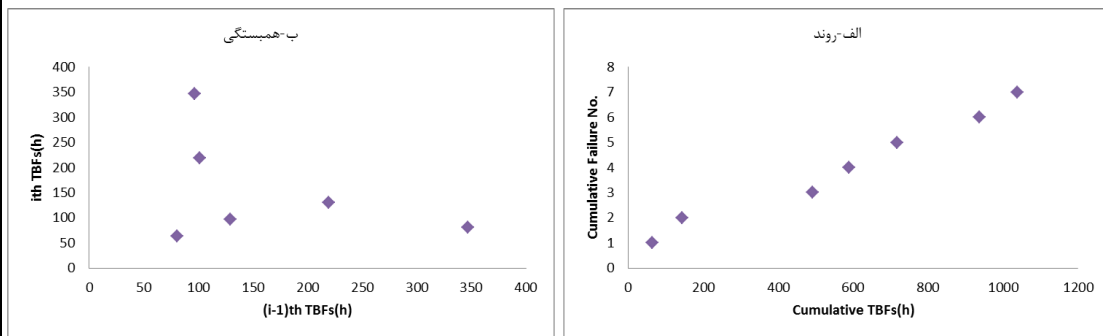
شکل ۵-۲۶- مدل سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم حرکتی کامیون بنز ۲۰۱۱

۵-۷-۲-۳- زیرسیستم برقی کامیون بنز ۲۰۱۱

به منظور یافتن بهترین روش برای مدل سازی قابلیت اطمینان، مشخص گردید که بین داده ها روند و همبستگی وجود ندارد و داده ها به صورت مستقل و مانا توزیع شده اند و بنابراین روش فرآیند تجدید شونده بهترین روش برای مدل سازی می باشد. نتایج حاصل از این آزمون ها در شکل ۵-۲۷ ارائه شده است. با انجام برازش توابع مختلف بر روی داده های خرابی مربوط به این زیرسیستم مشخص شد که تابع ویبول سه پارامتری بهترین تابع برای برای برازش داده های مربوط به این زیرسیستم می باشد. نتایج حاصل از این برازش در شکل مذکور ارائه شده است.

نتایج حاصل از تحلیل داده های مربوط به این زیرسیستم در شکل ۵-۲۷ ارائه شده است. نمودار قابلیت اطمینان نشان دهنده ای این است که قابلیت اطمینان این زیرسیستم پس از ۴۵۰ ساعت به صفر می رسد و همچنین طبق نمودار پس از ۱۰۰ ساعت از شروع کارکرد دستگاه، قابلیت اطمینان این زیرسیستم ۶۵٪ کاهش می یابد. همچنین مطابق نمودار شکل مذکور، نرخ خرابی این زیرسیستم در ابتدای شروع عملکرد دستگاه بالا می باشد و با گذشت زمان مقدار نرخ خرابی کاهش می یابد و پس از ۵۰۰ ساعت این مقدار به ۰/۰۰۵ خرابی بر ساعت می رسد و این رفتار نشان دهنده ای این است که سیستم به تعادل نسبی رسیده است و نرخ خرابی های آن رو به کاهش می باشد.

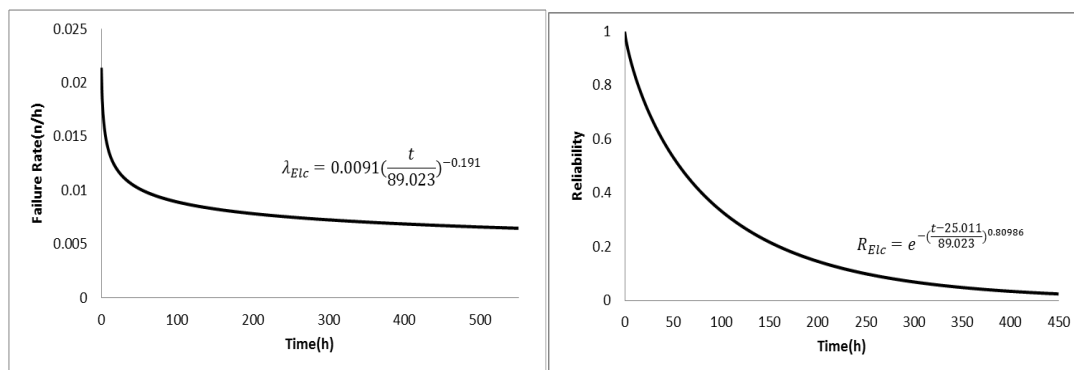
نتایج آزمون روند و همبستگی بر داده‌های خرابی زیرسیستم



تعدادخرابی ثبت شده	درجه آزادی	U محاسبه شده	رد فرض صفر در سطح اعتماد ۹۵٪	روش مدل سازی انتخابی
۷	۱۲	۱۳/۱۲۸	(U > ۵/۲۲۶)	فرآیند تجدید شونده

نتایج تحلیل داده‌های خرابی زیرسیستم

نام	تابع توزیع چگالی احتمال	نمودار P-P	آزمون K-S	میانگین
Weibull-3p			۰/۱۷۶۲۹	۱۴۸/۳
	پارامترهای بهترین تابع توزیع $\alpha = ۰/۸۰۹۸۶$ و $\beta = ۸۹/۰۲۳$ و $\gamma = ۲۵/۰۱۱$	MTBF واقعی داده‌ها: ۱۴۸/۲۴		



منحنی نرخ خرابی

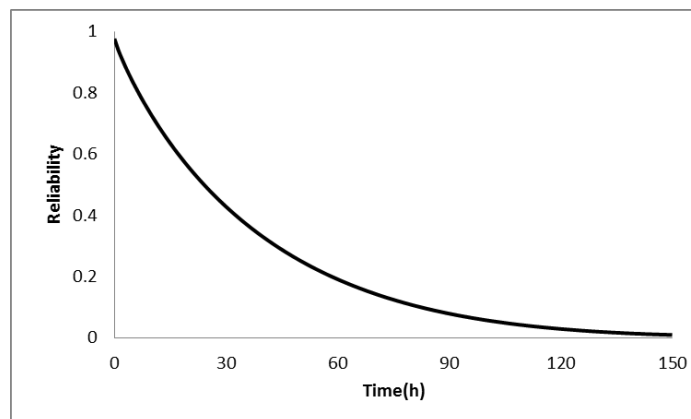
منحنی قابلیت اطمینان

شکل ۵-۲۷- مدل سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم برقی کامیون بنز ۲۰۱۱

۵-۷-۴- قابلیت اطمینان کلی کامیون بنز ۲۰۱۱

با بررسی زیرسیستم‌های این دستگاه، قابلیت اطمینان کلی این سیستم باربری محاسبه شد. نحوه‌ی تعامل زیرسیستم‌ها بصورت سری می‌باشد، بنابراین قابلیت اطمینان کلی این زیرسیستم باربری مطابق رابطه

۶-۲ محاسبه شد. نمودار کلی قابلیت اطمینان این زیرسیستم در شکل ۵-۲۸ ارائه شده است.



شکل ۵-۲۸- نمودار قابلیت اطمینان کلی کامیون بنز ۲۰۱۱

با دقت در نمودار مربوط به قابلیت اطمینان کلی این دستگاه مشخص می‌شود قابلیت اطمینان پس از ۱۵۰ ساعت کاری به صفر نزدیک و پس از آن عملاً دستگاه متوقف می‌شود. همچنین تنها پس از ۲۵ ساعت از شروع فعالیت دستگاه، قابلیت اطمینان به ۵۰٪ می‌رسد.

۵-۷-۳- مدل‌سازی قابلیت اطمینان کامیون بنز ۱۹۹۲

۵-۷-۳-۱- زیرسیستم مکانیکی کامیون بنز ۱۹۹۲

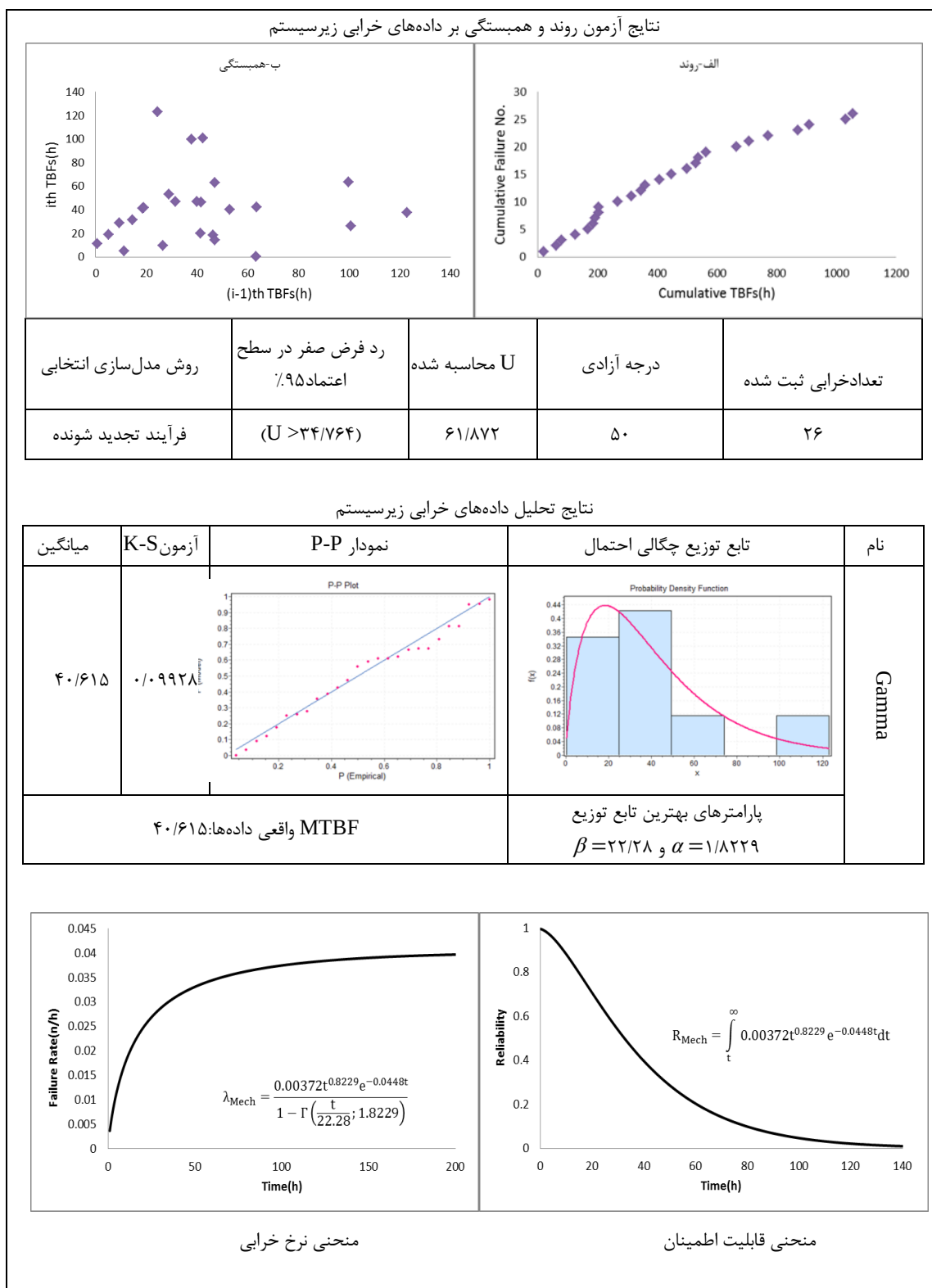
با انجام آزمون‌های گرافیکی و تحلیلی برای بررسی وجود یا عدم وجود روند و همبستگی در داده‌های خرابی مربوط به این زیرسیستم مشخص شد که داده‌ها به صورت مستقل و مانا توزیع شده و لذا روش فرآیند تجدیدشونده بهترین روش برای مدل‌سازی قابلیت اطمینان می‌باشد.

با دقت در شکل ۵-۲۹ مشخص می‌شود که نحوه‌ی قرارگیری نقاط به صورت خطی نزدیک می‌باشد و لذا داده‌ها دارای روند نمی‌باشد. همچنین مطابق شکل، با توجه به پراکندگی قرارگیری نقاط داده‌ها دارای همبستگی نمی‌باشند و لذا به صورت مستقل توزیع شده‌اند. همچنین عدم وجود روند داده‌ها در اثبات شده است.

با برازش توابع مختلف بر روی داده‌های خرابی زیرسیستم مکانیک مشخص شد که تابع گاما بهترین تطابق را با داده‌های موجود دارا می‌باشد. قابل ذکر است که میانگین واقعی داده‌ها برابر $40/615$ می‌باشد. این تابع کمترین مقدار K-S را در بین توابع دارا است. نتایج حاصل از این برازش در شکل ۵-۲۹ ارائه شده است.

با توجه نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها، مقادیر α (۱/۸۲۲۹) و β (۲۲/۲۸) برای تابع گاما بدست آمد. مدل مربوط به قابلیت اطمینان و تابع نرخ خرابی مطابق شکل ۵-۲۹ حاصل شد. همچنین نمودارهای مربوط به این توابع در شکل مذکور ارائه شده است.

مطابق شکل ۵-۲۹ مشاهده می‌شود قابلیت اطمینان این زیرسیستم پس از ۱۴۰ ساعت به صفر می‌رسد که به نسبت دیگر زیرسیستم‌ها زودتر به صفر می‌رسد. همچنین افت ۵۰٪ قابلیت اطمینان تنها پس از ۳۵ ساعت از شروع فعالیت زیرسیستم مشاهده می‌شود. با دقت در نمودار مربوط به نرخ خرابی در شکل مذکور مشاهده می‌شود که در ابتدای شروع به کار دستگاه، نرخ خرابی حدود $0/005$ خرابی بر ساعت می‌باشد و با گذشت زمان این مقدار افزایش یافته و پس از گذشت زمان ۱۵۰ ساعت، تقریباً نرخ خرابی این زیرسیستم ثابت می‌شود و می‌توان ادعا کرد که این زیرسیستم در دوره‌ی طبیعی عمر خود قرار دارد.



شکل ۵-۲۹- مدل سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم مکانیکی کامیون بنز ۱۹۹۲

۵-۷-۳-۲- زیرسیستم حرکتی کامیون بنز ۱۹۹۲

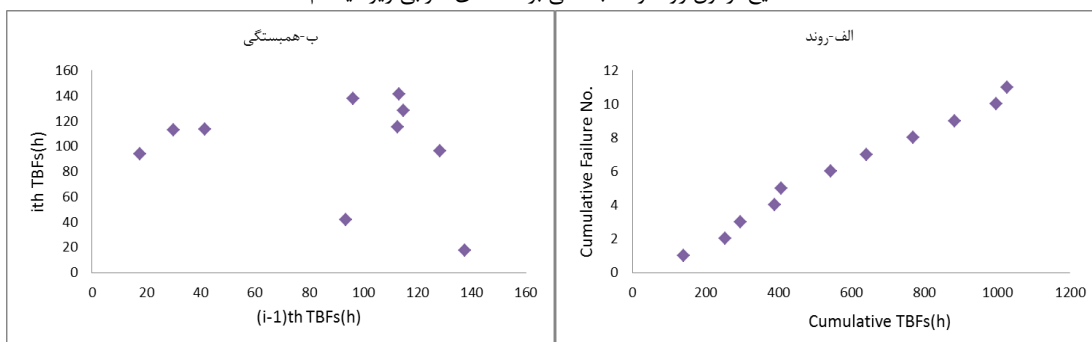
با دقت در شکل ۵-۳۰ می‌توان مشاهده کرد که داده‌ها دارای روند و همبستگی نمی‌باشند و لذا به صورت مستقل و مانا توزیع شده‌اند و بهترین روش برای مدل‌سازی استفاده از روش فرآیند تجدیدشونده می‌باشد. نتایج حاصل از این برازش در شکل مذکور ارائه شده است.

با بررسی برازش توابع مختلف بر روی داده‌های مربوط به خرابی این زیرسیستم، مشخص شد که تابع نرمال بهترین تابع برای برازش داده‌های مربوطه می‌باشد. نمودار P-P نشان‌دهنده‌ی اختلاف ناچیز داده‌های تجربی با داده‌های تابع نرمال می‌باشد. همچنین مقدار MTBF داده‌ها با مقدار محاسبه شده توسط تابع نرمال برابر می‌باشد. مقدار K-S مربوط به این تابع از توابع دیگر کمتر می‌باشد. نتایج حاصل از این برازش در شکل ۵-۳۰ ارائه شده است.

با توجه به مقادیر بدست آمده برای σ (۴۳/۶۸۸) و μ (۹۳/۳۷۱) در تابع نرمال، مدل قابلیت اطمینان و تابع نرخ خرابی حاصل شد. همچنین نمودارهای مربوط به قابلیت اطمینان و نرخ خرابی در شکل ۵-۳۰ ارائه شده است.

با دقت در نمودار مربوط به قابلیت اطمینان این زیرسیستم مشاهده می‌شود که پس از ۲۰۰ ساعت قابلیت اطمینان به صفر می‌رسد و دستگاه متوقف می‌شود. همچنین پس از ۱۰۰ ساعت از عملکرد این زیرسیستم قابلیت اطمینان به کمتر از ۴۵٪ می‌رسد. همچنین با توجه به نمودار مربوط به نرخ خرابی مشخص است که دستگاه در دوره‌ی فرسودگی خود می‌باشد. مقدار نرخ خرابی در ۲۰۰ ساعت حدود ۰/۰۶ خرابی بر ساعت می‌باشد.

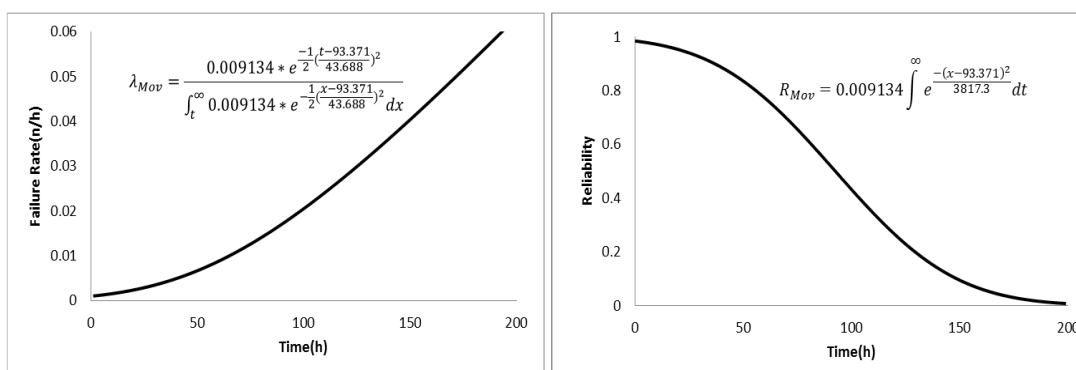
نتایج آزمون روند و همبستگی بر داده‌های خرابی زیرسیستم



تعداد خرابی ثبت شده	درجه آزادی	U محاسبه شده	رد فرض صفر در سطح اعتماد ۹۵٪	روش مدل سازی انتخابی
۱۱	۲۰	۱۶/۱۹۱	(U > ۱۰/۸۵۱)	فرآیند تجدید شونده

نتایج تحلیل داده‌های خرابی زیرسیستم

نام	تابع توزیع چگالی احتمال	نمودار P-P	آزمون K-S	میانگین
Normal			۰/۲۲۹۲۱	۹۳/۳۷۱
پارامترهای بهترین تابع توزیع $\sigma = ۴۳/۶۸۸$ و $\mu = ۹۳/۳۷۱$		MTBF واقعی داده‌ها: ۹۳/۳۷۱		



شکل ۵-۳۰- مدل سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم حرکتی کامیون بنز ۱۹۹۲

۵-۷-۳- زیرسیستم برقی کامیون بنز ۱۹۹۲

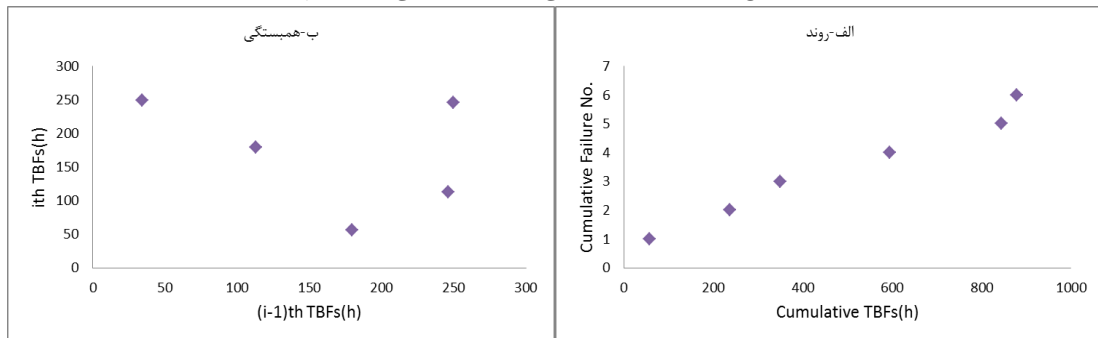
با توجه به نتایج ارائه شده در شکل ۵-۳۱ عدم وجود روند و همبستگی در داده‌ها ثابت می‌شود و لذا داده‌ها به صورت مستقل و مانا توزیع شده‌اند و لذا روش فرآیند تجدید شونده بهترین روش برای مدل-سازی قابلیت اطمینان است.

نتایج حاصل از برازش توابع مختلف بر روی داده‌های خرابی نشان می‌دهد که تابع نرمال بهترین تابع برای برازش این داده‌ها می‌باشد. میانگین واقعی بین داده‌ها برابر با مقدار MTBF محاسبه شده توسط تابع نرمال می‌باشد. همچنین کمترین مقدار K-S در بین توابع مربوط به تابع نرمال می‌باشد. نتایج مربوط به برازش تابع نرمال برای این داده‌ها در شکل ۵-۳۱ ارائه شده است.

مدل قابلیت اطمینان و تابع نرخ خرابی پس از محاسبه ضرایب σ (۹۳/۳۰۴) و μ (۱۴۶/۳۷) مطابق روابط در شکل ۵-۳۱ ارائه شده است. همچنین نمودارهای مربوط به این توابع مطابق شکل مذکور حاصل شدند.

با دقت در نمودار مربوط به قابلیت اطمینان در شکل ۵-۳۱ مشاهده می‌شود قابلیت اطمینان پس از ۳۵۰ ساعت تقریباً برابر به صفر می‌رسد و دستگاه عملاً متوقف می‌شود. همچنین پس از ۱۰۰ ساعت کارکرد دستگاه، قابلیت اطمینان این زیرسیستم ۳۰٪ کاهش می‌یابد. با توجه به نمودار نرخ خرابی مشخص می‌شود که در ابتدای شروع فعالیت نرخ خرابی به نسبت پایین می‌باشد و با ادامه فعالیت زیرسیستم، این مقدار افزایش یافته است بطوریکه پس از ۲۰۰ ساعت این مقدار به بالاتر از ۰/۰۱ خرابی بر ساعت می‌رسد.

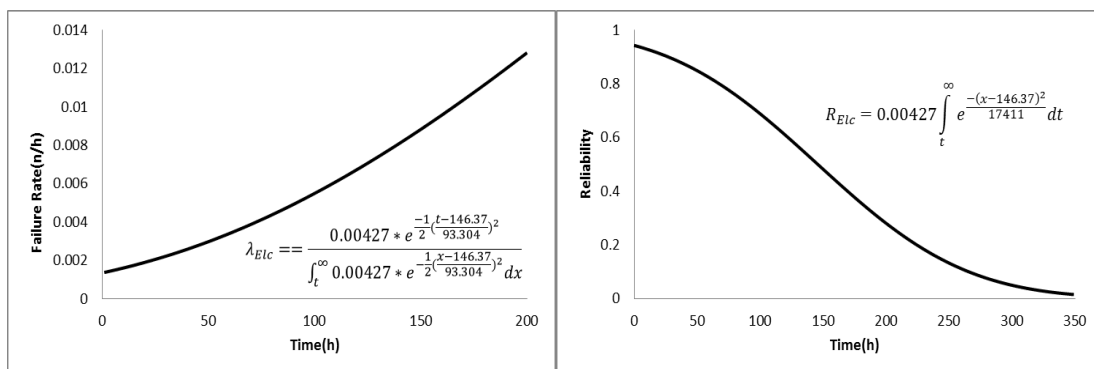
نتایج آزمون روند و همبستگی بر داده‌های خرابی زیرسیستم



تعداد خرابی ثبت شده	درجه آزادی	U محاسبه شده	رد فرض صفر در سطح اعتماد ۹۵٪	روش مدل سازی انتخابی
۶	۱۰	۱۰/۸۳	$(U > ۳/۹۴)$	فرآیند تجدید شونده

نتایج تحلیل داده‌های خرابی زیرسیستم

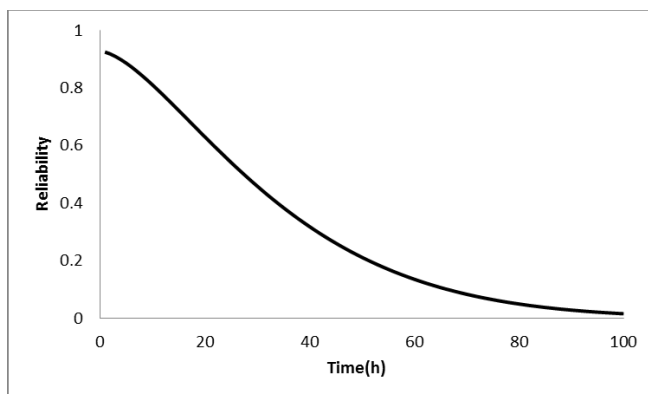
نام	تابع توزیع چگالی احتمال	نمودار P-P	آزمون K-S	میانگین
Normal			۰/۱۹۰۷۲	۱۴۶/۳۷
	پارامترهای بهترین تابع توزیع $\sigma = ۹۳/۳۰۴$ و $\mu = ۱۴۶/۳۷$	MTBF واقعی داده‌ها: ۱۴۶/۳۷		



شکل ۵-۳۱- مدل سازی قابلیت اطمینان زیرسیستم برقی کامیون بنز ۱۹۹۲

۵-۷-۴- قابلیت اطمینان کلی کامیون بنز ۱۹۹۲

با توجه به سری بودن زیرسیستم‌های این کامیون، مقدار قابلیت اطمینان کلی دستگاه را می‌توان مطابق رابطه ۶-۲ محاسبه نمود. همچنین نمودار مربوط به قابلیت اطمینان کلی این زیرسیستم باربری مطابق شکل ۳۲-۵ حاصل شده است.

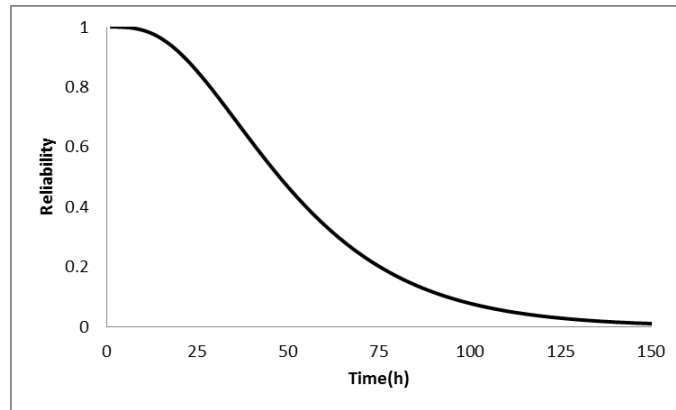


شکل ۳۲-۵- نمودار قابلیت اطمینان کلی کامیون بنز ۱۹۹۲

مطابق نمودار حاصله، قابلیت اطمینان این زیرسیستم باربری پس از ۱۰۰ ساعت از شروع فعالیت خود به صفر می‌رسد. همچنین مقدار قابلیت اطمینان در ۲۵ ساعت از شروع فعالیت خود حدود ۵۰٪ کاهش یافته است.

۵-۷-۴- قابلیت اطمینان کلی بخش باربری معدن طلای زرمهر

همانطور که قبلاً ذکر شد سیستم باربری معدن طلای زرمهر متشکل از سه زیرسیستم می‌باشد که در ابتدا مدل قابلیت اطمینان هر کدام از زیرسیستم‌ها محاسبه و نمودار قابلیت اطمینان هر کدام نیز حاصل شد. حال نوبت به محاسبه قابلیت اطمینان کلی زیرسیستم باربری می‌باشد. نحوه تعامل این زیرسیستم‌ها به صورت موازی می‌باشد. نحوه محاسبه قابلیت اطمینان بخش باربری مطابق رابطه ۷-۲ می‌باشد. همچنین نمودار مربوط به قابلیت اطمینان زیرسیستم باربری مطابق شکل ۳۳-۵ بدست آمد.



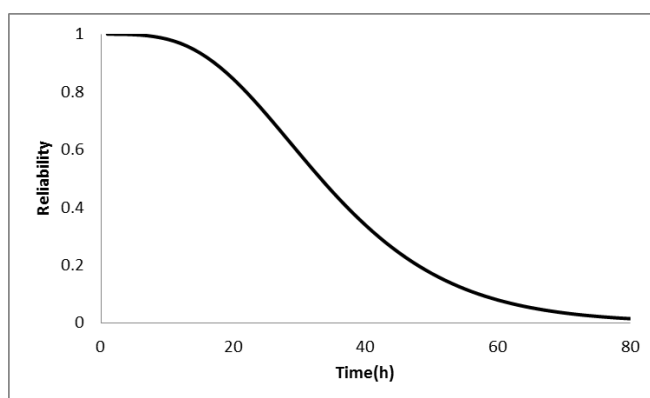
شکل ۵-۳۳- نمودار قابلیت اطمینان سیستم باربری معدن طلای زرمهر

همانطور که در نمودار به وضوح دیده می‌شود قابلیت اطمینان سیستم باربری پس از مدت زمان ۱۵۰ ساعت تقریباً صفر می‌شود و سیستم باربری و متعاقباً عملیات استخراج بطور کلی متوقف می‌شود. طبق نمودار، تنها با گذشت ۵۰ ساعت از شروع عملیات، قابلیت اطمینان سیستم باربری به حدود ۴۵٪ می‌رسد.

۵-۸- قابلیت اطمینان کلی سیستم حمل و نقل (ترابری) معدن طلای زرمهر

همانطور که در ابتدای این فصل ذکر شد سیستم حمل و نقل شامل دو بخش بارگیری و باربری می‌باشد بطوریکه هرکدام از این بخش‌ها شامل زیرسیستم‌هایی می‌باشند. پس از محاسبات صورت گرفته بر روی داده‌های خرابی هر زیرسیستم، قابلیت اطمینان هرکدام از سیستم‌های بارگیری و باربری حاصل شد. با توجه به اینکه سیستم حمل و نقل یک سیستم سری می‌باشد و وقفه در یکی از بخش‌های بارگیری یا باربری باعث وقفه در کل سیستم می‌شود لذا رابطه ۲-۶ برای محاسبه قابلیت اطمینان کلی سیستم حمل و نقل مورد استفاده قرار می‌گیرد. نمودار شکل ۵-۳۴ مربوط به قابلیت اطمینان کلی سیستم حمل و نقل در معدن طلای زرمهر می‌باشد. با دقت در نمودار مربوط به قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل مشخص می‌شود که کاهش ۵۰٪ قابلیت اطمینان در ۳۰ ساعت اولیه رخ می‌دهد همچنین پس از ۸۰

ساعت از شروع کارکرد دستگاه قابلیت اطمینان تقریباً به صفر می‌رسد و پس از آن سیستم بطور کامل متوقف می‌شود که این امر باعث توقف تولید در معدن شده و خسارات جبران ناپذیری متحمل عملیات معدنکاری خواهد کرد. بنابراین بایستی قبل از توقف این سیستم چاره‌ای اندیشید و این امر با برنامه‌ریزی اصولی و مدون به منظور تعمیر و نگهداری برای دستگاه‌های معدنکاری امکان‌پذیر خواهد بود. برنامه‌ریزی برای واحد تعمیر و نگهداری در فصل بعدی ارائه شده است.



شکل ۵-۳۴- نمودار قابلیت اطمینان سیستم ترابری معدن طلای زرمهر

۵-۹- شبیه‌سازی قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل معدن طلای زرمهر

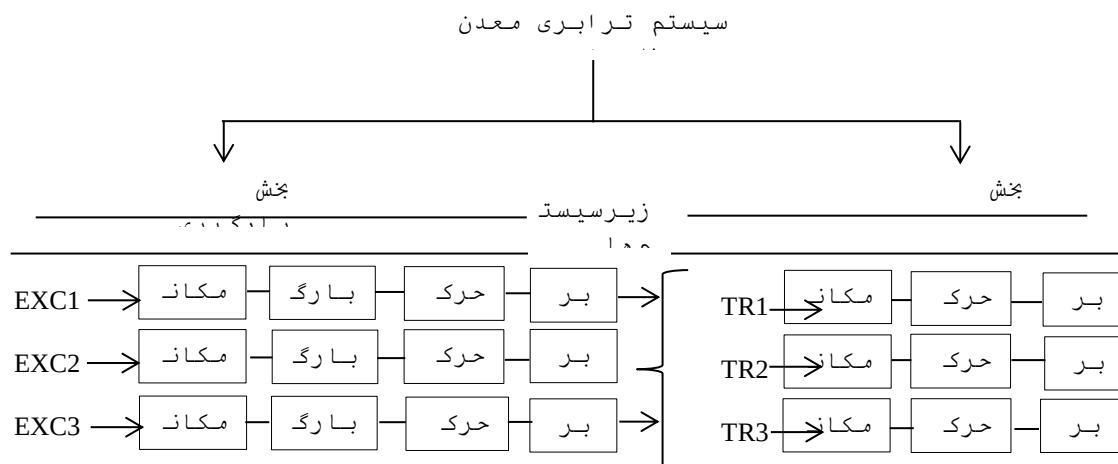
از آنجا که قابلیت اطمینان از جنس احتمال می‌باشد، همواره با عدم قطعیت همراه است لذا از روش شبیه‌سازی برای ارزیابی قابلیت اطمینان در این پایان‌نامه استفاده شده است. در شبیه‌سازی قابلیت اطمینان سیستم ترابری معدن طلای زرمهر که یک سیستم تعمیرپذیر می‌باشد، می‌توان از روش کامات و فرانز میر که عمومی‌ترین روش شبیه‌سازی دستگاه‌های تعمیرپذیر به حساب می‌آید، استفاده کرد. اما در دستگاه‌های تعمیرپذیر، فرآیند محاسبات به دلیل شبیه‌سازی همزمان عملکرد ماشین (TBF) با زمان تعمیرات خرابی‌ها (TTR)، با دشواری‌هایی نسبت به دستگاه‌های غیرقابل تعمیر همراه است.

روش کامات و فرانزمییر بر مبنای مفهوم و تئوری روش K-R که برای دستگاه‌های غیر قابل تعمیر پیشنهاد شده، ارائه شده است. در مواردی که زمان‌های صرف شده برای تعمیر و نگهداری در مقابل زمان کارکرد دستگاه قابل صرف نظر کردن باشند، از نظر منطق روش‌های مذکور، دستگاه تعمیرپذیر همانند دستگاه تعمیرناپذیر تلقی می‌شود و در این مواقع می‌توان روش کامات و رایلی (K-R) را به جای کامات و فرانزمییر استفاده نمود [۵].

در این پایان‌نامه با توجه به مطالعات عملی انجام شده در معدن، در ابتدا قبل از شروع مراحل شبیه‌سازی، میزان دقیق زمان عملکرد و توقف دستگاه‌های مورد مطالعه محاسبه شد. محاسبات نشان داد که کل دستگاه‌ها در این بازه‌ی زمانی شش ماهه در مجموع ۶۶۱۹ ساعت کار مفید و ۴۳۳ ساعت نیز توقف داشته‌اند. بنابراین کل توقف دستگاه‌ها ۶/۵٪ زمان کل کارکرد آنها بوده است. بنابراین به منظور ساده‌سازی و کاهش زمان مراحل شبیه‌سازی، می‌توان از زمان توقف‌های دستگاه صرف نظر کرد.

اولین گام در اجرای شبیه‌سازی K-R سیستم ترابری، یافتن تمامی مسیرها شامل زیرسیستم‌های مختلف و نیز کوتاه‌ترین مسیر است که کل سیستم را از ابتدا به انتها می‌رساند. با توجه به اینکه سیستم بارگیری و باربری به صورت سری با یکدیگر در تعامل‌اند، لذا ۹ مسیر برای حصول عملکرد سیستم ترابری وجود دارد و با اجرای الگوریتم مربوط به شبیه‌سازی، بایستی تمامی مسیرها بررسی شوند. مسیرهای مختلف برای حصول عملکرد سیستم ترابری معدن طلای زرمهر در شکل ۵-۳۵ ارائه شده است. مطابق شکل مذکور، زیرسیستم‌های هر مسیر به صورت سری با یکدیگر در تعامل‌اند به طوری که توقف در یک زیرسیستم باعث توقف کل سیستم می‌شود. باید در نظر داشت که حداقل یک دستگاه بیل و یک کامیون برای اینکه سیستم ترابری فعال محسوب شود، بایستی به طور سالم مشغول به کار باشند. در الگوریتم

طراحی شده برای انجام شبیه‌سازی قابلیت اطمینان سیستم ترابری معدن طلای زرمهر، تمامی مسیرها برای یافتن یافتن حداقل یک مسیر سالم مورد بررسی قرار می‌گیرند.



شکل ۵-۳۵- مسیرهای مختلف جهت بررسی عملکرد سیستم ترابری معدن طلای زرمهر

با توجه به موارد ذکر شده، فرضیات به کار رفته در شبیه‌سازی قابلیت اطمینان سیستم ترابری معدن طلای زرمهر به شرح زیر می‌باشند:

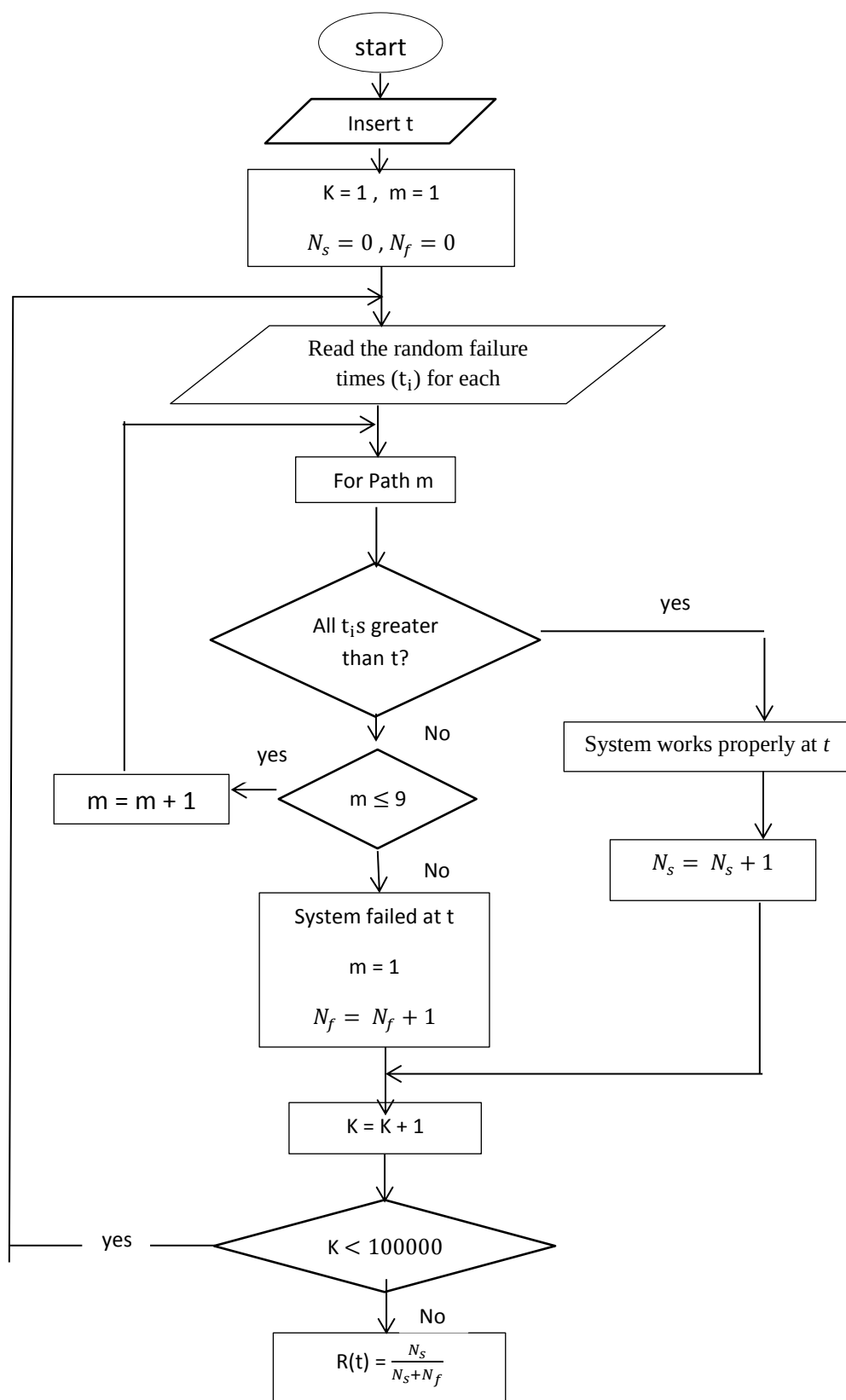
تمامی زیرسیستم‌های سیستم ترابری تعمیرپذیر می‌باشند.

زمان‌های صرف شده برای تعمیر و نگهداری در مقایسه با زمان عملکرد دستگاه‌ها قابل صرف نظر باشند.

سیستم دارای شبکه قابلیت اطمینان سری می‌باشد و ۹ مسیر برای حصول عملکرد دستگاه وجود دارد که در تمامی مسیرها یکسان می‌باشند و بایستی مورد بررسی قرار گیرند.

حداقل یک دستگاه بیل و کامیون بایستی به طور سالم مشغول به فعالیت باشند تا سیستم ترابری فعال تلقی شود. با در نظر گرفتن فرضیات فوق و گام‌های اجرای شبیه‌سازی قابلیت اطمینان کامات و ریلی، روندنمای^۱ مراحل شبیه‌سازی انجام شده بر روی سیستم ترابری معدن طلای زرمهر در شکل ۵-۳۶ نشان داده شده است.

^۱ . Flowchart



شکل ۵-۳۶- روند نمای شبیه‌سازی قابلیت اطمینان سیستم ترابری معدن طلای زرمهر

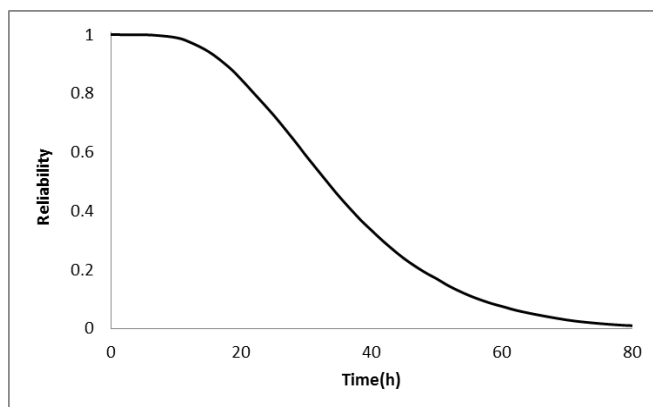
در گام بعدی از نرم افزار Microsoft Visual Studio 2010 برای برنامه نویسی شبیه سازی قابلیت اطمینان سیستم ترابری استفاده شد. کاهش زمان محاسبات و برنامه نویسی آسان در محیط این نرم افزار، دو ویژگی مهم برای انتخاب این نرم افزار بودند.

با توجه به توابع توزیع چگالی احتمال زیرسیستم های بخش بارگیری و باربری، تولید زمان های تصادفی با استفاده از نرم افزار EasyFit برای تمامی این زیرسیستم ها به صورت همزمان انجام شد. با افزایش پله ای تعداد زمان های تصادفی تولید شده، قابلیت اطمینان سیستم ترابری در یک زمان ثابت، به سمت یک بازه ثابت سوق پیدا می کند. پس از آزمون سعی و خطا و انجام شبیه سازی برای سیستم ترابری معدن طلای زرمهر، مشخص شد که با تولید ۱۰۰۰۰ زمان تصادفی، نتایج حاصل از شبیه سازی تقریباً در یک بازه زمانی ثابت می شود و لذا تعداد زمان تصادفی برای تمامی زیرسیستم ها ۱۰۰۰۰ عدد انتخاب شد. زمان های تصادفی تولید شده برای تمامی زیرسیستم های دستگاه ها در یک فایل Exel جمع آوری و طبقه بندی شد. فایل مذکور به عنوان ورودی اصلی نرم افزار Microsoft Visual Studio 2010 محسوب می شود. ورودی بعدی نرم افزار، زمان مورد نظر برای اجرای شبیه سازی می باشد. این زمان مورد نظر با زمان های تولید شده تصادفی هر زیرسیستم مقایسه می شود.

گام بعدی اجرای برنامه در محیط نرم افزار می باشد. با اجرای برنامه، نرم افزار از کاربر می خواهد زمان مد نظر را وارد کند. زمان ورودی در این مرحله در حافظه برنامه می ماند و این زمان با تمامی زمان های خرابی تصادفی تولید شده در مسیرهای مختلف مقایسه می شود. تمامی مسیرها برای یافتن حداقل یک مسیر سالم در یک دور تکرار بررسی می شوند. در صورتی که در یک دور از انجام شبیه سازی، حداقل یک مسیر سالم وجود داشت بلافاصله مقدار N_s یک واحد افزایش می یابد و دور بعدی تکرار انجام می شود. در صورتی که در یک دور تکرار، تمامی مسیرها برای یافتن حداقل یک مسیر سالم بررسی شدند و مسیر

سال می یافت نشد، مقدار N_f یک واحد افزایش یافته است. این محاسبات تا زمانی که دور تکرار ۱۰۰۰۰ مرتبه صورت نگیرد، ادامه می‌یابد و در نهایت مقدار قابلیت اطمینان سیستم ترابری در زمان ورودی با استفاده از رابطه محاسبه می‌شود.

بر مبنای فرآیند ذکر شده، مراحل شبیه‌سازی قابلیت اطمینان در زمان‌های مختلف اجرا گردید و قابلیت اطمینان سیستم ترابری معدن طلای زرمهر محاسبه شد. نتیجه‌ی اجرای برنامه به صورت منحنی قابلیت اطمینان در شکل ۵-۳۷ ارائه شده است. چنانچه در شکل مشاهده می‌شود، قابلیت اطمینان سیستم پس از ۸۰ ساعت به صفر می‌رسد.

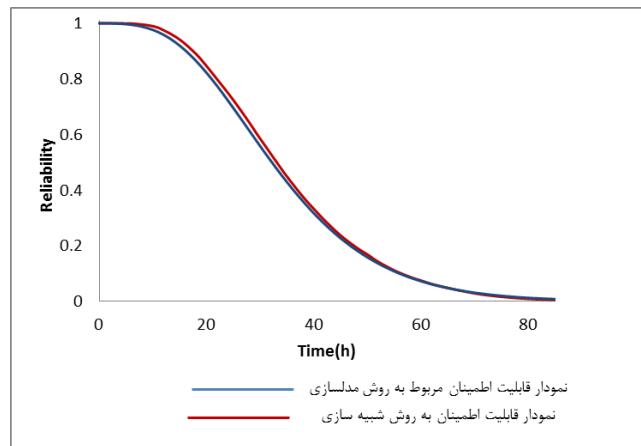


شکل ۵-۳۷- نمودار قابلیت اطمینان سیستم ترابری معدن طلای زرمهر با استفاده از روش شبیه‌سازی

۵-۱۰- نتیجه‌گیری

در این فصل قابلیت اطمینان سیستم ترابری معدن طلای زرمهر با استفاده از روش‌های مارکوف، مدل‌سازی و شبیه‌سازی ارزیابی و محاسبه شد. نتایج حاصل از روش‌های مدل‌سازی و شبیه‌سازی انطباق بسیار خوبی با یکدیگر دارند. نمودار قابلیت اطمینان مربوط به هر دو روش شبیه‌سازی و مدل‌سازی در شکل ۵-۳۸ ارائه شده است. نتایج هر دو روش نشان داد که قابلیت اطمینان سیستم ترابری پس از حدود

۸۰ ساعت کارکرد به صفر می‌رسد. در فصل بعدی برنامه تعمیر و نگهداری برای سیستم ترابری معدن طلای زرمهر ارائه شده است.



شکل ۵-۳۸- نمودار قابلیت اطمینان روش‌های مدل‌سازی و شبیه‌سازی

فصل ششم

تعمیر و نگهداری سیستم حمل و نقل معدن طلای زرمهر

۶-۱- اهمیت تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات معدنی

امروزه مهمترین استراتژی تمامی واحدهای تولیدی، صنعتی، معدنی و... دستیابی به بیشترین تولید با صرف کمترین هزینه می‌باشد. در واحدهای معدنی، هزینه‌های مربوط به تعمیر و نگهداری می‌تواند کل عملیات معدنکاری را تحت تأثیر قرار دهد. از این رو شرکت‌های معدنی با افزایش سطح مکانیزاسیون، عملیات خود را با مدیریت بهتری اداره می‌کنند. بخش عظیمی از سرمایه‌گذاری در معادن مربوط به بخش ماشین‌آلات معدنی می‌باشد و پیچیدگی و هزینه‌های مربوط به نگهداری آن‌ها به شدت رو به افزایش است. به همین دلیل مدیریت و تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات به منظور رسیدن به تولید بالا و راندمان بیشتر به شدت حساس و حیاتی می‌باشد. با توجه به نکات بالا اهمیت تعمیر و نگهداری بیش از پیش مشخص شده بطوریکه با مدیریت و برنامه ریزی دقیق در تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات معدنی می‌توان شرایط اقتصادی در معادن را بهبود بخشید و قیمت تمام شده برای محصولات را کاهش داد.

۶-۲- تعمیر و نگهداری^۱

به هر عملیاتی (غیر از سرویسکاری عادی مثل تعویض روغن یا سوخت‌گیری) که به منظور حفظ شرایط دستگاه در شرایط عملیاتی موجود یا بازگرداندن دستگاه به شرایط قبل از خرابی انجام گیرد تعمیر و نگهداری گفته می‌شود. هدف از نگهداری رفع مکرر خرابی پس از بروز آن نمی‌باشد بلکه هدف از نگهداری رفع علل خرابی‌ها می‌باشد. سه هدف عمده تعمیر و نگهداری در تمامی صنایع عبارتند از [۵،۳،۳۲]:

افزایش طول عمر دستگاه

افزایش قابلیت اطمینان

کاهش هزینه‌های ناشی از توقف‌های تولید

^۱ . Maintenance

بطوریکه در ماشین‌آلات معدنی هزینه‌های تعمیر و نگهداری به ۴۰ الی ۵۰ درصد هزینه‌های تولید می‌رسد [۳]. طبق گزارش هال در معادن روباز شیلی و اندونزی بیش از ۶۰ درصد هزینه‌های کل عملیات مربوط به هزینه‌های تعمیر و نگهداری می‌باشد [۲۳]. همچنین طبق گزارش دهیلون با مدیریت صحیح و بررسی‌های دقیق بر روی ماشین‌آلات معدنی می‌توان تعمیرات و توقف‌های ناخواسته را تا ۷۰ درصد کاهش داد [۳]. با توجه به این موارد، هدف از تعمیر و نگهداری در تمامی واحدهای صنعتی یکسان نمی‌باشد و هر واحد می‌تواند هدف خاصی را از انجام تعمیر و نگهداری دنبال کند و لذا هدف از تعمیر و نگهداری می‌تواند مدیریت مربوط به یک مجموعه را تغییر دهد و هزینه‌های بالایی را متحمل کند. در ادامه انواع برنامه‌های مربوط به تعمیر و نگهداری و روش‌های موجود ارائه شده است.

۳-۶- استراتژی‌های تعمیر و نگهداری

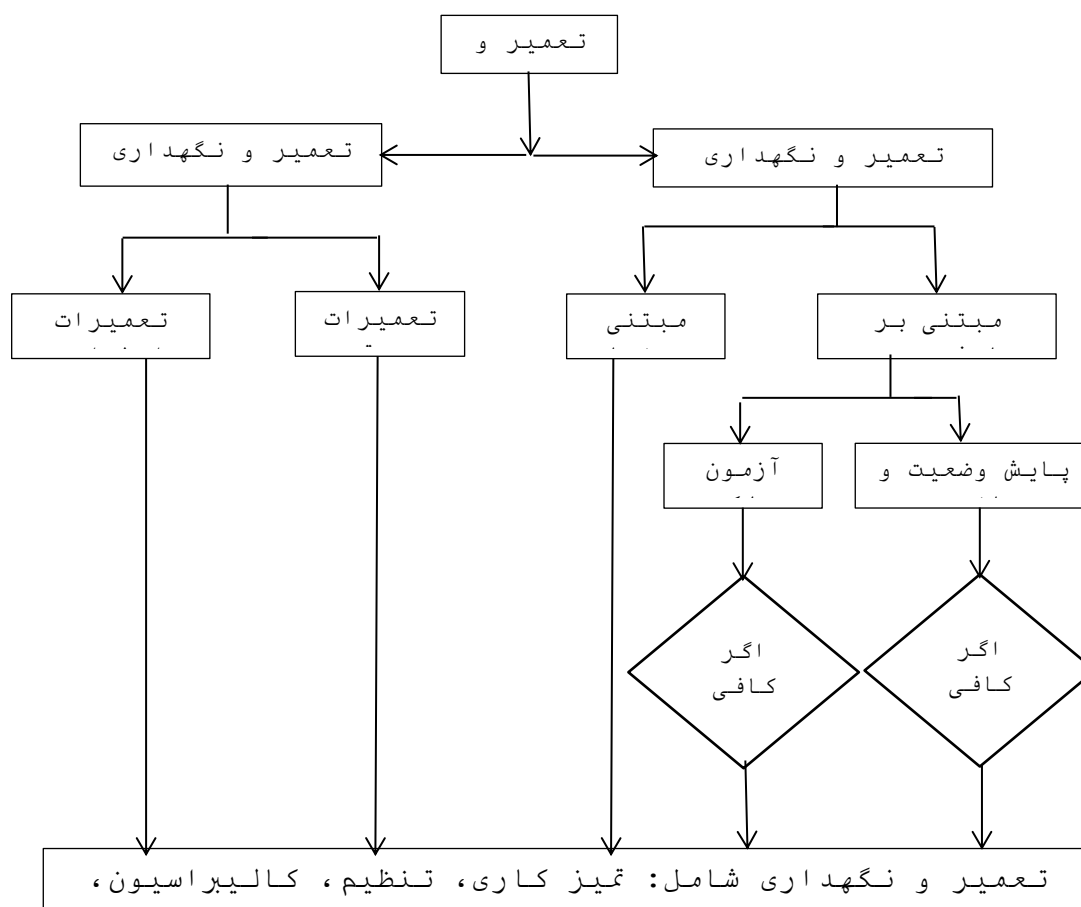
با در نظر گرفتن هدف تعمیر و نگهداری بسته به شرایط حاکم بر دستگاه و امکانات موجود سیاست بکار گرفته شده برای برنامه تعمیر و نگهداری ممکن است متفاوت باشد. در حالت کلی استراتژی‌های تعمیر و نگهداری به دو نوع عمده تقسیم می‌شوند: تعمیر و نگهداری اصلاحی (CM)^۱ و تعمیر و نگهداری پیشگیرانه (PM)^۲ [۱۳، ۵، ۴، ۳]. هر یک از این روش‌ها به زیر مجموعه‌هایی مطابق شکل ۶-۱ تقسیم می‌شوند.

۳-۶-۱- تعمیر و نگهداری اصلاحی

تعمیر و نگهداری اصلاحی به مجموعه عملیات تعمیر و نگهداری گفته می‌شود که پس از وقوع خرابی برای بازگرداندن دستگاه یا بخشی از آن به شرایط عملیاتی مورد استفاده می‌گیرد. طبق این عملیات قطعات معیوب یا تعویض شده یا تعمیر می‌شوند. این روش پس از اینکه خرابی رخ می‌دهد انجام شده و کاملاً بدون برنامه‌ریزی قبلی می‌باشد. این روش می‌تواند به صورت اضطراری یا معوقه صورت گیرد.

^۱ . Corrective Maintenance

^۲ . Preventive Maintenance



شکل ۶-۱- انواع استراتژی تعمیر و نگهداری [۳،۱۳،۵،۴]

۶-۳-۲- تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

تعمیر و نگهداری پیشگیرانه به مجموعه عملیات نگهداری یک دستگاه که طبق برنامه‌ریزی دقیق و بر اساس بازه‌های زمانی مشخص صورت می‌گیرد و بر این اساس از توقف‌های ناخواسته که باعث توقف تولید شده، می‌کاهد و همچنین از فرسایش غیر عادی دستگاه جلوگیری کرده و باعث افزایش طول عمر دستگاه می‌شود. عملیات تعمیر و نگهداری پیشگیرانه شامل بازرسی، سرویس و تعمیرات یک دستگاه می‌شود.

برنامه‌ریزی و تعیین زمان مناسب این تعمیرات به دو صورت انجام می‌گیرد: مبتنی بر پایش وضعیت، مبتنی بر زمان [۵].

۶-۳-۱- تعمیر و نگهداری پیشگیرانه مبتنی بر پایش وضعیت (C.B.M)^۱

تعمیر و نگهداری پیشگیرانه مبتنی بر پایش وضعیت به مجموعه فعالیت‌هایی اطلاق می‌شود که شرایط فنی دستگاه را در حین انجام فعالیت می‌سنجد و بر این اساس برنامه تعمیر و نگهداری مناسب را ارائه می‌دهد. اندازه‌گیری شرایط دستگاه توسط انسان به صورت تصادفی توسط ابزار ویژه یا توسط سنسورها به صورت پیوسته انجام می‌شود. از جمله این فعالیت‌ها می‌توان به آنالیز روغن، ارتعاش و حرارت دستگاه اشاره کرد. همچنین سنسورهای تعویض فیلتر و سنسورهای حرارتی از شرایط عملکردی دستگاه را بطور پیوسته اندازه‌گیری می‌کنند [۹،۵].

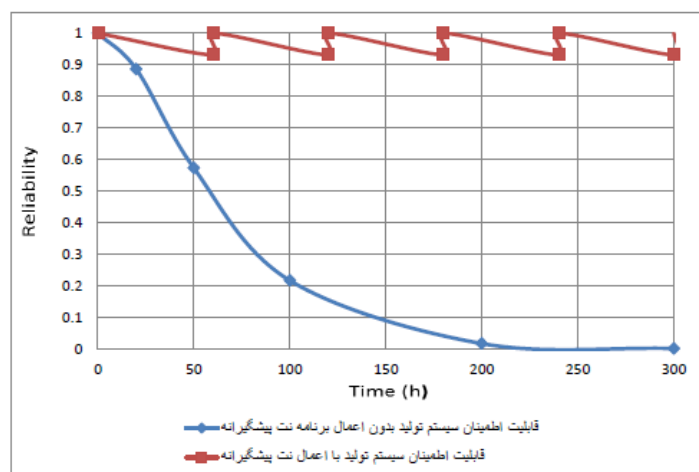
۶-۳-۲- تعمیر و نگهداری پیشگیرانه مبتنی بر زمان (T.B.M)^۲

تعمیر و نگهداری مبتنی بر زمان رایج‌ترین و شناخته‌ترین روش تعمیر و نگهداری می‌باشد بطوریکه دستگاه در بازه‌های زمانی مشخص مورد بازرسی، سرویس یا تعمیرات پیشگیرانه قرار می‌گیرد [۵،۴]. تعیین فاصله‌های زمانی مناسب وابسته به هدف تعمیر و نگهداری متفاوت می‌باشد که در ادامه مورد بحث قرار گرفته است.

الف) برنامه‌ریزی مبتنی بر قابلیت اطمینان: در این مورد با توجه شرایط عملیاتی موجود و امکانات تعمیر و نگهداری موجود یک سطح قابلیت اطمینان تعیین می‌شود و تعمیرات پیشگیرانه در بازه‌های زمانی منظم برای حفظ قابلیت اطمینان در سطح مشخص شده، صورت می‌گیرد [۵،۴]. شکل ۶-۲ تأثیر تعمیر و نگهداری پیشگیرانه را بر سطح قابلیت اطمینان نشان می‌دهد.

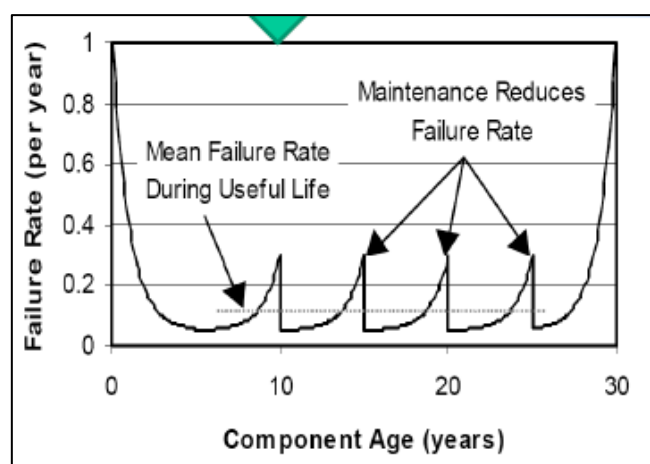
^۱ . Condition Based Maintenance

^۲ . Time Based Maintenance



شکل ۶-۲- تأثیر اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بر قابلیت اطمینان [۱۳]

ب) برنامه‌ریزی مبتنی بر نرخ خرابی: در این مورد یک حد بیشینه برای نرخ خرابی در نظر گرفته می‌شود و تعمیر و نگهداری پیشگیرانه در بازه‌های زمانی که دستگاه به نرخ مذکور می‌رسد انجام می‌شود و از این طریق نرخ خرابی تقریباً ثابت و تا حدودی بهبود می‌یابد. شکل ۶-۳ تأثیر تعمیر و نگهداری پیشگیرانه را بر نرخ خرابی نشان می‌دهد.



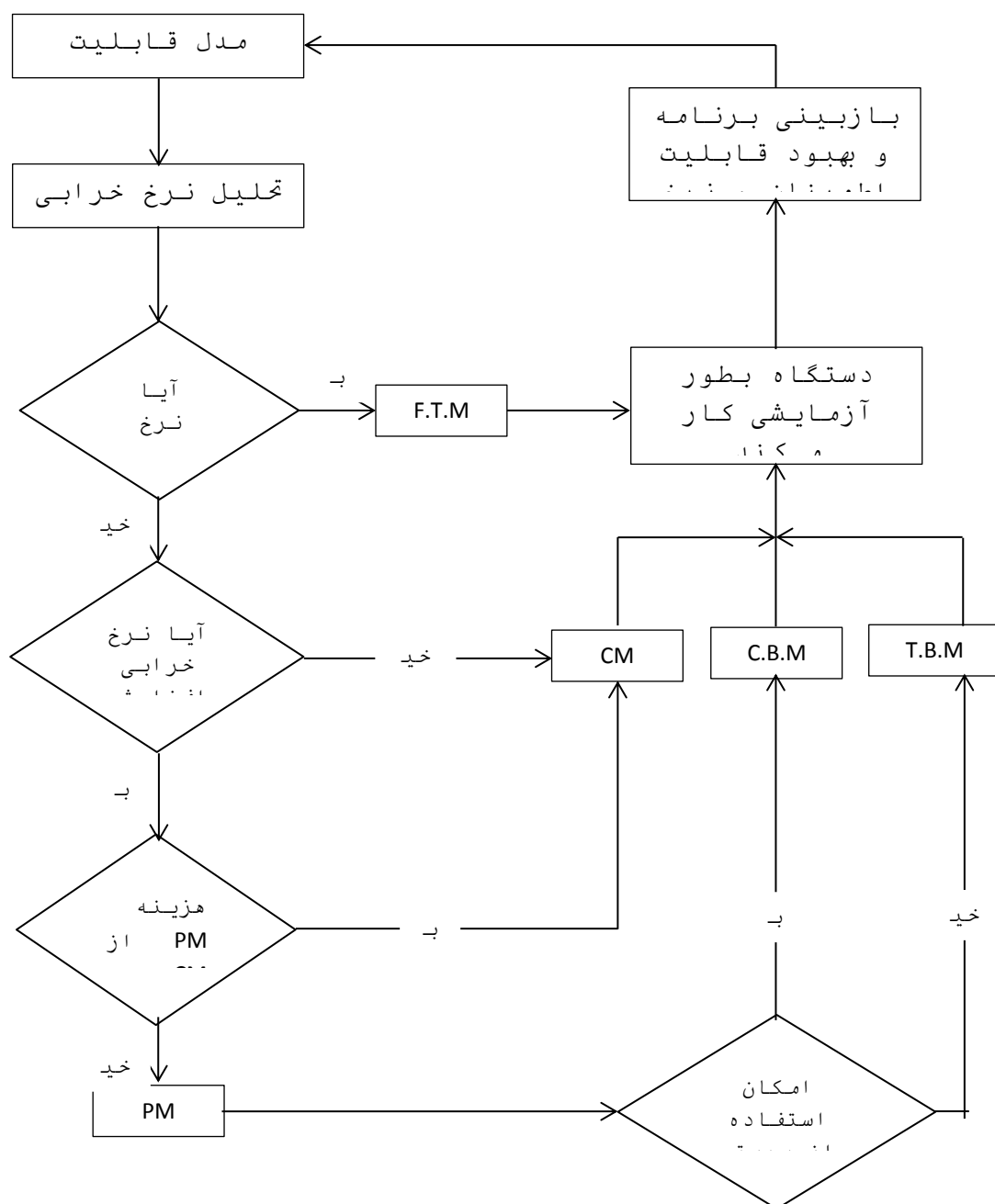
شکل ۶-۳- تأثیر تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بر نرخ خرابی [۳۳]

ج) برنامه‌ریزی مبتنی بر حداقل هزینه: در این روش بهترین زمان تعمیر و نگهداری بر اساس کمینه هزینه کلی تعمیرات تعیین می‌شود و از این حیث مناسب‌ترین روش تعیین تعمیرات پیشگیرانه محسوب می‌شود.

۶-۴- تعیین استراتژی تعمیر و نگهداری

با توجه به نکاتی که درباره‌ی حفظ پیوستگی تولید در صنایع مختلف اشاره شد انتخاب یک استراتژی برای تعمیر و نگهداری سیستم امری بسیار مهم و ضروری می‌باشد. انتخاب استراتژی مناسب بسیار پیچیده بوده و یک تصمیم‌گیری چند معیاره به شمار می‌آید. وجود برخی از محدودیت‌ها و کمبود امکانات ممکن است تصمیم‌گیری در مورد انتخاب استراتژی تعمیر و نگهداری را محدود کند و بکار بردن یک استراتژی تعمیر و نگهداری با بازدهی پایین‌تر را بر واحد صنعتی یا معدنی مورد نظر تحمیل کند. گاهی نیز وجود حساسیت بسیار زیاد در برخی از سیستم‌ها برای حفظ قابلیت اطمینان در سطح بسیار بالا تمامی تصمیمات و برنامه‌ریزی‌های مربوط به این سیستم‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کنترل خرابی-ها، کاهش توقف‌های ناخواسته و برنامه‌ریزی دقیق برای تعمیر و نگهداری تا حد بسیار بالایی می‌تواند شرایط عملیاتی و اقتصادی معدن را بهبود بخشد بطوریکه حسینی هر دقیقه توقف ناخواسته شیرر در عملیات برش زغال سنگ را حدود ۱۲۷/۲۷ دلار برآورد کرده است [۵].

بنابراین با توجه به مطالب بالا برای حفظ پیوستگی در تولید و کاهش توقف‌های ناخواسته، افزایش عمر سیستم‌ها و در نتیجه بهبود شرایط عملیاتی و اقتصادی در معادن، بایستی قابلیت اطمینان در سطح بالایی حفظ شود تا احتمال بروز خرابی و توقف ماشین‌آلات کاهش یابد.



شکل ۴-۶- الگوریتم انتخاب روش مناسب تعمیر و نگهداری [۴،۵]

با توجه به مطالب بالا روند انتخاب بهترین استراتژی برای تعمیر و نگهداری مطابق شکل ارائه شده است. مطابق شکل اساس این انتخاب بر تحلیل قابلیت اطمینان و تبعاً نرخ خرابی استوار می‌باشد. با توجه به این روند در صورت ثابت بودن نرخ خرابی مناسب‌ترین روش تعمیر و نگهداری، روش "تعمیر در زمان

ثابت (F.T.M)^۱ می‌باشد. در صورتی که نرخ خرابی افزایشی باشد با مقایسه‌ی هزینه‌های مربوط به تعمیر و نگهداری اصلاحی و پیشگیرانه یکی از این دو روش استفاده می‌شود. همچنین در صورتی که نرخ خرابی رو به کاهش باشد نشان‌دهنده‌ی وضعیت رو به بهبود دستگاه می‌باشد و در صورت تعمیر دستگاه ممکن است شرایط عملکردی آن تغییر کند و دستگاه روند فرسودگی بگیرد. لذا در این حالت از استراتژی تعمیر و نگهداری اصلاحی استفاده شده و به دستگاه اجازه داده می‌شود تا وقوع خرابی به فعالیت خود ادامه دهد.

۵-۶- تعمیر و نگهداری سیستم حمل و نقل معدن طلای زرمهر

۵-۶-۱- مقدمه

در عملیات معدنکاری امروزی با توجه به حجم بالای سرمایه‌گذاری در رابطه با ماشین‌آلات و دستگاه‌های معدنی و خسارت‌های بسیار گزاف ناشی از توقف تولید اهمیت تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات بیش از پیش احساس می‌شود. افزایش طول عمر یک دستگاه و کاهش هزینه‌های مربوط به تعمیرات یک دستگاه می‌تواند کل عملیات معدنکاری تحت تأثیر قرار دهد و حالت اقتصادی به یک پروژه دهد. همچنین با داشتن یک برنامه تعمیر و نگهداری کیفیت ماشین‌آلات حفظ شده و در نتیجه دستیابی به یک تولید طراحی شده حاصل می‌شود.

در فصل قبل، مدل‌سازی مربوط به بخش‌های باربری و بارگیری مربوط به معدن طلای زرمهر صورت گرفت. در این فصل با تکیه بر نتایج فصل قبل استراتژی مناسب برای تعمیر و نگهداری سیستم حمل و نقل معدن طلای زرمهر انتخاب شده و یک برنامه‌ی اجرایی مناسب برای عملی کردن استراتژی انتخاب شده ارائه می‌گردد.

¹ . Fixed-time Maintenance

۶-۵-۲- تعیین استراتژی تعمیر و نگهداری برای معدن طلای زرمهر

با توجه به مباحث مطرح شده در این فصل مشخص می‌شود که تعیین استراتژی تعمیر و نگهداری، امری بسیار پیچیده و اساسی می‌باشد. سیستم حمل و نقل یک معدن به عنوان شاه‌رگ اصلی بین معدن و کارخانه می‌باشد و لذا توقف در سیستم حمل و نقل، توقف در چرخه‌ی تولید می‌باشد. با توجه به این موضوع و مطالب ارائه شده در این فصل، تعمیر و نگهداری اصلاحی از گزینه‌های قابل استفاده حذف می‌شود. دلیل این امر این است که این نوع تعمیرات پس از وقوع خرابی انجام شده و کاملاً با سیاست مورد نظر برای پیوستگی سیستم حمل و نقل تناقض دارد. بنابراین بایستی از تعمیر و نگهداری پیشگیرانه با توجه به شرایط موجود استفاده نمود. به دلیل کمبود امکانات و نبود ابزار ویژه و سنسورهای مخصوص در معدن طلای زرمهر گزینه تعمیر و نگهداری مبتنی بر پایش وضعیت نیز از گزینه‌های مورد نظر حذف می‌شود. با توجه به اینکه حفظ پیوستگی تولید تنها با بالا نگه‌داشتن سطح قابلیت اطمینان محقق می‌شود، لذا تعمیر و نگهداری پیشگیرانه مبتنی بر قابلیت اطمینان به عنوان استراتژی کاربردی در معدن طلای زرمهر انتخاب می‌شود.

۶-۶- تدوین برنامه تعمیر و نگهداری پیشگیرانه برای سیستم حمل و نقل (ترابری)

تعیین سطح قابلیت اطمینان برای سیستم حمل و نقل یک امر کاملاً حیاتی و حساس می‌باشد بطوریکه اشتباه در تعیین سطح قابلیت اطمینان می‌تواند کل عملیات معدنکاری را تحت تأثیر قرار دهد و باعث خسارات سنگین به چرخه‌ی تولید شود. با توجه به امکانات موجود و بررسی تخصص و مهارت تعمیرکاران شاغل در این معدن، سطح قابلیت اطمینان ۸۵ درصد به عنوان حداقل قابلیت اطمینان عملیاتی زیرسیستم‌های سیستم‌های باربری و بارگیری انتخاب شد. تعیین سطح بحرانی قابلیت اطمینان برای اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه می‌تواند به صورت مهندسی و دقیق‌تر نیز ارائه شود و آنالیزهای

مربوط به تأثیر سطح قابلیت اطمینان بر هزینه‌های تعمیر و نگهداری انجام شود که در این پایان‌نامه به آن پرداخته نشده است. با در نظر گرفتن این سطح اطمینان، زمانی که قابلیت اطمینان هر زیرسیستم به ۸۵ درصد برسد بایستی تعمیرات پیشگیرانه بر روی آن زیرسیستم صورت گیرد. در جدول ۶-۱ زمان‌های محاسبه شده از روی منحنی‌های قابلیت اطمینان هر زیر سیستم ارائه شده است. این اعداد، زمان‌هایی است که هر زیرسیستم به قابلیت اطمینان ۸۵ درصد می‌رسد. جدول زمان‌بندی بایستی به صورت مدون و بهینه برای برنامه‌ی تعمیر و نگهداری باشد بطوریکه کمترین توقف را برای دستگاه‌ها داشته باشد. طبق این جدول توقف‌های زیادی برای هر دستگاه خواهد بود و در نتیجه این برنامه تعمیر و نگهداری باعث کاهش تولید معدن و قابلیت دسترسی هر دستگاه می‌شود. به منظور کاهش توقف‌های مکرر پیش‌بینی شده دستگاه‌ها بر اساس این برنامه، بایستی زمان‌های تعمیرات زیرسیستم‌هایی که نزدیک به هم هستند با یکدیگر ادغام شوند زیرا این امر باعث کاهش توقف‌های دستگاه و کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری می‌شود.

جدول ۶-۱- زمان رسیدن به قابلیت اطمینان ۸۵٪ و دوره تعمیرات پیشگیرانه برای دستگاه‌های سیستم ترابری معدن طلای زرمهر

زیرسیستم				زمان قابلیت اطمینان ۸۵ درصد (ساعت)
سیستم مکانیکی	سیستم بارگیری	سیستم حرکتی	سیستم برقی	
۱۳	۲۱	۲۷	۲۲	Excavator1
۲۰	۷۸	۲۷	۵۰	Excavator2
۱۷	۵۸	۶۰	۱۶۵	Excavator3
۱۲	-----	۶۳	۱۷	Truck1
۲۰	-----	۶۵	۱۳	Truck2
۱۵	-----	۵۷	۶۸	Truck3

به منظور سامان‌دهی تعمیرات هر دستگاه، جدول ۶-۲ به صورت مناسب‌تر ارائه شده است. طبق این جدول توقف‌های کمتری به منظور تعمیرات خواهد بود و در نتیجه قابلیت دسترسی هر دستگاه تا حد قابل ملاحظه‌ای بالا خواهد رفت.

جدول ۶-۲- دوره‌های تعمیرات پیشگیرانه بهبود یافته برای زیرسیستم‌های ترابری معدن طلای زرمهر

زیرسیستم				زمان قابلیت اطمینان ۸۵ درصد (ساعت)
سیستم مکانیکی	سیستم بارگیری	سیستم حرکتی	سیستم برقی	
۱۵	۲۵	۲۵	۲۵	بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو
۲۵	۷۵	۲۵	۵۰	بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان
۱۵	۶۰	۶۰	۱۸۰	بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای
۱۵	-----	۶۰	۱۵	کامیون دنگ‌فنگ ۲۰۰۳
۱۵	-----	۶۰	۱۵	کامیون بنز ۲۰۱۱
۱۵	-----	۶۰	۶۰	کامیون بنز ۱۹۹۲

بطور مثال طبق جدول ۶-۱ بیل مکانیکی شماره ۲ بدین صورت بایستی مورد تعمیر و نگهداری قرار می‌گرفت: زیرسیستم مکانیکی هر ۲۰ ساعت، زیرسیستم بارگیری هر ۷۸ ساعت، زیرسیستم حرکتی هر ۲۷ ساعت و زیرسیستم برقی هر ۵۰ ساعت. این برنامه تعمیر و نگهداری بدین صورت اصلاح می‌شود. زیرسیستم حرکتی و مکانیکی هر ۲۵ ساعت مورد تعمیر قرار می‌گیرند. زیرسیستم برقی هر ۵۰ ساعت و زیرسیستم بارگیری هر ۷۵ ساعت مورد تعمیر و نگهداری قرار می‌گیرند. طبق این برنامه، سیستم حرکتی و مکانیکی هر دوبار یکبار با زیرسیستم برقی مورد تعمیر قرار می‌گیرند. بنابراین هر ۱۵۰ ساعت، هر چهار زیرسیستم بطور همزمان مورد تعمیر قرار گرفته و در نتیجه هر ۱۵۰ ساعت مجدداً قابلیت اطمینان این دستگاه به یک می‌رسد.

در ادامه تأثیر برنامه تعمیر و نگهداری تعبیه شده برای زیرسیستم‌های دستگاه‌های باربری و باربری نشان داده شده و نتایج این برنامه بر روی قابلیت اطمینان کل سیستم حمل و نقل مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

۶-۷- تأثیر تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بر روی قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل

به منظور بررسی تأثیر تعمیر و نگهداری بر روی سیستم حمل و نقل بایستی ابتدا تأثیر این عملیات را بر روی تک تک زیرسیستم‌های آن بررسی کنیم تا با استفاده از این نتایج، تأثیر این عملیات را بر روی قابلیت اطمینان کل سیستم حمل و نقل مشاهده کنیم. تأثیر تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بر روی زیرسیستم‌های بخش‌های باربری و بارگیری در ادامه ارائه شده است.

۶-۷-۱- تأثیر تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بر بخش بارگیری

۶-۷-۱-۱- تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو

طبق نتایج حاصل از برنامه تعمیر و نگهداری پیشگیرانه برای این دستگاه، بازه‌های زمانی برای تعمیر و نگهداری مطابق جدول ۶-۳ می‌باشد.

جدول ۶-۳- دوره‌های تعمیرات پیشگیرانه برای زیرسیستم‌های بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو

زیرسیستم				زمان قابلیت اطمینان ۸۵ درصد (ساعت)
سیستم مکانیکی	سیستم بارگیری	سیستم حرکتی	سیستم برقی	
۱۵	۲۵	۲۵	۲۵	بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو

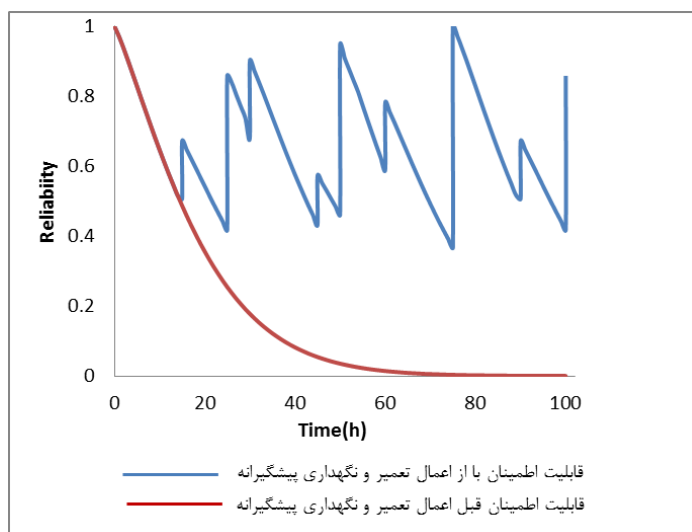
با توجه به اینکه داده‌های مربوط به خرابی همه‌ی این زیرسیستم‌ها بصورت مستقل و مانا بوده و قابلیت اطمینان آنها از فرآیند تجدید شونده پیروی می‌کند لذا پس از انجام تعمیر بر روی این سیستم‌ها، سیستم

به حالت نو برمی‌گردد و قابلیت اطمینان سیستم پس از هر تعمیر مجدداً به ۱۰۰٪ برمی‌گردد. نتایج حاصل به شرح جدول ۴-۶ می‌باشد.

جدول ۴-۶- تغییرات قابلیت اطمینان بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

زمان (ساعت)	زیرسیستم				قابلیت اطمینان
	مکانیکی	بارگیری	حرکتی	برقی	
۰	۱	۱	۱	۱	۱
۱۵	۰/۷۵۶	۰/۸۷۸	۰/۸۸۵	۰/۸۶۴	۰/۴۸۷
۱۵/۰۱	۱	۰/۸۷۸	۰/۸۸۵	۰/۸۶۴	۰/۶۴۵
۲۵	۰/۸۵۸	۰/۷۶۲	۰/۸۱۵	۰/۷۸۴	۰/۴۱۸
۲۵/۰۱	۰/۸۵۸	۱	۱	۱	۰/۸۵۸
۳۰	۰/۷۵۶	۰/۹۸۶	۰/۹۶	۰/۹۵۲	۰/۶۸۱
۳۰/۰۱	۱	۰/۹۸۶	۰/۹۶	۰/۹۵۲	۰/۹۰۱
۴۵	۰/۷۵۶	۰/۸۲	۰/۸۴۹	۰/۸۲۳	۰/۴۳۳
۴۵/۰۱	۱	۰/۸۲	۰/۸۴۹	۰/۸۲۳	۰/۵۷۳
۵۰	۰/۹۴۷	۰/۷۶۲	۰/۸۱۵	۰/۷۸۴	۰/۴۶۲
۵۰/۰۱	۰/۹۴۷	۱	۱	۱	۰/۹۴۷
۶۰	۰/۷۵۶	۰/۹۳۵	۰/۹۲۲	۰/۹۰۷	۰/۵۹۱
۶۰/۰۱	۱	۰/۹۳۵	۰/۹۲۲	۰/۹۰۷	۰/۷۸۲
۷۵	۰/۷۵۶	۰/۷۶۲	۰/۸۱۵	۰/۷۸۴	۰/۳۶۸
۷۵/۰۱	۱	۱	۱	۱	۱

مطابق جدول هر ۷۵ ساعت یکبار کل دستگاه (تمام زیرسیستم‌ها) مورد تعمیر قرار می‌گیرد و قابلیت اطمینان دستگاه به یک می‌رسد. تأثیر تعمیر و نگهداری پیشگیرانه برروی قابلیت اطمینان دستگاه مطابق شکل ۵-۶ ارائه شده است. طبق نتایج بالا قابلیت اطمینان این دستگاه تا حدود ۳۵٪ کاهش می‌یابد ولی با وجود تعمیر و نگهداری پیشگیرانه پس از ۷۵ ساعت قابلیت اطمینان مجدداً به یک می‌رسد.



شکل ۵-۶- منحنی قابلیت اطمینان بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

۶-۷-۱-۲- تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان

طبق برنامه ارائه شده برنامه تعمیر و نگهداری پیشگیرانه برای این دستگاه مطابق جدول ۵-۶ می‌باشد.

جدول ۵-۶- دوره‌های تعمیرات پیشگیرانه برای زیرسیستم‌های بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان

زیرسیستم				زمان قابلیت اطمینان ۸۵ درصد (ساعت)
سیستم مکانیکی	سیستم بارگیری	سیستم حرکتی	سیستم برقی	
۲۵	۷۵	۲۵	۵۰	بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان

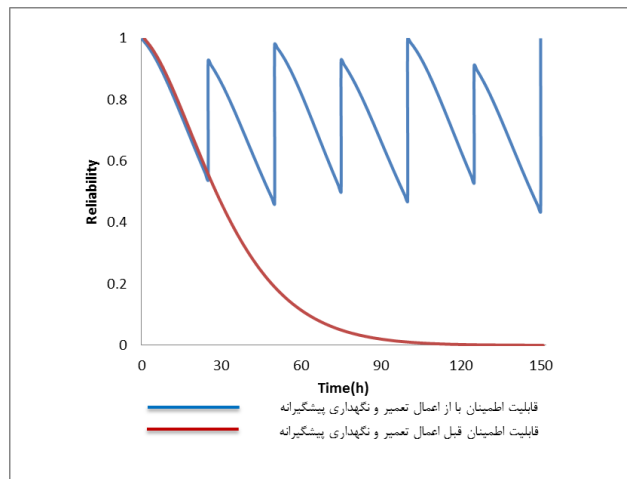
داده‌های خرابی تمامی زیرسیستم‌های این دستگاه به صورت مانا و مستقل توزیع شده و قابلیت اطمینان آنها از فرآیند تجدید شونده تبعیت می‌کند لذا پس از اجرای تعمیر و نگهداری پیشگیرانه قابلیت اطمینان مجدداً به یک می‌رسد. نتایج حاصله از تعمیر و نگهداری بر روی این دستگاه به شرح جدول ۶-۶ می‌باشد.

طبق جدول هر ۱۵۰ ساعت یکبار تمام زیرسیستم‌ها بطور همزمان تعمیر شده و لذا قابلیت اطمینان مجدداً به یک می‌رسد. نمودار مربوط به تأثیر تعمیر و نگهداری پیشگیرانه در شکل ۶-۶ ارائه شده است.

مطابق شکل با اجرای تعمیر و نگهداری پیشگیرانه کمترین مقدار قابلیت اطمینان به حدود ۴۰٪ می‌رسد و با اجرای تعمیر و نگهداری پیشگیرانه قابلیت اطمینان تا حد بالایی بهبود می‌یابد و قابلیت اطمینان در سطح بالایی حفظ می‌شود.

جدول ۶-۶- تغییرات قابلیت اطمینان بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

قابلیت اطمینان	زیرسیستم				زمان (ساعت)
	برقی	حرکتی	بارگیری	مکانیکی	
۱	۱	۱	۱	۱	۰
۰/۵۳۹	۰/۹۲۸	۰/۸۰۷	۰/۹۹۸	۰/۷۱۹	۲۵
۰/۹۲۹	۰/۹۲۸	۱	۰/۹۹۸	۱	۲۵/۰۱
۰/۴۶۱	۰/۸۰۹	۰/۸۰۷	۰/۹۸۱	۰/۷۱۹	۵۰
۰/۹۸۱	۱	۱	۰/۹۸۱	۱	۵۰/۰۱
۰/۵	۰/۹۲۸	۰/۸۰۷	۰/۹۲۷	۰/۷۱۹	۷۵
۰/۹۳	۰/۹۲۸	۱	۱	۱	۷۵/۰۱
۰/۴۶۹	۰/۸۰۹	۰/۸۰۷	۰/۹۹۸	۰/۷۱۹	۱۰۰
۰/۹۹۸	۱	۱	۰/۹۹۸	۱	۱۰۰/۰۱
۰/۵۳	۰/۹۲۸	۰/۸۰۷	۰/۹۸۱	۰/۷۱۹	۱۲۵
۰/۹۱۲	۰/۹۲۸	۱	۰/۹۸۱	۱	۱۲۵/۰۱
۰/۴۳۶	۰/۸۰۹	۰/۸۰۷	۰/۹۲۷	۰/۷۱۹	۱۵۰
۱	۱	۱	۱	۱	۱۵۰/۰۱



شکل ۶-۶- منحنی قابلیت اطمینان بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

۶-۷-۱-۳- تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای

طبق برنامه ارائه شده برنامه تعمیر و نگهداری پیشگیرانه برای این دستگاه مطابق جدول ۶-۷ می‌باشد.

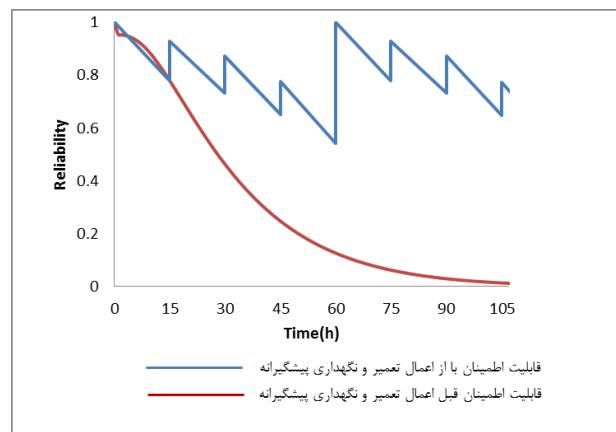
جدول ۶-۷- دوره‌های تعمیرات پیشگیرانه برای زیرسیستم‌های بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای

زیرسیستم				زمان قابلیت اطمینان ۸۵ درصد (ساعت)
سیستم مکانیکی	سیستم بارگیری	سیستم حرکتی	سیستم برقی	
۱۵	۶۰	۶۰	۱۸۰	بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای

نتایج حاصله از تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بر روی قابلیت اطمینان دستگاه و زیرسیستم‌های آن مطابق جدول ۶-۸ می‌باشد. طبق جدول هر ۱۸۰ ساعت یکبار کل دستگاه مورد تعمیر و نگهداری پیشگیرانه قرار می‌گیرد. همچنین مقایسه بین قابلیت اطمینان قبل و بعد از تعمیر و نگهداری در شکل ۶-۷ نشان داده شده است. مطابق شکل مذکور پس از تعمیر و نگهداری پیشگیرانه کمترین مقدار قابلیت اطمینان برابر با ۳۷ درصد می‌باشد که با انجام تعمیر و نگهداری پیشگیرانه این مقدار به یک می‌رسد.

جدول ۶-۸- تغییرات قابلیت اطمینان بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

زمان (ساعت)	زیرسیستم				قابلیت اطمینان
	مکانیکی	بارگیری	حرکتی	برقی	
۰	۱	۱	۱	۱	۱
۱۵	۰/۸۳۹	۰/۹۳۳	۰/۹۹۵	۱	۰/۷۷۸
۱۵/۰۱	۱	۰/۹۳۳	۰/۹۹۵	۱	۰/۹۲۸
۳۰	۰/۸۳۹	۰/۸۹۸	۰/۹۶۹	۱	۰/۷۳
۳۰/۰۱	۱	۰/۸۹۸	۰/۹۶۹	۱	۰/۸۷
۴۵	۰/۸۳۹	۰/۸۵۲	۰/۹۰۷	۱	۰/۶۴۹
۴۵/۰۱	۱	۰/۸۵۲	۰/۹۰۷	۱	۰/۷۷۳
۶۰	۰/۸۳۹	۰/۷۹۵	۰/۸۱۳	۱	۰/۵۴۲
۶۰/۰۱	۱	۱	۱	۱	۱



شکل ۶-۷- منحنی قابلیت اطمینان بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

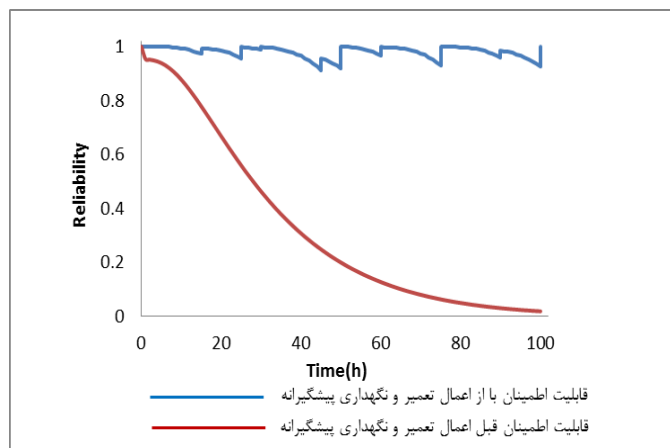
۶-۷-۱-۴- قابلیت اطمینان کلی سیستم بارگیری پس از اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

با توجه به موازی بودن سه زیرسیستم بخش بارگیری، قابلیت اطمینان کلی زیر سیستم پس از اعمال تعمیر و نگهداری بر روی زیرسیستم‌ها (بیل‌های مکانیکی) در جدول ۶-۹ ارائه شده است.

مطابق جدول مذکور قابلیت اطمینان سیستم بارگیری در حد بسیار بالایی با اجرای تعمیر و نگهداری پیشگیرانه حفظ شده که این موضوع باعث می‌شود که برنامه تعمیر و نگهداری پیشگیرانه اهمیت آن پررنگ‌تر از قبل شده و لذا نشان می‌دهد اجرای یک برنامه تعمیر و نگهداری پیشگیرانه تا حد بسیار زیادی بر روی قابلیت اطمینان تأثیر می‌گذارد و این پارامتر مهم را در سطح بالایی از لحاظ عملیاتی نگه می‌دارد. تأثیر تعمیر و نگهداری پیشگیرانه همچنین در نمودار شکل ۶-۸ به وضوح قابل مشاهده است.

جدول ۶-۹- تغییرات قابلیت اطمینان سیستم بارگیری با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

قابلیت اطمینان کلی سیستم بارگیری	زیرسیستم			زمان (ساعت)
	بیل مکانیکی ۳۲۰ هیوندای	بیل مکانیکی ۳۰۰ دوسان	بیل مکانیکی ۲۲۰ کوماتسو	
۱	۱	۱	۱	۰
۰/۹۷۲	۰/۷۷۸	۰/۷۴۷	۰/۵۰۷	۱۵
۰/۹۹۴	۰/۹۲۸	۰/۷۴۷	۰/۶۷۱	۱۵/۰۱
۰/۹۵۶	۰/۸۳۵	۰/۵۳۹	۰/۴۱۸	۲۵
۰/۹۹۸	۰/۸۳۵	۰/۹۲۹	۰/۸۵۸	۲۵/۰۱
۰/۹۸۷	۰/۷۳	۰/۸۵۴	۰/۶۸۱	۳۰
۰/۹۹۸	۰/۸۷	۰/۸۵۴	۰/۹۰۱	۳۰/۰۱
۰/۹۱۲	۰/۶۴۹	۰/۵۵۷	۰/۴۳۳	۴۵
۰/۹۵۷	۰/۷۷۴	۰/۵۵۷	۰/۵۷۳	۴۵/۰۱
۰/۹۲۱	۰/۷۲۷	۰/۴۶۱	۰/۴۶۲	۵۰
۰/۹۹	۰/۷۲۷	۰/۹۸۱	۰/۹۴۷	۵۰/۰۱
۰/۹۶۶	۰/۵۴۲	۰/۸۲	۰/۵۹	۶۰
۱	۱	۰/۸۲	۰/۷۸۲	۶۰/۰۱



شکل ۶-۸- منحنی قابلیت اطمینان سیستم بارگیری با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

۶-۷-۲- تأثیر تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بر بخش باربری

به منظور بررسی تأثیر تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بر روی سیستم باربری معدن طلای زرمهر، بایستی ابتدا تأثیر این عملیات بر روی تمام زیرسیستم‌های آن (کامیون‌ها) بررسی شود. تأثیر این عملیات بر روی کامیون‌ها در ادامه ارائه شده است.

۶-۷-۲-۱- تأثیر تعمیر و نگهداری بر روی کامیون دنگ‌فنگ

طبق برنامه ارائه شده، زمان تعمیر و نگهداری پیشگیرانه برای این زیرسیستم باربری مطابق جدول ۶-۱۰ می‌باشد.

جدول ۶-۱۰- دوره‌های تعمیرات پیشگیرانه برای زیرسیستم‌های کامیون دنگ‌فنگ

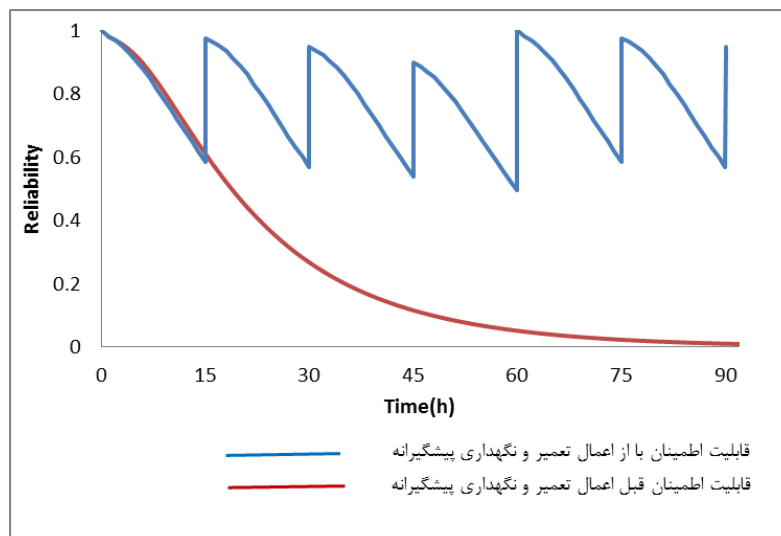
زیرسیستم			زمان قابلیت اطمینان ۸۵ درصد (ساعت)
سیستم مکانیکی	سیستم حرکتی	سیستم برقی	
۱۵	۶۰	۱۵	کامیون دنگ‌فنگ

طبق برنامه پیشنهادی هر ۶۰ ساعت یکبار تمامی زیرسیستم‌ها بطور همزمان مورد تعمیر قرار می‌گیرند و قابلیت اطمینان سیستم مجدداً به یک می‌رسد. تأثیر این برنامه تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

برروی قابلیت اطمینان کامیون مطابق جدول ۶-۱۱ می‌باشد. قابلیت اطمینان این زیرسیستم باربری تا حدود ۴۹٪ افت پیدا می‌کند اما با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه برای هر سه زیرسیستم این کامیون بطور همزمان، قابلیت اطمینان آن مجدداً به یک می‌رسد و این زیرسیستم از سطح اعتماد بالایی برای ادامه عملیات برخوردار می‌شود. همچنین مقایسه بین قابلیت اطمینان کامیون بدون عملیات تعمیر و نگهداری و پس از اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه در نمودارهای شکل ۶-۹ مشخص شده است. مطابق شکل مذکور قابلیت اطمینان در حالتی که تعمیر و نگهداری صورت نگرفته است، پس از حدود ۹۰ ساعت به صفر می‌رسد ولی با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه این مقدار در سطح نسبتاً بالایی (حدود ۹۵٪) حفظ می‌شود.

جدول ۶-۱۱- تغییرات قابلیت اطمینان کامیون دنگ‌فنگ در اثر اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

قابلیت اطمینان	زیرسیستم			زمان قابلیت اطمینان ۸۵ درصد (ساعت)
	برقی	حرکتی	مکانیکی	
۱	۱	۱	۱	۰
۰/۵۸۵	۰/۸۶۳	۰/۹۷۵	۰/۶۹۵	۱۵
۰/۹۷۶	۱	۰/۹۷۵	۱	۱۵/۰۱
۰/۵۶۸	۰/۸۶۳	۰/۹۴۷	۰/۶۹۵	۳۰
۰/۹۴۷	۱	۰/۹۴۷	۱	۳۰/۰۱
۰/۵۳۹	۰/۸۶۳	۰/۸۹۸	۰/۶۹۵	۴۵
۰/۸۹۸	۱	۰/۸۹۸	۱	۴۵/۰۱
۰/۴۹۳	۰/۸۶۳	۰/۸۲۲	۰/۶۹۵	۶۰
۱	۱	۱	۱	۶۰/۰۱



شکل ۶-۹- منحنی قابلیت اطمینان کامیون دنگ فنگ با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

۶-۷-۲-۲- تأثیر تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بر روی کامیون بنز ۲۰۱۱

برنامه تعمیر و نگهداری پیشگیرانه مبتنی بر حفظ قابلیت اطمینان در سطح ۸۵ درصد برای این زیرسیستم باربری مطابق جدول ۶-۱۲ می باشد.

جدول ۶-۱۲- دوره های تعمیرات پیشگیرانه برای زیرسیستم های کامیون بنز ۲۰۱۱

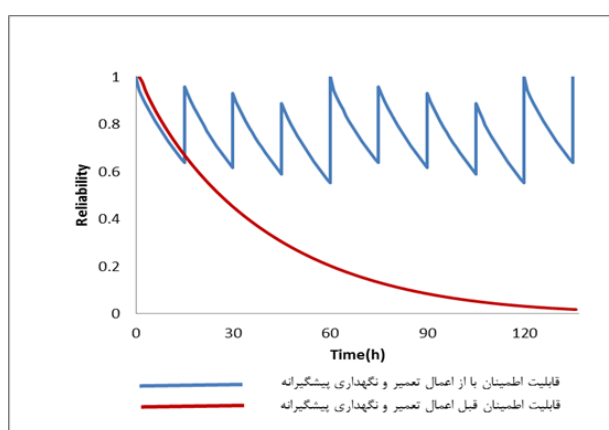
زیرسیستم			زمان قابلیت اطمینان ۸۵ درصد (ساعت)
سیستم مکانیکی	سیستم حرکتی	سیستم برقی	
۱۵	۶۰	۱۵	کامیون بنز ۲۰۱۱

تأثیر تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بر روی قابلیت اطمینان دستگاه در بازه های زمانی مشخص مطابق جدول ۶-۱۳ می باشد. بر این اساس هر ۶۰ ساعت یکبار کل دستگاه تحت تعمیر قرار می گیرد و قابلیت اطمینان آن مجدداً به یک می رسد.

جدول ۶-۱۳- تغییرات قابلیت اطمینان کامیون بنز ۲۰۱۱ در اثر اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

زمان قابلیت اطمینان ۸۵ درصد (ساعت)	زیرسیستم			قابلیت اطمینان
	مکانیکی	حرکتی	برقی	
۰	۱	۱	۱	۱
۱۵	۰/۸۴	۰/۹۵۸	۰/۷۸۹	۰/۶۳۶
۱۵/۰۱	۱	۰/۹۵۸	۱	۰/۹۵۸
۳۰	۰/۸۴	۰/۹۳	۰/۷۸۹	۰/۶۱۶
۳۰/۰۱	۱	۰/۹۳	۱	۰/۹۳
۴۵	۰/۸۴	۰/۸۸۸	۰/۷۸۹	۰/۵۸۹
۴۵/۰۱	۱	۰/۸۸۸	۱	۰/۸۸۸
۶۰	۰/۸۴	۰/۸۳۱	۰/۷۸۹	۰/۵۵۱
۶۰/۰۱	۱	۱	۱	۱

نمودار مربوط به قابلیت اطمینان کامیون بنز ۲۰۱۱ پس از اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه در شکل ۶-۱۰ ارائه شده است. طبق نمودار هر ۱۵ ساعت دو زیرسیستم بطور همزمان مورد تعمیر و نگهداری پیشگیرانه قرار گرفته‌اند و سطح قابلیت اطمینان کل دستگاه افزایش می‌یابد. کمترین مقدار قابلیت اطمینان با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه حدود ۵۵ درصد می‌باشد که با اعمال تعمیر و نگهداری مجدداً به یک می‌رسد. این در حالی است که در حالتی که تعمیر و نگهداری روی دستگاه صورت نمی‌گیرد، قابلیت اطمینان پس از حدود ۱۳۰ ساعت به صفر می‌رسد.



شکل ۶-۱۰- منحنی قابلیت اطمینان کامیون بنز ۲۰۱۱ با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

۶-۷-۲-۳- تأثیر تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بر روی کامیون بنز ۱۹۹۲

برنامه تعمیر و نگهداری برای زیرسیستم‌های این دستگاه مطابق جدول ۶-۱۴ می‌باشد. طبق این جدول هر ۱۵ ساعت سیستم مکانیکی مورد تعمیر قرار می‌گیرد و هر ۶۰ ساعت هر سه زیرسیستم بطور همزمان تعمیر می‌شوند و قابلیت اطمینان دستگاه مجدداً به یک می‌رسد. کمینه مقدار قابلیت اطمینان برابر با ۵۰ درصد می‌باشد.

همچنین جدول ۶-۱۵ تغییرات قابلیت اطمینان این زیرسیستم باربری را در اثر اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه نشان می‌دهد.

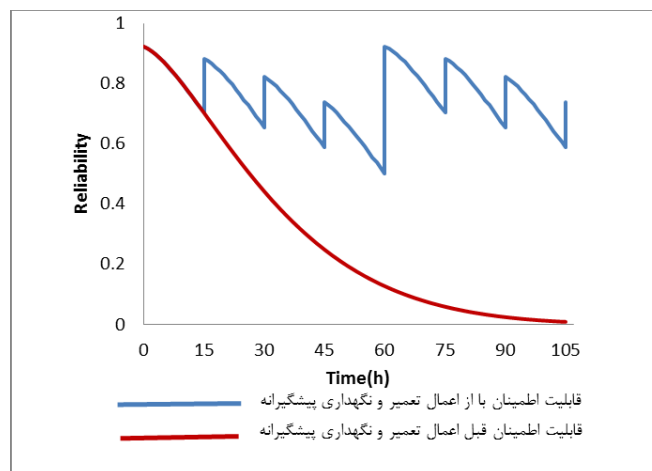
جدول ۶-۱۴- دوره‌های تعمیرات پیشگیرانه برای زیرسیستم‌های کامیون بنز ۱۹۹۲

زیرسیستم			زمان قابلیت اطمینان ۸۵ درصد (ساعت)
سیستم مکانیکی	سیستم حرکتی	سیستم برقی	
۱۵	۶۰	۶۰	کامیون بنز ۱۹۹۲

جدول ۶-۱۵- تغییرات قابلیت اطمینان کامیون بنز ۱۹۹۲ در اثر اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

زمان قابلیت اطمینان ۸۵ درصد (ساعت)	زیرسیستم			قابلیت اطمینان
	مکانیکی	حرکتی	برقی	
۰	۰/۹۹۷	۰/۹۸۴	۰/۹۴۲	۰/۹۲۴
۱۵	۰/۷۹۴	۰/۹۶۳	۰/۹۲	۰/۷۰۴
۱۵/۰۱	۰/۹۹۷	۰/۹۶۳	۰/۹۲	۰/۸۸۳
۳۰	۰/۷۹۴	۰/۹۲۴	۰/۸۹۳	۰/۶۵۶
۳۰/۰۱	۰/۹۹۷	۰/۹۲۴	۰/۸۹۳	۰/۸۲۳
۴۵	۰/۷۹۴	۰/۸۶۲	۰/۸۵۹	۰/۵۸۹
۴۵/۰۱	۰/۹۹۷	۰/۸۶۲	۰/۸۵۹	۰/۷۳۹
۶۰	۰/۷۹۴	۰/۷۷۱	۰/۸۲۱	۰/۵۰۳
۶۰/۰۱	۰/۹۹۷	۰/۹۸۴	۰/۹۴۲	۰/۹۲۴

بر اساس برنامه تعمیر و نگهداری پیشگیرانه، قابلیت اطمینان در حد بالایی حفظ شده و این مهم به پیوستگی در امر تولید کمک می‌کند. نمودار شکل ۶-۱۱ مربوط به قابلیت اطمینان پس از اعمال برنامه تعمیر و نگهداری پیشگیرانه برای کامیون بنز ۱۹۹۲ می‌باشد.



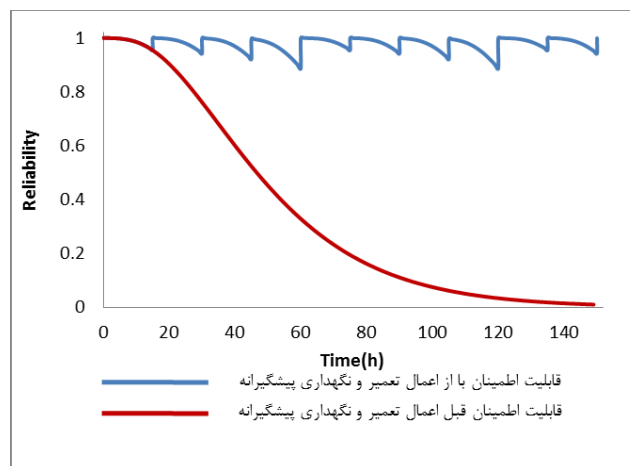
شکل ۶-۱۱ منحنی قابلیت اطمینان کامیون بنز ۱۹۹۲ با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

۶-۷-۲-۴- قابلیت اطمینان سیستم باربری با اعمال برنامه تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

با محاسبه قابلیت اطمینان برای سه زیرسیستم باربری پس از اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه، قابلیت اطمینان کلی سیستم باربری معدن طلای زرمهر قابل محاسبه می‌باشد. طبق نتایج حاصله از اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بر روی زیرسیستم‌های باربری، قابلیت اطمینان سیستم باربری مطابق جدول ۶-۱۶ تغییر می‌کند. مطابق جدول مذکور، در بازه‌های زمانی ۶۰ ساعته که هر سه زیرسیستم بخش باربری بطور همزمان مورد تعمیر و نگهداری پیشگیرانه قرار می‌گیرند، قابلیت اطمینان سیستم باربری مجدداً به یک می‌رسد. همچنین در شکل ۶-۱۲، نمودار قابلیت اطمینان سیستم باربری پس از اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه نشان داده شده است.

جدول ۶-۱۶- تغییرات قابلیت اطمینان سیستم باربری با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

زمان (ساعت)	زیرسیستم			قابلیت اطمینان کلی سیستم باربری
	کامیون دنگ فنگ	کامیون بنز ۲۰۱۱	کامیون بنز ۱۹۹۲	
۰	۱	۱	۰/۹۲۴	۱
۱۵	۰/۵۸۵	۰/۶۳۶	۰/۷۰۴	۰/۹۵۶
۱۵/۰۱	۰/۹۷۶	۰/۹۵۸	۰/۸۸۳	۰/۹۹۹
۳۰	۰/۵۶۸	۰/۶۱۶	۰/۶۵۶	۰/۹۴۳
۳۰/۰۱	۰/۹۴۷	۰/۹۳	۰/۸۲۳	۰/۹۹۹
۴۵	۰/۵۳۹	۰/۵۸۹	۰/۵۸۹	۰/۹۲۲
۴۵/۰۱	۰/۸۹۸	۰/۸۸۸	۰/۷۳۹	۰/۹۹۷
۶۰	۰/۴۹۳	۰/۵۵۱	۰/۵۰۳	۰/۸۸۷
۶۰/۰۱	۱	۱	۰/۹۲۴	۱
۷۵	۰/۵۸۵	۰/۶۳۶	۰/۷۰۴	۰/۹۵۵
۷۵/۰۱	۰/۹۷۶	۰/۹۵۸	۰/۸۸۳	۰/۹۹۹



شکل ۶-۱۲- منحنی قابلیت اطمینان سیستم باربری با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

طبق نمودار شکل ۶-۱۲ کمینه مقدار قابلیت اطمینان با اجرای عملیات تعمیر و نگهداری پیشگیرانه برای سیستم باربری معدن طلای زرمهر حدود ۸۹ درصد می باشد که قابلیت اطمینان بسیار ایده آل برای

شرایط عملیاتی یک سیستم می‌باشد. مطابق شکل، قابلیت اطمینان سیستم باربری بدون اعمال تعمیر و نگهداری، پس از حدود ۱۴۰ ساعت تقریباً به صفر می‌رسد.

۶-۷-۳- قابلیت اطمینان سیستم ترابری معدن طلای زرمهر با اعمال برنامه تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

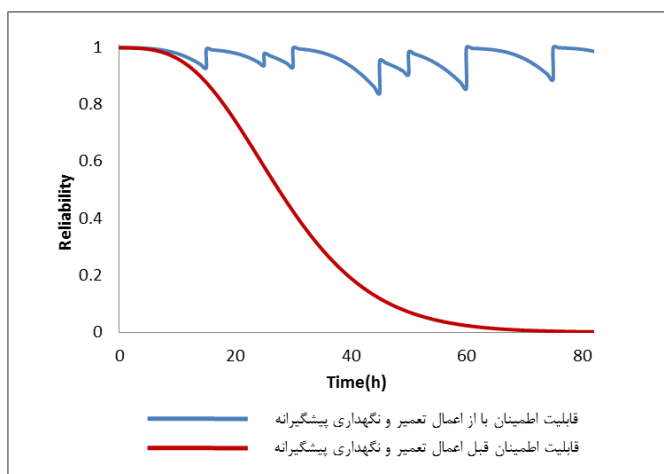
سیستم ترابری پیوسته و پویا در معادن روباز، یکی از ارکان اصلی برای داشتن تولیدی پیوسته و بدون وقفه می‌باشد. به همین دلیل اجرای تعمیر و نگهداری پیشگیرانه برای این سیستم، امری ضروری و حیاتی به شمار می‌آید. با اجرای تعمیر و نگهداری پیشگیرانه برای دو سیستم باربری و بارگیری در معدن طلای زرمهر تربت حیدریه، می‌توان قابلیت اطمینان سیستم ترابری در این معدن را تا حد قابل ملاحظه-ای افزایش داد. با توجه به سری بودن دو سیستم باربری و بارگیری در سیستم حمل و نقل (ترابری) قابلیت اطمینان سیستم ترابری از ضرب قابلیت اطمینان دو زیرسیستم محاسبه می‌شود. قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل معدن طلای زرمهر پس از اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه مطابق جدول ۶-۱۷ تغییر می‌کند.

همانطور که در جدول مذکور مشاهده می‌شود، کمترین مقدار قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه حدود ۸۴٪ می‌باشد بطوریکه این مقدار قابلیت اطمینان، سطح مطلوبی از شرایط عملیاتی را برای سیستم ما فراهم می‌کند و سیستم از لحاظ عملیاتی قابل اعتماد تلقی می‌شود. حفظ قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل به معنی کنترل و کاهش پتانسیل خرابی دستگاه‌ها بوده و به حفظ پیوستگی در تولید کمک می‌کند.

جدول ۶-۱۷- قابلیت اطمینان سیستم ترابری معدن طلای زرمهر با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

زمان (ساعت)	قابلیت اطمینان زیرسیستم‌ها (با اعمال تعمیر و نگهداری)		قابلیت اطمینان بدون تعمیر و نگهداری	قابلیت اطمینان با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه
	سیستم بارگیری	سیستم باربری		
۰	۱	۱	۱	۱
۱۵	۰/۹۷۲	۰/۹۵۵	۰/۷۴۲	۰/۹۲۹
۱۵/۰۱	۰/۹۹۴	۰/۹۹۹	-----	۰/۹۹۴
۲۵	۰/۹۵۶	۰/۹۸	۰/۴۶۸	۰/۹۳۷
۲۵/۰۱	۰/۹۹۸	۰/۹۸	-----	۰/۹۷۸
۳۰	۰/۹۸۷	۰/۹۴۳	۰/۳۵۱	۰/۹۳۱
۳۰/۰۱	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	-----	۰/۹۹۷
۴۵	۰/۹۱۲	۰/۹۲۲	۰/۱۲۹	۰/۸۴۱
۴۵/۰۱	۰/۹۵۷	۰/۹۹۷	-----	۰/۹۵۴
۵۰	۰/۹۲۱	۰/۹۸۴	۰/۰۸۹	۰/۹۰۶
۵۰/۰۱	۰/۹۹۹	۰/۹۸۴	-----	۰/۹۸۴
۶۰	۰/۹۶۶	۰/۸۸۷	۰/۰۴۱	۰/۸۵۷
۶۰/۰۱	۱	۱	-----	۱
۷۵	۰/۹۲۹	۰/۹۵۵	۰/۰۱۲	۰/۸۸۸
۷۵/۰۱	۱	۰/۹۹۹	-----	۰/۹۹۹

همچنین شکل ۶-۱۳ نمودار قابلیت اطمینان سیستم ترابری معدن طلای زرمهر را پس از اعمال برنامه تعمیر و نگهداری پیشگیرانه نشان می‌دهد. قابلیت اطمینان سیستم ترابری مطابق شکل مذکور بدون تعمیر و نگهداری پس از حدود ۸۰ ساعت به صفر می‌رسد، ولی با اعمال تعمیر و نگهداری پیشگیرانه، کمینه مقدار قابلیت اطمینان سیستم ترابری حدود ۸۴٪ می‌باشد.



شکل ۶-۱۳- منحنی‌های قابلیت اطمینان سیستم ترابری معدن طلای زرمهر
قبل و بعد از اعمال برنامه تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

۶-۸- جمع بندی

در این فصل با توجه به نتایج تحلیل قابلیت اطمینان تمامی زیرسیستم‌های بخش باربری و بارگیری در معدن طلای زرمهر و منحنی‌های قابلیت اطمینان به دست آمده در فصل قبل، استراتژی تعمیر و نگهداری سیستم حمل و نقل انتخاب گردید. پارامترهای تأثیر گذار در انتخاب استراتژی تعمیر و نگهداری شامل حفظ تولید پیوسته، افزایش قابلیت اطمینان و طول عمر ماشین‌آلات می‌باشد. دستیابی به سطح قابلیت اطمینان ۸۵٪ برای تمامی زیرسیستم‌ها هدف تعمیر و نگهداری در نظر گرفته شد و با توجه به این سطح قابلیت اطمینان برنامه جامع برای تعمیر و نگهداری دستگاه ارائه گردید. با توجه به برنامه پیشنهادی، قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل در بدترین حالت ممکن به ۸۴٪ می‌رسد که شرایطی نسبتاً ایده‌آل برای عملیات معدنکاری می‌باشد.

فصل هفتم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۷-۱- نتیجه‌گیری

سیستم حمل و نقل یا به عبارتی ترابری معدن شاهره اصلی بین معدن و کارخانه فرآوری در یک واحد معدنی می‌باشد و توقف در امر حمل و نقل، توقف در خط تولید فرآوری می‌باشد. در کارخانه‌های فرآوری طلا با توجه به هزینه‌های بسیار بالای فرآوری طلا، پیوستگی در تولید یک امر بسیار حیاتی و مهم به شمار می‌آید بطوری که توقف در تولید، مشکلات، هزینه و خسارات بسیار بالایی را به دنبال دارد. از طرفی با توجه به حجم بالای سرمایه‌گذاری شرکت‌ها در خصوص ماشین‌آلات معدنی، افزایش طول عمر و کاهش هزینه‌های تعمیراتی مربوط به ماشین‌آلات یک پارامتر تأثیرگذار بسیار مهم در شرایط اقتصادی عملیات معدنکاری می‌باشد.

در این پایان‌نامه ابتدا تحقیقات مهم صورت گرفته در حوزه قابلیت اطمینان سیستم‌ها و ماشین‌آلات معدنی مورد بررسی قرار گرفتند. پس از آن چهار چوب اصلی تحقیق مشخص گردید. در ابتدا زیرسیستم‌های سیستم حمل و نقل معدن طلای زرمهر که شامل دو بخش بارگیری و باربری (بیل و کامیون) می‌شود بطور کامل معرفی و تعیین شدند. سیستم باربری و بارگیری بطور مجزا معرفی و زیرسیستم‌های آنها که هرکدام شامل سه دستگاه بود، تعیین گردید. پس از این مرحله زیرسیستم‌های هر دستگاه (بیل و کامیون) مشخص گردید. زیرسیستم‌های بیل شامل زیرسیستم‌های مکانیکی، بارگیری، حرکتی و برقی و زیرسیستم‌های کامیون شامل زیرسیستم‌های مکانیکی، حرکتی و برقی و می‌باشد. پس از این مرحله داده‌های مربوط به خرابی تمامی زیرسیستم‌های بخش باربری و بارگیری ثبت و طبقه‌بندی گردید. در این پایان‌نامه برای تحلیل قابلیت اطمینان، روش‌های مارکوف، مدل‌سازی و شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند و نتایج حاصل با یکدیگر مقایسه شد.

نتایج حاصل از این تحقیق بطور خلاصه به شرح زیر می باشد:

با استفاده از داده های مربوط به خرابی تمامی دستگاه ها، قابلیت اطمینان کل سیستم حمل و نقل معدن طلای زرمهر با استفاده از روش مارکوف محاسبه شد. برای هر دستگاه چهار حالت، مشغول به کار، خراب، در حال تعمیر و تعمیر شده در نظر گرفته شد. قابلیت اطمینان سیستم در حالتی که هر شش دستگاه مشغول بکار هستند برابر $68/8$ درصد می باشد. در صورتی که فقط یک دستگاه دچار خرابی باشد، قابلیت اطمینان کلی سیستم ترابری برابر با 26 درصد می باشد.

با توجه به داده های خرابی ثبت شده، و محاسبه ی TBF ها، مدل سازی قابلیت اطمینان مربوط به تمامی زیرسیستم های بخش باربری و بارگیری صورت گرفت. قابلیت اطمینان برای تمامی زیرسیستم های بیل ها محاسبه شد و با توجه به سری بودن شبکه قابلیت اطمینان بیل ها، قابلیت اطمینان مربوط به هر بیل حاصل گردید. قابلیت اطمینان کلی بخش بارگیری معدن طلای زرمهر با توجه به موازی بودن شبکه این بخش محاسبه گردید. نتایج حاصل نشان می دهد که قابلیت اطمینان این سیستم پس از 100 ساعت عملکرد، تقریباً برابر با صفر می شود.

با توجه به سری بودن شبکه قابلیت اطمینان کامیون ها، از ضرب قابلیت اطمینان زیرسیستم ها، قابلیت اطمینان هر کامیون محاسبه شد. با داشتن قابلیت اطمینان هر کامیون، قابلیت اطمینان کلی سیستم باربری محاسبه شد. قابلیت اطمینان کلی سیستم باربری در معدن طلای زرمهر پس از طی 150 ساعت عملکرد، تقریباً به صفر می رسد و پس از حدود 45 ساعت، احتمال خرابی و کارکرد مناسب این سیستم برابر می شود.

پس از محاسبه قابلیت اطمینان برای هر دو بخش باربری و بارگیری، با توجه به سری بودن شبکه قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل، قابلیت اطمینان کلی سیستم حمل و نقل معدن طلای زرمهر محاسبه شد.

نتایج نشان می‌دهد که پس از حدود ۸۰ ساعت از شروع عملکرد بخش‌های بارگیری و باربری، قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل تقریباً به صفر می‌رسد و کل سیستم بطور کلی متوقف می‌شود.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی قابلیت اطمینان نشان می‌دهد که قابلیت اطمینان سیستم حمل و نقل معدن طلای زرمهر پس از حدود ۸۰ ساعت به صفر می‌رسد و کل سیستم متوقف می‌شود. نتایج حاصل از شبیه‌سازی از سطح اعتماد بالاتری برای نتیجه‌گیری برخوردار می‌باشد.

مقایسه نتایج بین روش مدل‌سازی و شبیه‌سازی نشان داد که منحنی قابلیت اطمینان بسیار نزدیک به هم می‌باشند و از هم‌خوانی بسیار خوبی برخوردارند. در بازه‌ی ۵-۵۰ ساعت، روش شبیه‌سازی قابلیت اطمینان بیشتری نسبت به روش مدل‌سازی تخمین می‌زند.

در آخرین بخش این پایان‌نامه، به برنامه ریزی تعمیر و نگهداری سیستم حمل و نقل معدن طلای زرمهر پرداخته شد. تک تک زیرسیستم‌های بخش‌های بارگیری و باربری مورد بررسی قرار گرفتند. سطح قابلیت اطمینان ۸۵٪ با توجه به شرایط و امکانات موجود برای تمام زیرسیستم‌ها در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن منحنی قابلیت اطمینان هر زیرسیستم، زمان مناسب دوره تعمیرات هر کدام محاسبه شد و برای صرفه جویی و کاهش توقف‌های متعدد و افزایش قابلیت دسترسی هر دستگاه، دوره‌های تعمیرات نزدیک به هم، با یکدیگر ادغام شدند.

نتایج حاصل از تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بر روی زیرسیستم‌های مختلف بخش بارگیری قابلیت اطمینان این بخش را در سطح ۹۱٪ به بالا حفظ می‌کند و در نتیجه سطح اطمینان کارکرد این بخش حمل و نقل را بهبود می‌بخشد. همچنین تأثیر تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بر روی قابلیت اطمینان زیرسیستم‌های مختلف بخش باربری قابلیت اطمینان را نسبت به حالت بدون تعمیر و نگهداری بهبود می‌بخشد و سطح قابلیت اطمینان سیستم باربری در حدود ۸۸ درصد به بالا حفظ می‌شود. با توجه به این نتایج، قابلیت

اطمینان سیستم حمل و نقل معدن طلای زرمهر حدود ۸۴٪ به بالا حفظ می‌شود و سطح قابل اعتمادی برای نگهداری یک سیستم در حالت ایده‌آل عملیاتی می‌باشد.

۷-۲- پیشنهادات

با استفاده از تحلیل‌های قابلیت اطمینان صورت گرفته می‌توان بیش از پیش با شرایط عملیاتی و عملکردی دستگاه‌های مربوط به بخش ترابری آشنا شد. شناخت کامل این دستگاه‌ها عملیات مربوط به تعمیر و نگهداری را آسان‌تر می‌کند و همچنین باعث کاهش چشمگیر هزینه‌های مربوطه می‌شود. به طور کلی موارد زیر برای تحقیقات آینده بر روی سیستم ترابری معدن پیشنهاد می‌شود:

قابلیت دسترسی سیستم ترابری و کلیه دستگاه‌های مربوط به این بخش با استفاده از داده‌های خرابی جمع‌آوری شده محاسبه شود.

بهینه‌سازی هزینه‌های تعمیر و نگهداری سیستم ترابری را با ارائه بهترین زمان تعمیر و نگهداری مورد بررسی نمود.

بایستی تأثیر واقعی عملیات تعمیر و نگهداری پیشگیرانه ارائه شده را بر روی سیستم ترابری را بررسی کرد و خرابی‌های بعد از تعمیر و نگهداری را با خرابی‌های قبل از اعمال تعمیر و نگهداری چه از لحاظ کمی و چه از کیفی مقایسه نمود.

تأثیر عملیات تعمیر و نگهداری را بر روی بهره‌وری سیستم ترابری بررسی کرد و افزایش تولید را در رابطه با تعمیر و نگهداری پیشگیرانه محاسبه نمود.

منابع و مراجع

۱. مظلومی، ع.، (۱۳۸۷)، "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و بررسی کانسار سازی طلا و تنگستن در منطقه کوه‌زر تربت‌حیدریه"، رساله دکتری، دانشگاه شهید بهشتی.
۲. اطلس راه‌های دسترسی ایران.
3. Dhillon B. S., (2008), "Mining Equipment Reliability, Maintainability and Safety", Springer, PP209
4. Barabady J., Kumar U., (2008), "Reliability analysis of mining Equipment: A case study of a crushing plant at Jajarm Bauxite Mine in iran", Reliability Engineering and System Safety, pp. 647-653.
۵. حسینی، س.، ه.، (۱۳۹۰)، "مدل‌سازی و شبیه‌سازی قابلیت اطمینان درام شیرر در معادن جبهه‌کار طولانی مکانیزه، مطالعه موردی: معدن زغال طبس"، رساله دکتری، دانشگاه شاهرود
6. Stapelberg R. F., (2009), "Handbook of Reliability, Availability, Maintainability and Safety in Engineering Design", springer-verlag London Limited, pp.827.
۷. نوری قراحسنلو، ع. خدایاری، ع. ا.، یاوری شهرضا، م.، (۱۳۹۱)، "الگوریتم تعیین سیاست نگهداری و تعمیرات مناسب تجهیزات معدنی بر اساس قابلیت اطمینان"، اولین کنگره ملی زغالسنگ، دانشگاه شاهرود
۸. بیلینتون، ر.، آلن، ر.، (۱۳۹۲)، "ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های مهندسی-مفاهیم و روش‌ها"، ترجمه: محسن رضائیان، چاپ چهارم، ویرایش دوم، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران، ۵۱۲ صفحه.
۹. حاج شیرمحمدی، ع.، (۱۳۹۰)، "برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات (مدیریت فنی در صنایع)، چاپ هفدهم، انتشارات ارکان دانش اصفهان، ۵۳۶ صفحه.
۱۰. محمدی، س.، حسینی، س.، جلالی، س.، م.، ا.، (۱۳۹۳)، "ارزیابی قابلیت اطمینان انفجار- مطالعه موردی: معدن سنگ آهن علی آباد (رباط پشت بادام)"، پنجمین کنفرانس مهندسی معدن، تهران، صفحه ۹۰۵-۹۱۵.

11. Kumar D., Klefsjo B., Kumar U., (1992), "Reliability analysis of power transmission cables of electric mine loaders using the proportional hazards model", Reliability Engineering and System Safety, vol. 37: pp.217-222.
12. Samanta B., Sarkar B., Mukherjee S. K., (2004), "Reliability modeling and performance analyses of an LHD system in mining", Journal of The South African Institute of Mining and Metallurg, SA ISSN 0038-223X13
۱۳. کهنه، ع. ا.، (۱۳۹۳)، "ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم تولید، مطالعه موردی: معدن سنگ آهن سیریز زرنند کرمان"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شاهرود.
14. Crow L. H., (1974), "Reliability analysis for complex repairable systems". Reliability and Biometry, Proschan F. and Serfling R.J. eds. Philadelphia, SIAM. PP. 379-410.
15. Wang H., Pham h.,(1997), "Survey of reliability and availability evaluation of complex networks using Monte Carlo techniques", Microelectron. Reliab., Vol. 31, No. 2, pp. 187-209.
16. Birolini A., (2007), "Reliability Engineering, Theory and Practice", 5th edition, Springer, pp: 558.
17. Kamat S. J., Franzmeier W. E., (1976), "Determination of Reliability Using Event-based Monte Carlo simulation II". IEEE Trans. Reliab., R-25/4:254-255.
18. Kumar U., Granholm S., (1988), "Reliability Technique: A Powerful Tool for Mine Operator", Mineral Ressource Engineering, Vol.1: 13-28.
19. Pavlovic V., (1989), "Continuos Mining Reliability: Design and Operation of Mechanized Systems", 6 Ellis Horwood, Chichester, England.
20. Mukhopadhyay A. K., (1988), "Open pit system reliability", Journal of Mines, Metals & Fuels, August, pp. 389-392.
21. Kumar U., (1990), "Reliability Analysis of Load-Haul-Dump Machines", Ph.D thesis, Lulea University of Technology, Lulea, Sweden
22. Kumar U., Huang Y., (1993), "Reliability Analysis of a Mine Production System- a Case Study". Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, 26-28 January, Atlanta, GA, USA, pp. 167-172.
23. Hall R., Daneshmand L. K., (2003), "Reliability and maintainability models for mobile underground haulage equipment", CIM Bulletin; 96, Jun/Jul, pp. 159-165.
24. Kumral M., (2005), "Reliability-based optimization of a mine production system using genetic algorithms", Journal of Loss Prevention in Process Industries, Vol. 18(3), 186-189.

25. Ghodrati B., Kumar U. (2005), "Reliability and operating environment-based spare parts estimation approach", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 11, No. 2, pp. 169-184.
26. Gupta S., Bhattacharya J., (2007), "Reliability Analysis of a Conveyor System using Hybrid Data", *Quality and Reliability Engineering International*, Vol. 23: 867-882.
27. Eleveli S., Uzgoren N., Taksuk M., (2008), "Maintainability analysis of mechanical systems of electric cable shovels", *Journal of Science & Industrial Research*, Vol. 67, pp. 267-271.
28. Sharma G., Haukaas T., Hall R., Priyadarshini S., (2009), "Bayesian statistics and production reliability assessments for mining operations", *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, Vol.23: No. 3.
29. Jalali S. M. E., Forouhandeh S. F., (2011), "Reliability estimation of auxiliary ventilation systems in long tunnels during construction", *Safety Science* 49, pp.664-669
۳۰. رحیم دل، م. ج.، (۱۳۹۱)، "مدل سازی قابلیت اطمینان ماشین های حفاری؛ مطالعه موردی: معدن مس سرچشمه"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شاهرود.
۳۱. حسینی کیاسری، س. ج.، (۱۳۹۲)، "مدل سازی قابلیت اطمینان و بهبود عملکرد عملیاتی و تعمیراتی ماشین های بارگیری و باربری؛ مطالعه موردی: معدن مس سرچشمه"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شاهرود.
32. Wang H., Pham H., (2006), "Reliability and Optimal Maintenance", Springer, pp: 352.
۳۳. فتوحی فیروزآبادی، م.، (۱۳۹۰)، "نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه مبتنی بر ارتقاء قابلیت اطمینان شبکه های توزیع و صرفه اقتصادی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شریف.

پیوست

داده‌های خرابی بیل‌های مکانیکی

تاریخ	نوع دستگاه	زیرسیستم معیوب	نوع خرابی	زمان تعمیر (دقیقه)	زمان کارکرد (دقیقه)	TBF مکانیکی	TBF بارگیری	TBF حرکتی	TBF برقی
1392/09/06	EXC1	بارگیری	تعویض ناخن	۲۰	۳۱۵		۴۲۲۰		
1392/09/07	EXC1				۲۴۰				
1392/09/08	EXC1				۴۵۵				
1392/09/09	EXC1			۱۵	۴۲۰				
1392/09/10	EXC1				۳۹۰				
1392/09/11	EXC1				۴۳۰				
1392/09/12	EXC1	مکانیکی	روغن ریزی از جک	۵۰	۳۸۵	۵۷۰			
1392/09/13	EXC1			۱۵	۱۸۵				
1392/09/14	EXC1	مکانیکی	کم آوردن دستگاه ناشی از پمپ	۱۹۵	۲۱۰	۲۱۰			
1392/09/15	EXC1			۰	۰				
1392/09/16	EXC1	مکانیکی	پارگی شینگ رادیاتور	۴۵	۳۳۵	۵۶۹۰			
1392/09/17	EXC1	برقی	خرابی سیستم بخاری	۲۰	۴۲۵				۴۲۵
1392/09/18	EXC1	برقی	دستگاه خاموش نمیشود (کلید)	۱۰	۴۳۰				۳۰۲۵
1392/09/19	EXC1	بارگیری	تعویض ناخن پاکت	۴۵	۳۹۵		۱۹۶۵		
1392/09/20	EXC1				۳۶۵				
1392/09/21	EXC1				۴۲۵				
1392/09/22	EXC1	حرکتی	شکستگی کفشک زنجیر	۳۵	۳۷۵			۱۱۰۰	
1392/09/23	EXC1				۴۰۵				
1392/09/24	EXC1	بارگیری	جوشکاری پاکت	۹۰	۳۲۰		۹۸۰		
1392/09/25	EXC1	حرکتی	جک استیک از کار افتاده	۱۳۰	۳۱۰			۱۳۲۳۰	
1392/09/26	EXC1	برقی	باتری دشارژ شده	۴۵	۳۵۰				۴۲۷۵
1392/09/27	EXC1	بارگیری	تعویض ناخن	۱۵	۲۵۰		۳۵۱۰		
1392/09/28	EXC1				۴۶۰				
1392/09/29	EXC1			۰	۰				
1392/09/30	EXC1				۴۵۰				
1392/10/01	EXC1			۱۰	۳۹۵				
1392/10/02	EXC1	سرویسکاری	تعویض روغن دستگاه	۱۴۰	۲۲۰	۵۰۳۰			
1392/10/03	EXC1			۱۵	۴۰۵				
1392/10/04	EXC1				۴۶۰				
1392/10/05	EXC1				۴۲۵				
1392/10/06	EXC1				۴۴۵				
1392/10/07	EXC1	بارگیری	تعویض ناخن	۲۰	۴۱۵		۱۷۹۵		
1392/10/08	EXC1	برقی	قطعی در سوچ و روشن نشدن	۳۰	۳۸۰				۳۸۰
1392/10/09	EXC1	برقی	روشن نشدن دستگاه	۷۰	۳۰۰				۹۵۳۰
1392/10/10	EXC1				۳۵۰				
1392/10/11	EXC1				۳۵۰				
1392/10/12	EXC1	بارگیری	ناخن	۳۵	۲۵۰		۲۵۰		
1392/10/13	EXC1			۰	۰				
1392/10/14	EXC1	بارگیری	جوشکاری پاکت	۱۴۰	۲۹۰		۵۷۰۵		

				۳۵۰				EXC1	1392/10/15
				۳۹۰	۱۰			EXC1	1392/10/16
			۹۹۵	۴۰۵	۴۰	پارگی شلنگ رادیاتور	مکانیکی	EXC1	1392/10/17
				۲۹۰				EXC1	1392/10/18
				۳۰۰				EXC1	1392/10/19
			۱۳۳۵	۱۸۰	۱۳۰	یخ زدگی شلنگها	مکانیکی	EXC1	1392/10/20
				۳۳۵	۱۰			EXC1	1392/10/21
				۴۲۰				EXC1	1392/10/22
				۴۰۰				EXC1	1392/10/23
			۸۲۵	۳۹۰	۴۵	تعویض تسمه موتور	مکانیکی	EXC1	1392/10/24
				۴۳۵				EXC1	1392/10/25
			۵۴۰	۲۴۰	۱۴۰	تعویض واسکازین	مکانیکی	EXC1	1392/10/26
				۰	۰	۰		EXC1	1392/10/27
				۳۰۰	۲۰			EXC1	1392/10/28
			۲۰۱۵	۱۴۵	۱۲۰	تعویض تسمه دینام	مکانیکی	EXC1	1392/10/29
				۲۴۰				EXC1	1392/10/30
				۲۶۵				EXC1	1392/11/01
				۳۳۰				EXC1	1392/11/02
		۲۱۷۵		۳۲۰	۱۰	تعویض ناخن	بارگیری	EXC1	1392/11/03
				۳۴۰	۲۰			EXC1	1392/11/04
				۳۷۵				EXC1	1392/11/05
			۲۲۱۰	۲۷۵	۹۵	پارگی شیلنگ روغن جک	مکانیکی	EXC1	1392/11/06
	۱۳۱۲۰			۱۵۰	۱۵۵	ترمز گردون خراب است	حرکتی	EXC1	1392/11/07
				۳۷۰				EXC1	1392/11/08
				۳۴۵				EXC1	1392/11/09
		۱۷۰۰		۱۲۰	۱۶۵	جوشکاری پاکت	بارگیری	EXC1	1392/11/10
				۰	۰			EXC1	1392/11/11
				۲۸۰	۱۰			EXC1	1392/11/12
۲۷۴۵				۲۹۵	۵۰	کابل برق پاره شده	برقی	EXC1	1392/11/13
				۳۷۵				EXC1	1392/11/14
			۳۲۰	۳۲۰	۹۰	واترپمپ نشستی دارد	مکانیکی	EXC1	1392/11/15
			۱۶۹۵	۳۱۰	۳۵	پمپ گازوئیل خراب شده	مکانیکی	EXC1	1392/11/16
		۴۱۰۵		۲۷۵	۴۵	شکستگی ناخن	بارگیری	EXC1	1392/11/17
				۳۸۰				EXC1	1392/11/18
				۳۶۵				EXC1	1392/11/19
				۳۶۵				EXC1	1392/11/20
			۲۷۲۰	۶۰	۲۵۰	جک استیک روغن میدهد.	مکانیکی	EXC1	1392/11/21
				۰	۰	۰		EXC1	1392/11/22
۴۰۹۵				۲۴۰	۱۲۰	دستگاه روشن نمیشود	برقی	EXC1	1392/11/23
				۴۱۰				EXC1	1392/11/24
				۳۹۵				EXC1	1392/11/25
				۴۲۵				EXC1	1392/11/26
				۴۰۵	۱۵			EXC1	1392/11/27
				۳۸۵				EXC1	1392/11/28
				۴۰۰				EXC1	1392/11/29
		۲۵۲۵	۳۳۵	۳۳۵	۵۵	تعویض شیشه +تعویض ناخن	مکانیکی+بارگیری	EXC1	1392/11/30

			۱۴۶۵	۲۵۵	۷۰	خرابی صافی گازوییل	مکانیکی	EXC1	1392/12/01
				۴۵۰				EXC1	1392/12/02
				۳۹۵	۲۰			EXC1	1392/12/03
۲۲۹۸۵				۳۶۵	۴۵	خرابی بخاری دستگاه	برقی	EXC1	1392/12/04
			۲۶۶۵	۳۱۰	۳۳۵	خرابی پمپ	مکانیکی	EXC1	1392/12/05
				۰	۰	۰		EXC1	1392/12/06
				۴۱۵				EXC1	1392/12/07
		۸۶۴۰		۳۰۰	۱۲۰	جوشکاری پاکت	بارگیری	EXC1	1392/12/08
				۴۳۵				EXC1	1392/12/09
				۴۲۰	۲۵			EXC1	1392/12/10
				۴۰۰				EXC1	1392/12/11
				۳۸۵				EXC1	1392/12/12
			۲۲۷۰	۳۶۵	۹۰	خرابی کمپرسور	مکانیکی	EXC1	1392/12/13
				۴۲۰				EXC1	1392/12/14
				۴۴۵	۱۵			EXC1	1392/12/15
				۴۳۵				EXC1	1392/12/16
				۳۲۰				EXC1	1392/12/17
	۱۲۲۴۵			۰	۴۸۰	روغن ریزی از چرخ زنجریری	حرکتی	EXC1	1392/12/18
				۲۸۵	۱۰			EXC1	1392/12/19
				۰	۰	۰		EXC1	1392/12/20
			۷۶۵	۳۱۰	۲۰	در کابین باز نمیشود	مکانیکی	EXC1	1392/12/21
				۴۵۵				EXC1	1392/12/22
			۳۶۶۵	۳۱۰	۹۰	استکانی پمپ گازوئیل شکسته	مکانیکی	EXC1	1392/12/23
				۴۰۰	۲۰			EXC1	1392/12/24
				۳۹۵				EXC1	1392/12/25
				۴۰۵				EXC1	1392/12/26
				۳۵۰				EXC1	1392/12/27
				۰	۰	۰		EXC1	1392/12/28
				۰	۰	۰		EXC1	1392/12/29
				۰	۰	۰		EXC1	1393/01/01
				۰	۰	۰		EXC1	1393/01/02
				۰	۰	۰		EXC1	1393/01/03
				۰	۰	۰		EXC1	1393/01/04
				۰	۰	۰		EXC1	1393/01/05
				۲۰۰				EXC1	1393/01/06
				۲۹۰	۲۵			EXC1	1393/01/07
				۳۹۰				EXC1	1393/01/08
				۴۷۵				EXC1	1393/01/09
				۴۵۰				EXC1	1393/01/10
		۴۶۸۰		۳۶۵	۱۲۰	تعویض ناخن	بارگیری	EXC1	1393/01/11
			۲۹۷۰	۳۷۰	۱۸۰	تعویض پلبرینگ چک استیک	مکانیکی	EXC1	1393/01/12
				۰	۰	۰		EXC1	1393/01/13
				۰	۰	۰		EXC1	1393/01/14
				۰	۰	۰		EXC1	1393/01/15
				۴۹۵				EXC1	1393/01/16
				۵۱۰	۲۰			EXC1	1393/01/17
				۵۳۵				EXC1	1393/01/18
				۵۴۰				EXC1	1393/01/19

				۵۲۰	۱۵			EXC1	1393/01/20
			۹۹۰	۴۷۵	۴۵	پارگی تسمه دینام	مکانیکی	EXC1	1393/01/21
				۵۱۵				EXC1	1393/01/22
			۳۵۵	۳۵۵	۱۲۰	تعویض پیچ کارتر	مکانیکی	EXC1	1393/01/23
		۹۵۶۰	۴۷۲۰	۳۳۵	۲۴۰	روغن ریزی از جک+ جوشکاری پاکت	مکانیکی-بارگیری	EXC1	1393/01/24
				۴۹۵	۱۵			EXC1	1393/01/25
				۵۰۵				EXC1	1393/01/26
				۵۱۰				EXC1	1393/01/27
				۴۸۵	۱۵			EXC1	1393/01/28
				۰	۰	۰		EXC1	1393/01/29
				۵۲۰				EXC1	1393/01/30
	۴۵۵			۴۵۵	۳۵	از کار افتادن لوره‌های بیل	حرکتی	EXC1	1393/01/31
	۴۲۷۵			۴۱۵	۱۲۵	شکستگی کفشک زنجر	حرکتی	EXC1	1393/02/01
				۵۰۵	۲۵			EXC1	1393/02/02
				۴۹۵				EXC1	1393/02/03
			۳۴۹۰	۴۵۵	۴۵	نشستی شلنگ رادیاتور	مکانیکی	EXC1	1393/02/04
				۴۹۵				EXC1	1393/02/05
				۵۰۰				EXC1	1393/02/06
				۵۱۰	۲۵			EXC1	1393/02/07
				۵۰۵				EXC1	1393/02/08
				۴۹۵				EXC1	1393/02/09
	۵۸۳۵			۵۳۰	۱۰	چرخ قفل کرده	حرکتی	EXC1	1393/02/10
			۳۲۱۰	۳۶۵	۱۰۰	نشستی شلنگ هیدرولیک	مکانیکی	EXC1	1393/02/11
				۰	۰	۰		EXC1	1393/02/12
۷۹۳۰				۵۱۰	۳۵	چراغها روشن نمی شوند	برقی	EXC1	1393/02/13
				۴۷۵	۲۵			EXC1	1393/02/14
		۱۰۵۵		۵۲۵	۱۰	تعویض ناخن	بارگیری	EXC1	1393/02/15
				۵۳۰				EXC1	1393/02/16
		۸۳۶۰		۳۱۰	۲۲۵	جوشکاری پاکت	بارگیری	EXC1	1393/02/17
				۴۹۵	۱۵			EXC1	1393/02/18
			۲۴۵۰	۵۱۰	۱۰	دستگاه یکسره شده	مکانیکی	EXC1	1393/02/19
				۵۱۰	۱۵			EXC1	1393/02/20
				۵۴۵				EXC1	1393/02/21
				۵۳۰				EXC1	1393/02/22
	۴۲۸۵			۳۵۵	۱۸۰	گردون دستگاه خراب است	حرکتی	EXC1	1393/02/23
			۱۴۴۵	۴۶۵	۲۵	پیچ دسته موتور شل شده	مکانیکی	EXC1	1393/02/24
				۴۹۵				EXC1	1393/02/25
				۰	۰	۰		EXC1	1393/02/26
				۴۸۵	۳۰			EXC1	1393/02/27
			۴۱۵۰	۳۳۵	۱۳۵	پارگی شلنگ رادیاتور	مکانیکی	EXC1	1393/02/28
				۴۹۰				EXC1	1393/02/29
				۳۶۵				EXC1	1393/02/30
				۴۱۰	۶۵	دینام از کار افتاده	برقی	EXC1	1393/02/31
				۴۸۰	۲۵			EXC1	1393/03/01

				۵۰۵				EXC1	1393/03/02
				۰	۴۶۵	میل بوش استیک تعویض شده	حرکتی	EXC1	1393/03/03
				۵۴۵				EXC1	1393/03/04
				۵۳۰				EXC1	1393/03/05
				۴۹۰	۱۵	تعویض ناخن	بارگیری	EXC1	1393/03/06
				۱۸۰	۲۴۰	پمپ هیدرولیک از کار افتاده	مکانیکی	EXC1	1393/03/07
				۵۱۵	۱۰			EXC1	1393/03/08
				۴۸۵				EXC1	1393/03/09
				۴۵۰				EXC1	1393/03/10
برقی	حرکتی	بارگیری	مکانیکی						
				۴۶۵				EXC2	1392/09/06
۱۳۰۳۵				۳۷۰	۲۵	کلید استارت از کار افتاده	برقی	EXC2	1392/09/07
				۴۰۰				EXC2	1392/09/08
				۴۱۰				EXC2	1392/09/09
		۴۶۸۰		۳۹۵	۲۰	تعویض ناخن	بارگیری	EXC2	1392/09/10
				۴۱۵				EXC2	1392/09/11
				۴۰۰				EXC2	1392/09/12
				۴۰۵	۱۵			EXC2	1392/09/13
			۱۰۷۰	۲۵۰	۱۵۵	پمپ گازوئیل سوخته	مکانیکی	EXC2	1392/09/14
				۰	۰	۰		EXC2	1392/09/15
				۴۱۵				EXC2	1392/09/16
				۴۰۵				EXC2	1392/09/17
			۷۰۵۵	۳۰۵	۱۱۵	تسمه موتور پاره شده	مکانیکی	EXC2	1392/09/18
				۴۲۵	۱۵			EXC2	1392/09/19
				۴۳۰				EXC2	1392/09/20
				۴۲۰				EXC2	1392/09/21
				۴۱۵				EXC2	1392/09/22
		۷۸۵		۴۱۰	۲۰	تعویض ناخن	بارگیری	EXC2	1392/09/23
				۳۷۵	۲۰			EXC2	1392/09/24
		۳۸۹۵		۲۶۵	۱۵۰	جوشکاری پاکت	بارگیری	EXC2	1392/09/25
				۴۰۵				EXC2	1392/09/26
				۴۱۵				EXC2	1392/09/27
				۳۹۰				EXC2	1392/09/28
				۰	۰	۰		EXC2	1392/09/29
				۴۳۰				EXC2	1392/09/30
				۴۰۵	۱۵			EXC2	1392/10/01
	۵۲۷۵			۳۵۰	۷۵	ترمز گردون مشکل دارد	حرکتی	EXC2	1392/10/02
				۴۱۰				EXC2	1392/10/03
				۴۰۵				EXC2	1392/10/04
				۴۲۰				EXC2	1392/10/05
				۰	۰	۰		EXC2	1392/10/06
		۵۵۹۰		۳۸۰	۱۵	تعویض ناخن	بارگیری	EXC2	1392/10/07
			۶۳۰	۲۷۵	۱۲۵	تعویض شیشه جلو	مکانیکی	EXC2	1392/10/08
				۳۵۵				EXC2	1392/10/09
			۳۸۷۵	۳۰۵	۱۳۵	اوزنگ شلنگ هیدرولیک خراب شده	مکانیکی	EXC2	1392/10/10

				۴۰۰	۱۵			EXC2	1392/10/11
				۳۹۵				EXC2	1392/10/12
				۳۸۵				EXC2	1392/10/13
۱۰۱۵۰				۳۵۵	۶۵	دینام از کار افتاده	برقی	EXC2	1392/10/14
				۴۱۰				EXC2	1392/10/15
				۴۳۰				EXC2	1392/10/16
	۱۱۴۱۰			۳۷۵	۲۰	گردون یک سره شده	حرکتی	EXC2	1392/10/17
				۴۰۵				EXC2	1392/10/18
				۴۱۵				EXC2	1392/10/19
				۰	۰	۰		EXC2	1392/10/20
			۲۲۴۵	۳۰۰	۹۵	شلنگ رادیاتور پاره شده	مکانیکی	EXC2	1392/10/21
				۴۰۵				EXC2	1392/10/22
		۷۴۱۵		۴۱۰	۱۵	تعویض ناخن	بارگیری	EXC2	1392/10/23
				۳۵۰				EXC2	1392/10/24
				۳۹۵	۱۰			EXC2	1392/10/25
				۳۸۵				EXC2	1392/10/26
			۱۵۶۰	۲۷۰	۱۳۰	جک استیک روغن ریزی دارد	مکانیکی	EXC2	1392/10/27
				۴۴۵				EXC2	1392/10/28
				۴۳۰				EXC2	1392/10/29
				۴۱۵				EXC2	1392/10/30
			۲۳۲۵	۳۱۰	۱۳۵	شکستگی لوله راه آب	مکانیکی	EXC2	1392/11/01
				۴۱۵				EXC2	1392/11/02
				۳۸۵				EXC2	1392/11/03
				۰	۰	۰		EXC2	1392/11/04
				۴۱۵				EXC2	1392/11/05
				۴۱۵				EXC2	1392/11/06
				۳۸۵	۲۰			EXC2	1392/11/07
			۳۳۷۵	۳۹۰	۳۵	تسمه دینام پاره شده	مکانیکی	EXC2	1392/11/08
				۴۱۰				EXC2	1392/11/09
				۴۰۵				EXC2	1392/11/10
				۴۲۵				EXC2	1392/11/11
۴۳۷۵				۳۶۰	۴۵	کابل برق پشت امپر پاره شده	برقی	EXC2	1392/11/12
		۴۳۲۰		۲۱۵	۱۸۰	تعویض ناخن+جوشکاری	بارگیری	EXC2	1392/11/13
				۳۵۵				EXC2	1392/11/14
				۴۱۰				EXC2	1392/11/15
				۴۰۵	۱۵			EXC2	1392/11/16
			۴۱۳۰	۳۰۰	۱۰۰	پارگی تسمه دینام	مکانیکی	EXC2	1392/11/17
				۰	۰	۰		EXC2	1392/11/18
				۴۱۰				EXC2	1392/11/19
	۱۵۴۵			۳۶۵	۲۰	لیور از کار افتاده	حرکتی	EXC2	1392/11/20
				۳۹۰				EXC2	1392/11/21
				۰	۰	۰		EXC2	1392/11/22
				۳۹۰	۲۰			EXC2	1392/11/23
				۴۰۰				EXC2	1392/11/24
	۹۰۵			۳۷۵	۱۲۰	شکستگی کفشک	حرکتی	EXC2	1392/11/25

۴۵۹۰				۳۰۵	۵۵	بخاری خراب شده	برقی	EXC2	1392/11/26
		۷۷۲۵		۲۲۵	۱۱۵	شکستگی پاکت	بارگیری	EXC2	1392/11/27
	۲۰۰۲۵			۲۰۵	۶۵	زنجیر از جا در آمده	حرکتی	EXC2	1392/11/28
				۳۴۰	۱۰			EXC2	1392/11/29
				۴۲۵				EXC2	1392/11/30
			۷۳۵	۳۲۵	۱۱۰	فیلر زدن موتور	مکانیکی	EXC2	1392/12/01
				۰	۰	۰		EXC2	1392/12/02
				۴۱۰				EXC2	1392/12/03
			۲۳۵۵	۳۷۰	۷۰	شیلنگ هیدرولیک پاره شده	مکانیکی	EXC2	1392/12/04
				۴۳۵	۲۰			EXC2	1392/12/05
				۴۱۵				EXC2	1392/12/06
				۴۲۵				EXC2	1392/12/07
				۴۰۵				EXC2	1392/12/08
				۳۰۵	۱۰۰	خرابی پمپ مادر	مکانیکی	EXC2	1392/12/09
			۱۶۴۵	۰	۴۷۵	خرابی پمپ مادر	مکانیکی	EXC2	1392/12/10
۱۲۶۱۰				۳۴۵	۱۵	استارت از کار افتاده	برقی	EXC2	1392/12/11
				۴۰۵				EXC2	1392/12/12
				۴۵۰				EXC2	1392/12/13
				۴۴۵				EXC2	1392/12/14
			۶۶۰	۲۳۵	۱۸۵	رادیاتور سوراخ شده	مکانیکی	EXC2	1392/12/15
				۰	۰	۰		EXC2	1392/12/16
				۴۲۵	۱۰			EXC2	1392/12/17
			۳۲۸۵	۳۱۰	۱۰۵	تعویض تسمه دینام	مکانیکی	EXC2	1392/12/18
				۴۲۵				EXC2	1392/12/19
				۴۰۰				EXC2	1392/12/20
		۶۳۳۵		۴۰۵	۲۵	تعویض ناخن+تعویض هواکش	بارگیری	EXC2	1392/12/21
				۴۳۵				EXC2	1392/12/22
				۴۲۰	۱۰	گریسکاری	سرویسکاری	EXC2	1392/12/23
				۴۴۵				EXC2	1392/12/24
				۴۴۵				EXC2	1392/12/25
			۷۸۵	۳۷۵	۳۵	جک استیک روغن ریزی دارد	مکانیکی	EXC2	1392/12/26
				۴۱۰				EXC2	1392/12/27
				۰	۰	۰		EXC2	1392/12/28
				۰	۰	۰		EXC2	1392/12/29
				۰	۰	۰		EXC2	1393/01/01
				۰	۰	۰		EXC2	1393/01/02
				۰	۰	۰		EXC2	1393/01/03
				۰	۰	۰		EXC2	1393/01/04
				۰	۰	۰		EXC2	1393/01/05
			۱۱۹۵	۱۵۰	۸۵	سرویس کاری رادیاتور	مکانیکی	EXC2	1393/01/06
				۲۸۵	۲۵	گریسکاری+تعویض هواکش	سرویسکاری	EXC2	1393/01/07
				۳۱۰				EXC2	1393/01/08
				۴۵۰				EXC2	1393/01/09
			۲۲۰۵	۳۸۵	۶۰	تعویض شلنگ هیدرولیک دکل	مکانیکی	EXC2	1393/01/10
				۴۰۵				EXC2	1393/01/11
				۰	۰	۰		EXC2	1393/01/12

				۰	۰	۰		EXC2	1393/01/13
				۴۵۵				EXC2	1393/01/14
				۴۷۵				EXC2	1393/01/15
				۴۸۵	۱۰			EXC2	1393/01/16
		۸۲۷۰	۱۹۳۵	۳۳۵	۱۷۵	جوشکاری باکت+نشتی واترپمپ	بارگیری-مکانیکی	EXC2	1393/01/17
				۵۱۵				EXC2	1393/01/18
				۵۲۰				EXC2	1393/01/19
				۵۶۵				EXC2	1393/01/20
			۲۴۹۰	۴۸۵	۶۵	تعویض شیشه جلو	مکانیکی	EXC2	1393/01/21
				۴۱۵				EXC2	1393/01/22
۶۹۵۰				۵۱۰	۱۵	بوق از کار افتاده	برقی	EXC2	1393/01/23
				۵۳۵				EXC2	1393/01/24
				۵۴۵				EXC2	1393/01/25
			۴۹۴۰	۱۹۵	۲۷۰	تعویض روغن هیدرولیک دستگاه	مکانیکی	EXC2	1393/01/26
				۵۴۵				EXC2	1393/01/27
				۵۰۰				EXC2	1393/01/28
				۰	۰	۰		EXC2	1393/01/29
				۵۲۵	۱۰			EXC2	1393/01/30
	۴۹۴۰			۵۱۰	۳۰	کفشک شکسته	حرکتی	EXC2	1393/01/31
				۴۹۵				EXC2	1393/02/01
				۵۴۵				EXC2	1393/02/02
		۱۱۵۲۰		۵۳۰	۱۵	تعویض ناخن	بارگیری	EXC2	1393/02/03
				۵۵۵				EXC2	1393/02/04
				۵۴۰				EXC2	1393/02/05
			۵۲۵۵	۴۲۰	۱۲۵	پارگی شلنگ رادیاتور	مکانیکی	EXC2	1393/02/06
۳۲۴۵				۳۱۰	۲۰۵	تعمیر موتور کولر	برقی	EXC2	1393/02/07
				۵۱۰				EXC2	1393/02/08
				۵۲۵				EXC2	1393/02/09
	۱۴۹۰			۴۷۵	۴۰	قفل گردون از کار افتاده	حرکتی	EXC2	1393/02/10
				۴۹۵				EXC2	1393/02/11
				۰	۰	۰		EXC2	1393/02/12
				۵۲۰				EXC2	1393/02/13
	۱۰۴۶۵			۴۱۰	۷۵	روغن ریزی از چرخ خورشیدی	حرکتی	EXC2	1393/02/14
				۵۱۰	۳۰	دستگاه روشن نمیشود	برقی	EXC2	1393/02/15
				۵۳۵				EXC2	1393/02/16
				۵۴۵				EXC2	1393/02/17
			۲۶۱۵	۴۸۵	۴۵	تسمه پاره شده	مکانیکی	EXC2	1393/02/18
				۵۴۵				EXC2	1393/02/19
				۵۵۰				EXC2	1393/02/20
				۵۲۰	۱۰			EXC2	1393/02/21
				۵۱۵				EXC2	1393/02/22
			۶۱۳۰	۴۵۵	۷۵	پمپ اصلی	مکانیکی	EXC2	1393/02/23
				۵۳۰				EXC2	1393/02/24
				۵۲۰				EXC2	1393/02/25
				۰	۰	۰		EXC2	1393/02/26
				۵۲۰				EXC2	1393/02/27

		۲۳۸۵		۳۳۵	۱۳۵	تعویض ناخن	بارگیری	EXC2	1393/02/28
				۴۹۵				EXC2	1393/02/29
				۴۹۵	۱۵			EXC2	1393/02/30
				۵۱۰				EXC2	1393/02/31
				۵۵۰				EXC2	1393/03/01
				۴۰۰	۱۱۰	جوشکاری باکت	بارگیری	EXC2	1393/03/02
				۵۰۵				EXC2	1393/03/03
				۵۳۵				EXC2	1393/03/04
				۲۸۰	۱۹۵	تعویض بوش استیک	حرکتی	EXC2	1393/03/05
				۴۵۵	۳۰	تعویض اورنگ شلنگ هیدرولیک	مکانیکی	EXC2	1393/03/06
				۴۹۵	۲۰			EXC2	1393/03/07
				۵۱۰				EXC2	1393/03/08
				۵۱۵				EXC2	1393/03/09
				۵۲۵				EXC2	1393/03/10
برق	حرکتی	بارگیری	مکانیک						
				۳۸۵				EXC3	1392/09/06
		۲۰۳۰		۴۰۵	۲۰	تعویض ناخن	بارگیری	EXC3	1392/09/07
				۴۲۰				EXC3	1392/09/08
				۴۰۵				EXC3	1392/09/09
				۳۹۵				EXC3	1392/09/10
				۴۰۵				EXC3	1392/09/11
		۳۰۷۰		۳۹۵	۱۵	تعویض پین پاکت	بارگیری	EXC3	1392/09/12
				۴۱۵				EXC3	1392/09/13
۱۱۵۹۰				۳۵۵	۴۵	تعویض پلاتین آفامات	برقی	EXC3	1392/09/14
				۰	۰	۰	۰	EXC3	1392/09/15
				۴۱۰				EXC3	1392/09/16
			۳۵۷۵	۲۷۰	۱۱۵	تعویض تسمه دینام	مکانیکی	EXC3	1392/09/17
				۳۹۵				EXC3	1392/09/18
				۴۲۵				EXC3	1392/09/19
				۴۰۵	۱۵	گریسکاری+تعویض هواکش	سرویسکاری	EXC3	1392/09/20
		۶۳۶۰		۴۱۵	۵	تعویض ناخن	بارگیری	EXC3	1392/09/21
				۴۳۰				EXC3	1392/09/22
				۴۱۵				EXC3	1392/09/23
				۴۲۵				EXC3	1392/09/24
				۳۹۵	۱۵			EXC3	1392/09/25
			۲۷۰۰	۳۹۵	۳۵	تعویض صافی گازوئیل	مکانیکی	EXC3	1392/09/26
				۴۱۰				EXC3	1392/09/27
				۴۰۵				EXC3	1392/09/28
				۰	۰	۰	۰	EXC3	1392/09/29
				۴۱۵				EXC3	1392/09/30
				۳۹۵				EXC3	1392/10/01
				۳۸۵				EXC3	1392/10/02
				۲۹۵	۱۰۵			EXC3	1392/10/03
			۶۰۹۵	۳۳۵	۸۵	پارگی شلنگ رادیاتور	مکانیکی	EXC3	1392/10/04
				۴۱۵				EXC3	1392/10/05
				۴۲۵				EXC3	1392/10/06
				۴۰۵				EXC3	1392/10/07
		۱۰۰۷۵		۲۰۵	۲۱۰	جوشکاری پاکت	بارگیری	EXC3	1392/10/08

				۳۸۰	۱۵			EXC3	1392/10/09
				۳۹۵				EXC3	1392/10/10
				۴۰۵				EXC3	1392/10/11
				۴۰۵				EXC3	1392/10/12
				۰	۰	۰	۰	EXC3	1392/10/13
				۴۱۰				EXC3	1392/10/14
				۳۹۵	۱۰	گريسكاري	سرويسكاري	EXC3	1392/10/15
				۳۷۵				EXC3	1392/10/16
۱۷۰۱۰				۳۳۵	۳۰	سوئيچ دچار مشكل شده	برقي	EXC3	1392/10/17
				۴۱۵				EXC3	1392/10/18
				۳۸۵				EXC3	1392/10/19
				۴۱۰				EXC3	1392/10/20
			۶۷۵	۲۹۰	۱۲۵	دسته موتور شكسته(جوشكاري)	مكانيكي	EXC3	1392/10/21
				۳۸۵	۱۰	گريسكاري	سرويسكاري	EXC3	1392/10/22
			۱۴۱۵	۴۰۵	۲۵	فشار روغن از كار افتاده	مكانيكي	EXC3	1392/10/23
				۴۲۵				EXC3	1392/10/24
				۲۳۵				EXC3	1392/10/25
				۳۵۰				EXC3	1392/10/26
				۰	۰	۰	۰	EXC3	1392/10/27
			۲۳۱۰	۲۳۵	۱۴۵	سرويسكاري رادياتور+ضديخ	مكانيكي	EXC3	1392/10/28
				۴۱۰	۱۵	گريسكاري+تعويض هواكش	سرويسكاري	EXC3	1392/10/29
				۴۱۵		۰		EXC3	1392/10/30
				۴۰۵				EXC3	1392/11/01
				۴۲۵				EXC3	1392/11/02
				۴۲۰				EXC3	1392/11/03
			۱۹۶۵	۳۷۵	۴۰	پمپ گازوئيل از كارافتاده	مكانيكي	EXC3	1392/11/04
				۳۸۵	۱۰	گريسكاري	سرويسكاري	EXC3	1392/11/05
				۴۰۰				EXC3	1392/11/06
		۹۲۴۰		۳۹۵	۲۵	تعويض ناخن	بارگيري	EXC3	1392/11/07
				۴۱۰				EXC3	1392/11/08
			۱۱۲۰	۳۱۵	۱۲۰	تعويض شلنگ رادياتور	مكانيكي	EXC3	1392/11/09
				۴۱۵				EXC3	1392/11/10
				۰	۰	۰	۰	EXC3	1392/11/11
				۳۹۰	۱۰	گريسكاري+تعويض هواكش	سرويسكاري	EXC3	1392/11/12
			۴۲۹۰	۳۶۵	۴۵	استكاني گازوئيل شكسته	مكانيكي	EXC3	1392/11/13
				۴۱۵				EXC3	1392/11/14
				۴۱۰				EXC3	1392/11/15
				۴۲۰				EXC3	1392/11/16
				۴۳۵				EXC3	1392/11/17
				۴۲۵				EXC3	1392/11/18
				۳۷۰	۱۰	گريسكاري	سرويسكاري	EXC3	1392/11/19
				۴۰۰				EXC3	1392/11/20
	۶۳۴۰			۲۲۵	۱۶۵	كفشك زنجير خراب شده	حركتي	EXC3	1392/11/21

				۰	۰	۰	۰	EXC3	1392/11/22
				۴۱۰				EXC3	1392/11/23
				۴۱۵				EXC3	1392/11/24
				۰	۰	۰	۰	EXC3	1392/11/25
			۶۲۰	۲۱۵	۱۳۰	رادياتور نشتی دارد.	مکانیکی	EXC3	1392/11/26
				۴۰۵	۱۵	گریسکاری+تعویض هواکش	سرویسکاری	EXC3	1392/11/27
			۵۲۷۵	۳۶۰	۶۵	پارگی شلنگ رادياتور	مکانیکی	EXC3	1392/11/28
				۴۰۵				EXC3	1392/11/29
				۴۱۵				EXC3	1392/11/30
				۴۲۰				EXC3	1392/12/01
				۳۹۵	۱۰	گریسکاری	سرویسکاری	EXC3	1392/12/02
				۴۱۰				EXC3	1392/12/03
		۲۶۰۰		۲۵۵	۱۷۰	جوشکاری پاکت	بارگیری	EXC3	1392/12/04
				۴۱۰				EXC3	1392/12/05
۸۸۵۰				۳۳۵	۷۵	کابل موتور بخاری قطعی دارد	برقی	EXC3	1392/12/06
				۴۲۵				EXC3	1392/12/07
				۴۰۵	۱۰	گریسکاری	سرویسکاری	EXC3	1392/12/08
				۰	۰	۰	۰	EXC3	1392/12/09
				۴۳۵				EXC3	1392/12/10
	۵۷۵۵			۳۳۵	۴۰	چرخ خورشیدی روغن میدهد	حرکت	EXC3	1392/12/11
		۷۳۰۰		۲۷۰	۱۶۰	تعویض ناخن+جوشکاری پاکت	بارگیری	EXC3	1392/12/12
			۱۵۴۵	۳۰۵	۱۳۵	تعمیر موتور بخاری	مکانیکی	EXC3	1392/12/13
				۴۰۵	۱۵	گریسکاری+تعویض هواکش	سرویسکاری	EXC3	1392/12/14
				۴۱۰				EXC3	1392/12/15
				۴۲۵				EXC3	1392/12/16
			۱۲۱۵	۳۸۵	۴۵	تعویض شیشه	مکانیکی	EXC3	1392/12/17
				۴۰۵				EXC3	1392/12/18
				۴۲۵				EXC3	1392/12/19
			۳۶۰۰	۳۲۵	۸۵	تعویض کاسه نمد	مکانیکی	EXC3	1392/12/20
				۴۲۰	۱۰	گریسکاری	سرویسکاری	EXC3	1392/12/21
				۴۱۰				EXC3	1392/12/22
				۰	۰	۰	۰	EXC3	1392/12/23
				۴۱۵				EXC3	1392/12/24
				۴۲۰				EXC3	1392/12/25
				۴۰۰	۱۰	گریسکاری+تعویض هواکش	سرویسکاری	EXC3	1392/12/26
	۵۲۴۵			۳۹۰	۵۵	قفل گردون خراب شده	حرکتی	EXC3	1392/12/27
				۰	۰	۰	۰	EXC3	1392/12/28
				۰	۰	۰	۰	EXC3	1392/12/29
				۰	۰	۰	۰	EXC3	1392/12/30
				۰	۰	۰	۰	EXC3	1393/01/01
				۰	۰	۰	۰	EXC3	1393/01/02
				۰	۰	۰	۰	EXC3	1393/01/03
				۰	۰	۰	۰	EXC3	1393/01/04
				۰	۰	۰	۰	EXC3	1393/01/05

				۰	۰	۰	۰	EXC3	1393/01/06
				۰	۰	۰	۰	EXC3	1393/01/07
				۰	۰	۰	۰	EXC3	1393/01/08
				۴۱۵				EXC3	1393/01/09
				۴۰۵				EXC3	1393/01/10
			۱۵۳۰	۲۸۵	۱۲۰	دستگاه زیر بار کم می آورد	مکانیکی	EXC3	1393/01/11
				۰	۰	۰	۰	EXC3	1393/01/12
				۰	۰	۰	۰	EXC3	1393/01/13
				۰	۰	۰	۰	EXC3	1393/01/14
				۰	۰	۰	۰	EXC3	1393/01/15
				۰	۰	۰	۰	EXC3	1393/01/16
۱۲۴۴۵				۳۸۵	۳۵	تعویض بست های باطری	برقی	EXC3	1393/01/17
		۱۴۵۳۵		۳۵۵	۱۴۵	جوشکاری پاکت	بارگیری	EXC3	1393/01/18
				۵۰۵				EXC3	1393/01/19
			۲۹۱۵	۴۱۵	۸۰	روغن ریزی از جک استیک	مکانیکی	EXC3	1393/01/20
				۵۲۰				EXC3	1393/01/21
				۵۱۵				EXC3	1393/01/22
				۵۳۵	۱۵	گریسکاری+تعویض هواکش	سرویسکاری	EXC3	1393/01/23
				۵۲۰				EXC3	1393/01/24
	۷۳۶۵			۴۱۰	۱۱۵	پکینگ جک تعویض شده	حرکت	EXC3	1393/01/25
			۱۰۸۵	۱۱۰	۳۵۵	تعویض واشر سرسیلندر	مکانیکی	EXC3	1393/01/26
				۴۹۵				EXC3	1393/01/27
				۴۸۰				EXC3	1393/01/28
				۰	۰	۰	۰	EXC3	1393/01/29
			۱۵۷۵	۵۳۰	۶۵	پارگی تسمه پروانه	مکانیکی	EXC3	1393/01/30
				۵۲۰	۱۰	گریسکاری	سرویسکاری	EXC3	1393/01/31
				۵۲۵				EXC3	1393/02/01
			۹۱۵	۳۷۵	۱۳۵	پمپ مادر مشکل دارد	مکانیکی	EXC3	1393/02/02
				۵۴۰				EXC3	1393/02/03
			۶۶۹۵	۲۵۵	۲۴۵	تعویض روغن هیدرولیک دستگاه	مکانیکی	EXC3	1393/02/04
				۵۳۰	۱۵	گریسکاری+تعویض هواکش	سرویسکاری	EXC3	1393/02/05
				۵۱۵				EXC3	1393/02/06
				۵۲۰				EXC3	1393/02/07
				۵۳۰				EXC3	1393/02/08
				۵۲۵				EXC3	1393/02/09
				۵۰۵	۱۰	گریسکاری	سرویسکاری	EXC3	1393/02/10
	۸۲۹۰			۲۷۵	۱۹۵	پین بازویی شکسته	حرکتی	EXC3	1393/02/11
				۰	۰	۰	۰	EXC3	1393/02/12
				۵۳۰				EXC3	1393/02/13
				۵۲۵				EXC3	1393/02/14
۱۱۸۸۵				۴۵۵	۵۵	دینام از کار افتاده	برقی	EXC3	1393/02/15
				۴۹۵	۱۵	گریسکاری+تعویض هواکش	سرویسکاری	EXC3	1393/02/16

				۵۲۵				EXC3	1393/02/17
				۵۱۰				EXC3	1393/02/18
			۴۹۰	۴۹۰	۳۵	تعویض صافی گازوئیل	مکانیکی	EXC3	1393/02/19
		۷۰۶۵	۲۵۰۰	۳۷۵	۱۶۰	پارگی شلنگ هیدرولیک+تعویض ناخن	مکانیکی-بارگیری	EXC3	1393/02/20
				۵۴۵				EXC3	1393/02/21
				۵۲۰	۱۰	گریسکاری	سرویسکاری	EXC3	1393/02/22
				۵۳۵				EXC3	1393/02/23
				۵۲۵				EXC3	1393/02/24
			۵۰۶۵	۴۴۵	۷۵	تعویض تسمه دینام	مکانیکی	EXC3	1393/02/25
				۰	۰	۰	۰	EXC3	1393/02/26
				۵۱۵				EXC3	1393/02/27
				۵۰۵	۱۵	گریسکاری+تعویض هواکش	سرویسکاری	EXC3	1393/02/28
				۵۲۰				EXC3	1393/02/29
				۵۰۵	۲۵	لیور از کار افتاده	حرکت	EXC3	1393/02/30
				۵۱۵				EXC3	1393/02/31
				۵۰۰				EXC3	1393/03/01
				۵۱۵				EXC3	1393/03/02
				۵۴۵				EXC3	1393/03/03
				۵۰۰	۱۵	گریسکاری+تعویض ناخن	سرویسکاری- بارگیری	EXC3	1393/03/04
			۱۴۶۰	۴۵۵	۸۵	پارگی شلنگ هیدرولیک	مکانیکی	EXC3	1393/03/05
				۴۹۵				EXC3	1393/03/06
				۵۱۰				EXC3	1393/03/07
				۳۸۵	۱۱۵	واترپمپ نشستی دارد	مکانیکی	EXC3	1393/03/08
				۴۸۰	۱۵	کویل از کار افتاده	برقی	EXC3	1393/03/09
				۵۱۰				EXC3	1393/03/10

داده‌های خرابی کامیون‌ها

تاریخ	نوع دستگاه	زیرسیستم معیوب	نوع خرابی	زمان تعمیر	کارکرد روزانه	TBF مکانیکی ()	TBF حرکتی ()	TBF برقی ()
1392/09/06	T1				295			
1392/09/07	T1				365			
1392/09/08	T1			15	285			
1392/09/09	T1				365			
1392/09/10	T1	مکانیکی	خرابی واترپمپ	230	200	520		
1392/09/11	T1				320			
1392/09/12	T1	مکانیکی	جوشکاری اتاق کمپرس	175	210	835		
1392/09/13	T1	حرکتی	پنچری لاستیک	120	275		3725	
1392/09/14	T1				350			
1392/09/15	T1		0	0	0			
1392/09/16	T1	مکانیکی	تسمه پروانه پاره شده	45	375	785		
1392/09/17	T1				410			
1392/09/18	T1	مکانیکی	جک کمپرس روغن ریزی	25	390	1220		
1392/09/19	T1			15	425			
1392/09/20	T1				405			
1392/09/21	T1	مکانیکی	مادگی کلاج شکسته	70	340	740		
1392/09/22	T1				400			
1392/09/23	T1	مکانیکی	خرابی برف پاک کن	20	355	3345		
1392/09/24	T1	حرکتی	پنچری لاستیک	85	315		1115	
1392/09/25	T1				380			
1392/09/26	T1				420			
1392/09/27	T1	حرکتی	خرابی کوزه ترمز	115	310		5910	
1392/09/28	T1				410			
1392/09/29	T1		0	0	0			
1392/09/30	T1			15	395			
1392/10/01	T1				390			
1392/10/02	T1	برقی	دینام از کار افتاده	20	370			1830
1392/10/03	T1	مکانیکی	تعویض روغن	60	345	1095		
1392/10/04	T1				365			
1392/10/05	T1			10	385			
1392/10/06	T1	مکانیکی	سوراخ شده انباری اگزوز	50	365	1135		
1392/10/07	T1	برقی	خرابی بخاری	30	360			8320
1392/10/08	T1				410			
1392/10/09	T1	مکانیکی	لوله راه آب نشتی دارد	45	325	1130		
1392/10/10	T1				405			
1392/10/11	T1				400			
1392/10/12	T1	مکانیکی	واتر پمپ آب می دهد	120	300	1635		
1392/10/13	T1		0	0	0			
1392/10/14	T1				375			
1392/10/15	T1	حرکتی	تعویض لاستیک	135	245		9105	

			395				T1	1392/10/16
			320				T1	1392/10/17
		1315	0	540	فنر جلو شکسته	مکانیکی	T1	1392/10/18
			145	175			T1	1392/10/19
			405				T1	1392/10/20
			395				T1	1392/10/21
			370				T1	1392/10/22
		2165	355	50	پمپ باد معیوب است	مکانیکی	T1	1392/10/23
			390	15			T1	1392/10/24
			390				T1	1392/10/25
			375	15			T1	1392/10/26
			0	0	0		T1	1392/10/27
			310				T1	1392/10/28
			345				T1	1392/10/29
		2290	285	65	گاردون لقی دارد	مکانیکی	T1	1392/10/30
			345				T1	1392/11/01
			345				T1	1392/11/02
			330				T1	1392/11/03
2050			340	20	خرابی بخاری	برقی	T1	1392/11/04
			385				T1	1392/11/05
			260				T1	1392/11/06
		1355	210	65	تعویض روغن	مکانیکی	T1	1392/11/07
			385				T1	1392/11/08
			335				T1	1392/11/09
			135				T1	1392/11/10
			0	0	0		T1	1392/11/11
2680			290	60	دستگاه روشن نمی شود	برقی	T1	1392/11/12
		2800	320	40	صافی گازویل شکسته	مکانیکی	T1	1392/11/13
			365				T1	1392/11/14
			335				T1	1392/11/15
	8725		310	75	پنچری لاستیک	حرکتی	T1	1392/11/16
			300				T1	1392/11/17
			395				T1	1392/11/18
			365	15			T1	1392/11/19
11895			335	45	باطری دشارژ شده	برقی	T1	1392/11/20
			75				T1	1392/11/21
			0	0	0		T1	1392/11/22
		310	310	55	تعویض روغن	مکانیکی	T1	1392/11/23
			0	480	تعویض یاتاقان	مکانیکی	T1	1392/11/24
		1365	195	180	تعویض یاتاقان	مکانیکی	T1	1392/11/25
			390				T1	1392/11/26
			390	20			T1	1392/11/27
			390				T1	1392/11/28
		750	405	20	روغن ریزی از جک کمپرس	مکانیکی	T1	1392/11/29
			345				T1	1392/11/30
		2250	275	180	فرمان گریپاژ کرده	مکانیکی	T1	1392/12/01
			445				T1	1392/12/02
			390				T1	1392/12/03
			375				T1	1392/12/04
			345	20			T1	1392/12/05
			0	0	0		T1	1392/12/06

			420				T1	1392/12/07
		1170	335	60	گیربکس روغن ریزی دارد	مکانیکی	T1	1392/12/08
			410				T1	1392/12/09
			425				T1	1392/12/10
		3415	335	55	شاسی پدال کلاچ شکسته	مکانیکی	T1	1392/12/11
			410				T1	1392/12/12
			355	60	تعویض روغن		T1	1392/12/13
	5235		350	70	پنچری لاستیک	حرکتی	T1	1392/12/14
			420				T1	1392/12/15
			410				T1	1392/12/16
			330				T1	1392/12/17
			410				T1	1392/12/18
			395	15			T1	1392/12/19
			0	0	0		T1	1392/12/20
		1315	175	215	دیفرانسیل معیوب است	مکانیکی	T1	1392/12/21
			430				T1	1392/12/22
			305	10			T1	1392/12/23
			405				T1	1392/12/24
		695	300	140	جوشکاری اتاق کمپرسی	مکانیکی	T1	1392/12/25
			395				T1	1392/12/26
		2580	0	540	فنر چرخ جلو شکسته+تعویض روغن	مکانیکی	T1	1392/12/27
			0	0	0		T1	1392/12/28
			0	0	0		T1	1392/12/29
			0	0	0		T1	1393/01/01
			0	0	0		T1	1393/01/02
			0	0	0		T1	1393/01/03
			0	0	0		T1	1393/01/04
			0	0	0		T1	1393/01/05
			215				T1	1393/01/06
9865			300	15	دینام از کار افتاده	برقی	T1	1393/01/07
			395				T1	1393/01/08
	7965		430	65	پنچری لاستیک	حرکتی	T1	1393/01/09
			465				T1	1393/01/10
			385				T1	1393/01/11
			390				T1	1393/01/12
			0	0			T1	1393/01/13
			0	0			T1	1393/01/14
			0	0	0		T1	1393/01/15
		450	450	65	چرخ واسکازین داده	مکانیکی	T1	1393/01/16
		2025	470	30	شلنگ رادیاتور پاره شده	مکانیکی	T1	1393/01/17
			510	15			T1	1393/01/18
			530				T1	1393/01/19
			515				T1	1393/01/20
		15540	430	50	تعویض روغن	مکانیکی	T1	1393/01/21
			510				T1	1393/01/22
			475				T1	1393/01/23
			460	10			T1	1393/01/24

			495				T1	1393/01/25
			490				T1	1393/01/26
			485				T1	1393/01/27
			475				T1	1393/01/28
			0	0	0		T1	1393/01/29
	7790		350	180	تعویض لنتهای ترمز	حرکتی	T1	1393/01/30
			420	10			T1	1393/01/31
			435				T1	1393/02/01
			510	15	چراغ جلو سوخته	برقی	T1	1393/02/02
			485				T1	1393/02/03
			460				T1	1393/02/04
			505				T1	1393/02/05
			500	15			T1	1393/02/06
		405	405	65	تعویض روغن	مکانیکی	T1	1393/02/07
		1360	380	105	پمپ باد دچار مشکل شده	مکانیکی	T1	1393/02/08
			470				T1	1393/02/09
			510				T1	1393/02/10
		905	385	90	جوشکاری کربی اتاق	مکانیکی	T1	1393/02/11
			0	0	0		T1	1393/02/12
			520				T1	1393/02/13
		5385	430	60	جک کمپرس بالا نمی رود.	مکانیکی	T1	1393/02/14
			510	15			T1	1393/02/15
			515				T1	1393/02/16
	4905		460	55	پنچری	حرکتی	T1	1393/02/17
			505				T1	1393/02/18
			495				T1	1393/02/19
			505				T1	1393/02/20
			535				T1	1393/02/21
			535				T1	1393/02/22
			405	15			T1	1393/02/23
			490				T1	1393/02/24
		2335	485	50	تعویض روغن	مکانیکی	T1	1393/02/25
			0	0	0		T1	1393/02/26
			490				T1	1393/02/27
			410	70	پنچری	حرکتی	T1	1393/02/28
			505				T1	1393/02/29
			445	15			T1	1393/02/30
		2415	385	85	تعویض صافی گازوئیل	مکانیکی	T1	1393/02/31
			505				T1	1393/03/01
			490				T1	1393/03/02
			0	0	0		T1	1393/03/03
			520				T1	1393/03/04
			515	10			T1	1393/03/05
		1805	375	130	تسمه کولر پاره شده	مکانیکی	T1	1393/03/06
			415				T1	1393/03/07
			505				T1	1393/03/08
			510				T1	1393/03/09
			120	235	بلبرینگ کلاج خراب شده	مکانیکی	T1	1393/03/10

			410				T2	1392/09/06
			465				T2	1392/09/07
		2810	345	95	تعویض روغن	مکانیکی	T2	1392/09/08
			415				T2	1392/09/09
			395	15			T2	1392/09/10
			420				T2	1392/09/11
			425				T2	1392/09/12
3785			385	15	تعمیر زغالی	برقی	T2	1392/09/13
			425				T2	1392/09/14
			0	0	0		T2	1392/09/15
		4940	20	345	شکستگی فنر	مکانیکی	T2	1392/09/16
			390	15			T2	1392/09/17
	1615		370	85	پنچری لاستیک	حرکتی	T2	1392/09/18
			425				T2	1392/09/19
			390				T2	1392/09/20
			430				T2	1392/09/21
	7395		100	305	تعمیر کوزه ترمز	حرکتی	T2	1392/09/22
			415	10			T2	1392/09/23
			435				T2	1392/09/24
4850			415	10	تعویض چراغ جلو	برقی	T2	1392/09/25
			420				T2	1392/09/26
			425				T2	1392/09/27
			410				T2	1392/09/28
			0	0	0		T2	1392/09/29
			295	90	تعویض روغن		T2	1392/09/30
		1480	235	145	تعمیر جعبه فرمان	مکانیکی	T2	1392/10/01
			420				T2	1392/10/02
			415				T2	1392/10/03
			410				T2	1392/10/04
		4170	190	235	تعویض بلبرینگ کلاچ	مکانیکی	T2	1392/10/05
			395	15			T2	1392/10/06
			405				T2	1392/10/07
			415				T2	1392/10/08
20825			395	10	تعویض فیوز	برقی	T2	1392/10/09
			400				T2	1392/10/10
			385				T2	1392/10/11
			415				T2	1392/10/12
			0	0	0		T2	1392/10/13
	8855		325	80	پنچری لاستیک	حرکتی	T2	1392/10/14
			410				T2	1392/10/15
			435				T2	1392/10/16
		1610	345	50	تعویض صافی گازوئیل	مکانیکی	T2	1392/10/17
			410				T2	1392/10/18
			425				T2	1392/10/19
			430				T2	1392/10/20
		1905	200	175	پمپ باد تعمیر شد	مکانیکی	T2	1392/10/21
			415	10			T2	1392/10/22
			420				T2	1392/10/23
			440				T2	1392/10/24
			430				T2	1392/10/25
		1500	315	100	تعویض روغن	مکانیکی	T2	1392/10/26
			0	0	0		T2	1392/10/27
			415				T2	1392/10/28

			420				T2	1392/10/29
			350				T2	1392/10/30
		3820	315	35	لوله راه آب سوراخ شده	مکانیکی	T2	1392/11/01
			345				T2	1392/11/02
			385	10			T2	1392/11/03
			390				T2	1392/11/04
			410				T2	1392/11/05
			415				T2	1392/11/06
			410				T2	1392/11/07
	11165		350	75	پنچری	حرکتی	T2	1392/11/08
			435				T2	1392/11/09
			365	10			T2	1392/11/10
			0	0	0		T2	1392/11/11
		1175	350	45	استکانی گازوئیل شکسته	مکانیکی	T2	1392/11/12
			410				T2	1392/11/13
			415				T2	1392/11/14
		560	135	250	جوشکاری اتاق کمپرس	مکانیکی	T2	1392/11/15
			425				T2	1392/11/16
		1415	145	265	تعویض واسکازین چرخها	مکانیکی	T2	1392/11/17
			415	10			T2	1392/11/18
			425				T2	1392/11/19
			430				T2	1392/11/20
		1600	320	75	تعویض روغن+فیلتر	مکانیکی	T2	1392/11/21
			0	0	0		T2	1392/11/22
			440				T2	1392/11/23
			415	15			T2	1392/11/24
			0	0	0		T2	1392/11/25
			425				T2	1392/11/26
		3555	235	145	تعویض واترپمپ	مکانیکی	T2	1392/11/27
			400				T2	1392/11/28
			410				T2	1392/11/29
			425				T2	1392/11/30
			405	15			T2	1392/12/01
			430				T2	1392/12/02
			425				T2	1392/12/03
			410				T2	1392/12/04
			415				T2	1392/12/05
		2750	105	275	فنر چرخ عقب شکسته	مکانیکی	T2	1392/12/06
			395	10			T2	1392/12/07
			420				T2	1392/12/08
			0	0	0		T2	1392/12/09
5810			380	35	دینام قطع شده	برقی	T2	1392/12/10
			410				T2	1392/12/11
	1365		225	165	تعویض لنت	حرکتی	T2	1392/12/12
			405				T2	1392/12/13
			410				T2	1392/12/14
		2770	325	95	تعویض روغن+گریسکاری	مکانیکی	T2	1392/12/15
	6005		350	70	تعویض لاستیک	حرکتی	T2	1392/12/16

			425				T2	1392/12/17
			410				T2	1392/12/18
			425				T2	1392/12/19
			410				T2	1392/12/20
			425	10			T2	1392/12/21
		5050	370	45	شستشوی رادیاتور	مکانیکی	T2	1392/12/22
			0	0	0		T2	1392/12/23
			415				T2	1392/12/24
7775			425	15	قطعی سوئیچ	برقی	T2	1392/12/25
			430				T2	1392/12/26
			315				T2	1392/12/27
			0	0	0		T2	1392/12/28
			0	0	0		T2	1392/12/29
			0	0	0		T2	1392/12/30
			0	0	0		T2	1393/01/01
			0	0	0		T2	1393/01/02
			0	0	0		T2	1393/01/03
			0	0	0		T2	1393/01/04
			0	0	0		T2	1393/01/05
			0	0	0		T2	1393/01/06
			0	0	0		T2	1393/01/07
			395				T2	1393/01/08
			380				T2	1393/01/09
			410	10			T2	1393/01/10
			420				T2	1393/01/11
	8640		435	60	پنچری لاستیک	حرکتی	T2	1393/01/12
			0	0	0		T2	1393/01/13
			0	0	0		T2	1393/01/14
			0	0	0		T2	1393/01/15
			530				T2	1393/01/16
			525				T2	1393/01/17
		9170	485	40	شلنگ گازوئیل سوراخ شده	مکانیکی	T2	1393/01/18
			510				T2	1393/01/19
			435	85	تعویض روغن+هواکش	سرویسکاری	T2	1393/01/20
			0	0	0		T2	1393/01/21
			520	10	گریسکاری	سرویسکاری	T2	1393/01/22
			535				T2	1393/01/23
			510				T2	1393/01/24
			515				T2	1393/01/25
13145			495	25	تعویض بست باطری	برقی	T2	1393/01/26
			510				T2	1393/01/27
			505	15	گریسکاری+تعویض هواکش	سرویسکاری	T2	1393/01/28
			535				T2	1393/01/29
			540				T2	1393/01/30
			535				T2	1393/01/31
			520				T2	1393/02/01
	6885		455	70	پنچری لاستیک	حرکتی	T2	1393/02/02
			525				T2	1393/02/03
			0	0	0		T2	1393/02/04
			515	10	گریسکاری	سرویسکاری	T2	1393/02/05
			525				T2	1393/02/06
		1470	460	55	روغن ریزی از	مکانیکی	T2	1393/02/07

					جک کمپرس			
			490				T2	1393/02/08
			520				T2	1393/02/09
		1445	400	90	تعویض روغن+فیلتر	مکانیکی	T2	1393/02/10
			530				T2	1393/02/11
			515	10	گریسکاری+تعویض هواکش	سرویسکاری	T2	1393/02/12
		7155	380	180	قفل گاردون خراب شده	مکانیکی	T2	1393/02/13
			530				T2	1393/02/14
			515				T2	1393/02/15
			525				T2	1393/02/16
	10755		505	15	تعویض روغن ترمز	حرکتی	T2	1393/02/17
			0	0	0		T2	1393/02/18
			515	10	گریسکاری	سرویسکاری	T2	1393/02/19
			535				T2	1393/02/20
			545				T2	1393/02/21
			520				T2	1393/02/22
6070			475	40	استارت از کارافتاده	برقی	T2	1393/02/23
			530				T2	1393/02/24
			525				T2	1393/02/25
			545				T2	1393/02/26
			510	10	گریسکاری	سرویسکاری	T2	1393/02/27
		2535	455	65	تسمه کولر پاره شده	مکانیکی	T2	1393/02/28
			500				T2	1393/02/29
			515				T2	1393/02/30
			525				T2	1393/02/31
			0	0	0		T2	1393/03/01
			540				T2	1393/03/02
			435	80	تعویض روغن	مکانیکی	T2	1393/03/03
			515	15	گریسکاری+تعویض هواکش	سرویسکاری	T2	1393/03/04
			490	25	دینام شارژ نمیکند	برقی	T2	1393/03/05
			520				T2	1393/03/06
			535				T2	1393/03/07
			520				T2	1393/03/08
			415	75	پنچری لاستیک	حرکتی	T2	1393/03/09
			510				T2	1393/03/10
	8460		400	55	پنچری لاستیک	حرکتی	T3	1392/09/06
			415	15	سرویسکاری	سرویسکاری	T3	1392/09/07
			425				T3	1392/09/08
			435				T3	1392/09/09
			415				T3	1392/09/10
		1210	400	20	تعویض برف پاک کن	مکانیکی	T3	1392/09/11
			395				T3	1392/09/12
			415	10	سرویسکاری	سرویسکاری	T3	1392/09/13
		2485	355	75	تعویض روغن+فیلتر	مکانیکی	T3	1392/09/14

			0	0	0	0	T3	1392/09/15
			425				T3	1392/09/16
			415				T3	1392/09/17
			435				T3	1392/09/18
			445	10	سرویسکاری	سرویسکاری	T3	1392/09/19
			410				T3	1392/09/20
		1115	285	145	تعویض پنجه اگزوز	مکانیکی	T3	1392/09/21
			405				T3	1392/09/22
			425				T3	1392/09/23
		2780	305	105	تعمیر پمپ باد	مکانیکی	T3	1392/09/24
			420				T3	1392/09/25
			430				T3	1392/09/26
			405	10	سرویسکاری	سرویسکاری	T3	1392/09/27
	6790		380	65	پنچری لاستیک	حرکتی	T3	1392/09/28
			0	0	0	0	T3	1392/09/29
			415				T3	1392/09/30
			425				T3	1392/10/01
		2500	410	15	سیم گاز پاره شده	مکانیکی	T3	1392/10/02
			430				T3	1392/10/03
			390	10	سرویسکاری	سرویسکاری	T3	1392/10/04
			415				T3	1392/10/05
			420				T3	1392/10/06
			435				T3	1392/10/07
		1135	315	90	تعویض روغن	مکانیکی	T3	1392/10/08
			415				T3	1392/10/09
			405	10	سرویسکاری	سرویسکاری	T3	1392/10/10
		310	310	95	روغن ریزی از جک کمپرس	مکانیکی	T3	1392/10/11
		675	275	135	جوشکاری اتاق	مکانیکی	T3	1392/10/12
			0	0	0	0	T3	1392/10/13
			400				T3	1392/10/14
		30	30	345	فنر جلو کشتنه	مکانیکی	T3	1392/10/15
		3790	100	335	تعویض بلبرینگ کلاچ	مکانیکی	T3	1392/10/16
			415				T3	1392/10/17
			405	10	سرویسکاری	سرویسکاری	T3	1392/10/18
	2505		225	175	تعویض لنت	حرکتی	T3	1392/10/19
			430				T3	1392/10/20
3385			220	75	تعمیر دینام	برقی	T3	1392/10/21
			395				T3	1392/10/22
			420				T3	1392/10/23
			400	10	سرویسکاری	سرویسکاری	T3	1392/10/24
			415				T3	1392/10/25
	5615		365	55	تعویض لاستیک	حرکتی	T3	1392/10/26
			0	0	0	0	T3	1392/10/27
		2815	325	80	تعویض روغن+فیلتر	مکانیکی	T3	1392/10/28
			420				T3	1392/10/29
			425				T3	1392/10/30
10755			410	15	تعویض چراغ جلو	برقی	T3	1392/11/01
			405	10	سرویسکاری	سرویسکاری	T3	1392/11/02
			420				T3	1392/11/03
			410				T3	1392/11/04

		1895	315	85	جوشکاری انباری اگزوز	مکانیکی	T3	1392/11/05
			395				T3	1392/11/06
			380				T3	1392/11/07
			405				T3	1392/11/08
			400	10	سرویسکاری	سرویسکاری	T3	1392/11/09
		865	115	225	تعویض شوت اتاق	مکانیکی	T3	1392/11/10
			0	0	0	0	T3	1392/11/11
			425				T3	1392/11/12
	1060		325	60	پنچری لاستیک	حرکتی	T3	1392/11/13
		2825	325	70	تعویض واسکازین چرخ عقب	مکانیکی	T3	1392/11/14
			410				T3	1392/11/15
	8255		405	25	لنتها در گیر است	حرکتی	T3	1392/11/16
			420	10	سرویسکاری	سرویسکاری	T3	1392/11/17
			415				T3	1392/11/18
			415				T3	1392/11/19
			435				T3	1392/11/20
		2400	370	75	تعویض روغن	مکانیکی	T3	1392/11/21
			405				T3	1392/11/22
			410	10	سرویسکاری	سرویسکاری	T3	1392/11/23
			425				T3	1392/11/24
			0	0	0	0	T3	1392/11/25
			380	30	رادیاتور تمیز شده	سرویسکاری	T3	1392/11/26
			410				T3	1392/11/27
		3175	315	80	تسمه دینام پاره شده	مکانیکی	T3	1392/11/28
			395				T3	1392/11/29
			415	10	سرویسکاری	سرویسکاری	T3	1392/11/30
6780			370	35	موتور بخاری از کار افتاده	برقی	T3	1392/12/01
			430				T3	1392/12/02
			410				T3	1392/12/03
			415				T3	1392/12/04
			425				T3	1392/12/05
		1730	200	195	جوشکاری اتاق کمپرس	مکانیکی	T3	1392/12/06
			390	10	سرویسکاری	سرویسکاری	T3	1392/12/07
	5775		305	90	تعویض لاستیک	حرکتی	T3	1392/12/08
			0	0	0	0	T3	1392/12/09
			415				T3	1392/12/10
			420				T3	1392/12/11
		560	215	185	شکستگی فنر	مکانیکی	T3	1392/12/12
		1585	345	75	تعویض روغن+فیلتر	مکانیکی	T3	1392/12/13
			410	10	سرویسکاری	سرویسکاری	T3	1392/12/14
			405				T3	1392/12/15
			425				T3	1392/12/16
		6040	380	15	تعویض روغن فرمان	مکانیکی	T3	1392/12/17
			415				T3	1392/12/18
			405				T3	1392/12/19
14765			400	45	باطری دشارژ شده	برقی	T3	1392/12/20

			395	10	سرویسکاری	سرویسکاری	T3	1392/12/21
			425				T3	1392/12/22
			0	0	0	0	T3	1392/12/23
			415				T3	1392/12/24
	7700		385	50	پنچری	حرکتی	T3	1392/12/25
			415				T3	1392/12/26
			400	10	سرویسکاری	سرویسکاری	T3	1392/12/27
			0	0	0	0	T3	1392/12/28
			0	0	0	0	T3	1392/12/29
			0	0	0	0	T3	1392/12/30
			0	0	0	0	T3	1393/01/01
			0	0	0	0	T3	1393/01/02
			0	0	0	0	T3	1393/01/03
			0	0	0	0	T3	1393/01/04
			0	0	0	0	T3	1393/01/05
			485				T3	1393/01/06
			495				T3	1393/01/07
			510				T3	1393/01/08
			515	10	سرویسکاری	سرویسکاری	T3	1393/01/09
		2540	510	20	تعویض آینه	مکانیکی	T3	1393/01/10
			520				T3	1393/01/11
			0	0	0	0	T3	1393/01/12
			0	0	0	0	T3	1393/01/13
			495				T3	1393/01/14
			505				T3	1393/01/15
			510				T3	1393/01/16
		3810	415	80	تعویض روغن	مکانیکی	T3	1393/01/17
			485	10	سرویسکاری	سرویسکاری	T3	1393/01/18
			525				T3	1393/01/19
			530				T3	1393/01/20
			0	0	0	0	T3	1393/01/21
	6895		325	175	تعویض لنت	حرکتی	T3	1393/01/22
			510				T3	1393/01/23
			520				T3	1393/01/24
			500	10	سرویسکاری	سرویسکاری	T3	1393/01/25
		5985	460	75	تعمیر پمپ باد	مکانیکی	T3	1393/01/26
			525				T3	1393/01/27
			530				T3	1393/01/28
			515				T3	1393/01/29
			510				T3	1393/01/30
			525				T3	1393/01/31
			510	10	سرویسکاری	سرویسکاری	T3	1393/02/01
14975			455	65	کوئل از کار افتاده	برقی	T3	1393/02/02
			515				T3	1393/02/03
			0	0	0	0	T3	1393/02/04
			495				T3	1393/02/05
	6765		425	55	تعویض لاستیک	حرکتی	T3	1393/02/06
			520				T3	1393/02/07
		2265	405	95	تعویض روغن+فیلتر	مکانیکی	T3	1393/02/08
			485	10	سرویسکاری	سرویسکاری	T3	1393/02/09
			320	135	جوشکاری کربی اتاق کمپرس	جوشکاری	T3	1393/02/10
			520				T3	1393/02/11
			535				T3	1393/02/12

		7370	485	40	پارگی شلنگ رادیاتور	مکانیکی	T3	1393/02/13
			495				T3	1393/02/14
			510				T3	1393/02/15
			525				T3	1393/02/16
			505	10	سرویسکاری	سرویسکاری	T3	1393/02/17
			0	0	0	0	T3	1393/02/18
			510				T3	1393/02/19
			525				T3	1393/02/20
	1805		255	205	تعمیر کوزه ترمز	حرکتی	T3	1393/02/21
			515				T3	1393/02/22
			500				T3	1393/02/23
			535	10	سرویسکاری	سرویسکاری	T3	1393/02/24
			445	65	پنچری لاستیک	حرکتی	T3	1393/02/25
			520				T3	1393/02/26
			510				T3	1393/02/27
			535				T3	1393/02/28
		1470	415	80	روغن ریزی از گیربکس	مکانیکی	T3	1393/02/29
			520				T3	1393/02/30
			535	10	سرویسکاری	سرویسکاری	T3	1393/02/31
			0	0	0	0	T3	1393/03/01
			425	85	تعویض روغن +فیلتر	مکانیکی	T3	1393/03/02
			515				T3	1393/03/03
			520				T3	1393/03/04
2035			475	45	تعمیر کولر	برقی	T3	1393/03/05
			510	10	سرویسکاری	سرویسکاری	T3	1393/03/06
			525				T3	1393/03/07
			525				T3	1393/03/08
			510	25	استارت از کار افتاده	برقی	T3	1393/03/09
			515				T3	1393/03/10

Abstract

In the mining industry and production units, in order to achieve the best operating conditions and thereby improving the economic conditions of the project, using of an engineering indicator in the name of reliability will help it. In a mining operating, The volume of investment in mining machinery can affect the entire project. In mining projects, in order to have continuous production, maintain healthy functioning of the machinery is vital.

Poor performance of the haulage system in the production cycle of a mining unit, can cause interval or even complete stop of the mining system. Therefore, in this thesis was to evaluate the reliability of the haulage system. haulage system consists of two parts loading and portorage. Loading and portorage systems includes excavator and truck. In the following, during a case study in Torbat Heydarieh Zarmehr gold mine, three excavators and three trucks were studied to assess the reliability of the haulage system. Excavator Includes 4 subsystems mechanical, loading, motion and electrical and Truck Includes 3 subsystems, mechanical, motion and electrical. Then, The Failure data and stops related to loading and portorage systems for this six devices were recorded over a period of six months. The data for analysis of haulage system reliability using Markov, modeling and simulation methods were used. The results of the Marcov method showed that in the case that every six devices is working, reliability of haulage system is about 68.8%. For modeling haulage system reliability, subsystems of excavators and trucks was calculated. After calculating the subsystems reliability, reliability of any device was obtained. Then, loading and portorage subsystems reliability were obtained. Due to the series of loading and portorage units in haulage system, the reliability of the Zarmehr gold mine haulage system was calculated. The results showed that the reliability of the haulage system reach zero after 80 hours. Also using of kamat and riley (K-R) Monte Carlo method, the reliability of the haulage system was simulated. To run the simulation algorithm, a computer program was prepared in Microsoft Visual Studio 2010 software. With this program, reliability simulated curve was drawn and showed, the reliability of haulage system reaches to zero after 80 hours, that is very consistent with the results of modeling but the curve of simulation method have a higher ability to predict the reliability of the haulage system.

Finally, using the results of the analysis of reliability, preventive maintenance program has been proposed to improve the performance and reliability of Zarmehr gold mine haulage system.

Keywords: Torbat heidarie zarmehr gold mine, Haulage system, Excavator, Truck, Markov, Modeling, Simulation, Preventive Maintenance.



University of Shahrood

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics

**Modeling and Simulation of Haulage System Reliability
Case Study: Zarmehr Gold Mine Torbat Heydariyeh**

Hossein Heidari Nouqabi

Supervisor(s):

Prof. Mohammad Ataei

Prof. Reza Khalou Kakaei

September 2015