

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده پردیس خوارزمی

استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات بر اساس عمر مفید باقیمانده (مطالعه موردی: سیستم بارگیری معدن مس سونگون)

نگارنده:

آوات قم‌قلعه

اساتید راهنما:

دکتر محمد عطائی و دکتر رضا کاکایی

مشاورین:

دکتر عباس برآبادی و دکتر علی نوری قراحسنلو

شهریور ۱۴۰۰

تقدیم اثر:

تقدیم به روح بلند پدرم

و مهربانی پایان مادرم

آنان که ناتوان شدند تا ما به توانی برسیم....

مویشان سپید شد تا ما رو سفید شویم....

به همسر عزیزم

به پاس قدردانی قلبی آکنده از عشق و معرفت که محیطی سرشار از سلامت، امنیت، آرامش و آسایش برای

من فراهم آورده است.

و در نهایت تقدیم به گل نازم رزاکه کودکی گمشده ام را در چهره معصومش پیدا کردم.

شکر و قدردانی

اینجا لازم می‌دانم از اساتید گرانقدر و محترم جناب آقای دکتر محمد عطایی و دکتر رضا کاکائی که در طول این سالیان با راهنمایی‌های ارزشمندشان مانند نور بر جاده تاریک سبب روشنایی این مسیر شدند، تشکر می‌نمایم، آرزوی سلامتی همراه با طول عمر برایشان آرزومندم.

تشکر و قدردانی ویژه می‌کنم از استادان ارجمند مشاور جناب آقای دکتر عباس برآبادی و دکتر علی نوری که با آرامشی وصف ناپذیر پاسخگوی سوالات و نیز برطرف کننده نواقص رساله بودند و در هر ساعت از شبانه روز از راهنمایی، پاسخگویی مضایقه نمی‌نمودند.

از جناب آقای دکتر رامین رفیعی عزیز که با سعه صدر هم در زمان داوری و هم در زمان اصلاح رساله بسیار کمک حال اینجانب بودند و باعث غنای رساله شدند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از کلیه کارکنان و پرسنل، مسئولین محترم شرکت ملی مس در معدن مس سونگون اهر و نیز شرکت‌های زیر مجموعه و شرکت‌های پیمانکار بخصوص شرکت آجین و نیز شرکت نوآوران که اطلاعات و داده‌های مورد نیاز را با صبر و حوصله بسیار در اختیار اینجانب قرار دادند، کمال تشکر را دارم.

سپاسگذاری خود را از بخش تغلیظ مجموعه و بویژه مدیریت این بخش جناب آقای مهندس باقریان (همکلاسی عزیز دوره کارشناسی) اعلام می‌دارم که با جان و دل همراه من در طی این مسیر بودند و آرزوی سلامتی برایشان دارم.

اداره محترم هواشناسی سونگون که با مهربانی پاسخگوی سوالات و از هرگونه کمک و مساعدت دریغ نکردند، تشکر ویژه دارم.

از پدرم که دیگر در کنارم نیست و مادرم که با دعایش سعی در هموار ساختن این مسیر سخت بر من داشت، بسیار سپاسگذارم و برای روح پدرم آرامش ابدی تقاضا می‌کنم. از خواهر مهربانم که همیشه و در هر لحظه صحبت با او باعث آرامش درونم است، ممنون و متشکرم.

و در آخر از همسر عزیزم که در طول این سالیان همه سختی‌ها را با مهربانی تحمل کرده و باعث آرامش وجودی من است، تشکر می‌نمایم.

تعمیرات

اینجانب آوات قم قلعه دانشجوی دوره دکتری رشته مهندسی معدن - استخراج دانشکده پردیس خوارزمی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه: استراتژی بهینه نگهداری و تعمیرات بر اساس عمر مفید باقیمانده (مطالعه موردی: سیستم بارگیری معدن مس سونگون) تحت راهنمایی دکتر محمد عطایی و دکتر رضا کاکایی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه 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 پایان‌نامه 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 صنعتی شاهرود است و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند، در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌شود.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، 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، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود است. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود. استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

ردیف	عنوان مقاله	عنوان مجله	کد مقاله	تاریخ پذیرش یا چاپ
۱	استفاده از مدل شکنندگی در تخمین عمر مفید باقیمانده.	نشریه مدل سازی در مهندسی دانشگاه سمنان (علمی-پژوهشی)	JME-۱۹۱۲- ۱۸۱۷	۱۳۹۹/۴/۱۱
۲	Prediction of Remaining Useful Life(RUL) of Komatsu Excavator Under Reliability Analysis in the Weibull-Fraily Model.	PLOS ONE (ISI)	۰۲۳۶۱۲۸	۲۹ June ۲۰۲۰
۳	تأثیر شکنندگی در تخمین عمر مفید باقیمانده مبتنی بر قابلیت اطمینان.	بهائیش ملی مدیریت ریسک و تاب آوری در صنایع معدنی-کفترانسی- دانشگاه شاهرود	-	۱۳۹۸/۳/۱۶
۴	تخمین عمر مفید مبتنی بر شکست.	دوین گنده بین المللی علوم مهندسی- پاریس-فرانسه-کفترانسی	BG-۰۰۳۶۱- AB	۲۱ August ۲۰۲۰
۵	تأثیر شرایط محیطی در تخمین عمر مفید باقیمانده مبتنی بر قابلیت اطمینان.	نشریه مهندسی معدن (علمی-پژوهشی)	IJME-۲۱۰۴- ۱۸۶۴	۱۴۰۰/۵/۲۳

چکیده

در حیطه معدنکاری، تضمین تولید و رضایت مندی مشتری به آینده‌نگری و اطلاع از وضعیت آتی تجهیزات سنگین معدنی وابسته است؛ چراکه در سیستم اتوماسیون فعلی معادن، این تجهیزات است که عهده‌دار تولید هستند. عملکرد این تجهیزات نیز براساس میزان سلامت دستگاه یا به عبارت دیگر با تعداد خرابی‌ها رُخ داده قابل سنجش خواهد بود. در این حالت، پیش‌بینی خرابی ماشین‌آلات گرانبها بسیار مهم بوده، تعمیرات و نگهداری (نت) آنها قبل از خرابی می‌تواند از اعمال هزینه‌های بسیار زیاد به معدن جلوگیری بعمل آورد. از این رو تحلیل ناوگان استخراجی معدن سونگون، نیازمند مفهومی گسترده و تفضیلی برای پایش دقیق‌تر رفتار سیستم و زیرسیستم‌ها در طول عمر مفید آنها است. ایده عمر مفید باقیمانده (RUL) مفهوم جدیدی است که رفتار سیستم را تحلیل می‌کند و نتایج واقعی‌تری را ارائه می‌کند. این مفهوم در واقع پیش‌بینی از عمر مفید باقیمانده را قبل از وقوع خرابی برای یک سیستم براساس شرایط حاضر و پروفیل عملیاتی گذشته ارائه می‌دهد؛ بنابراین، تخمین RUL، به همان اندازه تخمین قابلیت اطمینان سیستم، در بهینه‌سازی نت تأثیرگذار خواهد بود؛ زیرا جلوگیری از وقوع خرابی پس از شناسایی آن و تشخیص نحوه تنزیل سیستم، نیازمند اعمال نت به‌موقع با استفاده از یک تخمین صحیح از RUL است؛ همچنین برای برنامه‌ریزی فعالیت‌های نت، تخمین قطعات یدکی و تعیین مقدار سوددهی آن برای کارفرما نیز می‌توان از این مفهوم بهره جست. در این رساله، از مفهوم قابلیت اطمینان در تخمین عمر مفید باقیمانده استفاده شده است. در تکمیل این رویکرد و به منظور نزدیک‌تر کردن هر چه بیشتر نتایج تحلیل به شرایط واقعی، تأثیر شرایط محیطی به عنوان "فاکتورهای ریسک مشهود" نیز در تحلیل‌ها وارد شد. صرف نظر از شرایط محیط‌کاری سخت و خشن معدن در تحلیل‌ها، انحراف بزرگی در کلیه نتایج حاصله بدنبال خواهد داشت. با این وجود، امکان تعیین و وارد کردن تمامی فاکتورهای ریسک در تحلیل وجود ندارد؛ چرا که برخی از فاکتورهای ریسک به دلایل مختلف از جمله کمبود اطلاعات، عدم شناخت دقیق محیط، کمبود تخصص و یا کوتاهی بازه گردآوری داده، پنهان خواهد ماند که این فاکتورها تحت عنوان "فاکتورهای ریسک نامشهود" در تحلیل باید وارد شود. بدین منظور از بسط‌های مبتنی بر مدل‌های رگرسیون کاکس استفاده شد؛ زیرا این مدل‌ها قادر به تحلیل هم‌زمان داده‌های عملکردی (داده‌های زمانی) و شرایط محیطی (فاکتورهای ریسک مشهود و نامشهود) می‌باشند. در گام بعدی نیز به منظور صحت سنجی الگوریتم ارائه شده برای تخمین RUL براساس فاکتورهای ریسک مشهود و نامشهود نمونه موردی از سیستم بارگیری (شاول - بیل کوماتسو ۱۲۵۰) معدن مس سونگون در بازه ۸ ماه انتخاب شد. پس از جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز و در مرحله اول پس از محاسبه قابلیت اطمینان برای سناریوهای مختلف و باتوجه به شناسایی فاکتورهای ریسک مختلف و انتخاب مدل نهایی، تابع بیل مکانیکی از مدل MPHMM پیروی کرده و تابع توزیع آن نیز از مدل ویبول پیروی کرده، مشاهده گردید روند قابلیت اطمینان در طول بازه کارکرد برای کلیه سناریوها کاهشی بوده و قابلیت اطمینان دستگاه بعد از ۸۰ ساعت کارکرد به ۰/۳۱ کاهش پیدا می‌کند. برای این مدل، سناریو ۹ با شیف‌ت کاری سوم و نوع سنگ منزونیت و سیستم باربری مرکب از تراک‌های ۱۰۰ و ۳۰ تنی و آب و هوای بشدت ابری بالاترین قابلیت اطمینان را خواهد داشت، در مرحله بعد نیاز بود که عمر مفید باقیمانده برحسب تابع قابلیت اطمینان محاسبه گردد که برای این منظور با توجه به مدل‌های تخمین شده، یعنی کلاسیک، کلاسیک با شکستگی، رگرسیون و رگرسیون با شکستگی ملاحظه شد، عمر مفید باقیمانده برای تابع‌های اول و دوم افزایشی بوده که عملاً با واقعیت منطبق نمی‌باشد؛ ولی برای مدل‌های سوم و چهارم که تابع مدل آن براساس مدل‌های PHM و MPHMM بوده و تابع توزیع آن به ترتیب از تابع توزیع نمایی و ویبول پیروی می‌کند، نتایج

بهتری را ارائه می‌دهد و برای تابع اصلی بیل مکانیکی (We-MPHM) در بعضی از سناریوها بعد از مدت زمان معینی میزان عمر مفید باقیمانده صفر گردیده که دلیل آن را باید در نرخ مخاطره سیستم جستجو بنماییم، که در اینصورت ملاحظه می‌شود، نرخ مخاطره این سناریوها بشدت بالا بوده و همین امر باعث صفر شدن عمر مفید باقیمانده سیستم خواهد شد.

در مرحله آخر پس از مشخص شدن میزان عمر مفید باقیمانده سناریوهای محتمل، استراتژی نت مناسب پیشنهاد شد و مشخص گردید، برای مدل تابع بیل مکانیکی اجرای نت پیشگیرانه در اوایل بازه کارکردی سبب ارتقاء قابلیت اطمینان سیستم خواهد شد؛ لیکن برای زمان‌های بیشتر، اجرای نت پیشگیرانه سبب افت قابلیت اطمینان سیستم خواهد شد و در واقع استراتژی نت به سمت نت اصلاحی پیش خواهد رفت.

کلیدواژه: قابلیت اطمینان، مدل رگرسیون کاکس، نگهداری و تعمیرات، عمر مفید باقیمانده، سیستم بارگیری معدن مجتمع مس سونگون.

فهرست عناوین

۱	کلیات
۲	۱-۱- مقدمه
۴	۲-۱- ناوگان استخراجی معدن مس سونگون
۴	۳-۱- اهمیت و ضرورت تحقیق
۵	۴-۱- بیان مسئله
۵	۵-۱- اهداف رساله
۶	۶-۱- فرضیات تحقیق
۶	۷-۱- ساختار رساله
۹	۲- مفاهیم اساسی تحقیق
۱۰	۱-۲- مقدمه
۱۱	۲-۲- مهندسی قابلیت اطمینان
۱۲	۳-۲- چهار تابع موثر در قابلیت اطمینان
۱۳	۴-۲- قابلیت اطمینان
۱۴	۵-۲- فاکتورهای ریسک
۱۵	۶-۲- روش‌های کلاسیک تحلیل قابلیت اطمینان
۱۶	۷-۲- مدل‌های مبتنی بر فاکتورهای ریسک
۱۷	۲-۷-۱- مدل نرخ مخاطرات متناسب (PHM)
۱۸	۲-۷-۲- مدل رگرسیون لایه‌بندی شده کاکس (SCRM)
۱۹	۲-۷-۳- مدل نرخ مخاطره متناسب مرکب (MPHM)
۲۰	۲-۷-۴- مدل نرخ مخاطره متناسب مرکب توسعه یافته (EMPHM)
۲۱	۲-۷-۵- روش‌های مدل‌سازی قابلیت اطمینان سیستم
۲۴	۲-۸-۱- عمر مفید باقیمانده
۲۴	۲-۸-۲- تخمین عمر مفید باقیمانده مبتنی بر قابلیت اطمینان
۲۶	۲-۸-۳- ارتباط عمر مفید باقیمانده با نرخ مخاطره
۳۱	۲-۹- نگهداری و تعمیرات (نت)
۳۴	۲-۱۰- جمع‌بندی فصل
۳۵	۳- بررسی سابقه علمی موضوع
۳۶	۱-۳- مقدمه
۳۶	۲-۳- قابلیت اطمینان
۴۲	۳-۳- عمر مفید باقیمانده

۴-۳- نگهداری و تعمیرات	۴۹
۵-۳- جمع بندی فصل	۵۵
۴- مطالعه موردی- مجتمع مولبیدن- مس آذربایجان (مس سونگون)	۵۹
۴-۱- مقدمه	۶۰
۴-۲- معدن مولبیدن- مس آذربایجان (سونگون)	۶۱
۴-۲-۱- موقعیت جغرافیایی	۶۱
۴-۲-۲- شرایط آب و هوایی منطقه	۶۲
۴-۲-۳- زمین شناسی ناحیه ای	۶۳
۴-۲-۴- مشخصات معدن	۶۳
۴-۳- انتخاب دستگاه جهت مطالعه	۶۵
۴-۴- جمع بندی فصل	۶۷
۵- پیاده سازی رویکرد پیشنهادی در سیستم بارکننده معدن مس سونگون اهر	۶۹
۵-۱- مقدمه	۷۰
۵-۲- چارچوب تحلیل عمر مفید باقیمانده و پیشنهاد سیاست نت	۷۰
۵-۳- محدودیات، فرضیات و مرزبندی سیستم استخراجی معدن سونگون	۷۵
۵-۴- جمع آوری و تشکیل بانک اطلاعاتی اولیه	۷۷
۵-۴-۱- نظارت	۷۹
۵-۴-۲- هواشناسی	۸۱
۵-۴-۳- ملاقات و مصاحبه ها	۸۳
۵-۴-۴- مشاهدات مستقیم	۸۳
۵-۴-۵- پیمانکاران	۸۴
۵-۵- استخراج داده های خرابی بیل مکانیکی کوماتسو ۱۲۵۰-PC	۸۵
۵-۵-۱- داده های زمانی خرابی	۸۷
۵-۵-۲- فاکتورهای ریسک خرابی	۸۸
۵-۶- بررسی وابستگی فاکتورهای ریسک	۹۳
۵-۷- ارزیابی فرض همگنی برای فاکتورهای ریسک نامشهود	۹۵
۵-۸- آزمون فرض متناسب بودن نرخ مخاطره	۹۶
۵-۹- برازش مدل مناسب برای قابلیت اطمینان بیل مکانیکی	۹۹
۵-۹-۱- مدل اول: تابع کلاسیک	۱۰۰
۵-۹-۲- مدل دوم: تابع کلاسیک با شکستگی	۱۰۱
۵-۹-۳- مدل سوم: تابع رگرسیونی	۱۰۵
۵-۹-۴- مدل چهارم: تابع رگرسیونی با شکستگی	۱۱۱

۱۱۷.....	۵-۱۰- تخمین عمر مفید باقیمانده.....
۱۱۸.....	۵-۱۰-۱- تخمین عمر مفید باقیمانده مدل اول: تابع کلاسیک.....
۱۱۹.....	۵-۱۰-۲- تخمین عمر مفید باقیمانده مدل دوم: تابع کلاسیک با شکستگی.....
۱۲۰.....	۵-۱۰-۳- تخمین عمر مفید باقیمانده مدل سوم: تابع رگرسیونی.....
۱۲۶.....	۵-۱۰-۴- تخمین عمر مفید باقیمانده مدل چهارم: تابع رگرسیونی با شکستگی.....
۱۳۱.....	۵-۱۱- برنامه‌ریزی نت مناسب.....
۱۳۳.....	۵-۱۱-۱- برنامه‌ریزی نت مدل اول: تابع کلاسیک.....
۱۳۴.....	۵-۱۱-۲- برنامه‌ریزی نت مدل دوم: تابع کلاسیک با شکستگی.....
۱۳۵.....	۵-۱۱-۳- برنامه‌ریزی نت مدل سوم: تابع رگرسیونی.....
۱۳۹.....	۵-۱۱-۴- برنامه‌ریزی نت مدل چهارم: تابع رگرسیونی با شکستگی.....
۱۴۲.....	۵-۱۲- جمع‌بندی فصل.....
۱۴۳.....	۶- بحث ، نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....
۱۴۴.....	۶-۱- بحث.....
۱۵۱.....	۶-۲- نتیجه‌گیری.....
۱۵۲.....	۶-۲- پیشنهادات.....
۱۵۳.....	فهرست منابع.....
۱۷۱.....	پیوستها.....

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲- نمودار پردازش داده‌ها در تحلیل قابلیت اطمینان ۱۲
- شکل ۲-۲- تأثیرات فاکتورهای ریسک بر نرخ مخاطره ۱۶
- شکل ۳-۲- شمای نموداری از لایه‌بندی برای داده‌ها ۱۸
- شکل ۴-۲- روش‌های تحلیل قابلیت اطمینان در سطح سیستم ۲۳
- شکل ۵-۲- نمودار وان حمام ۲۸
- شکل ۶-۲- تغییرات RUL براساس نرخ مخاطره IDB و DIB ۳۰
- شکل ۷-۲- انواع پیکربندی نت ۳۳
- شکل ۱-۴- معدن مولیبدن- مس سونگون ۶۱
- شکل ۲-۴- موقعیت دره در قسمت شرقی معدن ۶۲
- شکل ۳-۴- نمایی از بارش برف در معدن سونگون ۶۳
- شکل ۴-۴- نمایی از بخش شمالی معدن سونگون ۶۴
- شکل ۵-۴- نمایی از دستگاه انتخابی (بیل ۱۲۵۰-PC مکانیکی در حال کار در معدن سونگون اهر ۶۶
- شکل ۱-۵- الگوریتم تحلیل عمر مفید باقیمانده و پیشنهاد سیاست نت مناسب ۷۳
- شکل ۲-۵- فرایند کلی تعیین مرزها و محدودیت ها ۷۶
- شکل ۳-۵- فرآیند تشکیل بانک داده ۸۰
- شکل ۴-۵- فرآیند استخراج داده ۸۶
- شکل ۵-۵- نمودار $-\ln(-\ln R)$ برای ارزیابی فرض PH برای بیل مکانیکی ۹۸
- شکل ۶-۵- نمودار قابلیت اطمینان تابع کلاسیک نمایی برای بیل مکانیکی ۱۰۱
- شکل ۷-۵- نمودار قابلیت اطمینان تابع کلاسیک-شکستگی ویبول برای بیل مکانیکی ۱۰۴
- شکل ۸-۵- نمودار قابلیت اطمینان تابع کلاسیک نمایی در مقایسه با کلاسیک-شکستگی ویبول ۱۰۵
- شکل ۹-۵- قابلیت اطمینان مدل نمایی-PHM برای بیل مکانیکی ۱۱۰
- شکل ۱۰-۵- نمودار قابلیت اطمینان با تاثیر فاکتور ریسک نوع سنگ ۱۱۱
- شکل ۱۱-۵- قابلیت اطمینان ۱۰ سناریوی مختلف برای مدل ویبول-MPHM ۱۱۵
- شکل ۱۲-۵- قابلیت اطمینان بیل مکانیکی به ازای مقادیر مختلف فاکتور ریسک نوع سنگ ۱۱۵
- شکل ۱۳-۵- قابلیت اطمینان بیل مکانیکی برای نوع سنگ منزونیت در دو مدل نمایی-PHM و ویبول-MPHM ۱۱۶

شکل ۵-۱۴- قابلیت اطمینان بیل مکانیکی برای نوع سنگ کانسنگ و اکسید سولفور در دو مدل نمایی- PHM و ویبول-MPHM.....	۱۱۶
شکل ۵-۱۵- قابلیت اطمینان بیل مکانیکی برای چهار مدل	۱۱۷
شکل ۵-۱۶- RUL بیل مکانیکی در مدل اول: نمایی-کلاسیک.....	۱۱۹
شکل ۵-۱۷- RUL بیل مکانیکی در مدل دوم: ویبول-شکستگی.....	۱۲۰
شکل ۵-۱۸- عمر مفید باقیمانده بیل مکانیکی برای ۱۰ سناریوی مختلف با مدل نمایی- PHM ..	۱۲۲
شکل ۵-۱۹- نمودار قابلیت اطمینان و عمر مفید باقیمانده بیل مکانیکی برای مدل ویبول- PHM	۱۲۵
شکل ۵-۲۰- نمودار RUL مدل ExPHM و WPHM برای دو سناریوی ۸ و ۹.....	۱۲۵
شکل ۵-۲۱- نمودار قابلیت اطمینان عمر مفید باقیمانده با مدل ویبول-MPHM برای ۱۰ سناریو	۱۲۸
شکل ۵-۲۲- نرخ مخاطره سناریوهای ۲، ۳ و ۸ در مدل ویبول-MPHM.....	۱۲۸
شکل ۵-۲۳- نرخ مخاطره سناریوهای ۴ و ۵ در مدل ویبول-MPHM.....	۱۲۹
شکل ۵-۲۴- نرخ مخاطره سناریوهای ۳ و ۴ در مدل ویبول-MPHM.....	۱۲۹
شکل ۵-۲۵- نرخ مخاطره سناریوهای ۶، ۷ و ۸ در مدل ویبول-MPHM.....	۱۳۰
شکل ۵-۲۶- نمودار RUL برای مدل‌های WMPHM و WPHM در سناریوهای مختلف	۱۳۰
شکل ۵-۲۷- درصد اختلاف بین مقادیر RUL در دو سناریوی ۲ و ۹ برای دو مدل WMPHM و WPHM	۱۳۱
شکل ۵-۲۸- مقادیر MTTF و MTTFpm برای مدل کلاسیک-نمایی	۱۳۳
شکل ۵-۲۹- مقادیر MTTF و MTTFpm برای مدل کلاسیک با شکستگی.....	۱۳۴
شکل ۵-۳۰- مقادیر MTTF و MTTFpm برای ۱۰ سناریوی مختلف با مدل نمایی- PHM	۱۳۷
شکل ۵-۳۱- مقادیر MTTF و MTTFpm برای سناریوی اول با مدل ویبول- PHM	۱۳۸
شکل ۵-۳۲- مقادیر MTTF و MTTFpm برای سناریوی اول با مدل نمایی و ویبول- PHM	۱۳۹
شکل ۵-۳۳- مقادیر MTTF و MTTFpm برای ۱۰ سناریوی مختلف با مدل نمایی-MPHM ...	۱۴۱

فهرست جداول

جدول ۱-۲	چیدمان داده‌های فاکتورهای ریسک و زمان‌های وقوع خرابی	۱۵
جدول ۲-۲	سایر مدل‌های مبتنی بر متغیر ریسک	۲۲
جدول ۱-۳	مروری بر تحقیقات انجام گرفته در زمینه عمر باقیمانده	۴۷
جدول ۲-۳	مرور ادبیات بر نگهداری و تعمیرات سیستم‌های صنعتی	۵۳
جدول ۱-۴	پارامترهای استخراجی معدن مس سونگون	۶۴
جدول ۲-۴	پارامترهای فنی طراحی در معدن مس سونگون سال ۱۳۹۰	۶۵
جدول ۱-۵	نمونه گزارش ماهیانه هواشناسی - فروردین ۱۳۹۷	۸۲
جدول ۲-۵	داده‌های مرتب شده هواشناسی	۸۳
جدول ۳-۵	نمونه داده‌های مرتب شده دستگاه بیل مکانیکی	۸۷
جدول ۴-۵	نمونه داده‌های زمانی سیستم بیل مکانیکی	۸۸
جدول ۵-۵	چیدمان کلی داده‌های زمانی و فاکتورهای ریسک	۸۹
جدول ۶-۵	فاکتورهای ریسک خرابی سیستم	۹۰
جدول ۷-۵	کمی‌سازی نوبت‌کاری	۹۱
جدول ۸-۵	کمی‌سازی وضعیت جوی	۹۱
جدول ۹-۵	فاکتورهای ریسک سیستم‌های بار کننده	۹۲
جدول ۱۰-۵	نمونه‌ای از داده‌های TBF سیستم بیل مکانیکی با فاکتورهای ریسک خرابی	۹۳
جدول ۱۱-۵	وابستگی بین داده‌های زمانی و فاکتورهای ریسک با ۱۰۰۰ بوت‌استریپینگ	۹۵
جدول ۱۲-۵	مقادیر p-value برای ارزیابی فرض PH فاکتورهای ریسک بیل مکانیکی	۹۷
جدول ۱۳-۵	مقادیر GOF توابع کلاسیک برای داده‌های خرابی بیل مکانیکی	۱۰۰
جدول ۱۴-۵	پارامترهای تابع کلاسیک نمایی برای داده‌های خرابی بیل مکانیکی	۱۰۰
جدول ۱۵-۵	پارامتر تابع نمایی کلاسیک	۱۰۱
جدول ۱۶-۵	مقادیر GOF برای توابع کلاسیک با شکستگی برای داده‌های خرابی بیل مکانیکی	۱۰۲
جدول ۱۷-۵	پارامترهای تابع کلاسیک-شکستگی ویبول برای داده‌های خرابی بیل مکانیکی	۱۰۳
جدول ۱۸-۵	پارامترهای تابع اساسی ویبول-شکستگی	۱۰۴
جدول ۱۹-۵	مقادیر GOF توابع رگرسیون برای داده‌های خرابی بیل مکانیکی	۱۰۵
جدول ۲۰-۵	پارامترهای تابع رگرسیونی نمایی-PHM برای داده‌های خرابی بیل مکانیکی	۱۰۶

جدول ۵-۲۱- ضرایب نرخ مخاطره تابع رگرسیونی نمایی-PHM برای داده‌های خرابی بیل مکانیکی	۱۰۶
جدول ۵-۲۲- پارامتر تابع نمایی رگرسیون	۱۰۷
جدول ۵-۲۳- طراحی عاملی چهار فاکتور ریسک موثر بر قابلیت اطمینان بیل مکانیکی	۱۰۸
جدول ۵-۲۴- سناریوهای برگزیده از روش تحلیل عامل برای تابع نمایی-PHM	۱۰۹
جدول ۵-۲۵- مقادیر قابلیت اطمینان مدل نمایی-PHM بیل مکانیکی	۱۰۹
جدول ۵-۲۶- مقادیر GOF توابع رگرسیون-رگرسیونی برای داده‌های خرابی بیل مکانیکی	۱۱۲
جدول ۵-۲۷- پارامترهای تابع رگرسیونی ویبول-MPHM برای داده‌های خرابی بیل مکانیکی	۱۱۲
جدول ۵-۲۸- ضرایب نرخ مخاطره تابع رگرسیونی ویبول-MPHM برای داده‌های خرابی بیل مکانیکی	۱۱۳
جدول ۵-۲۹- پارامترهای تابع ویبول-MPHM	۱۱۳
جدول ۵-۳۰- سناریوهای برگزیده از روش تحلیل عامل در مدل ویبول-MHPM برای بیل مکانیکی	۱۱۴
جدول ۵-۳۱- مقادیر قابلیت اطمینان مدل ویبول-MPHM بیل مکانیکی	۱۱۴
جدول ۵-۳۲- مقادیر RUL برای مدل نمایی-کلاسیک	۱۱۸
جدول ۵-۳۳- مقادیر RUL برای مدل ویبول-شکستگی	۱۱۹
جدول ۵-۳۴- مقدار عمر مفید باقیمانده سیستم بیل مکانیکی برای مدل نمایی-PHM	۱۲۱
جدول ۵-۳۵- پارامترهای تابع رگرسیونی ویبول-PHM برای داده‌های خرابی بیل مکانیکی	۱۲۳
جدول ۵-۳۶- مقادیر RUL برای تابع ویبول-PHM	۱۲۳
جدول ۵-۳۷- مقادیر RUL برای مدل ویبول-MPHM برای ۱۰ سناریوی مختلف	۱۲۶
جدول ۵-۳۸- مقادیر $MTTF_{pm}$ برای مدل کلاسیک-نمایی	۱۳۳
جدول ۵-۳۹- مقادیر $MTTF_{pm}$ برای مدل کلاسیک با شکستگی	۱۳۴
جدول ۵-۴۰- مقادیر متوسط زمان تا وقوع خرابی در سناریوهای مختلف تابع نمایی-PHM	۱۳۵
جدول ۵-۴۱- مقادیر $MTTF_{pm}$ برای سیستم بیل مکانیکی و مدل نمایی-PHM	۱۳۵
جدول ۵-۴۲- مقادیر متوسط زمان تا وقوع خرابی در سناریوهای مختلف تابع ویبول-PHM	۱۳۷
جدول ۵-۴۳- مقادیر $MTTF_{pm}$ برای سیستم بیل مکانیکی و مدل ویبول-PHM	۱۳۸
جدول ۵-۴۴- مقادیر متوسط زمان تا وقوع خرابی در سناریوهای مختلف تابع ویبول-MPHM	۱۳۹
جدول ۵-۴۵- مقادیر $MTTF_{pm}$ برای مدل ویبول-MPHM و ۱۰ سناریوی مختلف	۱۴۰

فصل اول

کلیات



ایران روی کمر بند متالورژی مس و طلای نئوتتیس و در مرکز آن واقع است. این کمر بند که از رشته کوه‌های آلپ شروع می‌شود، پس از گذر از سرتاسر غرب به شرق ترکیه از شمال غرب وارد ایران می‌شود و در طول کمان ماگمایی ارومیه امتداد یافته و از جنوب شرق کشور وارد پاکستان می‌شود و در نهایت تا هند، تبت چین و جنوب شرق آسیا امتداد می‌یابد. به عقیده صاحب نظران متخصص در اکتشاف مس و طلا موقعیت ایران از نظر ذخایر شناخته شده و اکتشاف نشده این دو ماده با ارزش بسیار حائز اهمیت است و پتانسیل‌های اکتشاف نشده بسیاری در نقاط مختلف ایران زمین به صورت بکر و دست نخورده باقی مانده است. در ایران عمده معادن بزرگ مس در اختیار شرکت ملی صنایع مس بوده که شامل معادن مس پورفیری سونگون اهر در استان آذربایجان شرقی، سرچشمه رفسنجان، میدوک، ایجو، چاه فیروز و سایر معادن کوچک تر است. براساس اطلاعات مرکز جهانی آمار فلزات ایران در سال ۲۰۱۹ به میزان ۳۰۷ هزار تن مس کاتد تولید کرده است که در مقایسه با تولید جهانی ۲۰/۷ میلیون تنی حدود ۱/۵ درصد تولید جهانی را شامل می‌شود. طبق گزارش مدیریت برنامه ریزی و راهبردی سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران در سال ۱۳۹۸ شرکت ملی صنایع مس ایران از سه مجتمع سرچشمه، میدوک و سونگون در مجموع بالغ بر ۱۶۸ میلیون تن استخراج ماده معدنی و باطله داشته که بیش از ۵۳ میلیون تن از این میزان ماده معدنی مس سولفیدی بوده است. طبق اظهارات دبیر کل اتحادیه تولیدکنندگان و صادرکنندگان محصولات معدنی قیمت ماشین‌آلات معدنی در کشور به علت تحریم و مسائل سیاسی چهار برابر گران‌تر از قیمت جهانی بوده که این مسئله خود مانع از نوسازی شده و این امر افزایش هزینه‌های نگهداری را در پی داشته است؛ همچنین جبران فرسودگی ماشین‌آلات معدنی و جلوگیری از افت کارکرد آن‌ها نیازمند تأمین قطعات یدکی و پشتیبانی به موقع و مناسب است که این مسأله نیز با مشکل عدیده‌ای مواجه است و تبعات آن بر چرخه تولید و میزان هزینه‌های تولید سایه افکنده است. شاخص‌هایی نظیر قابلیت اطمینان، دسترسی و ایمنی سیستم از جمله فاکتورهای مهم در بهبود بهره‌مندی و عملکردی سیستم‌های صنعتی به حساب می‌آیند. از سویی دیگر هزینه‌های سنگین نگهداری و تعمیرات (به ویژه با شرایط حاکم) سیستم‌های صنعتی پیچیده مهندسين را به توسعه هر چه بیشتر موضوع پشتیبانی از سیستم وا داشته است؛ بنابراین اعمال تغییراتی در ایده‌های منسوخ و سنتی با ارائه رویکردهای جدید برای نگهداری و تعمیرات (نت) اصلاحی یا پیشگیرانه امری انکارناپذیر است. پیش‌آگاهی^۱ از وقوع خرابی از جمله روش‌های نوینی است که قابل کاربرد در این زمینه است. پیش‌آگاهی در واقع داشتن

تخمینی از ریسک و زمان تا وقوع یک حالت خاص (یا حالت‌های مختلف) از خرابی در آینده و یا پیش‌بینی عمر مفید سیستم است که تحت عنوان کلی تخمین "عمر مفید باقیمانده"^۱ (RUL) یاد می‌شود. RUL در واقع مدت زمان تا وقوع خرابی تحت شرایط سابق و براساس رفتار عملیاتی گذشته سیستم است. جمله آخر این تعریف حکایت از اهمیت رفتار گذشته سیستم دارد که سنجش آن بر عهده شاخص قابلیت اطمینان است. در این رویکرد با تشخیص علائم خرابی تخمینی از عمر باقیمانده مفید ارائه می‌شود تا با استفاده از آن تصمیم به موقعی در رابطه با نت اتخاذ شود. از این رو مهندسين در سال‌های اخیر شروع به کاربرد گسترده‌تری از RUL در برنامه‌ریزی نت، بررسی عملکرد سیستم، تخمین قطعات یدکی و ارتقاء بهره‌وری کرده‌اند. در صنعت معدنکاری نیز با توجه به افزایش روزافزون اتوماسیون در معدنکاری و کاربرد هر چه گسترده‌تر ماشین‌آلات در بخش‌های مختلف چرخه تولید مواد معدنی، اهمیت دستیابی به سیستم‌های عملکردی قابل اطمینان در معادن به وضوح روشن شده است. به نحوی که از منظر اقتصادی این قابلیت اطمینان بالا در گرو هزینه‌های پایین نت است. هر چند در گذشته نه چندان دور هزینه‌های نت به عنوان مشکل عمده در معادن مطرح نبوده؛ چرا که پیامدهای ناشی از خرابی همچون خواب سیستم یا هزینه قطعات یدکی به راحتی قابل صرف نظر بود؛ اما در حال حاضر با توجه به هزینه‌های سرسام‌آور نت، قیمت بالای مواد معدنی در بازارهای جهانی و رقابت شدید شرکت‌های معدنی موفقیت از آن کسی است که قادر به کاهش هزینه‌ها و در نتیجه کاهش قیمت تمام تولیدات شده باشد. درست در این نقطه RUL به عنوان کلیدی برای تخمین وضعیت آینده سیستم بر اساس وضعیت فعلی و شرایط کارکردی گذشته در این صنعت مطرح می‌شود. همانطور که اشاره شد، عمر باقیمانده سیستم وابسته به شرایط کارکرد سیستم است. این شرایط و ویژگی‌های محیطی همچون فشار، دما، وضعیت رطوبت و ... که به عنوان "فاکتورهای ریسک" مطرح می‌شوند، به طور بارزی در میزان RUL موثر بوده و صرف نظر از آنها انحرافی بزرگی در نتایج حال به همراه خواهد داشت. با این تفاسیر مشکل اصلی در تعیین RUL توانایی تخمین و پیش‌بینی فرسودگی تجهیزات است. این رویکرد باید منسجم و قابل کاربرد در شرایط واقعی بوده و بر پایه روابط ریاضی مناسب قادر به تخمین وضعیت عملکرد تجهیزات را با کمترین خطا و انحراف نسبت به حالت واقعی باشد. روش پیشنهادی باید ویژگی‌های مختلف عملکردی تجهیزات را پوشش داده و درعین حال با وارد کردن فاکتورهای ریسک در تحلیل‌ها، تخمین‌های واقعی ارائه دهد. در این رساله روش مبتنی بر قابلیت اطمینان برای تخمین عمر مفید باقیمانده در هر بازه از زمان پیشنهاد داده شده است. در ادامه نیز اهمیت موضوع، بیان مسئله، اهداف کار انجام گرفته، مرزبندی تحقیق و ساختار کلی برای رساله مشخص شده است.

۱ - Remaining useful life

۱-۲- ناوگان استخراجی معدن مس سونگون

مجتمع مس سونگون در استان آذربایجان شرقی در ۱۰۰ کیلومتری شمال شرق تبریز و ۲۵ کیلومتری شهرستان ورزقان در ناحیه‌ای کوهستانی واقع شده است. بر اساس آخرین اکتشافات انجام شده و محاسبات انجام شده در بخش ذخیره، میزان ذخیره زمین‌شناسی این کانسار ۹۰۰ میلیون تن با عیار ۰/۶۱ درصد مس برآورد شده است. عملیات اکتشاف از سال ۱۳۶۸ شروع شده و تا کنون بیش از ۲۳۰ گمانه و ۴۰۰۰ متر تونل اکتشافی در آن حفر شده است. این مجتمع شامل بخش‌های معدن، تغلیظ، پشتیبانی، مالی، انبارها، سفارش و خدمات مدیریتی مهندسی است. عملیات استخراجی معدن (حفاری، آتشیاری، بارگیری و باربری) توسط شرکت‌های پیمانکار انجام می‌گیرد و تجهیزات استخراجی از چالزن‌ها، آنفو تراک، شاول‌ها، لودر، بیل مکانیکی، بلدوزر، گریدر و کامیون‌ها (تراک) تشکیل می‌شود. مواد معدنی استخراجی توسط ناوگان به سمت سنگ‌شکن یا دامپ‌های سولفور واقع در شمال و جنوب معدن حمل می‌شود و باطله پله‌های عملیاتی به طرف دامپ‌های باطله واقع در دره پخیر انتقال می‌یابد.

۱-۳- اهمیت و ضرورت تحقیق

در معادن روباز دستیابی به تولید بالا صرفاً با استفاده از ماشین آلات بزرگ امکان پذیر است، سالم و سرپا بودن این ماشین آلات در معادن بزرگ از اهمیت بالایی برخوردار است؛ چراکه از کارافتادگی این ماشین آلات باعث توقف خط تولید و در نهایت توقف کارخانه را به همراه خواهد داشت، لذا باید در نگهداری و تعمیرات این ماشین آلات توجه ویژه‌ای را مبذول داشت. یکی از پارامترهای مهم در این مسئله قابلیت اطمینان این ماشین آلات و جدیداً عمر مفید باقیمانده است، ایده عمر مفید باقیمانده (RUL) مفهوم جدیدی است که رفتار سیستم را تحلیل می‌کند و نتایج واقعی‌تری را ارائه می‌نماید. این مفهوم در واقع پیش‌بینی عمر مفید باقیمانده قبل از وقوع خرابی برای یک سیستم براساس شرایط حاضر و پروفیل عملیاتی گذشته را ارائه می‌دهد؛ بنابراین تخمین RUL به همان اندازه تخمین قابلیت اطمینان سیستم در بهینه‌سازی نت تأثیرگذار خواهد بود؛ زیرا جلوگیری از وقوع خرابی پس از شناسایی آن و تشخیص نحوه تنزیل سیستم، نیازمند اعمال نت به‌موقع با استفاده از یک تخمین صحیح از RUL است. دستیابی به RUL یک سیستم در حال کار مستقیماً متأثر بر شناسایی عملکرد، برنامه‌ریزی فعالیت‌های نت، تخمین قطعات یدکی و مقدار سوددهی آن برای کارفرما است. از سویی دیگر داشتن تخمین هرچه صحیح‌تر از قابلیت اطمینان منجر به پیش‌بینی‌های دقیق‌تر در کاربردهای مختلف از این شاخص شده و در نهایت کمینه‌سازی هزینه‌های کلی را به همراه داشت. با این وجود در

اکثر مطالعات واقعی و بویژه در مطالعات موردی مانند معدن مس سونگون (برخی پیمانکاران همچون شرکت آجین و نوآوران) به دلیل نو بودن سیستم، عدم پایش صحیح سیستم، ناقص بودن اطلاعات ثبت شده، بخشی از اسناد و گاهی عدم امکان ثبت کمی برخی اطلاعات عملکردی سیستم، مشکلاتی را به دنبال داشته و منجر به تشکیل بانک داده ناقص می‌شود. در این رساله برای حل این مشکل از قضاوت متخصصین کمک گرفته خواهد شد. با ترکیب این روش با رویکردهای قبلی قادر به تکمیل بخش ناقص بانک داده بوده و اطلاعات حاصله در تخمین قابلیت اطمینان و RUL سیستم برای پیشنهاد استراتژی نت بکار می‌روند. در تکمیل این رویکرد و به منظور نزدیک‌تر کردن هر چه بیشتر نتایج تحلیل به شرایط واقعی می‌باید، تاثیر شرایط محیطی نیز در تحلیل‌ها وارد شوند؛ زیرا صرف نظر از محیط‌کاری سخت و خشن معدن در تحلیل‌ها، خلل بزرگی در کلیه نتایج حاصله دنبال خواهد داشت، بنابراین اتخاذ تصمیمات صحیح برای سیستم بارگیری معدن سونگون با چالشی بحث برانگیز روبرو است که حل این مسئله نیازمند دانش کافی برای شناسایی رفتار سیستم و شرایط محیطی با استفاده از اطلاعات موجود و نظرات متخصصین دارد.

۱-۴- بیان مسئله

با توجه به توضیحات ذکر شده مواردی که در این رساله دنبال آن هستیم شامل: شرایط محیطی (فاکتورهای ریسک) و نیز تاثیر آن بر تابع و رفتار عملکردی ماشین‌آلات، تخمین عمر باقیمانده مفید و ارائه پیشنهادی برای برنامه نگهداری و تعمیرات سیستم بارگیری است؛ لذا هدف اصلی رساله مطالعه تاثیر شرایط محیطی بر عمر مفید باقیمانده سیستم از طریق بررسی قابلیت اطمینان سیستم و برنامه‌ریزی نت و نیز لحاظ کردن فاکتورهای ریسک مشهود و نامشهود است.

۱-۵- اهداف رساله

هدف اصلی تحقیق، مطالعه عمر مفید باقیمانده سیستم بارگیری (شاول که به علت خرابی‌های متعدد و فرسودگی بیش از حد آن از بیل مکانیکی ۱۲۵۰ PC کوماتسو استفاده شده است) و پیشنهاد برنامه‌ریزی واقعی‌تر نت بر اساس RUL و با لحاظ نمودن تاثیر شرایط محیطی است. اهداف تفصیلی پژوهش را می‌توان به صورت زیر بیان داشت:

- شناسایی سیستم.
- تحلیل قابلیت اطمینان سیستم‌های موجود.
- ارائه مدلی برای تخمین عمر باقیمانده سیستم‌های موجود.

- بحث و ارائه روش‌شناسی آماری برای لحاظ کردن تاثیرات شرایط محیطی بر RUL سیستم.
- پیشنهاد روش‌شناسی مناسب برای شناسایی و تعیین بازه‌های مناسب نت.

۱-۶- فرضیات تحقیق

فرضیاتی که در این پژوهش باید در نظر گرفته شده است بشرح ذیل است.

- صرفاً محیط عملیاتی و نگهداری مورد مطالعه قرار خواهد گرفت .
- تنها محیط معدنی مورد توجه بوده و سایر محیط‌های عملیاتی در این پژوهش مطالعه نخواهد شد.
- فاکتورهای ریسک با توجه به داده‌های قابل اخذ از شرکت‌های پیمانکار و داده‌های تاریخی درج شده در گزارشات تعیین خواهد شد.
- برای ادغام دانش کمی و کیفی، ترکیب اطلاعات موجود، پیش‌بینی رویدادها از رویکرد قضاوت متخصصین استفاده می‌شود.
- سیستم بارگیری در سطح سیستم مورد بررسی قرار خواهد گرفت.
- سیستم بارگیری معدن مس سونگون شامل انواع لودر، بیل مکانیکی و شاول است.
- متخصصین به عنوان افراد صاحب علم یا تجربه یا هر دو در زمینه تعمیرات و نگهداری در نظر گرفته می‌شود.
- در مورد نت بیشتر استراتژی نت پیشگیرانه مبتنی بر زمان مد نظر است.

۱-۷- ساختار رساله

رساله در پنج فصل کلی و یک فصل نتیجه‌گیری تنظیم شده است. در فصل اول یکسری مفاهیم اساسی در رابطه با مهندسی قابلیت اطمینان توضیح داد شده و روش‌های متداول تحلیل قابلیت اطمینان شامل روش‌های کلاسیک و روش‌های مبتنی بر فاکتورهای ریسک برای زیرسیستم‌ها و انواع روش‌های تحلیل قابلیت اطمینان سیستم بررسی شده است. در ادامه فصل مبحث عمر مفید باقیمانده مطرح شده و نحوه تحلیل این شاخص تشریح شده است. در نهایت بحث‌های نگهداری و تعمیرات و انواع استراتژی‌های نت مانند نت اصلاحی، پیشگیرانه و ... شرح داده شده است.

در فصل دوم سابقه علمی موضوع در سه بخش مرور می‌شود که این سه بخش شامل قابلیت اطمینان، عمر مفید باقیمانده و نگهداری، تعمیرات براساس روند کلی رساله تنظیم شده و تلاش شد تا تحقیقات مورد مطالعه عموماً در زمینه معدن یا سیستم مهندسی باشد. این تحقیقات تقریباً از نخستین سال

مطرح شدن موضوع در زمینه تخصصی رساله تا سال ۲۰۱۸ بررسی شده‌اند. در این فصل قابلیت اطمینان خود در دو بخش قابلیت اطمینان کلاسیک و روش‌های رگسیون‌ی مرور شده است. عنوان عمر مفید باقیمانده و متوسط عمر باقیمانده شاید سنگین‌ترین بار این فصل را بر عهده داشته و بیشترین مطالعات مربوط به این قسمت می باشد. در نهایت نت با پیشینه بسیار وسیع خود تنها محدود به زمینه معدنی شده تا از وسعت بیش از حد موضوع در این بخش و خروج از خط اصلی رساله پیشگیری شود.

در چهارمین فصل رساله مطالعه موردی از معدن مس سونگون شامل یک دستگاه بیل مکانیکی انتخاب شد تا با استفاده از اطلاعات و داده‌های واقعی اقدام به صحت سنجی پیشنهادات تئوریک رساله شود. در پنجمین فصل پس از شرح مختصری در مورد معدن، چارچوب اصلی تحقیق مشخص می‌شود. سپس براساس چارچوب ارائه شده فعالیت‌های بعدی بدین شکل طبقه‌بندی می‌شوند که نخست بانک داده براساس اطلاعات گردآوری شده تشکیل شده و داده‌های مورد نیاز از آن استخراج شده، سپس قابلیت اطمینان سیستم براساس مدل مناسب توصیف شده و در مرحله بعد عمر مفید باقیمانده سیستم با رویکردی مبتنی بر قابلیت اطمینان محاسبه می‌شود. در آخرین قدم برنامه ریزی مناسب نت پیشنهاد شده و در مورد نت پیشگیرانه حداقل زمان اجرا و نحوه تاثیر آن بر وضعیت عملکردی سیستم بررسی می‌شود. در آخرین فصل نیز به بحث و بررسی در مورد فعالیت‌های انجام گرفته پرداخته و نتایج بدست آمده بررسی می‌شود.

فصل دوم

مفاهیم اساسی تحقیق



۲-۱- مقدمه

با توجه به اهمیت دارایی‌های فیزیکی بخصوص ماشین‌آلات در پروژه‌های بزرگ عمرانی و معدنی مانند راه، راه‌آهن، سد، کانال‌های انتقال آب، نفت و گاز که به دلیل وابستگی زیاد به ماشین‌آلات، بیش از نیمی از منابع حاضر در پروژه از جمله منابع مالی به ماشین‌آلات اختصاص می‌یابد. بی‌شک یکی از عوامل موثر در اجرای پروژه‌های راه‌سازی و عمرانی و معدنی ماشین‌آلات و تجهیزات است.

باتوجه به اینکه هزینه‌های نگهداری و تعمیرات حدود نیمی از هزینه‌های عملیاتی را به خود اختصاص می‌دهد. برای این نوع ماشین‌آلات همواره نقش نگهداری و تعمیرات بسیار با اهمیت بوده و در زمان بهره‌برداری، درطول عمر ماشین بسیار مؤثر است. به تعبیری دستیابی به استانداردهای اجرای پروژه از هر نظر بدون داشتن تجهیزات و ماشین‌آلات مدرن که مستلزم نگهداری و تعمیر به موقع آن‌ها است، میسر نخواهد بود. مبحث نگهداری و تعمیرات، یکی از مباحث مهم در ماشین‌آلات و تجهیزات پروژه است که از طرق مختلف منجر به افزایش بهره‌وری و رشد و توسعه اجتماعی و کارایی سیستم‌ها می‌شود؛ چرا که در شرایطی فعلی با کمبود منابع اعم از انرژی، نیروی انسانی و سرمایه و ... مواجهه هستیم، این توجه کمک بزرگی در جهت دستیابی به اهداف فوق‌الذکر خواهد نمود.

البته باید گفت که در چند سال اخیر دگرگونی‌هایی در نوع و تولید ماشین‌آلات راه‌سازی و معدنی رخ داده است که باعث تغییر دیدگاه استفاده‌کنندگان ماشین‌آلات شده است. قابلیت اطمینان یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های کیفی قطعات، محصولات و سیستم‌های بزرگ و پیچیده است که در ارزیابی اهداف و بررسی وضعیت فعلی آن‌ها، از نقش و اهمیت قابل توجهی برخوردار است. امروزه لزوم طرح بحث قابلیت اطمینان و عناوین مشابه با آن در تمام جنبه‌های کاربردی به‌صورت یک اصل و نیاز مسلم مورد پذیرش قرار گرفته است.

امروزه عمر مفید باقیمانده^۱ (RUL) به عنوان یکی از ویژگی‌های کلیدی در استراتژی نگهداری و تعمیرات در معادن به رسمیت شناخته شده است؛ درحالی‌که سیستم‌های پیش‌آگهی و پیش‌هشداردهنده در صنعت بسیار کم و نادر استفاده شده است. در این شرایط هدف RUL پیش‌بینی قبل از خرابی است که بر مبنای شرایط فعلی و وضعیت گذشته ماشین و بر اساس شرایط عملکرد واقعی و محیطی مانند دما، فشار و رطوبت و نرخ خوردگی و البته بسیاری از ابهامات که می‌تواند در پیش‌بینی تأثیرگذار باشد، صورت خواهد گرفت.

۱ - Remaining useful life

۲-۲- مهندسی قابلیت اطمینان

رشد مهندسی قابلیت اطمینان را می‌توان به دوره سال‌های قبل از ۱۹۳۰ ارجاع داد. در آن زمان به علت نگرانی از کارکرد صحیح تولیدات و وقوع حوادثی چون کشتی تایتانیک، مطالعه و تحقیقاتی در زمینه طراحی سیستم‌ها با اجزای موازی و یا ذخیره انجام گرفت. سپس در دهه ۱۹۳۰ هم‌زمان با پیدایش صنعت حمل‌ونقل هوایی، مطالعه و تحقیقاتی در خصوص کمی کردن قابلیت اطمینان انجام شد. در دهه ۱۹۴۰ با آغاز جنگ جهانی دوم و ساخت ابزارهای پیچیده نظامی، مبحث مدل‌سازی قابلیت اطمینان توسط لوسر^۱ و مورفی^۲ ارائه گردید.

در دهه ۱۹۶۰ با پیشرفت صنایع هوایی و انگیزه ساختن آپولو، اولین کتاب در این زمینه توسط بازوسکی^۳ تألیف گردید. روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان از نظر تاریخیچه پیدایش، ابتدا در ارتباط با صنایع هوایی و کاربردهای نظامی شکل گرفت، ولی به سرعت توسط سایر صنایع مانند صنایع هسته‌ای بکار گرفته شد که تحت فشار شدیدی برای تضمین ایمنی و قابلیت اعتماد رآکتورهای هسته‌ای در تأمین انرژی الکتریکی بودند. در صنایع فرآیندهای پیوسته مانند صنایع فولاد و صنایع شیمیایی که هر ساعت از توقف آن‌ها به علت وقوع معایب، می‌تواند موجب تحمیل خسارت‌های بزرگ مالی و جانی و آلودگی محیط‌زیست شود، مورد توجه قرار گرفت. قابلیت اطمینان نخستین بار در سال ۱۹۹۰ توسط کمیسیون بین المللی الکترونیک^۴ (IEC) به عنوان معیاری برای توصیف عملکرد قابلیت دسترسی و عوامل مؤثر بر آن: قابلیت اطمینان، قابلیت تعمیرپذیری و عملکرد پشتیبانی تعمیرات و نگهداری (نت) تعریف شد.

اهداف مدیریت قابلیت اعتماد را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد (Barabadi and Markeset, ۲۰۱۱):

- حفظ توجیه اقتصادی سیستم تولیدی و بهینه بودن آن در طول فازهای چرخه عمر.
- کاهش ریسک در زمینه سلامتی، ایمنی، محیط و غیره.
- بهبود کیفیت.
- در نظر گرفتن ملاحظات مربوط به عوامل انسانی و دستیابی به رضایتمندی مشتریان.

۱ - Lusser

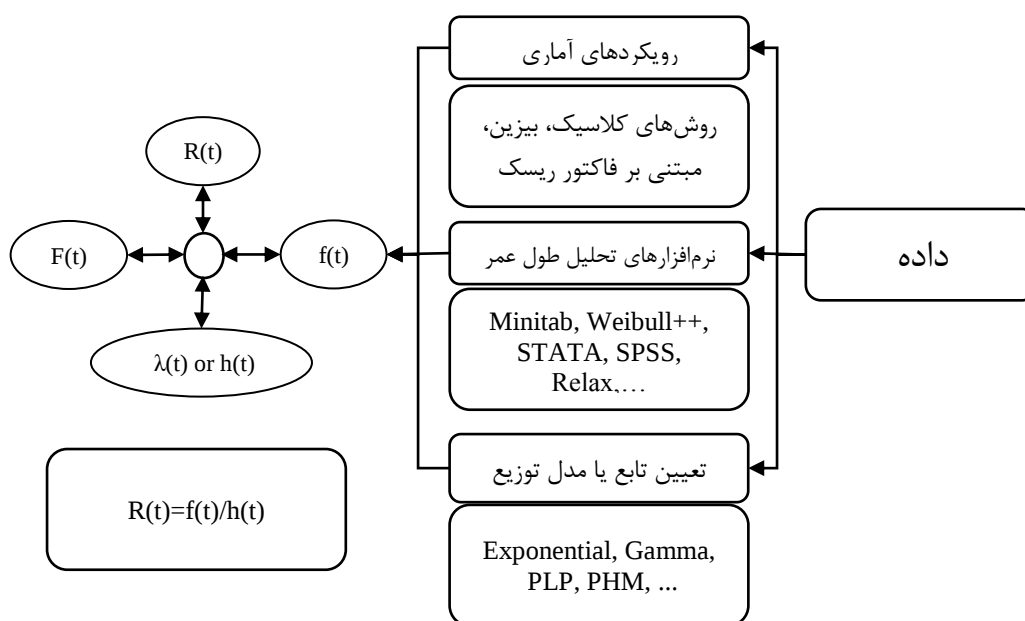
۲ - Murphy

۳ - Bazovsky

۴ - International Electrotechnical Commission

۳-۲- چهار تابع موثر در قابلیت اطمینان

برای توصیف خرابی‌ها به شکل آماری، چهار تابع مختلف اما هم ارز و مرتبط باهم تعریف می‌شود. این توابع عبارت‌اند از: تابع چگالی احتمال توزیع خرابی^۱ با نماد $f(t)$ ، تابع توزیع تجمعی^۲ (CDF) خرابی با نماد $F(t)$ ، متمم $F(t)$ با عنوان تابع قابلیت اطمینان^۳ با نماد $R(t)$ و تابع نرخ خرابی^۴ یا تابع مخاطره^۵ با نماد $\lambda(t)$ یا $h(t)$ وجود دارد. مطابق شکل ۱-۲ پس از ورود داده‌ها، در نخستین گام رویکرد آماری مناسب، نرم‌افزار مربوط انتخاب و در نهایت تابع یا مدل مناسب یکی از توابع اصلی (به عنوان مثال $f(t)$) برازش می‌شود. سه تابع بعدی ($R(t)$ ، $F(t)$ و $\lambda(t)$) با استفاده از این تابع قابل محاسبه است (Dhillon, ۲۰۰۸).



شکل ۱-۲- نمودار پردازش داده‌ها در تحلیل قابلیت اطمینان (Diallo et al., ۲۰۰۹)

نرخ مخاطره به عنوان نرخ وقوع خرابی‌ها در بازه زمانی مشخص $[t_1, t_2]$ در نظر گرفته می‌شود. این نرخ به عنوان احتمال وقوع خرابی در هر واحد زمانی از بازه $[t_1, t_2]$ تعریف می‌شود، به طوری که خرابی تا پیش از t_1 (ابتدای بازه) رخ نداده باشد (Barlow and Proschan, ۱۹۹۶; Pham, ۲۰۰۶).

۱ - Failure distribution density function

۲ - Cumulative Distribution Function

۳ - Reliability function

۴ - Failure rate function

۵ - Hazard function

۴-۲- قابلیت اطمینان

قابلیت اطمینان به عنوان " توانایی یک ابزار در انجام فعالیت مورد نیاز، در یک بازه زمانی مشخص و شرایط محیطی مشخص " تعریف می شود (IEC ۶۰۰۵۰ - International Electrotechnical Vocabulary - Details for IEV number ۱۹۱-۰۲-۰۶: 'reliability (performance)', ۲۰۱۴).

۴-۲-۱- خرابی

خرابی به عنوان عدم توانایی یک ابزار در انجام فعالیت مورد انتظار نیز تعریف می شود (IEC ۶۰۰۵۰ - International Electrotechnical Vocabulary - Details for IEV number ۱۹۱-۰۴-۰۱: 'failure', ۲۰۱۴).

در رابطه با قطعات و اقلام مکانیکی انواع مختلفی از خرابی‌های مکانیکی مانند: خرابی خستگی^۱، خزش یا گسیختگی^۲، خمشی^۳، متالوژیکی^۴، ناپایداری^۵، بارگذاری برشی^۶، ترک خوردگی مواد تشکیل دهنده^۷، فشاری^۸، لهیدگی^۹، تمرکز تنش^{۱۰}، مقاومت کششی نهایی^{۱۱} و مقاومت کششی تسلیم^{۱۲} را می‌توان در نظر گرفت (Misra, ۲۰۰۸).

۴-۲-۲- تابع قابلیت اطمینان

تعریف ریاضی قابلیت اطمینان یک دستگاه یا سیستم به‌طور کلی به‌صورت زیر قابل ارائه است (Dhillon, ۲۰۰۸):

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(x)dx \quad (۱-۲)$$

این تابع در حالت ساده به‌صورت قابلیت اطمینان در زمان t می‌شود. همانطور که شرح داده شد، این کمیت از جنس احتمال بوده و به‌صورت درصد بیان می‌شود.

۱ - Fatigue failure

۲ - Creep or rupture failure

۳ - Bending failure

۴ - Metallurgical failure

۵ - Instability failure

۶ - Shear loading failure

۷ - Material flaw failure

۸ - Compressive failure

۹ - Bearing failure

۱۰ - Stress concentration failure

۱۱ - Ultimate tensile-strength failure

۱۲ - Tensile-yield-strength failure

۲-۴-۳- میانگین زمان منتهی به خرابی‌ها (MTTF)

متوسط زمان منجر به ازکارافتادگی‌های یک دستگاه را میانگین زمان منتهی به خرابی و یا به اختصار MTTF می‌گویند که به صورت رابطه (۲-۲) قابل تعریف است (Dhillon, ۱۹۸۶).

$$MTTF = \int_0^{\infty} \frac{f(t)}{1 - F(t)} dt \quad (2-2)$$

که در آن t زمان $f(t)$ تابع احتمال خرابی $R(t)$ تابع قابلیت اطمینان دستگاه است. در مورد سیستم‌های تعمیرپذیر به جای متوسط زمان منجر به خرابی‌ها، از میانگین زمان بین خرابی‌ها استفاده می‌شود.

۲-۴-۴- متوسط زمان بین خرابی‌ها (MTBF)

میانگین زمان بین خرابی‌ها، متوسط زمان بین خرابی‌های یک سیستم است. اختلاف اساسی بین MTBF و MTTF در موارد استفاده از آن‌ها است. متوسط زمان منجر به خرابی، برای اولین خرابی (یا خرابی غیرقابل تعمیر) و متوسط زمان بین خرابی‌ها، برای زمان کارکرد بین خرابی‌ها استفاده می‌شود (Dhillon, ۲۰۰۸).

۲-۵- فاکتورهای ریسک

در دنیای حقیقی، عمر مفید تجهیزات متأثر از عوامل گوناگون و خرابی‌ها است؛ بنابراین شاخص‌های رفتاری آن‌ها نیز تابعی از زمان و یا عملکرد سیستم و شرایط محیطی کارکرد (Gorjian Jolfaei, ۲۰۱۲) که در برگیرنده عواملی چون محیط اطراف (مانند دما، رطوبت و گردوغبار)، پارامترهای تعیین وضعیت (مانند لرزش و فشار) و ویژگی‌های انسانی یا افراد مانند مهارت اپراتور است. در تحلیل‌های آماری از این عوامل بعنوان فاکتور ریسک (Z) یاد می‌شود. در نهایت داده‌های فاکتور ریسک بر داده‌های "زمان وقوع خرابی" افزوده خواهند شد (Ghodrati and Kumar, ۲۰۰۵).

در جدول ۱-۲ نحوه چیدمان داده‌ها برای انجام تحلیل‌ها نشان داده شده است؛ مطابق این جدول برای هر خرابی، شماره خرابی، زمان وقوع خرابی، وضعیت داده زمانی (کامل یا سانسور شده) و وضعیت فاکتورهای ریسک در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۱-۲- چیدمان داده‌های فاکتورهای ریسک و زمان‌های وقوع خرابی (Kleinbaum, ۲۰۱۱)

شماره خرابی	زمان وقوع خرابی	وضعیت خرابی	فاکتورهای ریسک		
No.Failure	Time to failure	Failure status	Z_1	Z_2	Z_p
۱	t_1	d_1	Z_{11}	Z_{12}	Z_{1p}
۲	t_2	d_2	Z_{21}	Z_{22}	Z_{2p}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
n	t_n	d_n	Z_{n1}	Z_{n2}	Z_{np}

روش‌های تحلیل قابلیت اطمینان می‌توان در دو دسته کلی ذیل تقسیم بندی می‌شوند :

الف- روش‌های کلاسیک

ب- روش‌های مبتنی فاکتورهای ریسک

۲-۶- روش‌های کلاسیک تحلیل قابلیت اطمینان

در این روش‌ها برای تحلیل فقط از داده‌های زمانی استفاده شده و فاکتورهای ریسک در تحلیل قابلیت اطمینان نقشی ندارد^۱ (Hall and Daneshmend, ۲۰۰۳a).

مدل‌های مورد استفاده در تحلیل قابلیت اطمینان به روش کلاسیک: فرآیند پواسن همگن (HPP)^۲، فرآیند تجدیدپذیر (RP)^۳، پواسن ناهمگن (NHPP)^۴، فرآیند تجدیدپذیر مازاد (SRP)^۵، فرآیند تجدیدپذیر منشعب (BRP)^۶، فرآیند پواسن منشعب (BPP)^۷، فرآیند مارکو (MP)^۸ و فرآیند نیمه مارکو (SMP)^۹ را شامل می‌شود (Pijnenburg, ۱۹۹۱).

۱ - Hall and Daneshmend

۲ - Homogeneous Poisson process

۳ - Renewal process

۴ - Non-homogeneous Poisson process

۵ - Superimposed renewal process

۶ - Branching renewal process

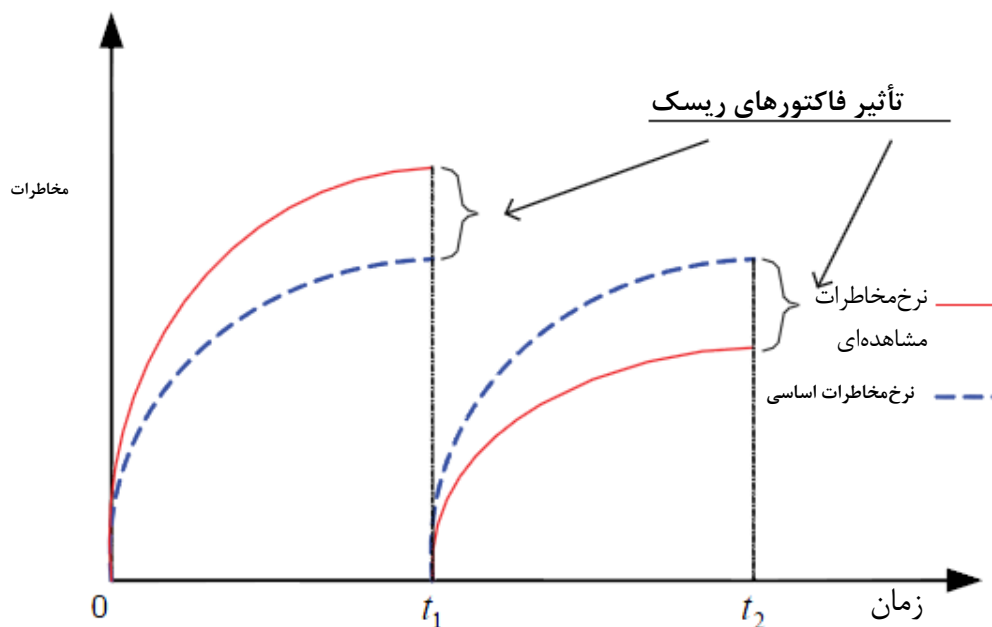
۷ - Branching Poisson process

۸ - Markov process

۹ - Semi-Markov process

۷-۲- مدل‌های مبتنی بر فاکتورهای ریسک

قابلیت اطمینان سیستم تابعی از زمان و شرایط محیط عملیاتی سیستم است؛ بنابراین مطالعه قابلیت اطمینان محصول^۱ نیازمند چارچوبی است که در برگیرنده مسائل فنی، عملیاتی، بازرگانی، مدیریتی و به‌طور کلی فاکتورهای ریسک باشد (Ghodrati and Kumar, ۲۰۰۵b). برای ارائه تخمین‌های بهتر از ویژگی‌های قابلیت اطمینان، در دهه ۱۹۷۰ استفاده از مدل‌های رگرسیون با توجه به توانایی آن‌ها در وارد کردن فاکتورهای ریسک در محاسبات، پیشنهاد شد (Kumar and Gorjian Jolfaei, ۲۰۱۲; Klefsjö, ۱۹۹۴a). این فاکتورهای ریسک به‌طور تصادفی تغییر می‌کنند و ممکن است، زمان وقوع خرابی را نیز تغییر دهند (Gorjian, et al., ۲۰۱۰). در شکل ۲-۲ چگونگی تأثیرات فاکتور ریسک بر "نرخ مخاطره پایه"^۲ ترسیم شده است. در نرخ مخاطره پایه فاکتورهای ریسک تأثیری بر الگوی خرابی نداشته و فقط مبتنی بر زمان است. در ادامه به شرح چهار مدل پرکاربرد از این دسته پرداخته شده است.



شکل ۲-۲- تأثیرات فاکتورهای ریسک بر نرخ مخاطره (Ghodrati and Kumar, ۲۰۰۵a)

۱ - Product

۲ - Baseline hazard rate

۲-۷-۱- مدل نرخ مخاطرات متناسب^۱ (PHM)

مدل‌های مبتنی بر فاکتورهای ریسک در تحلیل قابلیت اطمینان عمدتاً بر اساس مدل نرخ مخاطرات متناسب (PHM) می‌باشند. مدل PHM رویکردی ناپارامتری یا نیمه‌پارامتری است که نخستین بار توسط کاکس برای داده‌های بقا در زمینه پزشکی توسعه یافت (Cox, ۱۹۷۲). این مدل، فرآیند آماری ارزشمندی است که برای تخمین ریسک وقوع خرابی با توجه به ملاحظات شرایط و محیط کارکرد سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل مبتنی بر این فرض است که تابع مخاطره جزء یا بخشی از تجهیزات، ترکیبی از تابع نرخ مخاطره پایه آن و یک عبارت در برگیرنده تأثیرات فاکتورهای ریسک است (Ghodrati et al., ۲۰۰۳). تابع نرخ مخاطره این مدل به صورت رابطه (۲-۳) بیان می‌شود:

$$\lambda(t, z) = \lambda.(t)\psi(z, \alpha) \quad (۲-۳)$$

در این رابطه داریم:

- $\lambda(t, z)$: تابع نرخ مخاطره (متغیر پاسخ)^۲ است. در این رابطه z : فاکتور ریسک (بردار سطری شامل پارامترهای فاکتور ریسک) است که در برگیرنده درجه تأثیر هر فاکتور ریسک بر نرخ مخاطره است و t بیانگر زمان تا وقوع خرابی در یک قلم یا زمان سا لم بودن آن است.
- $\lambda.(t)$: نرخ مخاطره پایه
- $\psi(z, \alpha)$: تابع پیوند^۳ (Martorell et al., ۱۹۹۹)، تابعی است که برای آن حالات مختلفی را می‌توان در نظر گرفت. حالت نمایی $\exp(z\alpha)$ ، حالت لجستیک $\log(1+\exp(z\alpha))$ ، طی معکوس $\frac{1}{1+(z\alpha)}$ ، طی $1 + (z\alpha)$ برخی از این حالت‌ها هستند که حالت نمایی پرکاربردترین آن‌ها است (Kumar and Klefsjö, ۱۹۹۴a).

با فرض حالت تابع نمایی برای تابع $\psi(z, \alpha)$ ، نرخ مخاطره به صورت رابطه (۲-۴) ارائه می‌شود (Kumar and Klefsjö, ۱۹۹۴a):

$$\lambda(t, z) = \lambda.(t)\exp(z\alpha) = \lambda.(t)\exp\left(\sum_{i=1}^n z_i \alpha_i\right) \quad (۲-۴)$$

عامل ضرب $\exp(z\alpha)$ می‌تواند نشان دهنده ریسک خرابی ناشی از حضور فاکتور ریسک باشد. در رابطه $\alpha, z\alpha = \sum_{i=1}^n z_i \alpha_i$ ، بردار ستونی از پارامترهای مجهول مدل یا ضرایب رگرسیون مربوط به

۱ - Proportional hazard model

۲ - Response variable

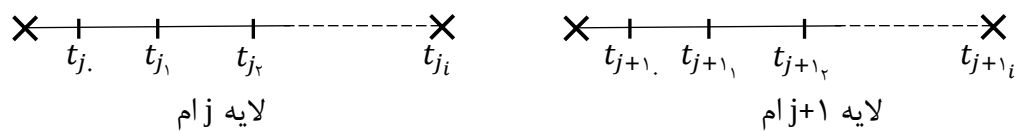
۳ - Link function

فاکتور ریسک است (Kumar and Klefsjö, ۱۹۹۴a). تابع قابلیت اطمینان مدل PHM نیز به صورت رابطه (۵-۲) خواهد بود (Ghodrati, ۲۰۰۵):

$$R(t, z) = R_0(t) \exp\left(\sum_{i=1}^n z_i \alpha_i\right) \quad (۵-۲)$$

۲-۷-۲- مدل رگرسیون لایه‌بندی شده کاکس^۱ (SCRM)

در این مدل لایه‌بندی بر اساس فاکتورهای ریسک وابسته به زمان انجام می‌گیرد. لایه‌های مختلف فاکتورهای ریسک وابسته به زمان بر اساس تجربه یا رویکردهای آماری سطح‌بندی شده و هر سطح از آن به‌عنوان یک لایه در نظر گرفته می‌شود. به عنوان مثال با لایه‌بندی سنگ در دو سطح ماده معدنی و باطله لایه‌بندی شده و قابلیت اطمینان تجهیزات را برای هر لایه به‌طور جداگانه با استفاده از PHM، یا سایر روش‌های کلاسیک محاسبه کرد (Barabadi et al., ۲۰۱۱a). ایده لایه‌بندی در شکل ۳-۲ نشان داده شده است.



شکل ۳-۲ - وضعیتی از لایه‌بندی برای داده‌ها (Barabadi et al., ۲۰۱۱a)

در این شکل j نشان دهنده تعداد لایه‌ها و i تعداد خرابی‌های حادث شده در هر لایه هستند. ایراد عمده SCRM، در نظر گرفتن تأثیرات فاکتورهای ریسک لایه‌بندی شده به‌طور مستقیم در محاسبات است. این روش فاکتورهای ریسک را لایه‌بندی می‌کند و تأثیرات آن‌ها را در توابع پایه ارایه می‌کند که برای هر لایه برازش می‌شوند.

مزیت عمده این روش نیز مبرا بودن از هر نوع فرضی درباره حالت تراکنش بین فاکتورهای ریسک لایه‌بندی و زمان در تحلیل‌ها است. رابطه ریاضی رویکرد SCRM برای تخمین نرخ مخاطره به‌صورت زیر بیان می‌شود (Barabadi et al., ۲۰۱۱b; Ghodrati and Kumar, ۲۰۰۵b):

$$\lambda_s(t, z) = \lambda_{.s}(t) \exp\left(\sum_{i=1}^n z_i \alpha_i\right) \quad s = 1, 2, \dots, r \quad (۶-۲)$$

۱ - Stratified Cox regression model

در این رابطه $\lambda_s(t, z)$ و $\lambda_{.s}$ نرخ مخاطره و نرخ مخاطره پایه در لایه s ام است. تابع قابلیت اطمینان $(R_s(t, z))$ متأثر از فاکتورهای ریسک برای لایه s ام نیز به صورت زیر بیان می شود (Ghodrati et al., ۲۰۰۳):

$$R_s(t, z) = (R_{.s}(t))^{\exp(\sum_{i=1}^n z_i \alpha_i)} \quad s = 1, 2, \dots, r \quad (7-2)$$

در این رابطه $(R_{.s}(t))$ قابلیت اطمینان پایه برای لایه s ام است. از این رویکرد در مطالعات قابلیت اطمینان و تعمیرپذیری تجهیزات صنعتی به هنگام حضور فاکتورهای ریسک وابسته به زمان استفاده می شود. برای هر لایه بهترین توزیع را می توان با استفاده از آزمون های نیکویی برازش کرد (Barabadi et al., ۲۰۱۱a).

۲-۷-۳- مدل نرخ مخاطره متناسب مرکب^۱ (MPHM)

در مدل MPHM نرخ مخاطره سیستم حاصل ضرب نرخ مخاطره اساسی در دو عبارت مثبت است: اولین عبارت تابع فاکتورهای ریسک مشهود و دومین عبارت تابع فاکتورهای ریسک نامشهود (تابع شکستگی)^۲ است. فرض کنید، z ردیف سیستم داشته باشیم، در این تابع نرخ مخاطره برای سیستم در زمان $t > 0$ به صورت زیر خواهد بود (Asfaw and Lindqvist, ۲۰۱۵; Cha and Finkelstein, ۲۰۱۷; Slimacek and Lindqvist, ۲۰۱۴):

$$\lambda_j(t; z; \alpha) = \alpha_j \lambda_{.j}(t) \psi(z; \eta) \quad (8-2)$$

در این رابطه $\lambda_{.j}(t)$ نرخ مخاطره اساسی دلخواه و تنها وابسته به زمان، z بردار ردیفی دربرگیرنده فاکتورهای ریسک مشهود مربوط به سیستم، η بردار ستونی دربرگیرنده پارامترهای رگرسیون برای تعیین میزان تاثیر هر فاکتور ریسک، α_j تابع شکستگی مستقل از زمان برای سیستم j و نشان دهنده میزان تاثیر یک یا یک دسته فاکتورهای ریسک نامشهود است. در این رابطه تابع نرخ مخاطره اساسی را می توان به صورت نامعین و یا با استفاده از توابع معین نظیر ویبول یا فرایند پواسون ناهمگن (NHPP) مدل کرد. برای مقادیر $\alpha_j > 1$ می توان گفت که شکستگی به دلایل غیرقابل توضیح افزایش ریسک خرابی را بدنبال خواهد داشت و برای $\alpha_j < 1$ برعکس است. نحوه توصیف و رفتار $\psi(z; \eta)$ مشابه مدل PHM است.

۱ - Mixed proportional hazard model

۲ - Frailty function

۲-۷-۴- مدل نرخ مخاطره متناسب مرکب توسعه یافته^۱ (EMPHM)

فرض کنید در رابطه (۲-۲۴) تمامی فاکتورهای ریسک وابسته به زمان باشند. به عبارت بهتر فرض تناسب نرخ مخاطره (PH assumption) برقرار نباشد که وضعیت شرایط واقعی هم بیشتر از این حالت پیروی می‌کند. از این رو ارزیابی فرض PH از اهمیت فوق‌العاده‌ای در تصمیم‌گیری برای تاثیر فاکتورهای ریسک برخوردار است (Barabadi et al., ۲۰۱۵)؛ لذا در صورت وجود فاکتور ریسک وابسته به زمان $(z(t))$ نرخ مخاطره به شکل رابطه (۲-۹) خواهد بود (Gutierrez, ۲۰۰۲):

$$\lambda_j(t; z; z(t); \alpha) = \alpha_j \cdot \lambda_j(t) \psi(z, z(t); \eta; \delta) \quad (۲-۹)$$

در این رابطه $z(t)$ بردار ردیفی دربرگیرنده فاکتورهای ریسک مشهود وابسته به زمان، η بردار ستونی دربرگیرنده ضرایب رگرسیون فاکتورهای ریسک مشهود است. از آنجایی که رابطه (۲-۹) نتیجه توسعه یافته از رابطه (۲-۸) است، از این رو از رابطه (۲-۹) به عنوان نرخ مخاطره متناسب مرکب توسعه یافته (EMPHM) در نظر گرفته می‌شود.

برای دو مدل یعنی MPH و EMPHM برای توصیف رفتار فاکتورهای ریسک مشهود از تابع نمایی و برای توصیف شکستگی از تابع گاما با میانگین ۱ و واریانس θ استفاده شده و p_1 نشان‌دهنده فاکتورهای ریسک مستقل از زمان و p_2 فاکتورهای وابسته به زمان را توصیف کند. رابطه کلی به صورت (۲-۱۰) خواهد بود (Gutierrez, ۲۰۰۲):

$$\lambda_j(t; z; z(t); \alpha) = \frac{\alpha^{\frac{1}{\theta}-1} e^{-\frac{\alpha}{\theta}}}{\Gamma(\frac{1}{\theta}) \theta^{\frac{1}{\theta}}} \cdot \lambda_j(t) \exp \left[\sum_{i=1}^{p_1} \eta_i z_i + \sum_{j=1}^{p_2} \delta_j z_j(t) \right] \quad (۲-۱۰)$$

که در این رابطه Γ تابع گاما، η_i نشان‌دهنده ضرایب تاثیر فاکتور ریسک مستقل از زمان i ام (z_i) ، δ_j نشان‌دهنده ضرایب تاثیر فاکتور ریسک وابسته به زمان j ام $(z_j(t))$ می‌باشند. در مدل EPHM برای برقراری ارتباط بین نرخ مخاطره و تابع قابلیت اطمینان $(R(t; z; z(t)))$ می‌توان از تابع شرطی قابلیت اطمینان (جزء یا قلم)^۲ $(R(t; z; z(t)|\alpha))$ استفاده کرد که مشروط به شکستگی (α) است که به صورت رابطه (۲-۱۱) خواهد بود:

$$R(t; z; z(t)|\alpha) = \{R(t; z; z(t))\}^\alpha \quad (۲-۱۱)$$

۱ - Extension mixed proportional hazard model

۲ - Conditional reliability function

تابع قابلیت اطمینان غیرشرطی (جامعه) را نیز می‌توان با انتگرال‌گیری از مقدار (α) نامشهود تخمین زد. اگر تابع چگالی احتمال α با $g(\alpha)$ بیان شود، تابع قابلیت اطمینان غیرشرطی یا جامعه به صورت رابطه (۱۲-۲) است (Gutierrez, ۲۰۰۲):

$$R_{\theta}(t; z; z(t)) = \int_0^{\infty} \{R(t; z; z(t))\}^{\alpha} g(\alpha) d\alpha \quad (12-2)$$

در این رابطه پانویس θ برای R برای تاکید بر وابسته بودن شکستگی به واریانس θ به کار رفته است. همانطور که مشاهده می‌شود، هنوز رابطه تابع قابلیت اطمینان با تابع نرخ مخاطره به علت وجود α به صورت غیرشرطی است، لذا تابع نرخ مخاطره جامعه عبارت است از (Gutierrez, ۲۰۰۲):

$$\lambda_{\theta}(t; z; z(t)) = -\frac{d}{dt} R_{\theta}(t; z; z(t)) [R_{\theta}(t; z; z(t))]^{-1} \quad (13-2)$$

با فرض تابع گاما برای فاکتورهای ریسک نامشهود خواهیم داشت (Gutierrez, ۲۰۰۲):

$$\lambda_{\theta}(t; z; z(t)) = \lambda(t; z; z(t)) [1 - \theta \ln(R(t; z; z(t)))]^{-1} \quad (14-2)$$

$$R_{\theta}(t; z; z(t)) = [1 - \theta \ln\{R(t; z; z(t))\}]^{-1/\theta} \quad (15-2)$$

۲-۷-۵- روش‌های مدل‌سازی قابلیت اطمینان سیستم

برای دستیابی به قابلیت اطمینان کل سیستم باید رفتار و رابطه بین اجزاء آن تحت شرایط مختلف در طول عمر مفید مورد مطالعه قرار گیرد (Barabadi et al., ۲۰۱۱a). در مهندسی تحلیل سیستم، رابطه یک جزء با کل سیستم به وسیله روشی موسوم به "ساختار خرابی سیستم"^۱ مورد شناسایی قرار قرار می‌گیرد (Stapelberg, ۲۰۰۹). سیستم می‌تواند رفتار پویا یا ایستا داشته باشد، بنابراین براساس رفتار، مدل مناسب برای توصیف وضعیت انتخاب خواهد شد (Barabadi et al., ۲۰۱۱a). در شکل ۴-۲ روش‌های معمول و مناسب تحلیل قابلیت اطمینان (در سطح سیستم) را می‌توان مشاهده کرد (Distefano and Puliafito, ۲۰۰۹). از بین روش‌های ایستا نمودار بلوکی قابلیت اطمینان (RBD)^۲ و تحلیل درخت خرابی^۳ به‌طور گسترده تری در تحلیل قابلیت اطمینان و دسترسی سیستم‌های پیچیده به کار گرفته می‌شوند. اگرچه روش‌های نمودار قابلیت اطمینان و تحلیل درخت خرابی معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما این مدل‌ها به علت پیروی از فرض مستقل بودن داده‌ها، از لحاظ ظرفیت

۱ - Systems breakdown structuring

۲ - Reliability block diagram

۳ - Fault tree analysis

مدل‌سازی دچار محدودیت می‌باشند (Distefano and Puliafito, ۲۰۰۹). مدل‌های مذکور فاقد هرگونه تجسم یا توانایی برای مدل‌سازی قابلیت اطمینان در سیستم پویا می‌باشند. منظور از تحلیل پویا، ارزیابی مکان‌شناسی^۱ پیکربندی سیستم از منظر قابلیت اطمینان است (Distefano, ۲۰۰۵; Distefano and Xing^۲, ۲۰۰۶; Distefano and Puliafito, ۲۰۰۷). از این رو روش‌های نمودار بلوکی قابلیت اطمینان پویا و نمودار فاز قابلیت اطمینان^۳ برای مدل‌سازی وابستگی‌ها^۴ و روابط اجزاء در سیستم پویا ارائه شدند که در واقع توسعه‌ای از روابط RBD هستند (Distefano, ۲۰۰۵; Remenyte-Prescott et al.^۵, ۲۰۱۰). در جدول ۲-۲ سایر مدل‌های مبتنی بر فاکتورهای ریسک ذکر شده‌اند.

جدول ۲-۲- سایر مدل‌های مبتنی بر متغیر ریسک

نام مدل	فرمول
مدل مخاطرات متناسب نیمه-پارامتریک ^۶ (مدل WPHM ^۷ , LPHM ^۸ و EPHM ^۹ حالت نیمه پارامتریک از PHM) (Lakshmi and Sundari, ۲۰۱۲)	$\lambda(t, z) = \left(\frac{\beta}{\theta}\right) \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \exp(\alpha z)$
مدل مخاطرات متناسب لایه‌بندی شده ^{۱۰} (SPHM or SCRM) (Barabadi et al., ۲۰۱۱b)	$\lambda_j(t, z(t)) = \lambda_{oj}(t) \exp(\alpha z(t))$
مدل زمان خرابی شتاب‌یافته ^{۱۱} (AFTM) (Barabadi et al., ۲۰۱۰)	$\lambda(t, z(t)) = \lambda_o(t \cdot \exp(\alpha z(t))) \cdot \exp(\alpha z(t))$
مدل رگرسیون مخاطرات گسترش یافته ^{۱۲} (EHRM) (Gorjian Jolfaei, ۲۰۱۲)	$\lambda(t, z(t)) = \lambda_o(t \cdot \exp(\beta z(t))) \exp(\alpha z(t))$
مدل بخت‌های متناسب ^{۱۳} (POM) (Gorjian Jolfaei, ۲۰۱۲)	$\frac{\lambda(t, z(t))}{1 - \lambda(t, z(t))} = \frac{\lambda_o(t)}{1 - \lambda_o(t)} \exp(\alpha z(t))$

۱ - Topology

۲ - Distefano and Xing

۳ - Reliability phase diagram

۴ - Dependencies

۵ - Remenyte-Prescott

۶ - Semi-parametric proportional hazard model

۷ - Weibull proportional hazard model

۸ - Lognormal proportional hazard model

۹ - Exponential proportional hazard model

۱۰ - Stratified proportional hazard model or Stratified Cox regression model

۱۱ - Accelerated failure time model

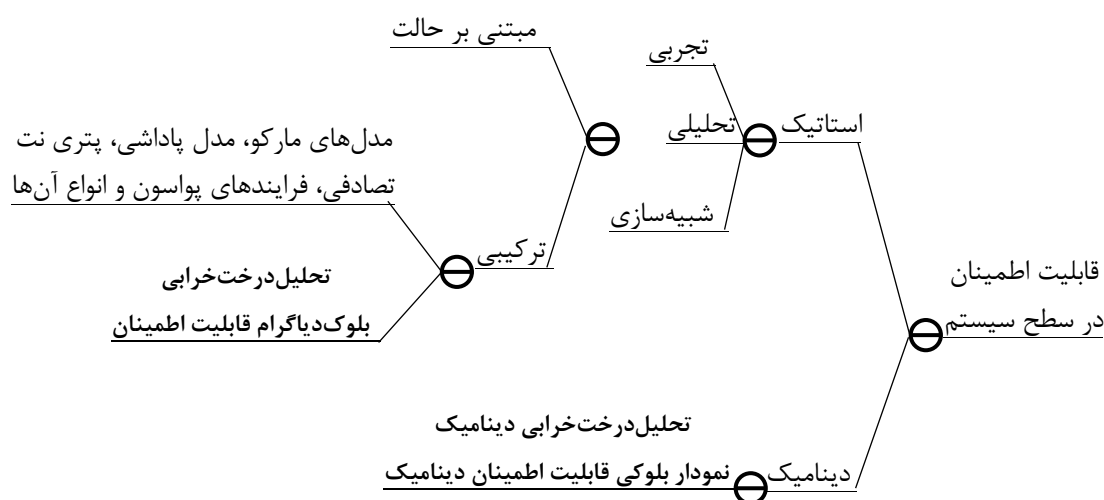
۱۲ - Extended hazard regression model

۱۳ - Proportional odds model

$\lambda(t, z(t)) = \lambda_o(t) + \exp(az(t))$	مدل مخاطرات افزودنی ^۱ (AHM) (Pijnenburg, ۱۹۹۱)
$\lambda(t, z(t)) = Y(t)\alpha(t)$	مدل رگرسیون خطی آلن ^۲ (ALRM) (Kumar and Westberg, ۱۹۹۶)
$\lambda(t, z(t)) = \exp(\beta w(t)) + \lambda_o(t)\exp(\alpha v(t))$	مدل مرکب ^۳ (Gorjian Jolfaei, ۲۰۱۲)
$z(t) = c(t)\lambda(t)$	مدل فاکتورهای ریسک متناسب ^۴ (PCM) (Ghodrati, ۲۰۰۵)
$\lambda(t, z(t)) = \lambda_{.j}(t)\exp(z\alpha_j)$	مدل شدت متناسب ^۵ (PIM) (Prasad and Rao, ۲۰۰۲)
$\lambda(t, z) = \lambda_{.}(t)\exp(az(t))$	مدل رگرسیون کاکس گسترش یافته (ECRM) (Barabadi et al., ۲۰۱۱b)

برخی نمادهای تعریف نشده در PHM

$Y(t)$ یک ماتریس $r \times (n + ۱)$	$(w(t), v(t))$ بردار فاکتورهای ریسک
$c(t)$ تابع فاکتور ریسک پایه	$\theta = (\beta, \alpha)$ بردار ضرایب رگرسیون



شکل ۴-۲- روش های تحلیل قابلیت اطمینان در سطح سیستم

۱ - Additive hazard model

۲ - Aalen linear regression model

۳ - Mixed model or additive-multiplicative

۴ - Proportional covariate model

۵ - Proportional intensity model

۲-۸- عمر مفید باقیمانده

عمر مفید باقیمانده (RUL) برای اجزا و قطعات در واقع زمان باقیمانده کارکرد صحیح قبل از وقوع خرابی در آنها است. زیونگزی و همکاران عمر باقیمانده را از زمان جاری تا انتهای عمر مفید هر قطعه تعریف می‌کنند (Xiongzi et al., ۲۰۱۱).

کلمه مفید در RUL تأکید بر جنبه‌های اقتصادی و عمر باقیمانده یک دارائی دلالت دارد. عمر فنی یک قطعه در یک ماشین صنعتی اغلب بیش از عمر اقتصادی آن قطعه است. این امر مخصوصاً در صنایع خودروسازی که شرایط مناسب‌تری را برای جذب مشتریان جدید به عمل می‌آورند، بسیار حایز اهمیت است. محققان اغلب از شرکت‌های سازنده برآورد زمان عمر باقیمانده قطعات و تجهیزات را مورد پرسش قرار می‌دهند. پرسش اصلی این است که یک ماشین و یا قطعه معمولی (به‌عنوان مثال یک گیربکس) برای چند سال می‌تواند کارایی داشته باشد. به‌صورت کلی میزان فشار وارده روی دستگاه به‌طور تقریبی ثابت است، اما در آینده ممکن است، این میزان فشار که به دستگاه وارد می‌شود، افزایش پیدا کند. در این موارد باید از فرمول‌های تئوری عمر برای دنده‌ها و نیز تاریخچه باربری روی ماشین استفاده نمود. مفهوم RUL به‌صورت وسیع و گسترده‌ای در تحقیقات قابلیت اطمینان - آمار پایه و عملیاتی به همراه برنامه‌های کاربردی مهم استفاده می‌شود. RUL تخمینی است که به‌عنوان یک فاکتور کلیدی برای عملیات نگهداری مبتنی بر شرایط شناخته می‌شود (Lee and Whitmore, ۲۰۰۶; Wang, ۲۰۰۷; Wang and Zhang, ۲۰۰۸) نقش مهمی در تولیداتی که امکان استفاده مجدد یا بازیافت و نیز از نظر استراتژیک در مصرف انرژی و مواد اولیه مهم هستند، دارد (Mazhar et al., ۲۰۰۷). طول عمر محصولاتی که مورد استفاده مجدد قرار می‌گیرند، باید به اندازه کافی زیاد باشد تا مجدداً بعد از تعمیر قابل استفاده شوند. همین امر اهمیت برآورد RUL، برای عملیات نگهداری و تعمیرات مبتنی بر شرایط (CBM) را خاطر نشان می‌سازد.

۲-۸-۱- تخمین عمر مفید باقیمانده مبتنی بر قابلیت اطمینان

عمر مفید باقیمانده یا متوسط عمر باقیمانده (L) را می‌توان به‌صورت زیر محاسبه کرد، اگر $MTTF(t)$ متوسط زمان مورد انتظار تا خرابی در سیستم با عمر t باشد، خواهیم داشت (Ghodrati, Kumar, et al., ۲۰۱۲):

$$L(t) = E(T - t | T \geq t) = MTTF(t) = \int_t^{\infty} (t - t.)f(t|t.)dt \quad t \geq 0 \quad (۱۶-۲)$$

بطوریکه $f(t|t_0)$ تابع شرطی چگالی احتمال خرابی در زمان t و بشرطیکه که تا زمان t_0 خرابی رخ نداده باشد، تعریف میشود:

$$f(t|t_0) = h(t) \times R(t|t_0) \quad t > t_0. \quad (17-2)$$

$R(t|t_0)$ نیز قابلیت اطمینان شرطی سیستم و تا مدت زمان t خرابی در سیستم رخ ندهد، می باشد. بدیهی است که در این صورت سیستم تا زمان t_0 نیز سالم خواهد بود؛ لذا رابطه (17-2) به صورت رابطه (18-2) نوشته می شود:

$$f(t|t_0) = h(t) \times \frac{R(t)}{R(t_0)} \quad (18-2)$$

$$f(t|t_0) = \frac{f(t)}{R(t_0)} \quad t > t_0. \quad (19-2)$$

با استفاده از رابطه (16-2) و (19-2) خواهیم داشت:

$$MTTF(t_0) = \int_{t_0}^{\infty} t \times \frac{f(t)}{R(t_0)} dt - \int_{t_0}^{\infty} t_0 \times \frac{f(t)}{R(t_0)} dt \quad (19-2)$$

برای قسمت دوم رابطه (19-2) داریم:

$$\int_{t_0}^{\infty} t_0 \times \frac{f(t)}{R(t_0)} dt = \frac{t_0}{R(t_0)} \int_{t_0}^{\infty} f(t) dt = \frac{t_0}{R(t_0)} [F(t)_{t_0}^{\infty}] = \frac{t_0}{R(t_0)} [1 - F(t_0)] = \frac{t_0}{R(t_0)} [R(t_0)] = t_0. \quad (20-2)$$

با استفاده از رابطه (20-2) برای (19-2) خواهیم داشت:

$$MTTF(t_0) = \frac{1}{R(t_0)} \int_{t_0}^{\infty} t \times f(t) dt - t_0. \quad (21-2)$$

از توسعه انتگرال رابطه (21-2) داریم:

$$MTTF(t_0) = \frac{1}{R(t_0)} \left(\int_{t_0}^{\infty} t \times f(t) dt - \int_{t_0}^{t_0} t \times f(t) dt \right) - t_0. \quad (22-2)$$

در این رابطه انتگرال اول همان $MTTF = \int_{t_0}^{\infty} t \times f(t) dt$ است. برای انتگرال دوم، اگر $f(t)$ را براساس $R(t)$ بازنویسی کنیم خواهیم داشت:

$$f(t) = -\dot{R}(t) \Rightarrow f(t) = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (23-2)$$

$$\int_{\cdot}^{t_{\cdot}} t \times f(t) dt = \int_{\cdot}^{t_{\cdot}} t \times \left(-\frac{dR(t)}{dt} \right) dt = \int_{\cdot}^{t_{\cdot}} -t dR(t) \quad (24-2)$$

برای انتگرال رابطه (24-2) با استفاده از روش جز به جزء داریم:

$$\begin{cases} u = -t \\ du = dR(t) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} du = -dt \\ u = R(t) \end{cases} \quad (25-2)$$

$$\int_{\cdot}^{t_{\cdot}} -t dR(t) = -t R(t) \Big|_{\cdot}^{t_{\cdot}} + \int_{\cdot}^{t_{\cdot}} R(t) dt \quad (26-2)$$

$$\int_{\cdot}^{t_{\cdot}} t \times f(t) dt = -t \cdot R(t_{\cdot}) + \int_{\cdot}^{t_{\cdot}} R(t) dt \quad (27-2)$$

براساس رابطه (22-2) و (27-2) خواهیم داشت:

$$MTTF(t_{\cdot}) = \frac{1}{R(t_{\cdot})} \left(MTTF - \left(-t \cdot R(t_{\cdot}) + \int_{\cdot}^{t_{\cdot}} R(t) dt \right) \right) - t_{\cdot} \quad (28-2)$$

$$MTTF(t_{\cdot}) = \frac{MTTF - \int_{\cdot}^{t_{\cdot}} R(t) dt}{R(t_{\cdot})} \quad (29-2)$$

از آنجایی که برای MTTF داریم:

$$MTTF = \int_{\cdot}^{\infty} t f(t) dt = \int_{\cdot}^{\infty} R(t) dt \quad (30-2)$$

لذا رابطه (29-2) و (30-2) فرمول کلی عمر مفید باقیمانده ($RUL(t)$) به صورت رابطه (31-2) است:

$$MTTF(t_{\cdot}) = \frac{MTTF - \int_{\cdot}^{t_{\cdot}} R(t) dt}{R(t_{\cdot})} = \frac{\int_{\cdot}^{\infty} R(t) dt - \int_{\cdot}^{t_{\cdot}} R(t) dt}{R(t_{\cdot})} = \frac{\int_{t_{\cdot}}^{\infty} R(t) dt}{R(t_{\cdot})} \quad (31-2)$$

۲-۸-۲- ارتباط عمر مفید باقیمانده با نرخ مخاطره

تجربه نشان می‌دهد برای اغلب ماشین‌آلات و تجهیزات، نرخ مخاطره یا خرابی سیستم در شروع دوره کار بالا بوده، سپس کاهش یافته^۱ (DFR) در ادامه به مقدار ثابتی^۲ (CFR) رسیده و نهایتاً در آخرین

۱ - Decreasing failure-rate

۲ - Constant failure-rate

مرحله مجدداً افزایش^۱ (IFR) می‌یابد. معمولی‌ترین منحنی برای نرخ‌های خرابی تجهیزات در طول زمان نمودار وانی (لگنی)^۲ و نرخ مخاطره که دارای این شکل باشد را نرخ مخاطره شکل وان (DIB) (یا کاهشی-افزایشی) نامیده که در شکل ۲-۵ ترسیم شده است. البته در مباحث قابلیت اطمینان نمودار نرخ مخاطره برعکس وان^۳ (IDB) نیز مطرح است (Kumar et al., ۱۹۸۹; Tang et al., ۱۹۹۹).

سه ناحیه مشخص شده در این شکل به صورت زیر توصیف می‌شوند:

ناحیه (۱): منحنی نزولی در قسمت چپ نمودار بیانگر نرخ خرابی بالا در بخش آغازین هر چرخه عمر از تجهیزات است. مشکلات مربوط به دوران اولیه چرخه عمر معمولاً به علت اشتباهات موجود در طراحی، جایگذاری، نصب نادرست، بهره برداری توسط افرادی که به میزان کافی آموزش ندیده اند و غیره است. از این فاز عموماً به نام " فازمرگ و میر نوزادی یا مرحله وقوع اشکالات اولیه"^۴ یاد می‌شود (Barabady and Kumar, ۲۰۰۵). به منظور کاهش نرخ خرابی بالای موجود در این ناحیه می‌توان به وسیله اعمال آزمون‌های اولیه^۵ خرابی‌ها را شناسایی و کنترل کرد (کنترل کیفیت) (Amer, Zohair Richar, Fernando, ۲۰۰۹). جالب توجه است که در دوران جا افتادگی سیستم، اعمال عملیات پیشگیری شامل تعویض قطعات (نوسازی) نه تنها به حال سیستم نافع نخواهد بود، بلکه، احتمال و سرعت خرابی‌ها را نیز افزایش خواهد داد. به عنوان مثال تعویض رینگ‌ها و سایر قطعات فرسایشی داخل موتور اتومبیل‌های نو که دارای کارکرد کم‌تر از ۲۰۰۰ کیلومتر دارند، احتمال خرابی اضطراری در موتورها را افزایش خواهد داد، به همین منظور در این دوران توصیه می‌شود که موتورها در دور کم کار کنند تا از بروز خرابی در آن‌ها جلوگیری شود.

۱ - Increasing failure-rate

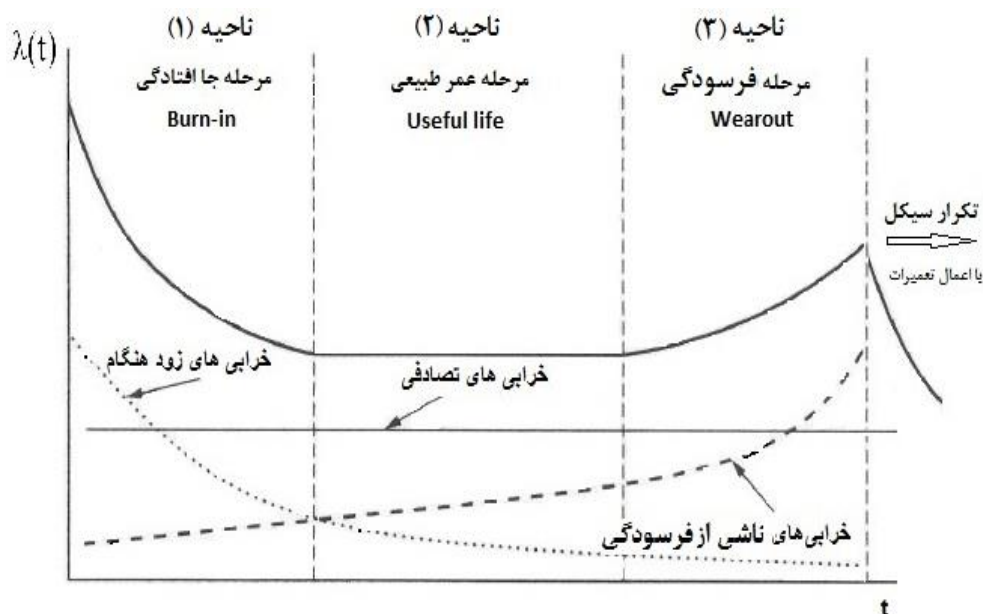
۲ - Bathtub Curve

۳ - Upside-down bathtub shape

۴ - Burn-in period or Debugging phase or Infant mortality

۵ - Burn-in testing

۶ - Quality control



شکل ۲-۵- نمودار وان حمام (برگرفته از (Kumar et al., ۱۹۸۹))

ناحیه (۲): مرحله بعد در چرخه عمر را « دوره عمر مفید یا مرحله عملکرد عادی » می نامند. این مرحله از سیستم با نرخ ثابت خرابی شناخته می شود. وقوع خرابی در این ناحیه صرفاً تصادفی بوده و این بخش تنها ناحیه ای است که در آن می توان از تابع توزیع نمایی در ارزیابی قابلیت اطمینان استفاده کرد (Barabady and Kumar, ۲۰۰۵; Aamer, Zohair Richar, Fernando, ۲۰۰۹; Billinton and Allan, ۲۰۱۳).

ناحیه (۳): این ناحیه از چرخه عمر سیستم به نام « مرحله فرسایش و یا خستگی »^۲ شناخته می شود ، در این فاز عموماً نرخ خرابی افزایش می یابد، در آن نیاز به سرویس و نت به طور چشمگیری افزایش می یابد (Barabady and Kumar, ۲۰۰۵)، که این اتفاق می تواند در نتیجه کاهش اقدامات نت پیشگیرانه یا تعویض قطعات حاصل شود. نت پیشگیرانه و تعویض قطعات تنها در این مرحله صورت می گیرد، زیرا تعویض در این مرحله از وقوع خرابی جلوگیری نموده و نهایتاً سبب افزایش قابلیت اطمینان سیستم خواهد شد. برعکس، تعویض قطعات در دو مرحله قبلی باعث افزایش قابلیت اطمینان نخواهد شد، زیرا ریشه عوامل خرابی در مسائل کیفیتی، خطاهای انسانی و محیطی است. (Ri Char, Fernando, ۲۰۰۹). لذا می توان گفت: زمانی که کارکرد سیستم نیازمند نت و منابع زیادی است، در مرحله ۱ یا ۳ از چرخه عمر خود قرار دارد و مرحله ۲ در مقایسه با آن ها نیازمند نت و منابع کمتری است (Barabady and Kumar, ۲۰۰۵). فواصل زمانی بهینه نت پس از بررسی ها و

۱ - Useful life period or Normal operating phase

۲ - Wear-out period or fatigue phase

تحلیل‌های انجام گرفته روی داده‌های خرابی تعیین شده و سپس مورد ارزیابی اقتصادی قرار می‌گیرد، ممکن است در این بررسی‌ها به این نتیجه رسیده که انجام تعمیرات اساسی مقرون به‌صرفه نبوده و نیازمند جایگزینی کل ماشین یا از رده خارج کردن آن باشد. این سیاست در مورد ماشین آلات کوچک تا متوسط قابل اجرا است. حال آن‌که، برای ماشین‌ها و سیستم‌های صنعتی بزرگ که به صورت سفارشی مخصوص یک صنعت ساخته شده‌اند، ممکن است، از رده خارج کردن ماشین در دوران فرسودگی مقرون به‌صرفه نباشد. در این شرایط به جای از رده خارج کردن، تعمیرات اساسی (تعمیرات کلی)^۱ روی ماشین صورت می‌گیرد. در تعمیرات اساسی فرض بر آن است که کلیه قسمت‌ها و زیر سیستم‌ها نوسازی شده و سیستم تقریباً به حالت نو باز گردانده شده، لذا سیکل عمر مطابق شکل ۲-۵، مجدداً تکرار می‌شود (Zio, ۲۰۰۷).

برای ارتباط سه ناحیه (IFR, DFR و CFR)، دو حالت کلی (DIB و IDB) و عمر مفید باقیمانده می‌توان شرایط ذیل را بیان داشت (Guess and Proschan, ۱۹۸۸; Høyland and Rausand, ۱۹۹۴; Tang et al., ۱۹۹۹):

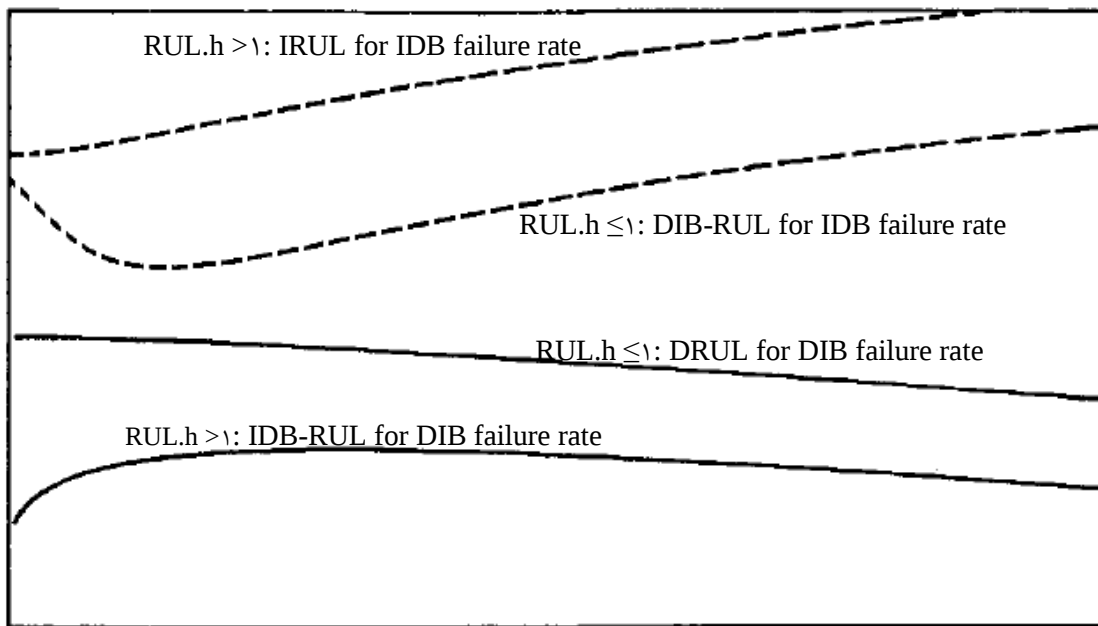
۱- اگر سیستم در بازه زمانی $t > 0$ دارای نرخ مخاطره DFR باشد، RUL افزایشی (IRUL) خواهد بود.

۲- اگر سیستم در بازه زمانی $t > 0$ دارای نرخ مخاطره IFR باشد، RUL کاهشی (DRUL) خواهد بود، در این حالت تابع RUL نیز کاهشی می‌باشد.

۳- اگر سیستم در بازه زمانی $t > 0$ دارای نرخ مخاطره CFR باشد، RUL ثابت (CRUL) خواهد بود.

۴- اگر سیستم در بازه زمانی $t > 0$ دارای نرخ مخاطره (h) دارای شکل IDB باشد، برای $RUL.h \leq 1$ ، RUL دارای نمودار وانی (DIB-RUL) بوده، در غیراینصورت برای $RUL.h > 1$ در تمام طول بازه t دارای IRUL خواهد بود. (شکل ۲-۶)

اگر سیستم در بازه زمانی $t > 0$ دارای نرخ مخاطره مخاطره (h) دارای شکل DIB باشد، برای مقادیر $RUL.h > 1$ ، RUL دارای نمودار عکس وانی (IDB-RUL) بوده، در غیراینصورت برای $RUL.h \leq 1$ در تمام طول بازه t دارای DRUL خواهد بود. (شکل ۲-۶)



شکل ۲-۶- تغییرات RUL براساس نرخ مخاطره IDB و DIB (Tang et al., ۱۹۹۹)

برای عمر مفید باقیمانده دو حالت دیگر نیز در ارتباط با نرخ مخاطره تعریف می‌شود (Hoyland and Rausand, ۱۹۹۴; Tang et al., ۱۹۹۹)

حالت اول: اگر $RUL(0) = MTTF \geq RUL(t)$ در تمام بازه $t > 0$ باشد، در این صورت سیستم دارای تابع تجمعی (F) "جدید بهتر از مورد انتظار، در مقایسه با آنچه که استفاده می‌شد" (NBUE) است؛ همچنین اگر تابع شرطی قابلیت اطمینان $(R(t|x))$ در مقایسه با تابع قابلیت اطمینان $(R(x))$ بصورت زیر باشد:

$$R(t|x) = \frac{R(t+x)}{R(x)} \leq R(t) \quad t \geq 0, x \geq 0 \quad (2-22)$$

در این حالت تابع تجمعی "جدید بهتر از آنچه که استفاده می‌شد" (NBU) تعریف می‌شود. بصورت مختصر خواهیم داشت:

$$IFR \rightarrow NBU \rightarrow NBUE$$

حالت دوم: اگر $RUL(0) = MTTF \leq RUL(t)$ در تمام بازه $t > 0$ باشد، در این صورت سیستم دارای تابع تجمعی (F) "جدید بدتر از مورد انتظار، در مقایسه با آنچه که استفاده می‌شد" (NWUE) است؛

۱ - New better than used in expectation

۲ - New worse than used in expectation

همچنین اگر تابع شرطی قابلیت اطمینان $(R(t|x))$ در مقایسه با تابع قابلیت اطمینان $(R(x))$ بصورت زیر باشد:

$$R(t|x) = \frac{R(t+x)}{R(x)} \geq R(t) \quad t \geq 0, x \geq 0 \quad (2-33)$$

در این حالت تابع تجمعی "جدید بدتر از آنچه که استفاده می‌شد" (NWU) تعریف می‌شود. لذا خواهیم داشت:

$$DFR \rightarrow NWU \rightarrow NWUE$$

۲-۹- نگهداری و تعمیرات (نت)

نگهداری و تعمیرات (نت) را می‌توان به‌عنوان ترکیبی از تمام اقدامات فنی و فعالیت‌های مدیریتی و نظارتی، برای اطمینان از انجام فعالیت مورد انتظار توسط یک جزء، قطعه، تجهیزات یا سیستم به هنگام نیاز تعریف کرد (IEC 60050 - International Electrotechnical Vocabulary - Details, 2014, 'maintenance', 191-07-01: for IEV number).

مهم‌ترین عناصر مهندسی نت را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد (You et al., 2011):

- ۱- هدف: بیشینه‌سازی قابلیت دسترسی متوسط سیستم، کمینه‌سازی نرخ متوسط هزینه‌های نت در افق زمانی نامحدود، کمینه‌سازی اتلاف تولید ناشی از نت در بازه زمانی محدود.
- ۲- سیاست نت: سیاست ادواری^۱، سیاست کنترل شده، سیاست پیوسته و غیره.
- ۳- کیفیت یا میزان تأثیر نت^۲: انجام نت پیشگیرانه کامل^۳ که سیستم را به حالت و کارایی مناسب سیستم جدید^۴ (GAN) باز می‌گرداند و نت پیشگیرانه کمینه^۵ که سیستم را به حالت و بدی سیستم قدیم^۶ (BAO) باز می‌گرداند.
- ۴- بررسی ویژگی‌های تنزیل^۷: مانند توزیع‌های عمر، مدل‌های آماری، مارکوف.
- ۵- محدودیت‌های نت: مانند منابع نت، قطعات یدکی، غیره.

۱ - Periodic policy

۲ - Maintenance quality/effect

۳ - Perfect preventive maintenance

۴ - As good as new

۵ - Minimal repair or minimal maintenance

۶ - As bad as old

۷ - Degradation

معمولاً تأثیر فعالیت‌های نت و حیات‌بخشی^۱ در وضعیت اجزاء بر اساس دو حالت ذیل تعریف می‌شود. در نخستین احتمال فرض بر آن است که جزء پس از نت به حالت GAN باز می‌گردد، یعنی عمر سپری شده آن پس از اعمال نت به حالت اولیه (صفر) باز می‌گردد (Martorell et al., ۱۹۹۹). این نوع تعمیرات به‌عنوان نت یا تعمیرات کامل شناخته می‌شود. تعمیرات اساسی در کارخانه‌ها یا تعویض کل سیستم مثالی از این نوع نت است (Pham and Wang, ۲۰۰۶; El-Ferik and Ben-Daya, ۱۹۹۶). در دومین احتمال فرض می‌شود که نت، سیستم را در حالت BAO رها می‌کند؛ یعنی عمر جزء پس از نت تقریباً برابر با عمر پیش از اعمال نت می‌شود (Martorell et al., ۱۹۹۹)، به عبارت دیگر با این نت، نرخ خرابی سیستم به حالت قبل از وقوع خرابی باز می‌گردد. این نوع تعمیرات به‌عنوان تعمیرات یا نت کمینه شناخته می‌شود. پنچرگیری لاستیک یا تعویض تسمه‌پروانه مثال‌هایی از این نوع می‌باشند، چراکه نرخ مخاطره کلی ماشین ضرورتاً تغییری نمی‌کند (Pham and Wang, ۱۹۹۶; El-Ferik and Ben-Daya, ۲۰۰۶). متأسفانه این دو وضعیت برای توصیف چگونگی تأثیرات واقعی فعالیت‌های نت و بازگردانی بر عمر جزء کفایت نمی‌کند. در حقیقت در هر فعالیت نت، وضعیت جزء بسته به تأثیر آن نت تا درجه‌ای بهبود می‌یابد (سیستم جوان‌تر می‌شود)، لذا از این فرض با عنوان نت یا تعمیرات ناقص^۲ نام برده می‌شود. این مدل در واقع حالت عام مدل‌های BAO و GAN است (Martorell et al., ۱۹۹۹) و سیستم را به حالتی بین GAN و BAO انتقال می‌دهد. تنظیم موتور ماشین مثالی برای این نوع نت است. حالت دیگر تعمیرات، تعمیرات بد یا نت بد^۳ است که فعالیت نت سبب افزایش نرخ مخاطره یا کاهش عمر سیستم می‌شود، ولی خرابی در سیستم رخ نمی‌دهد؛ بنابراین، در این حالت وضعیت سیستم پس از نت بدتر از حالت اولیه می‌شود. نهایتاً تعمیرات می‌تواند به‌صورت بدترین تعمیرات یا نت^۴ باشد که در این حالت فعالیت نت سبب بروز خرابی در سیستم می‌شود. تعمیر اشتباهی جزئی که خراب نیست، تعمیر ناقص جزء خراب، تعمیر جزء خراب به همراه برهم زدن تنظیمات سیستم، تشخیص نادرست محل خرابی و اجرای فعالیت نت در زمان نامناسب مثال‌هایی از نت بد و بدترین نت می‌باشند (Pham and Wang, ۲۰۰۶; El-Ferik and Ben-Daya, ۱۹۹۶).

از سوی دیگر برای اثربخشی نت لازم است، فعالیت‌های آن در بخش مشخصی انجام گیرد. تعریف مختصری از استراتژی‌های اصلی به شرح زیر است (شکل ۲-۷):

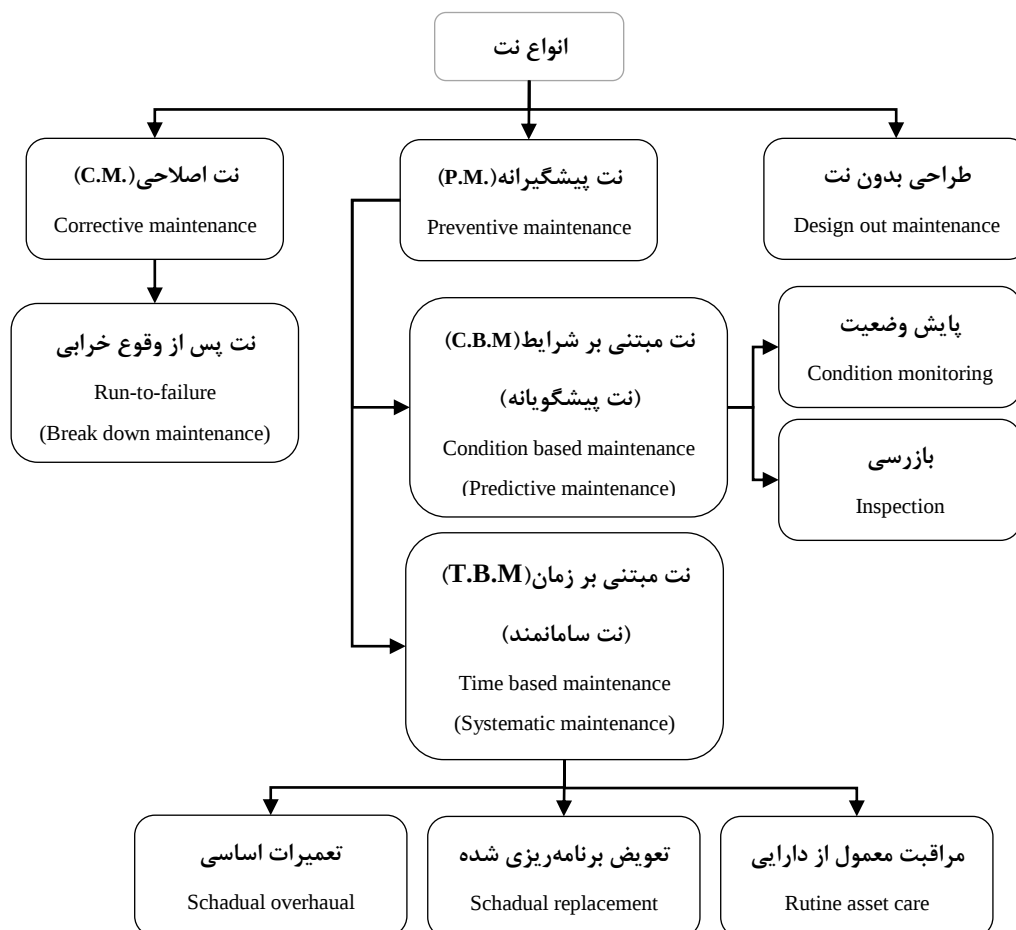
۱ - Surveillance activities

۲ - Imperfect maintenance or imperfect repair

۳ - Worse repair or maintenance

۴ - Worst repair or maintenance

- نت اصلاحی: اجرای نت بعد از وقوع خرابی برای بازگرداندن یک ابزار به حالت کاری و برای انجام فعالیت مورد نیاز - International Electrotechnical Vocabulary - IEC ۶۰۰۵۰ (“IEC ۲۰۱۴), Details for IEV number ۱۹۱-۰۷-۰۸: ‘corrective maintenance’.
- نت پیشگیرانه: اجرای نت در بازه‌های تعیین شده بر اساس معیار مشخص، برای کاهش احتمال وقوع خرابی یا پیشگیری از وقوع تنزل در کارکرد یک ابزار - IEC ۶۰۰۵۰ (“IEC ۲۰۱۴), Details for IEV number ۱۹۱-۰۷-۰۷: ‘preventive maintenance’.
- این نوع نت به دو دسته مبتنی بر شرایط و مبتنی بر زمان تقسیم می‌شود که در منابع (Hoseinie et al., ۲۰۱۱a; Cui, ۲۰۰۸) به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته‌اند.
- طراحی بدون نت (Hoseinie et al., ۲۰۱۲a): سیستم و قطعات طراحی شده با این استراتژی نیازی به فعالیت‌های نت ندارد مانند: یاتاقان و بلبرینگ‌های بی نیاز از روغن کاری.



شکل ۷-۲- انواع پیکربندی نت (Barabady and Kumar, ۲۰۰۵)

۲-۱۰- جمع‌بندی فصل

در این فصل بحث‌های تئوریک در رابطه تخمین عمر مفید باقیمانده بررسی شد. در این بخش نخست مهندسی قابلیت اطمینان و مفاهیم آماری مرتبط با قابلیت اطمینان مطرح شد، در ادامه تحلیل قابلیت اطمینان در دو دسته روش‌های کلاسیک و روش‌های مبتنی بر فاکتورهای ریسک دسته‌بندی شدند و سپس نحوه محاسبه RUL مبتنی بر قابلیت اطمینان ارائه شد؛ همچنین در این فصل نحوه دستیابی به رابطه ریاضی RUL به طور کامل توسط محققین اثبات شد. در نهایت نیز موضوع نت و انواع کلی سیاست‌های نت تعریف شد. تعاریف مباحث مطرح در این فصل گسیخته بوده و برای برقراری ارتباط بین سه موضوع قابلیت اطمینان، عمر مفید باقیمانده و نت در فصل آتی مرور ادبیات تحقیق‌های صورت گرفته قبل از این تحقیق انجام می‌گیرد.

فصل سوم

بررسی سابقه علمی موضوع



۳-۱- مقدمه

این فصل به مروری بر پژوهش‌های انجام گرفته در رابطه با موضوع قابلیت اطمینان، عمر مفید باقیمانده، نگهداری و تعمیرات اختصاص دارد. البته تحقیقات انجام شده دامنه وسیعی از تحقیق‌های انجام گرفته در زمینه‌های مختلف مهندسی، پزشکی، هوافضا و غیره را در برمی‌گرفت که در این فصل با توجه به هدف و مطالعه موردی رساله و پیشگیری از انحطاط موضوع، پژوهش‌های مربوط به سایر زمینه‌ها در قالب تحلیل آماری ارائه می‌شود و تحقیقات مربوط به حیطه مهندسی معدن نیز به طور اجمالی مورد بررسی قرار می‌گیرد. ضمن اینکه در مورد پژوهش‌های مربوط به سایر زمینه‌ها عمدتاً سیستم‌های صنعتی و مهندسی مورد توجه قرار گرفته است و تا حد امکان از ورود به سایر بخش‌ها مانند پزشکی، محیط‌زیست و ... خودداری شده است. سعی بر آن است که نحوه ورود هر یک از زیرشاخه‌های مطرح در مهندسی معدن و روند تحقیق‌های انجام گرفته تا به امروز مورد بررسی قرار گیرد. هر چند، حجم تحقیقات انجام گرفته در مقایسه با وسعت و پیچیدگی ماشین‌آلات و سیستم‌های معدنی بسیار ناچیز است و از طرف دیگر میزان استفاده از مفاهیم ظرفیت عملیاتی و قابلیت اعتماد در مهندسی معدن بسیار کمتر از سایر شاخه‌های مهندسی است.

در ادامه به موضوعات قابلیت اطمینان و سپس بحث پیش‌بینی عمر باقیمانده قطعات و تجهیزات در معدن می‌پردازیم.

۳-۲- قابلیت اطمینان

قابلیت اطمینان نخستین و پرکاربردترین زیرشاخه در زمینه کارهای معدنی است. این شاخص از اواسط دهه ۱۹۶۰ تا اواخر دهه ۱۹۸۰ وارد حوزه مهندسی معدن شده است، این سال‌ها را می‌توان به‌عنوان دوران آشنایی جامعه معدنی با مفهوم قابلیت اطمینان معرفی کرد. مقالات ارایه شده در سالهای فوق‌الذکر عمدتاً کوتاه بوده و به دلیل ضعف بانک داده و عدم توسعه نرم‌افزارهای مدل‌سازی آماری به لحاظ محتوایی نیز چندان قوی نیستند.

در اواخر دهه ۱۹۸۰، گودمن^۱ قابلیت اطمینان راه‌های فرار اضطراری در معادن زغال سنگ اتاق و پایه را با استفاده از روش تحلیل درخت خطا مورد بررسی قرار داد. وی پس از تشکیل درخت خطا با استفاده از رویداد اصلی^۲ مرگ انسان طی ۲۴ رویداد پایه^۳ و ۴ زیر درخت به تشریح دلایل و عوامل

۱ - Goodman

۲ - Top event

۳ - Basic event

کاهش ایمنی در معادن زغال سنگ آمریکا پرداخت. وی مجموعه‌های برشی حداقل^۱ موجود را تحلیل و در نهایت احتمال وقوع هر رویداد پایه و کمینه برش منجر به رویداد اساسی را تعیین کرد (Goodman, ۱۹۸۸). کومار^۲ و همکارانش (۱۹۸۹) برای نخستین بار در زمینه مهندسی معدن، فرآیند منسجمی را برای تحلیل قابلیت اطمینان ناوگان بارگیری متشکل از سه دستگاه LHD را اجرا کردند. این محققین پس از تحلیل سیستم LHD، پنج زیرسیستم: موتور، انتقال قدرت، هیدرولیک، ترمز و سایر اجزاء را مشخص کردند. در مرحله بعد رابطه این زیرسیستم‌ها با استفاده از روش نمودار بلوکی قابلیت اطمینان به صورت شبکه سری نشان داده شد، سپس بانک داده متشکل از داده‌های زمان تا وقوع خرابی تشکیل و مرحله تحلیل آماری آغاز شد. در این مرحله فرض توزیع یکسان و مستقل بودن داده‌ها بررسی شد و سپس مدل یا فرآیند آماری مناسب بر داده‌ها برازش داده شد. در این پژوهش برای زیرسیستم‌های هر سه دستگاه LHD، از توزیع ویبول استفاده شد و در تحلیل نیکویی برازش مدل‌ها، فرض توزیع یکسان، مستقل و تحلیل رفتار خرابی‌های زیرسیستم‌ها و سیستم‌ها (افزایشی یا کاهش‌ی بودن نرخ خرابی) با استفاده از نمودار^۳ TTT بررسی شد؛ همچنین برای نخستین بار مدل فرآیند قانون توانی در زمینه مهندسی معدن در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت (Kumar et al., ۱۹۸۹).

در دو دهه بعد نیز مشابه روند کومار توسط همین محقق و کلیفسچو^۴ (Kumar, ۱۹۹۰; Kumar and Klefsjö, ۱۹۹۲)، واگناژ^۵ و همکاران (Vagenas et al., ۱۹۹۷)، گریوچیچ^۶ و همکاران (Grujic et al., ۲۰۱۸)، هال و دانشمند^۷ (Hall and Daneshmend, ۲۰۱۸, ۲۰۰۳b, ۲۰۰۳b)، ال.، (۲۰۱۸)، (۲۰۰۳)، (۲۰۱۸; Vagenas et al.^۸، Nuziale et al., ۲۰۱۸)، سامانتا^۹ و همکاران (Samanta et al., ۲۰۰۴)، جواد برآبادی و همکاران (Barabady, ۲۰۰۵; Barabady and Kumar, ۲۰۰۵, ۲۰۰۸)، وایناس^{۱۰} و وو (Vayenas and Wu, ۲۰۰۹) و در سال‌های اخیر حسینی و همکاران (Hoseinie et al.,

۱ – Minimal cut sets

۲ – Kumar

۳ – Total time on test

۴ – Kumar and Klefsjö

۵ – Vagenas

۶ – Grujic

۷ – Hall and Daneshmend

۸ – Vagenas

۹ – Samanta

۱۰ – Vayenas

(۲۰۱۲b, ۲۰۱۲a, ۲۰۱۱a, ۲۰۱۱b, Lilly^۱ از قابلیت اطمینان در ترکیب با ایمنی برای تخمین شیب معدن استفاده کرد. وی برخی عوامل نظیر تمیزکاری بعد از آتشباری، بازسازی شیب پس از عملیات استخراج، تعمیر جاده و رمپ‌های دسترسی، بهبود وضعیت تجهیزات به عنوان خرابی در نظر گرفته و شیب معدن را طراحی نمود (Lilly, ۲۰۰۰). جلالی و فروهنده (۲۰۱۱) نیز برای نخستین بار برای تحلیل قابلیت اطمینان سیستم تهویه تونل پروژه زاگرس با استفاده از TBM از شبکه مارکوف استفاده کردند. نتیجه تحلیل‌ها حاکی از آن بود که بازه اطمینان برای دستیابی به حداقل یک جت فن، برابر با ۹۹/۴ درصد است، یعنی در طول ۳۶۰ روز تنها دو روز احتمال وقوع خرابی در سیستم وجود دارد (Jalali and Forouhandeh, ۲۰۱۱). گوستافسون^۲ و همکاران در سال ۲۰۱۳ به بررسی قابلیت اطمینان ماشین LHD اتوماتیک و دستی در معادن پرداختند. این مسئله از آنجایی اهمیت داشت که جایگزینی ماشین‌های اتوماتیک نه تنها محیط کاری و فرایند استخراج را تغییر خواهد داد، بلکه میزان خرابی و نحوه تعمیرات آنها نیز دچار تغییراتی خواهد کرد. در این تحقیق داده‌های زمانی خرابی مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت تابع‌های قابلیت اطمینان دو سیستم برای زیرسیستم‌های مختلف مقایسه شده است که حاکی از وجود تفاوت‌هایی در این دو حالت بود (Gustafson et al., ۲۰۱۳). در سال ۲۰۱۴ رحیم‌دل و همکاران قابلیت اطمینان ناوگان چالزنی دورانی معدن سرچشمه را با در نظر گرفتن چهار چالزن دورانی مورد تحلیل قرار دادند و نشان دادند که وضعیت دو دستگاه در شرایط بحرانی بوده و در دوره پیری قرار دارند، خرید دو دستگاه نو را پیشنهاد دادند (به دلیل این که قابلیت اطمینان همه‌ی زیرسیستم‌ها پایین است، اجرای تعمیر جوابگو نیست) (Rahimdel et al., ۲۰۱۴). در همین سال‌ها سینها^۳ و موخوپادهای^۴ پس از جمع‌آوری داده‌های یک ساله خرابی برای سنگ‌شکن مخروطی به بررسی قابلیت اطمینان آن پرداخته و در نهایت نت متمرکز بر قابلیت اطمینان برای آن پیشنهاد نمودند. در این تحقیق از روش‌های FMEA و TTT-plot استفاده شد که روش اول اجزاء رینگ غیار، لوله‌های روغن و کاسه نمد را به عنوان بحرانی‌ترین اجزاء مشخص کرد و روش دوم نیز همین نتایج را تصدیق کرد (Sinha and Mukhopadhyay, ۲۰۱۵).

در سال‌های اخیر نیز نوری و همکاران به تحلیل قابلیت اطمینان سیستم سنگ شکن کارخانه سیمان پرداخته‌اند. ایشان سنگ‌شکن را در زیرسیستم‌های مختلف نظیر زیرسیستم سنگ‌شکن، نوار نقاله، استاکر و ریکلایمر مورد بررسی قرار دادند (Gharahasanlou et al., ۲۰۱۵a, ۲۰۱۵b).

۱ - Lilly

۲ - Gustafson

۳ - Sinha

۴ - Mukhopadhyay

Gharahasanlou et al., ۲۰۱۷; Nouri Gharahasanlou et al., ۲۰۱۵; Nouri Qarahasanlou, ۲۰۱۵, ۲۰۱۴, ۲۰۱۷; Nouri Qarahasanlou et al., ۲۰۱۷. وی همچنین به مطالعه در مورد ناوگان استخراجی معدن مس سونگون نیز پرداخته است (Nouri Gharahasanlou et al., ۲۰۱۷). تامانگار^۱ در سال ۲۰۱۸ نیز قابلیت اطمینان زیرسیستم های دامپتراک معدن زغال سنگ را با همین رویکرد مورد مطالعه قرار داد (Tumanggor, ۲۰۱۸).

وجه مشترک تحقیقات بررسی شده درباره قابلیت اطمینان، صرف نظر کردن از شرایط محیطی است و در این پژوهش ها سهم عمده تحلیل را روش کلاسیک به دوش می کشد. در سال ۱۹۹۳ کومار و کلفسجو در مقاله ای برای نخستین بار به مروری نسبتاً کامل درباره مدل نرخ مخاطرات متناسب (PHM) پرداختند تا با استفاده از آن بتوان تأثیر شرایط محیطی را در تحلیل قابلیت اطمینان لحاظ کرد. آنها پس از معرفی مدل، نحوه تخمین پارامترهای رگرسیون و تعیین تابع نرخ مخاطره پایه را بیان کردند. سپس دو نوع آزمون ترسیمی و تحلیلی برای ارزیابی نیکویی برازش مدل معرفی کردند. در بخش بعدی تحقیق، توسعه مدل PHM مانند: مدل نرخ مخاطرات متناسب لایه بندی، مدل زمان خرابی شتاب یافته، مدل نرخ تعمیرات متناسب معرفی شد. در نهایت نیز از نرم افزارهای مناسب برای تحلیل ها در زمینه قابلیت اطمینان معرفی شده است (Kumar and Klefsjö, ۱۹۹۴a). یک سال بعد محققین مذکور از مدل PHM برای تحلیل قابلیت اطمینان کابل انتقال الکتریسته، در لودرهای معدنی استفاده کردند. در این تحقیق از نوع خرابی، جنس کابل، تعداد تعمیرات انجام گرفته و نوع ماشینی که از کابل استفاده می کند، به عنوان فاکتور ریسک مورد استفاده شد. در نهایت نیز برای ارزیابی نیکویی برازش مدل PHM از روش گرافیکی استفاده شد (Kumar and Klefsjö, ۱۹۹۴b). در سال ۱۹۹۵ کومار مدل PHM را برای سیستم های تعمیرپذیر گسترش داد. در این تحقیق ابتدا کاربردهای PHM و بسط های آن در حیطه مهندسی قابلیت اطمینان در شاخه های مختلف علوم مهندسی مانند: نیروگاه تولید برق، کشتی، توربین های گازی، موتورهای هواپیما، سیستم های نفت و گاز و مرور شده، سپس کاربردی از مدل PHM و نرخ مخاطرات متناسب لایه بندی شده در زمینه کابل های انتقال قدرت LHD ارائه شده است. کومار در این تحقیق از چهارم مشخصه شامل نوع خرابی، تعداد تعمیرات انجام گرفته، عمر ماشین و شماره شناسایی ماشین از شماره ۱ تا ۱۲ برای هر دستگاه لودر به عنوان فاکتورهای کمکی استفاده کرد. وی در ادامه فرضیات مختلفی همچون: سیستم تحت تعمیرات کامل، سیستم تحت کمینه تعمیرات و را در نظر گرفته و در هر مورد پارامترهای مدل PHM را محاسبه کرد. نهایتاً این تحقیق روش مدل نرخ مخاطرات متناسب لایه بندی شده را به عنوان

ابزاری قدرتمند در تحلیل سیستم‌های تعمیرپذیر معرفی کرد (Kumar, ۱۹۹۵). تحقیقات کومار و وستبرگ^۱ در سال ۱۹۹۶ نیز روی ماشین LHD ادامه داشت و در آن فرض ثابت بودن فاکتورهای کمکی در طول زمان برای مدل PHM مورد ارزیابی قرار گرفت. در این مقاله روش گرافیکی بر اساس تابع تجمعی خرابی برای ارزیابی واقع‌بینانه بودن این فرض ارائه شده است. در این روش شیب نمودار تابع تجمعی، بیانگر ماهیت تأثیرات فاکتورهای کمکی در طول زمان (ثابت یا متغیر) است. در واقع یک فاکتور ریسک در صورت ایجاد تغییرات بارز در شیب نمودار تابع تجمعی، وابسته به زمان است و نقطه زمانی وقوع این تغییرات نیز به‌عنوان راهنمایی برای تعریف فاکتور ریسک وابسته به زمان در دو یا چند فاکتور ریسک مستقل از زمان مطرح شده است (Kumar and Westberg, ۱۹۹۶). پارساد^۲ و راثو^۳ (۲۰۰۲) سه نمونه مطالعاتی مختلف را مورد بررسی قرار دادند. در نخستین مورد با استفاده از مدل ناپارامتریک PHM داده‌های تجهیزات الکترومکانیکی در سیستم‌های LHD تحت فرآیند تجدیدشونده با فاکتورهای کمکی مانند مشکلات الکتریکی، هوای فشرده و خرابی کابل مورد تحلیل قرار گرفت و نتایج حاصل با مدل پارامتریک ویبول مقایسه شد. در دومین مورد برای ارزیابی بازه‌های بهینه نت پیشگیرانه از داده‌های واحد قدرت حرارتی تحت فرآیند پوآسن ناهمگن با فاکتورهای کمکی مانند خرابی دیگ بخار، الکتریکی و توربین استفاده شد. برای ارزیابی این کار از تخمین‌گر ناپارامتریک نرخ مخاطره تجمعی استفاده شد. در آخرین مطالعه نرخ مخاطره حاصل از داده‌های موتور D.C. با فاکتورهای کمکی شامل ولتاژ، نوع کارکرد و جریان بار تحت شرایط مختلف عملیاتی برای دو مدل PHM- ناپارامتریک و مدل نیمه پارامتریک ویبول- PHM مقایسه شدند. نتیجه تحقیق حاکی از آن بود که مدل PHM روشی مناسب برای تحلیل سیستم‌های تعمیرپذیر است و به‌کارگیری آن برای داده‌هایی با فرآیند پوآسن ناهمگن نیز امکان‌پذیر است (Prasad and Rao, ۲۰۰۲). درفاصله سالهای ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۲ قدرتی و همکارانش برای نخستین بار در مدیریت قطعات یدکی برخی از اجزاء ماشین‌آلات معدنی مانند: واشرها و سیستم ترمز لودرهای معدن روباز و جک‌های هیدرولیکی LHD از ترکیب تأثیرات شرایط محیطی مانند: آب‌وهوا، رطوبت، مهارت اپراتور و ... بر قابلیت اطمینان استفاده کردند. آنان در این تحقیقات علاوه بر تخمین تعداد قطعات یدکی مورد نیاز، زمان تجدید انبار (خرید مجدد برای پر کردن انبار) را نیز تعیین کردند (Ghodrati, Benjevic, et al., ۲۰۱۲; Ghodrati and Kumar, ۲۰۰۵a, ۲۰۰۵b; et al., ۲۰۱۰, ۲۰۰۳). قدرتی همچنین به مقایسه مدل‌های نیمه پارامتریک PHM نمایی و ویبول پرداخت. نتایج تحقیق حاکی از آن بود که می‌توان از

۱ - Westberg

۲ - Prasad

۳ - Rao

مدل ویبول - PHM برای تخمین قطعات یدکی تعمیرناپذیر با نرخ خرابی متغیر استفاده کرد، درحالی که مدل نمایی - PHM تنها در مورد نرخ خرابی ثابت صادق است (Ghodrati, ۲۰۰۶). عباس برآبادی در سال ۲۰۱۱ از مدل نرخ مخاطرات متناسب لایه بندی شده در تحلیل قابلیت اطمینان ناوگان استخراجی معدن بوکسیت استفاده کرد. در این تحقیق، ترسیم نمودار نرخ مخاطرات تجمعی برای ماده معدنی و سنگ باطله نشان داد که فاکتور ریسک (جنس سنگ) وابسته به زمان است، لذا برای زیرسیستم‌ها (دو نوع کامیون، لودر، دو نوع دریل واگن و بلدوزر) دو لایه مختلف (ماده معدنی و سنگ باطله) در نظر گرفته شد، سپس برای هر زیرسیستم بر حسب جنس سنگ، تابع قابلیت اطمینان اساسی محاسبه شد (Barabadi et al., ۲۰۱۱a). ویجایا^۱ در سال ۲۰۱۲ رساله دکتری خویش را در زمینه روش‌های بهبود قابلیت دسترسی دستگاه لقی گیر ارائه کرد. وی در این تحقیق خرابی‌های دستگاه را مورد مطالعه قرار داد و زیرسیستم‌های بحرانی (سیستم مرکزی روانکاری، چکش هیدرولیکی و بازوی دستگاه) در تشکیل زمان‌های توقف و دلایل وقوع آن‌ها را بیان کرد. ویجایا همچنین به بهینه‌سازی هزینه‌های لازم برای بهبود قابلیت اطمینان پرداخت. برای این کار پس از تعیین تابع، چند هدف بهینه‌سازی شامل: بیشینه‌سازی قابلیت دسترسی و کمینه‌سازی هزینه کلی بهبود قابلیت اطمینان، و محدودیت‌های: کوچک‌تر از یک بودن قابلیت اطمینان و بزرگ‌تر از صفر بودن: هزینه‌های زیرسیستم‌ها، متوسط زمان تعمیرات و متوسط زمان خرابی، با الگوریتم ژنتیک چند هدفه^۲، را در نظر گرفت و به حل آن پرداخت. نتیجه تحلیل نشان داد که سرمایه‌گذاری برای بهبود قابلیت اطمینان بیش از ۸۴/۵ درصد امکان‌پذیر نمی‌باشد (Rahadiyan Wijaya, ۲۰۱۲). در سال‌های اخیر نیز علی نوری و همکاران در رابطه با تحلیل ناوگان استخراجی معدن سونگون از مدل PHM و بسط‌های آن نظیر مدل SCRM استفاده کردند (Ali et al., ۲۰۱۶; Nouri Gharahasanlou et al., ۲۰۱۷; Nouri Qarahasanlou, ۲۰۱۷; Qarahasanlou et al., ۲۰۱۷).

در سال ۲۰۱۸ منیری و همکاران از PHM برای تحلیل سیستم بارگیری معدن مس سونگون استفاده کردند. در این تحقیق سیستم به پنج زیرسیستم اصلی شامل موتور، توربین، گیربکس، هیدرولیک و بدنه تقسیم‌بندی شد. نتایج حاکی از آن بود که شکل تابع نرخ مخاطره یک سیستم چند جزئی الزاماً از توابع خانواده ویبول پیروی نکرده و امکان برازش تابع PHM برای آنها وجود دارد (Moniri-Morad et al., ۲۰۱۸).

۱ - Wijaya

۲ - Multi-objective genetic algorithm

۳-۳- عمر مفید باقیمانده

مقدار عمر تصادفی باقیمانده پس از گذشت مدت زمان t از شروع بکار به عنوان "متوسط عمر باقیمانده"^۱ (MRL) در نظر گرفته می‌شود. این تابع نخستین بار توسط واتسون^۲ و ولز^۳ برای تحلیل خرابی‌ها در بازه عمر نوزادی (نمودار وانی) مطرح شد (Watson and Wells, ۱۹۶۱).

در سال‌های بعد گوویل^۴ و اگاروال^۵ کاربردها و تئوری تابع MRL را مورد بررسی قرار داده و آن را برای برخی از توابع آماری کلاسیک پرکاربرد نظیر نرمال، گاما و لاگ نرمال بسط دادند (Govil and Aggarwal, ۱۹۸۳). در سال ۱۹۸۸ گاسس^۶ و پروشان^۷ پژوهشی مروری از کاربرد MRL در زمینه آمار، زیست و پزشکی را برای دهه شصت تا هشتاد میلادی بررسی کرد. در این تحقیق ارتباط بین MRL با نرخ مخاطره و فازهای مختلف طول عمر یک سیستم مورد توجه قرار گرفته است (Guess and Proschan, ۱۹۸۸). در دهه بعدی لیم^۸ و پارک^۹ به بررسی تغییرات روند در تابع MRL پرداختند. در این تحقیق فرض نمایی بودن نمودار MRL را در برابر افزایشی یا کاهشی بودن بررسی کردند (Lim and Park, ۱۹۹۵). سه سال بعد همین محققین به بسط بیشتر در رابطه با تغییرات روند در نمودار MRL پرداخته و مجموعه‌ای از آزمون‌ها برای ارزیابی این تغییرات با در نظرگیری داده‌های کامل و سانسور شده ارائه نمودند (Lim and Park, ۱۹۹۸). در همین سال گوپتا^{۱۰} و کرمانی^{۱۱} ویژگی‌های عمر سیستم با متوسط عمر باقیمانده کاهشی، واریانس افزایشی و صدک کاهشی را مطالعه کردند (Gupta and Kirmani, ۱۹۹۸). در سال ۱۹۹۹ لیو^{۱۲} و چو^{۱۳} رفتار توابع پیوسته (ویبول و لاگ نرمال) و گسسته (ساندرز و بیرینگ‌بایوم، گاوسین معکوس و نرخ مخاطره وانی) MRL را در رابطه با نرخ مخاطره مورد مطالعه قرار دادند (Tang et al., ۱۹۹۹). در همین سال گای^{۱۴} و می^۱ تغییر

۱ - Mean residual life function

۲ - Watson

۳ - Wells

۴ - Govil

۵ - Aggarwal

۶ - Guess

۷ - Proschan

۸ - Lim

۹ - Park

۱۰ - Gupta

۱۱ - Kirmani

۱۲ - Lu

۱۳ - Chew

۱۴ - Ghai

رفتار تابع عمر باقیمانده را مورد بررسی قرار داده مدل تک نمایی را برای تابع نرخ مخاطره وانی پیشنهاد نمودند (Ghai and Mi, ۱۹۹۹). لای^۲ و همکاران در سال ۲۰۰۱ توابع توزیع نرخ مخاطره وانی شکل و کاربردهای آن در قابلیت اطمینان و MRL را مطالعه کردند. در این تحقیق مرور بر ادبیات و پیشینه ۱۰ ساله موضوع داشته و شرح مختصر بر برخی مدل‌های پیشین ارائه شده است (Lai et al., ۲۰۰۱).

السید^۳ در سال ۲۰۰۳ به بررسی متوسط عمر باقیمانده لوله‌های کوره صنعتی پرداخت. وی در این تحقیق روش تخمین MRL مبتنی بر قابلیت اطمینان لوله‌ها را براساس شرایط محیطی پیشنهاد کرد، این روش همچنین به دنبال تعیین شرایط محیطی بهینه برای لوله‌ها با کمترین هزینه است (Elsayed, ۲۰۰۳). در سال‌های بعدی خی^۴ و همکاران نقاط تغییر شیب در نمودار MRL و وابستگی آن با نمودار نرخ مخاطره را بررسی کردند. زیرا در عمل بدون شیب بودن نمودار نرخ مخاطره مطلوب بوده، در نمودار وانی این قسمت در وسط نمودار قرار داشته و معادل فاصله بین نقاط تغییر شیب در نمودار است. بدین منظور از توابع ویبول نمایی و ویبول توسعه یافته برای توصیف نمودار وانی استفاده شده و تمرکز اصلی بر تعیین فاصله بین نقاط تغییر است (Xie et al., ۲۰۰۴). بانجویک^۵ و جاردین^۶ فرایند خرابی را با در نظرگیری تاثیر فاکتورهای ریسک در یک فرایند مارکو گسسته مطالعه نمودند. این محققین "عمر باقیمانده مفید (RUL)" گیربکس با داده‌های خرابی و آنالیز روغن براساس نرخ مخاطره شرطی و غیرشرطی رادر شرایط فعلی محاسبه نمودند. همچنین به منظور وارد نمودن تاثیر شرایط محیطی در تحلیل خرابی‌ها از تابع ویبول-نرخ مخاطرات متناسب (WPHM) با فاکتور ریسک وابسته به زمان استفاده شد (Banjevic and Jardine, ۲۰۰۶). این نخستین سالی بود که روش‌های رگرسیونی در تخمین عمر باقیمانده بکار گرفته شده تا از این طریق تاثیر شرایط محیطی را در RUL یا MRL مطالعه گردد. در همین سال لیائو^۷ و همکارانش از مدل‌های رگرسیونی (PHM و مدل رگرسیونی لجستیک) برای ادغام تنزیل که توسط سیگنال‌های سنسورها مشخص می‌شود، با شاخص قابلیت اطمینان استفاده شد. سپس RUL با استفاده از مدل تخمین زده و از نتایج آن در تصمیم‌گیری‌های اجرای نت مبتنی بر شرایط برای یاطاقان‌ها استفاده شد (Liao et al., ۲۰۰۶).

۱ - Mi

۲ - Lai

۳ - Elsayed

۴ - Xie

۵ - Banjevic

۶ - Jardine

۷ - Liao

خیائو^۱ و همکارانش در سال ۲۰۱۱ مروری بر پیشینه تخمین RUL با روش‌های آماری داشته است. در این مقاله پژوهش‌های انجام گرفته را در دو قالب مدل‌های وابسته به اطلاعات حاصل از مشاهدات مستقیم و غیره تقسیم‌بندی کردند. این کاربردهای این پژوهش‌ها به طور سیستماتیک بررسی شده و در نهایت چالش‌های پیشرو برای فعالیت‌های آتی مشخص شده است (Si et al., ۲۰۱۱). قدرتی و همکارانش برای نخستین بار در سال ۲۰۱۲ مبحث RUL را در زمینه سیستم‌های معدنی مطرح کرد. در این تحقیق از RUL مبتنی بر قابلیت اطمینان برای تحلیل عمر باقیمانده جک‌های هیدرولیک در لودرهای LHD معدن زیرزمینی سوئد استفاده شد. ایشان مدل WPHM با فاکتورهای ریسک مبتنی بر زمان را برای مدل کردن تاثیر شرایط محیطی پیشنهاد نمودند (Ghodrati, Kumar, et al., ۲۰۱۲). در همین سال قاسمی و هودکویچ^۲ بازه اطمینان معینی را برای تخمین عمر باقیمانده یاطاقان‌های واگن ریلی ارائه کردند. در این تحقیق نیز تخمین MRL با استفاده از مدل PHM و به کمک داده‌های ناقص حاصل از سیستم پایش صوتی یاطاقان‌ها و یک بانک داده خرابی انجام پذیرفت. خروجی مدل نیز برای برنامه‌ریزی نت مورد استفاده قرار گرفت (Ghasemi and Hodkiewicz, ۲۰۱۲). تران^۳ و همکارانش روش سه مرحله‌ای برای تخمین RUL کمپرسور متان در کارخانه پتروشیمی را پیشنهاد دادند. در مرحله نخست و در شرایط محیطی نرمال از مدل شناسایی (مدل ARIMA) برای شبیه سازی شرایط محیطی استفاده شد، سپس ضریب تنزیل ماشین براساس اختلاف بین مدل پیشنهادی و رفتار سیستم تعریف شد. در مرحله بعداز مدل PHM برای تحلیل رفتار قابلیت اطمینان سیستم مورد استفاده قرار گرفت و در محله آخر "ماشین بردار پشتیبانی"^۴ به عنوان یکی از معروفترین تکنیک‌های ماشین یادگیری در سری‌های زمانی برای تخمین RUL بکار گرفته شد (Tran et al., ۲۰۱۲). در همین سال پاچ^۵ و همکاران برای پیشنهاد برنامه نت، پشتیبانی و بازرسی از RUL استفاده کردند. برای تخمین RUL نیز از اطلاعات بدست آمده از پایش سیستم استفاده کردند. این تحقیق نشان داد که سیاست نت مبتنی بر RUL در مقایسه با سیاست نت مبتنی بر شرایط کلاسیک نتایج بهتری را به همراه داشته به ویژه در مواقعی که پارامترهای مدل تنزیل نامعلوم است (Phuc et al., ۲۰۱۲) احمدزاده و لندبرگ^۶ در سال ۲۰۱۴ مروری بر پیشینه و نحوه

۱ - Xieao

۲ - Hodkiewicz

۳ - Tran

۴ - Support vector machine

۵ - Phuc

۶ - Lundberg

توسعه RUL در سیستم‌های صنعتی داشتند. مطالعات مربوطه در چهار دسته تجربی، داده رهنمون^۱، مبتنی بر فیزیک و مدل‌های مرکب تقسیم‌بندی شدند. نتایج حاکی از آن بود که بهترین نتایج (باتوجه به دقت و دستیابی) روش داده بوده درحالیکه این روش کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد، ازطرف دیگر روش‌های مبتنی بر فیزیک برای دستیابی به جواب‌های دقیق‌تر مورد استفاده قرار خواهند گرفت (Ahmadzadeh and Lundberg, ۲۰۱۴). اسشو^۲ و همکاران با توجه به ضعف و عدم دقت کافی در تخمین عمر باقیمانده در صورت عدم دسترسی به داده کافی، استفاده از تجربه متخصصین را پیشنهاد دادند. در این تحقیق تلاش شد تا جای خالی داده تخمین RUL در توربین‌های بادی را با تجربه حاصل از بازرسی و فن‌های گوناگون متخصصین نت پر کنند. بدین منظور از ترکیب تابع تحلیلی ویبول و منطق فازی استفاده شد و نتیجه مدل ترکیبی برای برنامه‌ریزی نت مورد استفاده قرار گرفت (Schuh et al., ۲۰۱۴). والیس^۳ و همکاران در سال ۲۰۱۵ از اطلاعات تست روغن برای تحلیل RUL استفاده کردند. در این تحقیق ذرات آهن و سرب با توجه جنس ذرات محرک موتور و همبستگی با داده‌های خرابی بررسی شدند. این ذرات هم در طول زمان کارکرد سیستم و هم در طول زمان تقویمی در روغن مشاهده شدند؛ لذا برای مدل کردن نحوه ظهور این ذرات در مرحله نخست مدل رگرسیون بکار گرفته شد. در مرحله دوم نیز از مدل مبتنی بر فرایند وینر^۴ استفاده شد. نتایج نشان از آن داشت که تخمین عمر باقیمانده سیستم از این طریق ممکن بوده، لذا امکان برنامه‌ریزی مناسب نت پیشگیرانه برای توالی تعویض روغن از این طریق مقدور خواهد بود (Vališ et al., ۲۰۱۵). در مقاله دیگر لیو^۵ و همکارانش الگوریتم قابلیت اطمینان‌گرا برای پیش‌بینی RUL یاتاقان‌های ماشین‌های دوار را پیشنهاد دادند. در این الگوریتم از سیگنال‌های دما و لرزش استفاده شده و رفتار سری زمانی لرزش نیز با منطق فازی مدل شد. در نهایت نیز قابلیت اطمینان PHM برازش شده و برای تخمین RUL بکار گرفته شد (Wang et al., ۲۰۱۵). لی^۶ و همکارانش در سال ۲۰۱۶ از مدل تشکیل شده اجزاء برای تخمین عمر باقیمانده یاتاقان‌ها با استفاده از اطلاعات لرزشی حاصل از آزمون تنزیل شتاب یافته پرداختند. در این مقاله از روش فیلترینگ ذرات^۷ در تخمین RUL استفاده شد. مدل فیلترینگ ذرات مدلی مناسب برای ترکیب اطلاعات حاصل از داده‌های زمانی واقعی و تجربیات

۱ – Data driven

۲ – Schuh

۳ – Vališ

۴ – Diffusion model based on a Wiener process

۵ – Lio

۶ – Lei

۷ – Particle filtering

متخصصین می باشد (Lei et al., ۲۰۱۶). خراسگنی^۱ و همکارانش روشی مرکب از برنامه تخمین با برنامه پیش‌بینی برای محاسبه RUL به عنوان توزیع تصادفی در طول عمر سیستم پیشنهاد نمودند. ایشان دو روش پیش‌بینی شامل شبیه‌سازی تصادفی و روش اولین مرتبه قابلیت اطمینان معکوس^۲ را برای تقویت‌کننده آبخاری با اجزاء تنزیل پذیر مقایسه کردند (Khorasgani et al., ۲۰۱۶). در مقاله‌ای خلیف^۳ و همکارانش بر خلاف روش‌های سنتی، روشی را برای تخمین RUL به صورت مستقیم و با استفاده از اطلاعات بدست از سنسورها و بدون نیاز به تخمین میزان تنزیل پیشنهاد دادند. این روش از بردار رگرسیونی برای بررسی داده‌های توربوفن و تخمین عمر مفید باقیمانده استفاده نموده است (Khelif et al., ۲۰۱۷). در همین سال ژاوو^۴ و همکارانش به تخمین عمر باقیمانده موتور هواپیما تحت شرایط تنزیل تدریجی یکسان پرداختند. در این مقاله از روش شبکه عصبی برای برقراری ارتباط تنزیل تدریجی با RUL استفاده شد (Zhao et al., ۲۰۱۷). در سال ۲۰۱۷ دیجزری^۵ و همکارانش در رابطه با تشخیص خرابی‌های چندگانه توربین باد تحقیقی را ارائه نمودند، در این تحقیق نخست مدل فیزیکی برای تحلیل ساختار، محل سنسورها و تشکیل خوشه‌های گروهی در شرایط عملیاتی نرمال و وضعیت خرابی‌ها بکار گرفته شد. سپس از محاسبه فاصله اقلیدسی بین خوشه‌های گروهی به کمک ایده موقعیت جغرافیایی^۶ برای تخمین عمر باقیمانده استفاده کردند. در واقع از روش ترکیبی مبتنی بر مدل فیزیکی، خوشه کردن داده‌ها و ایده موقعیت در تشخیص خرابی برای محاسبه RUL استفاده شد (Djeziri et al., ۲۰۱۷). خی و همکارانش معتقدند که فرایند تنزیل در برخی سیستم‌های سودمند نظیر کوره‌های ذوب و موتورهای توربوفن مرتبط با تأثیرات حافظه‌ای^۷ است. به عبارت دیگر وضعیت تنزیل سیستم از آنجایی که در تراکنش با شرایط محیطی است، وابسته به شرایط فعلی و گذشته سیستم خواهد بود. از این رو مدلی تحت عنوان مدل براونی کسری^۸ برای توصیف رفتار تنزیل سیستم پیشنهاد کردند. سپس از روش مونت کارلو برای تخمین توزیع عمر باقیمانده استفاده نمودند که پارامترهای این مدل نیز با الگوریتم درستیابی بیشینه قابل تخمین است (Xi et al., ۲۰۱۷). در مقاله ارائه شده توسط وو^۹ و همکارانش نوع خاصی

۱ - Khorasgani

۲ - Inverse first order reliability method

۳ - Khelif

۴ - Zhao

۵ - Djeziri

۶ - Geolocation principal

۷ - Memory effects

۸ - Fractional Brownian Motion (FBM)

۹ - Wu

از شبکه‌های عصبی تحت عنوان مدل حافظه طولانی کوتاه-مدت وانیلی^۱ برای تخمین RUL موتورهای توربوفن هواپیماها استفاده کردند (Wu et al., ۲۰۱۸). در ادامه طی جدول ۳-۱ نیز با توجه به نوپا بودن موضوع RUL و تشکیل دهنده محور اصلی موضوع رساله، لیستی از تحقیقات انجام گرفته به همراه توضیح مختصری از پژوهش مربوطه در زمینه عمر مفید باقیمانده ارائه شده است:

جدول ۳-۱- مروری بر تحقیقات انجام گرفته در زمینه عمر باقیمانده

موضوع	محقق
تئوری کاکس و بحث تجدیدشوندگی	کاکس (Cox, ۱۹۶۲)
متوسط افزایش خطی طول عمر باقیمانده	موریسون (Morrison, ۱۹۷۸)
تحلیل و بررسی مدل‌های بقا و آنالیز داده‌ها	ایلاندت و همکاران (Elandt-Johnson and Johnson, ۱۹۹۹)
طبقه‌بندی متوسط عمر باقیمانده قطعات و تجهیزات	بت چارچ (Nanda et al., ۲۰۰۶)
پیش‌آگهی و واقعیت‌ها در پیش‌بینی عمر باقیمانده	اینگل و همکاران (Engel et al., ۲۰۰۰)
استفاده از شبکه‌های عصبی در پیش‌آگهی از باقیمانده عمر	شا او و نزو (Shao and Nezu, ۲۰۰۰)
تجزیه و تحلیل ارتعاش و سیگنال - الگوهای زمانی برای پیش‌بینی عمر مفید باقیمانده	لاو و ژین سابو (Lao and Zein-Sabatto, ۲۰۰۱)
روش‌های برآورد عمر مفید باقیمانده با استفاده از شبکه‌های عصبی	ایس وی (Essawy, ۲۰۰۱)
پیش‌بینی عمر باقیمانده برای اجزای بلبرینگ تحت فشار	وانگ (Wang, ۲۰۰۲)
پیش‌بینی عمر مفید مبتنی بر داده	کدی (Kiddy, ۲۰۰۳)
استفاده از شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی عمر مفید مبتنی بر داده برای اجزاء متحرک هواپیما	بینگتون و همکاران (Byington et al., ۲۰۰۴)
استفاده از روش فازی - عصبی برای تخمین متوسط عمر باقیمانده برای سیستم‌های نگهداری	چینام وبارا (Chinnam and Baruah, ۲۰۰۴)
پیش‌بینی عمر باقیمانده با استفاده از ارتعاش سیگنال‌ها - شبکه‌های عصبی	گبریل و همکاران (Gebraeel et al., ۲۰۰۴)
توزیع عمر باقیمانده با استفاده از سیگنال‌های تخریب قطعات-روش بیسین	گبریل و همکاران (Gebraeel et al., ۲۰۰۵)
یک روش پیش‌بینی برای تعیین عمر مفید باقیمانده در موتورهای چرخشی	لیاو (Liao et al., ۲۰۰۵)
مدل مخاطرات متناسب شبکه‌های عصبی برای تخمین اطمینان و ریسک برای سیستم‌های متحرک	لیود و همکاران (Lloyd et al., ۲۰۰۵)
پیش‌آگهی از ترک و خرابی در دنده‌ها با استفاده از مدل‌های پویا	لی و لی (Li and Lee, ۲۰۰۵)
تشخیص و پیش‌آگهی خرابی تجهیزات با استفاده از مدل نیمه مخفی مارکو	دانگ ام و همکاران (Dong et al., ۲۰۰۶)

۱ - Vanilla Long Short-Term Memory (vanilla-LSTM)

ماینیتورینگ و پیش‌آگهی سلامتی سیستم‌ها / بررسی الگوها و شیوه‌های فعلی	کوتاماسو و همکاران (Kothamasu et al., ۲۰۰۶)
ابزارهای هوشمند پیشگیری از خرابی در تعمیرات و نگهداری	لی و همکاران (Lee et al., ۲۰۰۶)
پیش‌آگهی هوشمند عیب و ایرادات برای سیستم‌های مهندسی	واچسیوانوس و همکاران (Vachtsevanos et al., ۲۰۰۶)
مروری بر روش‌های تشخیص لغزه و خرابی در تعمیرات و نگهداری	جاردین و همکاران (Jardine et al., ۲۰۰۶)
استفاده از روش ترکیبی ارزیابی و پیش‌بینی عمر در عملیات حفاری	یانگ و لی (Yan and Lee, ۲۰۰۷)
پیش‌بینی عمر باقیمانده برای بلبرینگ‌ها با روش شبکه‌های عصبی	هوانگ و همکاران (Huang et al., ۲۰۰۷)
مدل پیش‌آگهی دهنده برای پیش‌بینی خرابی برای قطعات درگیر در روغن	وانگ (Wang, ۲۰۰۷)
مدل‌های پیش‌آگهی برای تعیین عمر مفید در قطعات پیچیده و سیستم‌های مهندسی	اوسینین (Usynin, ۲۰۰۷)
تخمین عمر باقیمانده قطعات در تولیدات برای مشتریان -آنالیز داده‌های عمر با استفاده از تابع وایبول و شبکه عصبی	ماژار و همکاران (Mazhar et al., ۲۰۰۷)
بررسی اجمالی تعیین عمر مفید باقیمانده	باگول و همکاران (Bagul et al., ۲۰۰۸)
استفاده از ماینیتورینگ داده‌ها برای تعیین عمر مفید باقیمانده در شرایط عدم قطعیت	ایل کوجوک و همکاران (El Koujok et al., ۲۰۰۸)
استفاده از شبکه‌های عصبی برای تعیین عمر باقیمانده	گبریل و ایل وی (Elwany and Gebraeel, ۲۰۰۸)
مدل ارزیابی و پیش‌بینی عمر باقیمانده مبتنی بر قضاوت مهندسی	وانگ و ژانگ (Wang and Zhang, ۲۰۰۸)
ارزیابی سلامتی و تعیین عمر مفید هارددیسک‌ها	باگل (Bagul, ۲۰۰۹)
عمر مفید قطعات در تئوری و تمرین	بینجویک (Banjevic, ۲۰۰۹)
مروری بر روش‌های پیش‌آگهی دهنده خرابی در تعمیرات و نگهداری	دراگومیر و همکاران (Dragomir et al., ۲۰۰۹)
پیش‌آگهی خرابی در ماشین‌های دوار - چالش‌ها و فرصت‌ها	هنگ و همکاران (Heng et al., ۲۰۰۹)
استفاده از شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی عمر مفید با توجه به تاریخچه خرابی و ازکارافتادگی قطعات	تیان و همکاران (Tian et al., ۲۰۱۰)
پیش‌بینی عمر مفید ماشین‌آلات با استفاده از شبکه‌های عصبی در فیلترهای غبارگیر	چین و همکاران (Chen et al., ۲۰۱۰)
مدل‌های پیش‌آگهی برای تعیین عمر مفید باقیمانده در صنایع	سیکورسکا و همکاران (Sikorska et al., ۲۰۱۱)
استفاده از روش شبکه‌های عصبی برای تعیین و پیش‌بینی عمر مفید قطعات	تیان (Tian, ۲۰۱۲)
تخمین عمر مفید باقیمانده برای بلبرینگ‌ها با استفاده از داده‌های عددی	سوتریزنو و همکاران (Sutrisno et al., ۲۰۱۲)
تخمین متوسط عمر مفید باقیمانده قطعات و تجهیزات با توجه به مسائل زیست‌محیطی	احمد زاده و همکاران (Ahmadzadeh et al., ۲۰۱۲)
تخمین عمر باقیمانده و تعیین مسیر زمان زندگی در ماشین‌های برداری	گالار و همکاران (Galar et al., ۲۰۱۲)
تعیین عمر مفید باقیمانده قطعات در شرایط تحت فشار	مدجاهر و همکاران (Medjaher et al., ۲۰۱۲)
تعیین عمر باقیمانده بر اساس ماینیتورینگ وضعیت قطعات	ژایو و همکاران (Zhou et al., ۲۰۱۲)
تخمین باقیمانده عمر مفید بر اساس مدل‌های تصادفی از بین رونده	لاسون و همکاران (Le Son et al., ۲۰۱۲)

محاسبه عمر مفید باقیمانده با استفاده از مدل‌های فیزیکی در پروسه تعمیرات و نگهداری	لورتن و همکاران (۲۰۱۳, Lorton et al.)
عدم قطعیت در تعیین عمر مفید قطعات و تجهیزات هواضا با استفاده از مدل‌ها و فرم‌های معکوس	سنکارامان و همکاران (Sankararaman and Goebel, ۲۰۱۳)
رویکرد تخریب و تعیین مسیر خرابی و استفاده از یک راه‌حل دقیق برای تخمین عمر مفید قطعات	سی و همکاران (Si et al., ۲۰۱۳)
ارزیابی باقیمانده عمر مفید و کاربردهای آن در مباحث بازسازی و تعمیرات	هاو و همکاران (Hu et al., ۲۰۱۴)
استراتژی پیش‌بینی عمر مفید باقیمانده در تعمیرات و نگهداری تجهیزات و سیستم‌های وابسته	شی و همکاران (Shi and Zeng, ۲۰۱۶)
روش‌های ترکیبی پیش‌آگهی دهنده از اندازه‌گیری واقعی تا تخمین عمر باقیمانده	اسکیما و همکاران (Skima et al., ۲۰۱۶)
انتخاب کمیت داده حس‌گرها برای بهبود عملکرد سیستم‌ها مبتنی بر پیش‌بینی عمر مفید	لایو و همکاران (Liu et al., ۲۰۱۷)
پیش‌بینی عمر مفید باقیمانده در تجهیزات صنعتی با استفاده از روش شبیه‌سازی فازی	برالدی و همکاران (Baraldi et al., ۲۰۱۷)
تخمین مدل عمر باقیمانده بر اساس سلامتی قطعات	باگن ویچ و سوفکر (Beganovic and Söffker, ۲۰۱۷)
روش مقیاس زمانی پیش‌بینی عمر مفید در بلبرینگ‌ها	کیان و همکاران (Qian et al., ۲۰۱۷)

۳-۴- نگهداری و تعمیرات (نت)

با ظهور تجهیزات صنعتی اولین بار مفهوم نگهداری و تعمیرات (نت) توسط جیمز وات^۱ در سال ۱۷۶۹ در بریتانیایی کبیر برای موتور بخار بکار گرفته شد. در سال ۱۸۸۲ مجله‌ای در رابطه با نت انتشار داده شد، همچنین در سال ۱۸۸۶ یک کتاب در رابطه با نت راه آهن منتشر شد، از سال ۱۹۵۰ بعنوان سالی که مفهوم نت پیشگیرانه برای اولین بار ارائه شد، یاد می‌شود. در سال ۱۹۵۷ اولین کتاب جامع نگهداری و تعمیرات مهندسی انتشار یافت (Dhillon, ۲۰۰۶).

نت به عنوان یک سیستم منسجم عهده‌دار نقش کلیدی در دستیابی به اهداف سازمانی و مدیریت است که در صورت گزینش سیاست صحیح و اجرای دقیق می‌تواند باعث کاهش هزینه‌های عملیاتی و افزایش بهره‌وری شود. در ادامه مهمترین تحقیقات انجام گرفته طی چهار دهه اخیر در مورد نت و به ویژه نت مبتنی بر قابلیت اطمینان در حوزه معدنکاری مرور شده تا نحوه رشد و نواقص این شاخه مهندسی در کارهای معدنی مشخص شود.

در اواخر دهه ۸۰ میلادی کومار در دانشگاه لولثوی سوئد جزء نخستین محققینی بود که از نت مبتنی بر قابلیت اطمینان در حیطه مهندسی معدن استفاده کرد. وی به همراه گرانولم^۱ در سال ۱۹۹۰ نت متمرکز بر قابلیت اطمینان را برای لودرهای LHD معدن سوئد پیشنهاد داد. در این تحقیق لودر به شش زیرسیستم: موتور، هیدرولیک، ترمز، محرک و انتقال نیرو، چرخ و تایر و بدنه تقسیم‌بندی شد و پس از تحلیل قابلیت اطمینان، بازه‌های مناسب نت پیشگیرانه بر اساس زمان کارکرد سیستم پیشنهاد شد (Kumar and Granholm, ۱۹۹۰). دو سال بعد مجدداً همین محقق به همراه کولفسجو برای پیشنهاد برنامه نت برای سیستم هیدرولیک لودرهای LHD با داده‌های روندار از روش فرآیند قانون توانی استفاده کردند. در این تحقیق از روش گرافیکی به همراه روش کتابچه نظامی امریکا برای تحلیل روند استفاده شد^۲ (Kumar and Klefsjö, ۱۹۹۲). در همین سال برای نخستین بار همین محققین از مدل نرخ مخاطرات متناسب (PHM) برای تحلیل قابلیت اطمینان کابل‌های قدرت لودرهای معدنی استفاده نمودند. در این تحقیق از دو فاکتور ریسک نوع کابل و اولین تعمیر انجام گرفته استفاده نموده و براین اساس نوع و نحوه مناسب بکارگیری کابل را پیشنهاد کردند (Kumar et al., ۱۹۹۲). تحقیق انجام گرفته در سال ۱۹۹۴ توسط اورسنباخ^۳ و همکارانش در دانشگاه آلبرتا را شاید بتوان نخستین پژوهش آکادمیک نت هوشمندانه در زمینه معدنکاری قلمداد کرد. در این تحقیق از سیستم پشتیبانی نت هوشمند^۴ برای پایش وضعیت دامپتراک در معدن‌های نفتی استفاده شد (Ursenbach et al., ۱۹۹۴). در سال ۱۹۹۷ واگناژ و همکارانش از پروسه پیشنهادی توسط کومار برای تحلیل قابلیت اطمینان دستگاه‌های LHD فعال در معدن زیرزمینی سنگ سخت سادبری کانادا استفاده نمودند. در این تحقیق دستگاه LHD به ده زیرسیستم تقسیم‌بندی شده و داده‌های ۱۲ ماهه تعمیرات و خرابی مورد مطالعه قرار گرفت. در نهایت نیز نت مبتنی بر قابلیت اطمینان برای سیستم پیشنهاد شد (Vagenas et al., ۱۹۹۷). هال^۵ در سال ۲۰۰۰ رساله دکتری خویش را در رابطه با تحلیل قابلیت اطمینان، تعمیرپذیری و ارائه برنامه نت برای مدیریت تجهیزات معدنی مانند دریل واگن معدنی (از هفت معدن) در دانشگاه کوئین کانادا ارائه کرد. وی از روش نت متمرکز بر قابلیت اطمینان (RCM)^۶ برای ارائه برنامه بهینه نت استفاده کرد (Hall, ۲۰۰۰). گیورین^۷ در سال ۲۰۰۲

۱ - Granholm

۲ - Kumar and Klefsjö

۳ - Ursenbach

۴ - Intelligent maintenance support system (IMSS)

۵ - Hall

۶ - Reliability centered maintenance

۷ - Guerin

تحقیقی در رابطه با مدیریت باطله‌های نت در استرالیا انجام داد. وی در این تحقیق آلودگی ناشی از نت مانند آلودگی ناشی از فراورده‌های نفتی (سوخت یا روغن موتور، روغن هیدرولیک، گیربکس، چرخ، آب های زاید آلوده به روغن)، گریس‌های زاید، قطعات و تکه‌های فلز، مواد شوینده، واکس، اورینگ، تسمه، انواع فیلترهای فلزی تسویه آب، هوا یا روغن را مورد مطالعه قرار داد (Guerin, ۲۰۰۲). سامانتا و همکارانش در سال ۲۰۰۴ مجدداً سیستم‌های LHD را تحت شش زیرسیستم و بر اساس داده‌های خرابی و تعمیرات مورد مطالعه قرار دادند، با این تفاوت که ایشان از چرخه مارکو برای تحلیل شاخص های عملکردی سیستم و زیرسیستم بهره گرفته، در نهایت نیز بازه‌های نت پیشگیرانه را برای مقادیر مختلف قابلیت اطمینان پیشنهاد نمودند (Samanta et al., ۲۰۰۴). جواد برآبادی و کومار در سال ۲۰۰۵ روند پیشنهادی توسط کومار را برای دپارتمان سنگ‌شکنی اجرا کردند (Barabady, ۲۰۰۵; Barabady and Kumar, ۲۰۰۵).

گوپتا^۱ و همکارانش در سال ۲۰۰۶ در تحقیقی به بررسی خرابی شیر در معدن زغالی از هندوستان با روش تحلیل درخت خرابی پرداختند. در این پژوهش شیر به هفت زیرسیستم اصلی تقسیم شده و برای هر زیرسیستم خرابی‌های اصلی در بازه دو ساله تعیین شده است، سپس برای تحلیل قابلیت اطمینان هر یک از رویدادهای اصلی تابع توزیع ویبول برازش و در نهایت قابلیت اطمینان کل سیستم تعیین شد. در مرحله بعد گلوگاه‌های سیستم را بر اساس فاکتور سنجش اهمیت بیرینبايوم اولویت‌بندی نمودند و در نهایت نیز سیاست مناسب نت را براساس اولویت‌بندی انجام گرفته پیشنهاد کردند (Gupta et al., ۲۰۰۶). در سال ۲۰۰۸ برآبادی و همکارانش مجدداً به بررسی قابلیت اطمینان دپارتمان سنگ‌شکنی بوکسیت جاجرم پرداختند. برآبادی در این مقاله قابلیت اطمینان سنگ‌شکن را در شش زیرسیستم: فیدر، نوار نقاله، سنگ‌شکن اولیه، سنگ‌شکن ثانویه، سرنده اولیه و ثانویه مورد بررسی قرار داده و سپس زمان‌های مناسب اجرای نت پیشگیرانه را برای هر زیرسیستم پیشنهاد کردند (Barabady and Kumar, ۲۰۰۸). وایناس^۲ و ویو^۳ یک سال بعد مشابه روش برآبادی در تحلیل رفتار عملکردی یک ساله ۱۳ لودر LHD از معدن زغال سادبری را مورد مطالعه قرار دادند. ایشان نتایج تحلیل رفتاری سیستم‌ها را در برنامه‌ریزی نت مورد استفاده قرار دادند (Vayenas and Wu, ۲۰۰۹).

۱ - Gupta

۲ - Vayenas

۳ - Wu

اتکینس^۱ و همکارانش در سال ۲۰۱۰ از منظر مدیریت چرخه پشتیبانی (SCM)^۲ برنامه ریزی نت را بررسی کردند. محققین در این پژوهش از تکنولوژی تطبیق فرکانس رادیوی موبایل برای مدیریت فوری ماشین‌های معدنی استفاده کردند (Atkins et al., ۲۰۱۰). در سال‌های بعدی مشابه روند پیشنهادی توسط کومار مجدداً توسط حسینی و همکاران در مورد دستگاه شیرر به کار گرفته شد که در تمام این تحقیقات استراتژی نت با فرض دو حالت GAN یا BAO پیشنهاد شده است (Hoseinie et al., ۲۰۱۱b, ۲۰۱۲a).

توپال^۳ و رمضان^۴ از تکنیک جدید برنامه‌ریزی عدد صحیح تصادفی^۵ برای زمان‌بندی برنامه نت سالیانه ناوگان دامپتراک‌ها تحت شرایط معین و در طول عمر معدن برای کمینه‌سازی هزینه‌ها استفاده کردند. در واقع در این تکنیک بر خلاف تکنیک‌های گذشته که هزینه‌های نت را تنها به عنوان یک پارامتر مشخص اقتصادی مورد بررسی قرار می‌دهند، نت به عنوان پارامتری تصادفی که وابسته به شرایط محیطی و عدم قطعیت اطلاعات موجود است، در نظر گرفته شده است. در نهایت نیز زمان‌بندی بهینه نت با رویکردهای جبری و تصادفی و توزیعی از مقادیر هزینه‌های مورد انتظار پیشنهاد شده شد. این توزیع امکان محاسبه سطح اطمینان، ریسک‌ها و بهره‌مندی از مزایای هزینه‌های پائین را فراهم می‌کند (Topal and Ramazan, ۲۰۱۲). شاهین و همکارانش در مقاله ارائه شده در سال ۲۰۱۲ تلاش نمودند تا مناسب‌ترین برنامه نت را با توجه به تقابل استراتژی‌های نت ارائه کنند؛ لذا با فرآیند تصمیم‌گیری چند معیاره‌ی روبرو بودند که برای حل آن با توجه به ساختار شبکه و تراکنش‌های بین استراتژی‌های مختلف نت از فرآیند شبکه تحلیل (ANP)^۶ استفاده کردند. برای صحت سنجی رویکرد پیشنهادی نیز با توجه به اهمیت نت در چرخه تولید آسیاب میله‌ای معدن چادرملو انتخاب شده و برای جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز از نظرات ۵۸ مدیر و متخصص بهره گرفته شد. در نهایت نیز داده‌ها با روش ANP ادغام شده و اولویت‌بندی استراتژی‌های مختلف نت برای سیستم پیشنهاد شد (Shahin et al., ۲۰۱۲). یکسال بعد مجدداً همین محققین از روش TOPSIS برای اولویت‌بندی پنج استراتژی نت ضروری، مبتنی بر زمان، مبتنی بر شرایط، بهره‌ور فراگیر و مبتنی بر باز طراحی بر اساس چهار معیار قابلیت تعمیرپذیری، دسترسی، اطمینان و هزینه برای تجهیزات چادرملو بهره گرفتند (Pourjavad et al., ۲۰۱۳). رحیم دل و همکاران در سال ۲۰۱۳ مجدداً روش پیشنهادی

۱ - Atkins

۲ - Supply chain management

۳ - Topal

۴ - Ramazan

۵ - Stochastic integer programming

۶ - Analytic network process

توسط کومار را برای بررسی قابلیت اطمینان سیستم هیدرولیک چهار دریل واگن معدن مس سرچشمه طی بازه چهار ساله و پیشنهاد بازه‌های زمانی نت پیشگیرانه بکار بردند (Rahimdel et al., ۲۰۱۳). در تحقیقی دیگر از همین سال لشگری و صیادی رویکردی را برای تعیین هزینه نت در تعمیرات اساسی برای تجهیزات بارگیری معادن روباز پیشنهاد دادند. ایشان از دو مدل رگرسیون نمایی تک متغیره و رگرسیون خطی چند متغیره در مطالعات خود بهره گرفتند (Lashgari and Sayadi, ۲۰۱۳). باربرا^۱ و همکارانش در سال ۲۰۱۳ روش گرافیکی مدیریت نت (GAMM)^۲ دو پمپ گل از معادن شیلی با نرخ بالای خرابی ارائه کردند. این روش به عنوان روش تخمین‌گر ناپارامتری از تابع قابلیت اطمینان پیشنهاد شده و امکان بکارگیری برای داده‌های ناقص را نیز دارد. در این پژوهش روش مذکور، نواقص هر پمپ، میزان تاثیر و اثربخشی نت در حال اجرا را شناسایی نموده، فرآیند تصمیم‌گیری و حل مشکلات اجرای نت را فراهم می‌نماید (Barberá et al., ۲۰۱۴). در همین سال پولارد^۳ و همکارانش به بررسی جراحات ناشی از نت و تعمیرات و نحوه تقلیل آنها در یک بازه ۹ ساله پرداختند. در این بین بیشترین جراحات مربوط به حوادث انگشت و دست بود که از دست رفتن روزهای کاری برای پرسنل را بدنبال داشت. در نهایت نیز پیشنهاداتی در رابطه با کاهش ریسک وقوع خرابی را ارائه نمود (Pollard et al., ۲۰۱۴). کوالو^۴ و همکارانش به بحث در مورد نت صنعتی برای پاکت اسکواتورهای معادن روباز پرداخته که براساس شناسایی وضعیت تکنیکی به وسیله روش‌های عیب‌یابی عملیاتی^۵ انجام می‌شوند (Kovalev et al., ۲۰۱۴). در جدول ۲-۳ نیز برخی از پژوهش‌های انجام گرفته در رابطه با نت برای سیستم‌های صنعتی مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۲-۳- مرور ادبیات بر نگهداری و تعمیرات سیستم‌های صنعتی

موضوع	محقق
روش‌های ویژه نت برای وضعیت توده‌ای و تجزیه سیستم	بوزاکات (Buzacott, ۱۹۷۰)
ارایه مدل قابلیت اطمینان براساس نرخ خرابی و نرخ تعمیرات	چاو و همکارانش (Chow, ۱۹۷۳)
توزیع زمانی از وقوع خرابی برای سیستم دارای دو واحد تعمیرپذیر ناهمسان با نرخ خرابی ثابت	فوکوتا و کوداما (Kodama and Fukuta, ۱۹۷۵)
تمرکز بر فروشگاه‌های سازمان یافته نت و قطعات یدکی موجود در انبار	کومار (Kumar, ۲۰۱۰)

۱ - Barberá

۲ - Graphical analysis for maintenance management

۳ - Pollard

۴ - Kovalev

۵ - Functional diagnostics methods

گوئل و گوپتا (Goel and Gupta, ۱۹۸۴)	تحلیل دو واحد گرمایی سیستم آماده‌به‌کار با در نظر گرفتن سه حالت خرابی مورد
کومار (Kumar, ۲۰۱۰)	ارایه کاربردی از روش قابلیت‌اطمینان را برای تعدادی از مشکلات صنعتی و حمل نقل
بیلینتون و آلن (Billinton and Allan, ۱۹۸۸)	با ارزیابی قابلیت‌اطمینان در سیستم‌های بزرگ برق که دارای تسهیلات
نیتیون (Ntuen, ۱۹۹۱)	ارایه نت پیشگیرانه برای سیستم براساس هزینه چرخه عمر و تابع توزیع گاما
آیجاز و کوثیری (Aijaz and Kothari, ۱۹۹۸)	مروری بر پیشرفت‌های اخیر در مورد نت ژنراتورها دارای تسهیلات تعمیر
لیم و همکارانش (Lim and Lie, ۲۰۰۰)	ارایه روش‌های گوناگونی را برای تحلیل قابلیت‌اطمینان سیستم‌های تعمیرپذیر
مارس گورا و همکارانش (Marseguerra and Zio, ۲۰۰۰)	کاربردهای الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی مونت کارلو برای بهینه‌سازی تسهیلات نت
سرکار و سرکار (Sarkar and Sarkar, ۲۰۰۱)	ارایه روش ریاضی برای دستیابی به قابلیت‌دسترسی
پرس و نوئس (Pérès and Noyes, ۲۰۰۳)	ارزیابی انواع استراتژی نت با استفاده از نرخ تعمیرات
قاسمی و همکارانش (Gasmi et al., ۲۰۰۳)	مدل کردن سیستم‌های پیچیده
چن و همکارانش (Chen et al., ۲۰۰۶)	پیشنهاد مدل چند سطحی قطعات‌یدکی شامل تدارکات، مراکز توزیع و کاربران تجهیزات، و در نظرگیری هر دو سیاست پیشگیرانه مبتنی بر عمر
لیگین و تونالی (Ilgin and Tunali, ۲۰۰۷)	پیشنهاد رویکرد بهینه‌سازی شبیه‌سازی با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک برای بهینه‌سازی گرهی PM و سیاست‌های تامین قطعات‌یدکی سیستم
لیرونگ (Cui, ۲۰۰۸)	تقسیم‌بندی انواع مدل‌های نت
لیسنیانسکی (Lisnianski and Ding, ۲۰۰۹)	برای ارزیابی قابلیت‌اطمینان برای سیستم با وضعیت چند گانه

۳-۵- جمع‌بندی فصل

با توجه به چارچوب رساله مرور ادبیات انجام گرفته تمرکز بر سه عنوان اصلی قابلیت اطمینان، عمر باقیمانده مفید، نگهداری و تعمیرات بود. قابلیت اطمینان به عنوان یک شاخص بررسی عملکرد سیستم و در نهایت به عنوان یک رشته مهندسی مطرح است. این شاخه در اواسط دهه ۱۹۶۰ میلادی وارد عرصه مهندسی معدن شد. بررسی تحقیقات انجام گرفته از آن تاریخ تاکنون سیر تحولات قابلیت اطمینان در کارهای معدنی را به نمایش گذاشت. کومار به عنوان یکی از بنیان اصلی ادغام این رشته با مهندسی معدن، در اواخر دهه ۹۰ رویکردی را برای تحلیل قابلیت اطمینان پیشنهاد داد که در سال‌های بعد شالوده اصلی بسیاری از تحقیقات انجام گرفته، شد. این رویکرد با وجود کاربرد گسترده در مهندسی معدن دارای برخی ضعف‌هاست:

- هیچ اشاره به زیرسیستم‌بندی و نحوه تعیین مرزهای سیستم، زیرسیستم و اجزاء در آن نشده است.
- آزمون پارتوی بکار رفته در این رویکرد، روشی استاتیک برای تحلیل خرابی‌ها بوده و تنها چشم‌انداز ناچیزی از وضعیت و رفتار خرابی‌های سیستم را به نمایش می‌گذارد.
- آزمون روند تنها به آزمون‌های گرافیکی و تحلیلی ساده مختصر شده و به راحتی در مورد روند سیستم تصمیم‌گیری می‌شود، در حالیکه وضعیت روند داده‌ها نقش تعیین کننده‌ای در مدل و توابع برازش شده برای آن دارد.
- تنها خروجی این الگوریتم در صورت رونددار بودن داده‌ها مدل فرایند قانون توانی است.

بجز موارد ذکر شده برای الگوریتم فوق و رویکردهای مشابه پیشنهادی توسط سایر محققین ضعف عمومی و شاید مهمترین ضعف مشترک تحقیقات صورت گرفته، عدم در نظرگیری تاثیر شرایط محیطی بر رفتار عملکردی سیستم است. شرایط محیطی که تحت عنوان فاکتورهای ریسک از آن یاد می‌شود، به هیچ وجه در این الگوریتم وارد نشده که این مسئله با توجه به محیط کاری معدن و شرایط خشن محیط مطمئناً بروز خطا در تحلیل رفتاری سیستم را بدنبال خواهد داشت. از این رو در سال‌های بعد کومار برای حل این مشکل و وارد نمودن تاثیرات فاکتورهای ریسک در تحلیل‌ها برای نخستین بار استفاده از مدل نرخ مخاطرات متناسب را پیشنهاد کرد. این مدل از دو بخش تشکیل شده است؛ بخش اول تابع اساسی نرخ مخاطره، که فقط تابعی از جنس زمان است (تابع نرخ مخاطره اساسی یا براساس پیشنهاد سازنده تعیین شده یا در صورت عدم دسترسی به اطلاعات سازنده، داده‌های زمانی مربوط به شرایط خاص به عنوان تابع اساسی در نظر گرفته می‌شوند). بخش دوم نیز به شکل تابع رگرسیون دربرگیرنده فاکتورهای ریسک و میزان تاثیر هر یک از این فاکتورها است. این

تابع در سال‌های اخیر بیشتر مورد توجه قرار گرفته و بسط‌هایی از این مدل در سایر علوم بکار گرفته شده است. در این رساله با توجه مرور ادبیات انجام گرفته مشخص شد که مدل PHM به علت برخورداری از پایه ریاضی قوی و از سویی دیگر نیمه‌پارامتریک بودن آن مزیتی برای کاربرد آن در تحلیل رفتاری قابلیت اطمینان سیستم است. هر چند کاربرد این روش نیازمند بانک داده بسیار گسترده‌تری نسبت به مدل‌های کلاسیک بوده و تشکیل بانک داده برای آن پر هزینه و زمان‌برتر است. با این وجود مدل PHM امکان وارد نمودن تاثیر شرایط محیطی در رفتار سیستم را فراهم کرده و در واقع نتایج حاصله یک قدم به نتایج واقعی نزدیکتر خواهد شد. نکته قابل تامل در رابطه با مدل نرخ مخاطرات متناسب و حتی فرآیند کلاسیک تحلیل داده‌های قابلیت اطمینان بحث ناهمگنی^۱ در داده‌هاست. این ناهمگنی در قالب یک فاکتور ریسک در مباحث آماری وارد شده که خود این فاکتورهای ریسک در دو نوع مشهود و نامشهود^۲ تقسیم بندی می شوند. عوامل مشهود شامل تأثیر محیط اطراف، لرزش و فشارهای وارده، مهارت اپراتور و ... بوده که تمامی تحقیقات انجام گرفته تا پیش از این با این دسته از فاکتورهای ریسک بوده است. عوامل نامشهود نیز آن دسته عواملی هستند که ملموس نبوده و امکان ثبت داده برای آن‌ها وجود ندارد و گاه تأثیرات این دسته از فاکتورهای ریسک از فاکتورهای ریسک مشهود بیشتر است. باوجود تاثیر فاکتورهای ریسک نامشهود در نتایج تحلیل در مطالعات پیشین از این موضوع چشم‌پوشی شده که مطمئناً خطای فاحشی را در تحلیل‌ها بدنبال خواهد داشت. این مشکل در صنعتی مانند صنعت معدنکاری با ماشین‌آلات سنگین، هزینه سرمایه گذاری بشدت بالا، محیط کاری سخت و خشن بسیار مهم بوده، ذکر این نکته که گاه عدم ثبت دلایل واقع رخ داده در بسیاری از موارد مانند تعمیرات یا خرابی‌ها، داده‌های خام ناقص در بخش‌های مختلف و عدم امکان ثبت برخی داده‌ها باعث ایجاد ناهمگنی در داده‌ها شده و موضوع فاکتورهای ریسک نامشهود اهمیت دوجندانی پیدا خواهند کرد. از این رو محققین در این پژوهش جدا از در نظرگیری تاثیر شرایط محیطی مشهود در تحلیل قابلیت اطمینان تاثیر شرایط محیطی نامشهود را نیز در بررسی‌های خود وارد خواهند کرد. آخرین و مهمترین بخش از مرور ادبیات نیز در رابطه با عمر مفید باقیمانده است. بر اساس مطالعات انجام گرفته RUL را شاید بتوان به عنوان پنجمین تابع اساسی (چهار تابع اصلی: تابع چگالی احتمال، تابع تجمعی احتمال، قابلیت اطمینان و نرخ مخاطره) از رفتار عملکردی سیستم قلمداد کرد. این موضوع بیشتر در سایر حوزه‌های مهندسی مطرح بوده و در حوزه مهندسی معدن موضوعی جدید بوده، این نکته را می‌توان با چشم‌انداز آماری بر سال‌های تحقیقات ارائه شده بخوبی مشاهده نمود؛ زیرا اکثر این تحقیقات مربوط به دهه اخیر است.

۱ - Heterogeneity

۲ - Observed and unobserved covariates

اساس کارهای انجام گرفته عمدتاً مبتنی بر روش‌های فازی، شبکه‌های عصبی یا اطلاعات پایش وضعیت است که این نوع تحقیق شاید در معادن با ماشین‌آلات بسیار بزرگ و دقت پائین‌تر زیاد کاربردی نباشد؛ همچنین این روش‌ها عمدتاً پیچیده بوده یا برای جمع‌آوری و تحلیل داده نیازمند نرم‌افزار و سخت‌افزارهای گران‌بهای می‌باشند. از سویی دیگر شاید بدون اغراق بتوان گفت که عملاً تحقیقی در رابطه با سیستم‌های معدنی انجام نگرفته و تنها تحقیق موجود مربوط به تحقیق قدرتی برای تحلیل عمر مفید باقیمانده جک‌های لودر LHD است (Ghodrati, Kumar, et al., ۲۰۱۲).

مبحث نت و ارتباط آن با RUL نیز آخرین بخش از رساله است. تاریخچه مبحث نت به اولین تولیدات سیستم‌های صنعتی در اواسط دهه هفتاد میلادی برمی‌گردد. نت در اواخر دهه ۸۰ توسط کومار به حوزه معدن وارد شد. البته قابل ذکر است، رشته مهندسی نت خود بسیار گسترده بوده و از منظرهای مختلف تقسیم‌بندی و مطالعه شده است، بیشتر تحقیق‌های انجام گرفته در حوزه سیستم‌های معدنی و روش‌های مبتنی بر رفتار عملکردی سیستم بوده است، این روش‌ها در نهایت به پیشنهاد نت پیشگیرانه مبتنی زمان که براساس قابلیت اطمینان می‌باشند، منتج می‌شوند. موضوع استفاده از نت در رشته مهندسی معدن در سال‌های اخیر باوجود هزینه‌های سرسام‌آور آن کم رنگ‌تر شده و آخرین مقاله مربوط به ۴ سال پیش است و در سال‌های اخیر فقط دو کتاب از هوربری^۱ و همکارانش و روسینسکی^۲ و همکارانش در رابطه با طراحی نت برای تجهیزات معدنی منتشر شده است (Horberry et al., ۲۰۱۶; Rusiński et al., ۲۰۱۷). به هر حال در این رساله با توجه به نکات ذکر شده تلاش شد تا به کاستی‌های موجود در مهندسی معدن پاسخ داده شود. بدین‌رو مطالعه موردی از سیستم بارگیری در معدن مس سونگون برگزیده شده تا موضوع عمر مفید باقیمانده روی این سیستم با تحلیل رفتار قابلیت اطمینان آن انجام شود. قابلیت اطمینانی که در آن تاثیرات فاکتورهای ریسک مشهود و نامشهود (از طریق تحلیل همگنی داده‌ها) در نظر گرفته خواهد شد، تا نزدیکترین جواب‌ها نسبت به حالت واقعی حاصل شود و در نهایت نیز برنامه نت پیشگیرانه مبتنی بر RUL ارائه می‌شود، درواقع نت پیشنهادی ترکیبی از تحلیل قابلیت اطمینان، فاکتورهای ریسک مشهود و نامشهود و عمر مفید باقیمانده خواهد بود.

۱ - Horberry

۲ - Rusiński

فصل چهارم

مطالعه موردی

مجمع معدن مولیدن - مس آذربایجان

(مس سونگون)



عصر فلز و زندگی صنعتی بشر با مس آغاز شده است. مس طلایه تمدن و دروازه ورود انسان نوسنگی به عصر فلز بوده است. بهمین سبب، این عصر را دوران کالکولیتیک می‌نامند. بی شک نخستین شناخت انسان از مس، کشف سنگ‌های سرخ فام و مس (مس چکشی، مس طبیعی) بوده که در اعصار دور در طبیعت فراوان یافت شده است.

انسان اولیه در گشت و گذار برای حفظ خود و یافتن غذا، همواره دغدغه پیدا کردن ابزاری مناسب را داشته است. اولین ابزار انسان سنگ بود و هزاران سال طول کشید که انسان عصر حجر به فن تراش ابزارهای سنگی دست یافت. کشف مس، روند ابزارسازی را سرعت بخشید؛ بخصوص آنکه انسان دریافت که این فلز قابل کوفتن است، تیز می‌شود و هر چند بار که لازم باشد، تغییر شکل می‌دهد. ذوب مس باید دیرتر از شناخت آن و شاید به طور اتفاقی تجربه شده باشد. شاید کوره‌های سفالگری اولین کوره‌های اتفاقی ذوب مس بوده‌اند. انقلاب صنعتی واقعی تاریخ بشر، از زمانی آغاز شد که انسان توانست، مس و سپس مفرغ را ذوب نماید. مفرغ (آلیاژ مس، قلع و آرسنیک) فلز جنگ بود، فلزی سخت‌تر از مس و با تمام ویژگیهای دیگر آن نمیتوان هیچ قومی را قاطعانه پیشگام عصر مس - مفرغ معرفی کرد؛ اما این را می‌دانیم که تمدن بشری، یکجا نشینی و ایجاد شهرهای بزرگ در مناطق گرم و معتدل اطراف رودهایی مثل بین النهرین، هلیل، نیل، بلوچستان و سند شکل گرفته و ذوب مس، برای نخستین بار، در چنین مناطقی و نزدیک به معادن قدیم مس اتفاق افتاده است. بسیاری آغاز کننده عصر فلز را در جهان، معدن باستانی تیمنا در فلسطین می‌دانند. باتوجه به نقاط بازکاوی نشده زیادی که در جهان هست، نمی‌توان بر این مُدعا مٌهر تأیید نهاد. اگر چه تیمنا از چهار هزار سال پیش از میلاد، سابقه ذوب مس دارد، در ایران نیز جاهایی هست که آثار ذوب مس در آنها به پنج تا هفت هزار سال پیش برمی‌گردد.

قدیمی ترین اشیاء کشف شده مسی در ایران به هزاره پنجم قبل از میلاد مسیح باز میگردد؛ تپه زاغه، تپه سیالک و تل ابلیس از قدیمی ترین مناطقی هستند که ایرانیان برای نخستین بار در آنها از فلز مس استفاده کردند. آثار کشف شده مس در تپه زاغه واقع در سگزآباد قزوین که قدمت آن به ۴۹۰۰ سال قبل از میلاد می‌رسد، حاکی از آن است احتمالاً اولین استفاده از مس در ایران در این محل صورت گرفته است. کوره‌ها و توده‌های مسی کشف شده در تپه زاغه، نشان از احیا و ذوب و ریخته‌گری مس در این مکان دارد. تپه سیالک از قدیمی‌ترین مناطق سکونت تمدن‌های ما قبل تاریخ بوده است. قدمت این منطقه حدود ۸ هزار سال است و با توجه به آثار کشف شده، قدمت کشاورزی و دامداری در این محل بیش از سایر نقاط ایران بوده است. اولین استفاده از ابزارهای مسی در سیالک

که تاریخ آن به بیش از شش هزار سال بر می‌گردد، مانند بسیاری از نقاط به وسیله چکش کاری مس طبیعی صورت گرفته است، این موضوع را می‌توان با توجه به شکل اشیاء اولیه و نبود کوره‌های ذوب مس در آن دوران دریافت. اولین ذوب مس در سیالک در اواسط هزاره چهارم قبل از میلاد صورت گرفته است، وجود سرباره در حوالی این منطقه و تغییر شکل اشیاء بدست آمده موید این موضوع است که مواد اولیه این اشیاء ابتدا بوسیله احیا و ذوب سنگ و سپس ریخته گری بدست آمده و در نهایت با چکش کاری شکل داده شده‌اند.

۲-۴- معدن مولیبدن- مس آذربایجان (سونگون)

در این فصل به معرفی مورد مطالعاتی، معدن مس سونگون پرداخته می‌شود تا قبل از شروع هر نوع فعالیت شناخت کلی از آن داشته باشیم (شکل ۱-۴).

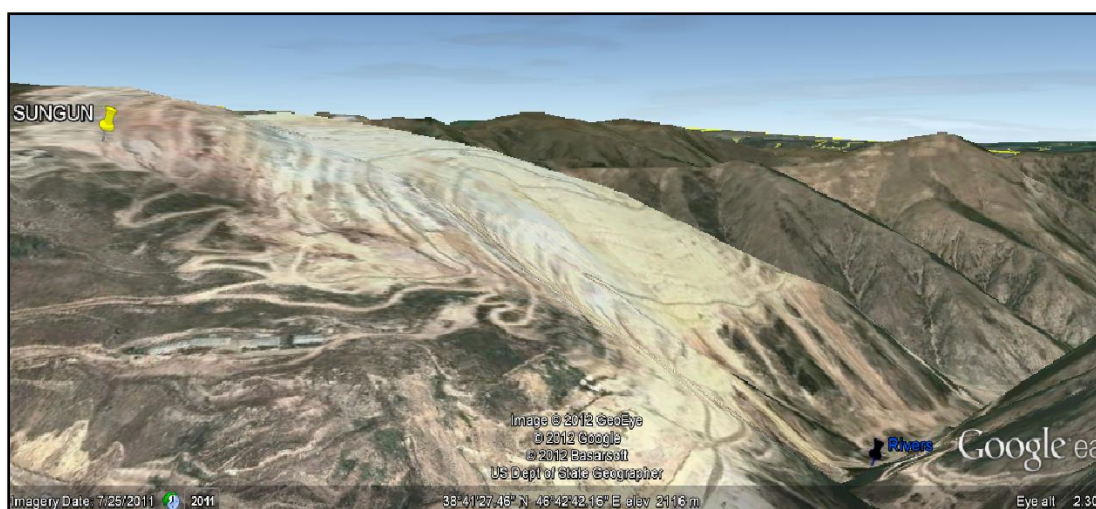


شکل ۱-۴- معدن مولیبدن- مس سونگون

۱-۲-۴- موقعیت جغرافیایی

کانسار سونگون در ۷۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان اهر و ۲۸ کیلومتری شمال ورزقان، با مختصات جغرافیایی ۴۶ درجه و ۴۲ دقیقه و ۲۰ ثانیه طول جغرافیایی و ۳۸ درجه و ۴۱ دقیقه و ۳۰ ثانیه عرض جغرافیایی قرار دارد. ناحیه فراگیر کانسار کوهستانی است و بلندای آن از ۱۵۰۰ تا ۲۷۰۰ متر است. میزان بارش این مناطق زیاد بوده و زمستان‌های سرد و طولانی همراه با برف دارد. دامنه‌های شمالی پوشیده از جنگل و کارهای معدنی در زمستان با دشواری زیادی انجام می‌گیرد. راه کنونی دسترسی به معدن از طریق ورزقان با جاده‌ای آسفالت به طول ۳۲ کیلومتر برقرار است. دسترسی به کانسار از طریق اهر و از راه کوهستانی به درازای ۴۰ کیلومتر نیز امکان‌پذیر است و چنانچه این جاده احداث شود، فاصله ۷۰ کیلومتری کنونی تقریباً نصف خواهد شد، درحالی‌که مسیر ورزقان-سونگون، فاصله معدن تا تبریز را بشدت کاهش می‌دهد. بلوکی که کانسار در آن قرار دارد، به‌وسیله دو رودخانه دائمی سونگون چای و تچیر چای دور زده می‌شود. این دو رودخانه در پایانه

بلوک در گوشه شمال شرقی به یکدیگر می‌پیوندند. رودخانه حاصل از به هم پیوستن دو رودخانه مذکور از سمت شمال به رودخانه ارس می‌پیوندد. مرز جنوبی و شرقی این کانسار، منطبق بر رودخانه سونگون و مرز شمالی آن در محل برخورد با رودخانه پخیر و حد غربی آن ارتفاعات مشرف به کانسار است. در شکل ۴-۲ می‌توان موقعیت تقریبی دره واقع در قسمت شرقی معدن را نسبت به خود معدن مشاهده کرد (Jafarri, ۲۰۱۳).



شکل ۴-۲ موقعیت دره در قسمت شرقی معدن (Jafarri, ۲۰۱۳)

در این شکل تراز دره ۱۷۶۰ متر است (با علامت River مشخص شده است) و تراز معدن بیش از ۲۳۶۰ متر است. بلندترین و پست‌ترین نقاط درروی کانسار، به ترتیب ۲۴۵۰ متر (داش دیبی) و ۱۷۰۰ متر (بستر سونگون چای) با اختلاف ۷۵۰ متر است (Jafarri, ۲۰۱۳).

۴-۲-۲- شرایط آب‌وهوایی منطقه

زمستان‌های سرد و یخبندان (شکل ۴-۳) و تابستان‌های معتدل از خصوصیات آب‌وهوایی منطقه سونگون است. میانگین حداکثر درجه حرارت در تابستان ۳۳ درجه سانتی‌گراد و در زمستان ۲۰ درجه سانتی‌گراد ثبت شده است. مقدار حداکثر بارندگی در محل ۴۰۰ میلی‌متر در سال است و مقدار رطوبت نسبی در سال بین ۵۲ تا ۸۵ درصد متغیر است. غالباً جهت وزش باد جنوب غربی است. قابل ذکر است که به علت رطوبت هوا، اراضی این منطقه دارای پوشش گیاهی نسبتاً متراکم و جنگلی بوده و اکثراً از درختان راش، بلوط، ون و افرا پوشیده شده است (Jafarri, ۲۰۱۳).



شکل ۴-۳- نمای از بارش برف در معدن سونگون

۴-۲-۳- زمین‌شناسی ناحیه‌ای

کانسار سونگون، درون توده‌ای نیمه ژرف، با ترکیب میکرومونزونیت پورفیری جای گرفته است. این توده نفوذی با سری سنگ‌های برش ولکانیکی، با ترکیب داسیتی و توف‌های آن و افق‌هایی از گدازه‌های آندزیتی گستره‌ای بزرگ را پدید می‌آورند که به‌سوی شمال تا مرز ارس و آن‌سوی آن گسترده می‌شود. توده نیمه ژرف میکرومونزونیت پورفیری به‌سوی جنوب به تناوبی از سنگ‌های آتشفشانی برشی با ترکیب داسیتی و توف‌های وابسته بدان و چند افق از گدازه‌های تراکی-آندزیتی بنفش تا صورتی‌رنگ تبدیل می‌شود. برش‌ها درشت‌دانه و بدون لایه‌بندی‌اند حال‌آنکه توف‌ها ریزدانه و لایه‌بندی شده‌اند. برش‌ها و گدازه‌ها نیز بافت پورفیری دارند و از نقطه‌نظر ترکیب و ساخت همسانی بسیار نزدیکی با توده‌های مونزونیتی دارند (Jafarri, ۲۰۱۳).

۴-۲-۴- مشخصات معدن

معدن مس سونگون در استان آذربایجان شرقی در همسایگی جمهوری آذربایجان قرار دارد (Fathzadeh, ۲۰۱۲). در شکل ۴-۴ تصویری از قسمت شمالی سینه‌کار معدن مشاهده می‌شود.

سابقه معدنکاری در معدن مس سونگون به دو قرن پیش (دوره قاجاریه) برمی‌گردد که استخراج در آن زمان به‌صورت زیرزمینی صورت می‌پذیرفته است. پس از احراز وجود ذخیره مس پورفیری در این منطقه در سال ۱۳۵۶ و انجام مطالعات مقدماتی در سال ۱۳۷۴ توسط شرکت ایتوک عملاً پیش باطله‌برداری ابتدائی از سال ۱۳۷۳ توسط شرکت‌های باطله‌برداری ترانشه معدن و اولنگ آغاز شد.



شکل ۴-۴- نمایی از بخش شمالی معدن سونگون

با تکمیل مطالعات توسط شرکت اولنگ و Rio Tinto عملیات باطله‌برداری توسط شرکت‌های مبین، آجین و اولنگ و همچنین ساخت کارخانه تغلیظ از سال ۸۰ شدت گرفت تا اینکه در نیمه دوم سال ۸۵ عملاً بهره‌برداری از این معدن با ارسال ماده معدنی به کارخانه آغاز گردید. روش استخراج در معدن سونگون روباز بوده و با مطالعه و بررسی‌های به‌عمل‌آمده توسط کارشناسان داخلی و خارجی بهینه‌سازی حد نهایی پیت^۱ معدن به همراه مسیرهای ارتباطی مشخص گردید. پارامترهای استخراجی معدن مس سونگون به شرح جدول ۴-۱ است (Fathzadeh, ۲۰۱۲):

جدول ۴-۱ پارامترهای استخراجی معدن مس سونگون (Fathzadeh, ۲۰۱۲)

مقدار	نوع پارامترهای استخراجی
۷۹۶ میلیون تن	ذخیره زمین‌شناسی کانسار
۴۱۰ میلیون تن	کل ذخیره قابل‌استخراج
۳۲ سال	عمر معدن
۰/۶ درصد مس	عیار متوسط سنگ معدن (ذخیره قابل‌استخراج)
۱/۷	مقدار باطله به ماده معدنی
۳۰ تا ۴۰ درصد	شیب کلی معدن
۶۸ درجه	شیب پله‌های عملیاتی
۸ تا ۸/۵ درجه	شیب جاده‌های ارتباطی
۲۳۶۲/۵	تراز اولین پله معدن
۱۶۰۰ متر	تراز آخرین پله
۱۲/۵ متر	ارتفاع هر پله
۲۵ درجه	شیب کلی معدن

^۱ - Final Pit Limit

بالاترین تراز دامپ	۲۳۲۵ متر
پایین ترین تراز دامپ	۱۸۷۵ متر
ارتفاع متوسط هر دامپ	۳۷/۵ متر

دیگر پارامترهای در نظر گرفته شده برای طراحی معدن مطابق جدول ۴-۲ است (Fathzadeh, ۲۰۱۲):

جدول ۴-۲- پارامترهای فنی طراحی در معدن مس سونگون سال ۱۳۹۰ (Fathzadeh, ۲۰۱۲)

شیب سینه کار پله های استخراجی	۶۵ درجه
عرض جاده های ارتباطی	۲۵-۳۰ متر
شیب جاده های ارتباطی	۸ تا ۱۰ درصد
بازیابی استخراج	۹۵ درصد
اختلاط باطله و ماده معدنی	۸ درصد
ابعاد بلوک ماده معدنی	۲۵×۲۵×۱۲/۵
شیب کاواک نهایی	۳۰ تا ۴۰ درجه
بازیابی کلی مس	۸۲/۹ درصد
نرخ تولید	۷ میلیون تن تا سال ۱۳۹۲ و ۱۴ میلیون تن تا انتهای عمر معدن
تعداد روزهای کاری معدن	۳۶۵ روز

۴-۳- انتخاب دستگاه جهت مطالعه

بنابراین مهمترین چالش پس از جمع آوری داده از شرکت های پیمانکاری مختلف و بررسی اولیه داده ها تنها سیستم های بارگیری نو مورد نظر بوده که از این بین نیز با توجه به محدودیت در تحلیل ها از بابت بانک داده تنها یک مورد بیل مکانیکی کوماتسو ۱۲۵۰-PC امکان بررسی داشت؛ لذا به طور خلاصه سیستم مورد تحلیل ما یک دستگاه بارگیری از شرکت آجین انتخاب شد. شکل ۴-۵ نمایی از دستگاه مورد مطالعه در حال کار در معدن فوق الذکر را به نمایش گذاشته است.

سایر مشخصات دستگاه در بخش پیوست رساله جهت مطالعه و دسترسی به اطلاعات بیشتر در مورد دستگاه فوق الذکر ارائه شده است.



شکل ۴-۵- نمایش از دستگاه انتخابی در حال کار در معدن سونگون اهر

۴-۴- جمع‌بندی فصل

در این رساله جهت صحت سنجی تحلیل های صورت گرفته مطالعه موردی بر روی معدن مس سونگون اهر در دستور کار قرار گرفت، معدن فوق جزو یکی از بزرگترین معادن روباز کشور محسوب می شود. تنوع ماشین آلات موجود در معدن باعث شد دستیابی به داده های مورد نیاز با توجه به ثبت داده های منظم در بخش های مختلف معدن راحت تر صورت گیرد، هرچند فرسودگی بیش از حد ماشین آلات موجود در معدن (که یکی از مشکلات بزرگی است که نه اساساً در این معدن بلکه در کل کشور با آن روبرو هستیم) انتخاب دستگاه مورد مطالعه نهایی را تا حدی با مشکل روبرو کرد. در فصل بعدی نسبت به بررسی و تحلیل داده های اخذ شده اقدام خواهد شد.

فصل پنجم



پیاده سازی رویکرد پیشنهادی در سیستم بارکننده

معدن مس سونگون اهر

۵-۱- مقدمه

همانطور که در فصل قبل بحث شد، برای صحت سنجی و آزمون رویکرد پیشنهادی، مطالعه موردی از سیستم بارگیری معدن مولیبدن- مس آذربایجان (مس سونگون) در دستور کار قرار گرفت. این معدن در استان آذربایجان شرقی و شمال غربی شهرستان ورزقان واقع بوده و جزو معادن بزرگ مقیاس کشور محسوب می شود. عملیات استخراجی در سینه کارهای مختلف معدن بعهدده سه پیمانکار بزرگ بوده که همین امر باعث وجود تنوع بسیار زیادی در ماشین آلات استخراجی شده است. بابررسی اجمالی ماشین آلات که اکثراً گران قیمت بوده مشخص گردید ماشین آلات بخش بارگیری و باربری معدن قدیمی بوده و در فاز فرسودگی با نرخ مخاطره افزایشی قرار داشته و بشدت نیازمند نگهداری و تعمیرات هستند. این نگهداری یعنی حفظ توانایی کارکرد سیستم در کشوری با سیاست ها و روابط خاص که مساله را پیچیده تر کرده و نکته مهم در بررسی ها این بود که عملاً امکان از رده خارج کردن ماشین آلات و جایگزینی آنها با ماشین آلات جدید نیز وجود نداشته لذا باید با پشتیبانی از ماشین آلات موجود به حفظ آنها پرداخت یا این ماشین آلات را با برندهای بی کیفیت که دارای نرخ خرابی بسیار زیادی نیز می باشند، جایگزین نمود. باتوجه به سیاست شرکتهای پیمانکار استخراجی معدن مس سونگون جهت نگهداری هرچه مطلوب تر این ماشین آلات باید رفتار سیستم بصورت دقیق مورد تحلیل قرار گیرد. برای این منظور از روشهای تحلیل مهندسی قابلیت اطمینان استفاده میگردد.

۵-۲- چارچوب تحلیل عمر مفید باقیمانده و پیشنهاد سیاست نت

عمر باقیمانده سیستم به عنوان بازه زمانی از لحظه فعلی تا آخر عمر مفید سیستم تعریف می شود. این تعریف در زمینه های مختلف همچون تحقیق در عملیات، علم مواد، بیواستاتیک و اقتصاد با رویکردهای مختلف و براساس داده های مختلف بکار رفته است. خروجی این عبارت در انواع سیاست های نت مورد استفاده قرار گرفته است، ولی طبق بررسی های به عمل آمده در بخش مرور ادبیات مطالعه منسجم و کاربرپسند که قابلیت اجرایی در بخش مهندسی معدن را دارا باشد، وجود نداشته است. در شکل ۵-۱ چارچوب انجام تحلیل ها که توسط نگارنده پیشنهاد شده، شامل مراحل زیر است:

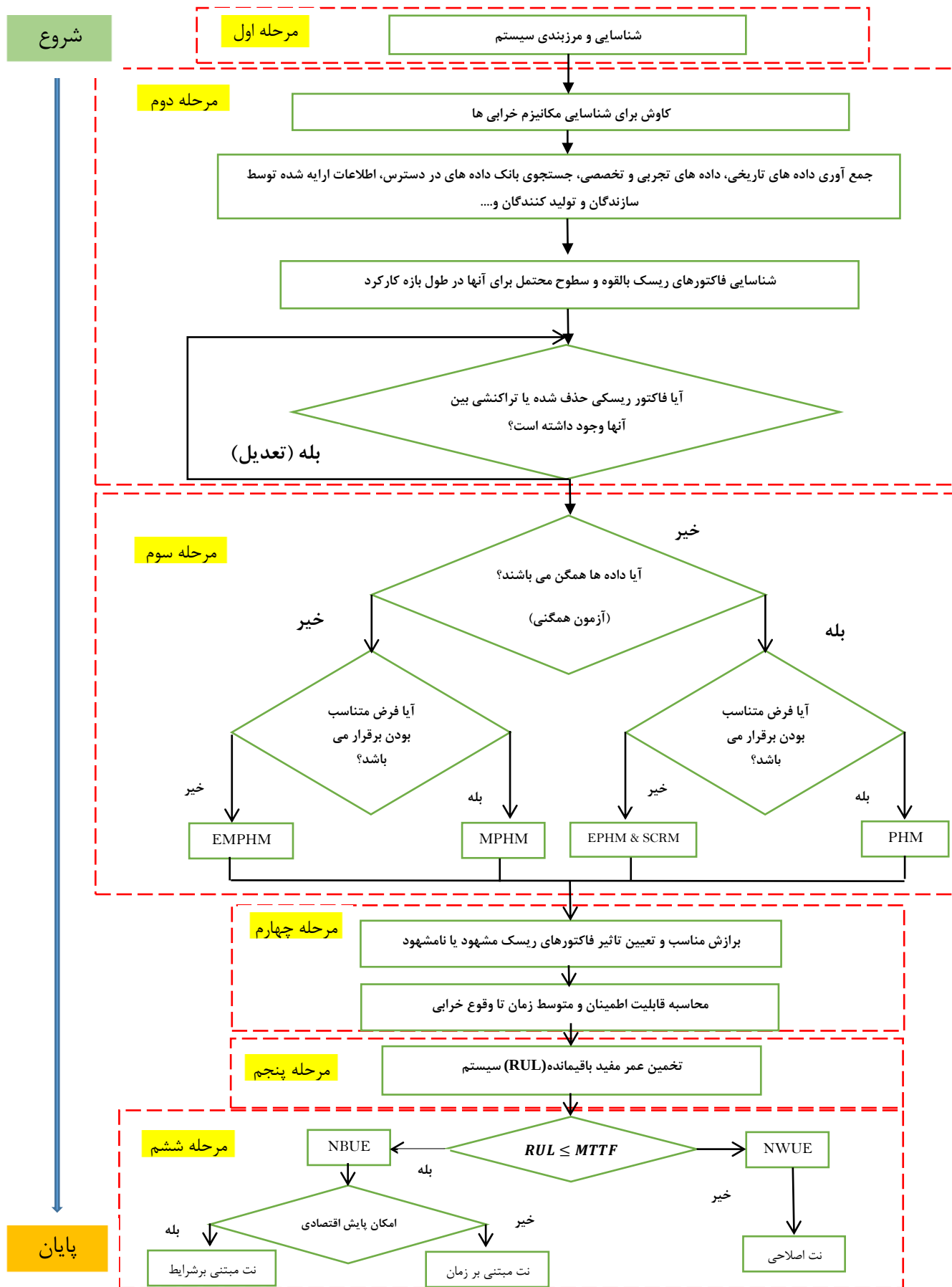
- **مرحله اول:** در اولین گام بایستی سیستم مشخص شده و در مرحله بعد پس از بررسی آن در سرزمین، نظرات متخصصین اخذ شده و این اطلاعات کیفی با داده های کمی ثبت شده در بخش های مختلف ادغام شوند تا در نهایت با توجه سطح اطلاعات موجود و پیکربندی سیستم موجود تا جای ممکن زیرسیستم ها تعیین شوند. سیستم متشکل از مجموعه ای زیرسیستم

است که برای انجام هدف خاص در ارتباط به یکدیگر فعالیت می‌کنند. جزء نیز پائین‌ترین سطح سیستم است که امکان تقسیم به قسمت‌های کوچکتر را ندارد. مانند تسمه، لاستیک، ... در این رساله نیز مطالعه موردی از معدن مس سونگون انتخاب شده و با توجه به شرایط حاکم، پیکربندی دستگاه و نحوه ثبت داده‌ها در سرزمین مرزبندی سیستم انجام گرفت و مطالعه در سطح سیستم صورت گرفت.

- **مرحله دوم:** در این مرحله اطلاعات لازم از منابع مختلف جمع‌آوری و داده‌های مورد نیاز استخراج می‌شود. از آنجایی تخمین عمر مفید باقیمانده نیازمند محاسبه قابلیت اطمینان است، داده‌های مورد نیاز از باید از جنس خرابی باشند. خرابی به عنوان هر دلیلی که سیستم را از حالت کارکرد طبیعی خارج کرده و سبب توقف شود در نظر گرفته می‌شود. به طور کل سیستم سه وضعیت دارد: حالت توقف (Down time)، کارکرد (Uptime) و آماده‌به‌کار (Standby) که دو حالت توقف و آماده به کار برای تحلیل قابلیت پشتیبانی و تعمیرپذیری مورد استفاده قرار گرفته و داده‌های حالت کارکرد برای تحلیل قابلیت اطمینان بکار می‌روند. جدا از داده‌های زمانی (از جنس زمان) توصیف شرایط محیطی و وارد نمودن تاثیر شرایط محیطی نیازمند فاکتورهای ریسک است. بدین منظور ابتدا تمامی فاکتورهای ریسک موثر (تا جای ممکن) در خرابی‌ها مشخص شده، سپس براساس اطلاعات موجود و نظرات متخصصین فاکتورهای واقعاً موثر حفظ شده و در مرحله بعد تراکنش بین فاکتورها بررسی می‌شود. منظور از تراکنش اینکه دو فاکتور با هم هم‌پوشانی نداشته یا وابستگی با خرابی‌ها نداشته باشند. در این صورت می‌باید برخی فاکتورهای ریسک حذف یا با یکدیگر ادغام یا نرمالیزه شوند، تا این وابستگی و تراکنش بین داده‌ها حذف شود.

- **مرحله سوم:** این قسمت شاید برای نخستین بار در تحلیل‌ها وارد می‌شود، بدین صورت که در مرحله حذف و جلوتر در زمانی که فاکتورهای ریسک تعیین می‌شوند، برخی فاکتورهای ریسک به صورت ناخواسته از تحلیل‌ها کنار گذاشته می‌شوند. گاهی نیز از همان ابتدا امکان وارد کردن آنها به علت عدم مشاهده و یا عدم امکان ثبت در تخمین شاخص‌های عملکردی سیستم وجود ندارد، این فاکتورهای ریسک به عنوان فاکتورهای ریسک نامشهود باعث ایجاد ناهمگنی در داده‌ها می‌شوند، که نهایتاً این امر تغییر در نتیجه محاسبات را رقم خواهد زد. از این‌رو در این مرحله نخست از آزمون همگنی برای تعیین همگنی استفاده شده و در صورت منفی بودن پاسخ از مدل‌های مرکب نرخ مخاطرات متناسب (MPHM) برای داده‌ها با نرخ مخاطره متناسب (فرض متناسب برقرار بوده و فاکتورهای ریسک وابسته به زمان نیستند) و

یا از مدل مرکب توسعه یافته نرخ مخاطرات متناسب (EMPHM) برای داده‌ها با نرخ مخاطرات نامتناسب استفاده خواهد شد.



شکل ۵-۱- الگوریتم تحلیل عمر مفید باقیمانده و پیشنهاد سیاست نت مناسب

و در صورت همگن بودن نتیجه آزمون همگنی سراغ مدل نرخ مخاطرات متناسب (PHM) برای داده‌ها با نرخ مخاطره متناسب رفته و برای داده‌ها با فاکتورهای ریسک وابسته به زمان از مدل نرخ مخاطره توسعه یافته (EPHM) یا مدل رگرسیون کاکس طبقه‌بندی شده (SCRM) استفاده می‌شود.

- **مرحله چهارم:** تعیین مدل مناسب (نوع مدل نمایی یا ویبول بودن نرخ مخاطره اساسی) با استفاده از آزمون نیکوئی برازش (GOF) مشخص می‌شود. سپس پارامترهای مجهول مدل و ضرایب تاثیر هر یک از فاکتورهای ریسک تخمین زده می‌شوند. در نهایت از آنجایی که توابع خروجی مدل‌های پیشنهادی همه از نوع نرخ مخاطره خواهند بود، قابلیت اطمینان سیستم براساس مدل مناسب و پارامترهای تخمینی و با استفاده از روابط بین قابلیت اطمینان با نرخ مخاطره برآورد می‌شود. بدین ترتیب در خروجی این مرحله قابلیت اطمینانی از سیستم خواهیم داشت که رفتار عملکردی سیستم را براساس رفتار خرابی‌ها و تاثیر فاکتورهای ریسک مشهود و نامشهود بیان می‌کند.

- **مرحله پنجم:** عمر مفید باقیمانده محاسبه شده در این روش مبتنی بر قابلیت اطمینان سیستم خواهد بود؛ لذا پس از تخمین قابلیت اطمینان در این مرحله با توجه به روابط موجود بین تابع قابلیت اطمینان و RUL که در فصل ۲ به آن اشاره شد، اقدام به تعیین عمر مفید باقیمانده سیستم براساس ارتباط بین RUL و قابلیت اطمینان خواهد شد.

- **مرحله ششم:** آخرین مرحله از الگوریتم نیز در رابطه با پیشنهاد سیاست نت مناسب براساس عمر مفید باقیمانده است. بدین منظور RUL با متوسط زمان تا وقوع خرابی (MTTF) مقایسه خواهد می‌شود. در صورت کوچکتر بودن RUL از MTTF سیستم دارای توزیع NBUE، که در این صورت باید بررسی شود آیا امکان بهره‌مندی از تکنولوژی پایش وضعیت وجود دارد یا خیر؟ اگر وجود نداشته باشد، باید از نت پیشگیرانه مبتنی بر زمان استفاده نمود و اگر سرمایه و تکنولوژی کافی وجود داشته باشد، باید سراغ نت مبتنی بر شرایط رفت. در صورت بزرگتر بودن RUL از MTTF نیز سیستم دارای توزیع NWUE که در این صورت نیازی به اعمال نت پیشگیرانه نبوده و تنها در صورت وقوع خرابی وارد عمل می‌شوند که این نوع نت در واقع همان نت اصلاحی است.

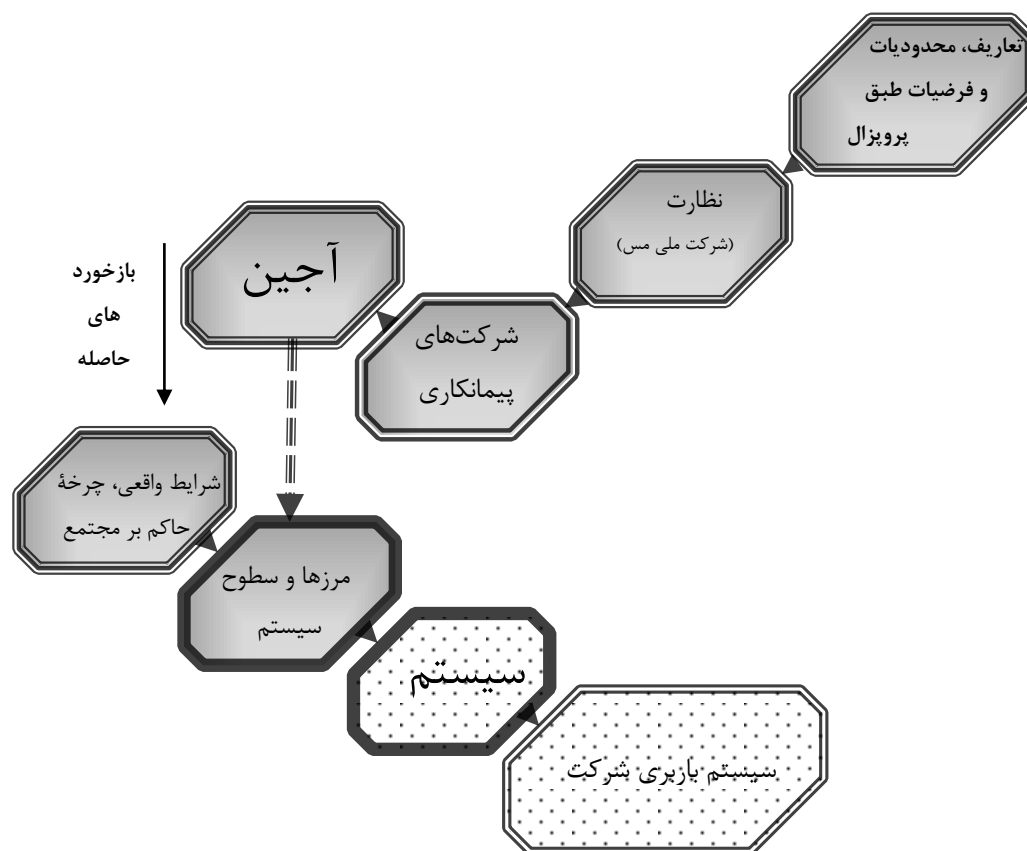
۵-۳- محدودیات، فرضیات و مرزبندی سیستم استخراجی معدن سونگون

هدف اصلی تحقیق، مطالعه عمر مفید باقیمانده سیستم بارگیری (لودر، بیل مکانیکی یا شاول که با توجه به شرایط موجود بیل مکانیکی انتخاب خواهد شد) و پیشنهاد برنامه‌ریزی واقعی ترنت بر اساس RUL و تاثیر شرایط محیطی است؛ لذا اهداف کلی‌تر پروژه به اهداف ریزتری تقسیم‌بندی شد که نقطه شروع تعریف مرز^۱ سیستم است. مرز سیستم بر اساس اجزاء داخلی سیستم تعریف می‌شود تا از همپوشانی با سیستم‌های مجاور جلوگیری شود. ذکر این نکته ضروری است که تنها خرابی‌های داخل مرزها در محاسبات وارد خواهند شد؛ همچنین مرزبندی، تأثیر مستقیم در جمع‌آوری داده نیز خواهد داشت؛ لذا باید مرزبندی انجام‌گرفته تا حد امکان در سازگاری با داده‌های موجود (ثبت شده) نیز باشد. در شکل ۵-۲ روند فرایند کلی تعیین مرزها و محدودیت‌ها ترسیم شده است.

در گام بعدی، با توجه به تصمیمات اتخاذشده، مراجعات به شرکت‌های پیمانکاری شروع شد. طی این بازدیدها، ملاقات و مصاحبات با متخصصین امر صورت گرفته و محدودیات، فرضیات، داده‌های موردنیاز و اهداف رساله برای ایشان تعریف‌شده و بازخوردهایی (شکل ۵-۲، خط‌چین‌ها) از کلیت سیستم، بخش‌های ثبت داده، نحوه ثبت، داده‌های ثبت شده، ... جمع‌آوری شد. فرضیات ارائه شده بر اساس پروپوزال و بازخوردهای حاصله در این گام که منجر به تعیین مرزها و سطوح مختلف سیستم شده را می‌توان به‌صورت ذیل خلاصه کرد:

- فاز عملیاتی در این رساله مورد تحقیق و بررسی قرار خواهد گرفت و از وارد شدن به سایر فازها خودداری می‌نماییم.
- محیط معدنی در مجتمع مورد نظر بوده و سایر محیط‌ها در فاز مطالعاتی ما قرار نخواهد گرفت؛ چراکه مجتمع مذکور علاوه بر بخش معدن دارای کارخانه فرآوری مس نیز است.
- فاکتورهای ریسک (متغیرهای کمکی) بر اساس توانایی بانک داده موجود تعیین خواهد شد؛ در کل یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در تشکل بانک داده و تعیین فاکتورهای ریسک این فرض بود، چراکه در عمل بدون استفاده از اسناد ثبت شده و داده‌های موجود قادر به بررسی رفتار ماشین‌آلات نیستیم. از سویی دیگر ثبت شخصی داده‌های موردنیاز در عمل با توجه به گستردگی فوق‌العاده کار غیرممکن و در صورت انجام، نیز دوباره‌کاری شده، هزینه‌بر و از همه مهم‌تر بسیار وقت‌گیر خواهد بود؛ درنتیجه بر اساس بانک‌های داده موجود در بخش‌های

مختلف معدن به تعیین فاکتورهای متعدد ریسک پرداخته شد تا با استفاده از آن رفتار واقعی سیستم توصیف شود.



شکل ۵-۲- فرایند کلی تعیین مرزها و محدودیت ها

- برای پیش‌بینی شاخص‌های عملکردی سیستم از داده‌های تاریخی ثبت شده استفاده خواهد شد؛ طبق فرض ارائه شده و شرایط حاکم بر مطالعه موردی یکی از مهم‌ترین منابع مورد استفاده، اسناد ثبت شده توسط بخش‌ها و ترجمان‌های مختلف بود که در بخش گردآوری داده به توضیح آن‌ها پرداخته خواهد شد.
- ناوگان در سطح سیستم مورد بررسی قرار خواهد گرفت؛ ناوگان طبق فرض در نظر گرفته باید در سطح سیستم مورد بررسی قرار می‌گرفت، که اگر زیر سیستم نیز در نظر گرفته می‌شد، مرزبندی باید به‌گونه‌ای انجام می‌گرفت که اولاً از همپوشانی جلوگیری شود؛ یعنی هر سطح و بخش‌های مختلف موجود در آن به‌طور مستقل قابل بررسی باشند، ثانیاً با شرایط واقعی و تقسیمات سرزمین نیز سازگار باشد تا نتایج حاصله از تحلیل سیستم کاربرد صنعتی داشته باشد و از سویی دیگر این تقسیمات با فرآیند ثبت داده در مجتمع نیز سازگار باشد تا بتوان با چرخه حاکم و بهره‌گیری از تلاش‌های صورت گرفته شروع به تحلیل کرد. چرخه حاکم بر این

شرکت‌ها نتیجه تلاش و تجربه کاری چندین ساله بوده و در حال حاضر نیز از ابعاد مختلفی مشغول به بهره‌برداری از بانک داده‌های حاصله از این چرخه می‌باشند.

- یکی از مهمترین اولویت‌ها در انتخاب سیستم سرپا بودن آن و امکان تحلیل RUL برای آن است: اکثر قریب به اتفاق دستگاه‌های موجود در معدن سونگون مدت بسیار طولانی در این مجموعه بوده یا از سایر پروژه‌های معدنی توسط پیمانکاران وارد مجموعه شده و لذا چندین سال است که عمر مفید آنها طی شده و اصلاً قابل تحلیل نیستند؛ باتوجه به بررسی‌های انجام شده صرفاً یک مورد بیل‌مکانیکی از برند کوماتسو با مدل PC-۱۲۵۰ امکان بررسی داشت؛ لذا به طور خلاصه سیستم مورد تحلیل ما یک دستگاه بارگیری از شرکت آجین انتخاب شد.
- بازه تحلیل از اول دی‌ماه ۱۳۹۵ تا آخر شهریورماه ۱۳۹۶ به مدت ۸ ماه در نظر گرفته شد؛ بازه تحلیل داده‌ها بر اساس بیشینه زمان ممکن برحسب ثبت داده‌ها در منابع مختلف تعیین شد.

البته بایستی ذکر شود که فرضیات بیشتر و جزئی‌تر برای هر بخش در ابتدای آنها ذکر شده است.

۴-۵- جمع‌آوری و تشکیل بانک اطلاعاتی اولیه

در نخستین گام با توجه به فرضیات و داده‌های موجود در معدن سیستم موردنظر مشخص شد. سپس مطابق روش تحقیق ارائه شده به گردآوری داده‌ها از منابع مختلف و تشکیل بانک داده پرداخته شد تا در مراحل آتی با استفاده از آن به تحلیل قابلیت اطمینان سیستم پرداخته و نهایتاً عمر مفید باقیمانده سیستم محاسبه شود. باید توجه کرد که ضمن تشکیل بانک داده و تعیین رفتار خرابی‌ها برای سیستم بر اساس آمارهای زمانی به دنبال تعیین پارامترهای محیطی مؤثر بر رفتار خرابی نیز هستیم:

"چالش‌ها و پارامترهای عمده مؤثر بر کارکرد بالاحص قابلیت اطمینان سیستم

در بارکننده استخراجی معدن چیست؟"

تعیین این پارامترها و چالش‌ها که تحت عنوان فاکتورهای ریسک (متغیرهای کمکی) تعریف شدند، یکی از عمده‌ترین مشکلات پیشروی بودند که طی چندین مرحله اقدام به تعیین آن‌ها شد. بازه زمانی در نظر گرفته شده برای این مرحله از رساله در حدود ۶ ماه پیش‌بینی شده بود. این مرحله با توجه به گستردگی فعالیت معدنی در بین شرکت‌های پیمانکاری مختلف، تنوع داده‌های موردنیاز (داده‌های زمانی و شرایط محیطی)، منابع گسترده جهت گردآوری داده (گزارش‌های روزانه، تعمیرگاه، هواشناسی، مصاحبه، انبارداری، ...)، بازه زمانی تحقیق، نحوه ثبت داده‌ها در هر یک از این شرکت‌ها و کارفرما و برخی مشکلات غیرمترقبه به‌شدت پیچیده و وقت‌گیر شد. از سویی دیگر یکی از مشکلات اساسی دیگر در تشکیل بانک داده فرسودگی بیش از حد ماشین‌آلات فعال بود، که در عمل حتی قبل

از شروع تحقیق و با یک بررسی میدانی تقریباً صفر بودن عمر باقیمانده مفید واضح بود. از این رو تعیین سیستمی که پاسخگوی رویکرد پیشنهادی باشد عملاً مهمترین چالش در بخش مرزبندی سیستم بود. در این رساله هر یک از ماشین‌آلات بارگیری (بیل‌مکانیکی، لودر، شاول،...) به‌عنوان یک سیستم در نظر گرفته شد. در مرحله بعد پس از بررسی تمامی سیستم‌های بارگیری از سه پیمانکاری مبین، آجین و نوآوران، یک دستگاه **بیل‌مکانیکی کوماتسو PC-۱۲۵۰** به عنوان مطالعه موردی انتخاب شد. این دستگاه نخستین بار از ابتدای بهمن ماه ۱۳۹۶ شروع به کار کرده و لذا بازه جمع‌آوری داده تا انتهای شهریور ۹۷ به مدت ۸ ماه مقدر بود. قابل ذکر است که شرکت آجین به علت فرسودگی زیاد از حد سیستم‌های بارگیری از نیمه دوم سال ۹۶ اقدام به نوسازی مجموعه نموده و اکثر دستگاه‌های قبلی را از رده خارج نموده است. در این بین سیستم انتخابی اولین دستگاه وارد شده به معدن بوده و بزرگترین بازه زمانی ممکن برای تحقیق را دارا بود.

پس از تعیین سیستم، بانک داده براساس اطلاعات کسب شده از منابع مختلف تشکیل شد، سپس داده‌های خرابی (زمان‌های بین خرابی‌ها) و تعمیرات (زمان‌های بین تعمیرات) سیستم برای تعیین شاخص عملیاتی قابلیت اطمینان (در صورت نیاز قابلیت تعمیرپذیری و دسترسی) با در نظرگیری شرایط محیطی (فاکتورهای ریسک) از آن استخراج شد. در ادامه نحوه گردآوری و استخراج داده‌های موردنیاز مورد بررسی قرار گرفته است. قابل ذکر است که تمامی فرایند تشکیل بانک داده با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفته است.

قبل از ورود به مبحث بانک داده و نحوه تشکیل آن بایستی توجه داشت که عمر مفید باقیمانده (RUL) که تحت عنوان زمان مورد انتظار برای شکست تعریف می‌شود، از رابطه (۵-۱) پیروی می‌کند:

$$MTTF(t.) = \frac{\int_{t.}^{\infty} R(t)}{R(t.)} = \frac{\int_{t.}^{\infty} R(t)dt - \int_{t.}^{t.} R(t)}{R(t.)} = \frac{MTTF - \int_{t.}^{t.} R(t)}{R(t.)} \quad (۲-۵)$$

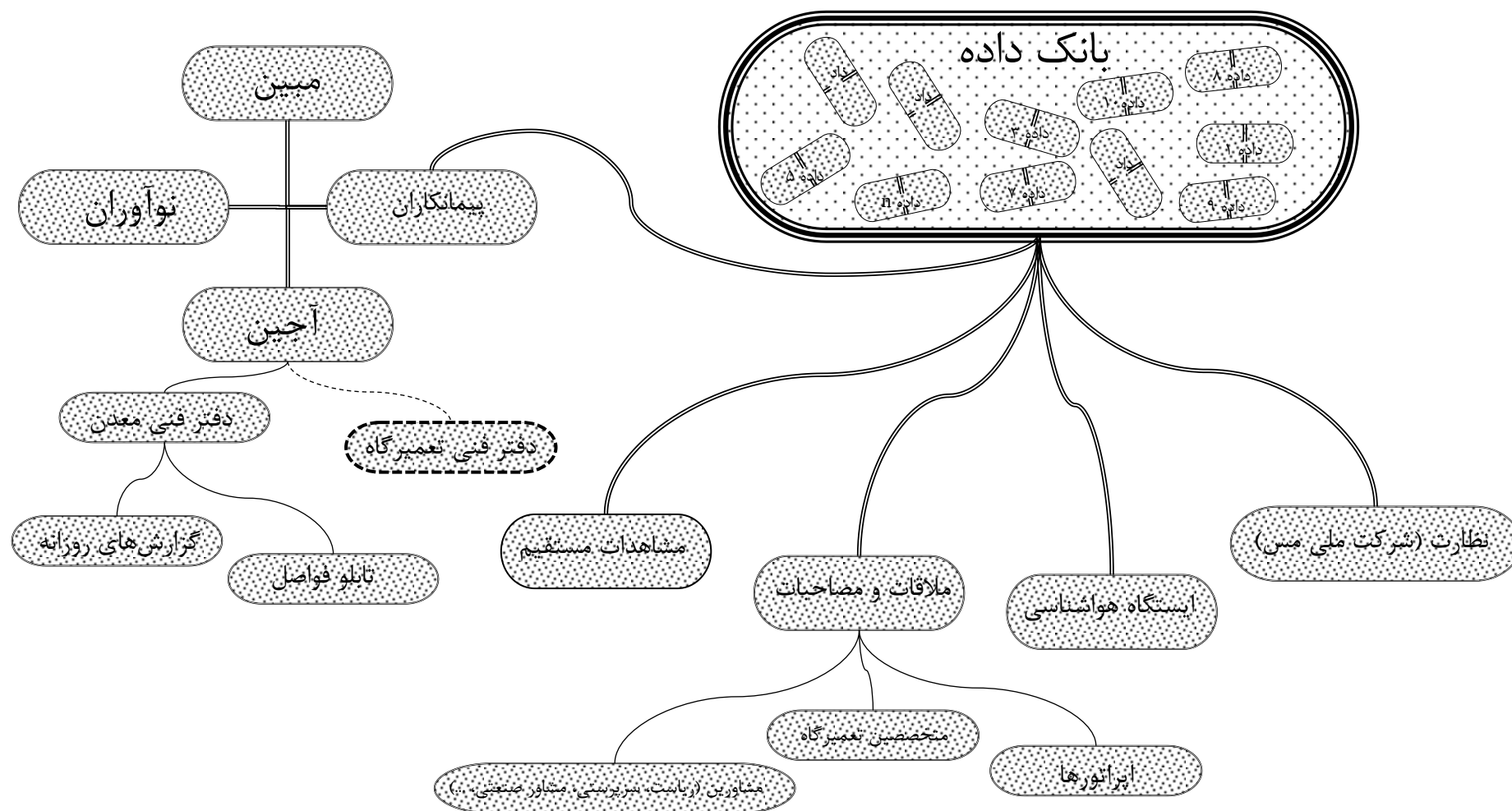
همانطور که از رابطه فوق مشخص می‌شود، مقدار RUL براساس مدت زمان سرپایی دستگاه یا به عبارت بهتر براساس قابلیت اطمینان دستگاه تعریف می‌شود. از این رو داده‌های زمانی مورد نیاز نیز از جنس زمان بین خرابی (TBF) خواهد بود. از سویی دیگر برای وارد نمودن تأثیرات شرایط محیطی بر قابلیت اطمینان سیستم، نیازمند تعیین فاکتورهای ریسک مرتبط با سیستم هستیم. درواقع به‌طورکلی با دو نوع داده یعنی داده‌هایی از جنس زمان^۱ (TBF و TTR) و داده‌هایی برای تعیین تأثیر شرایط محیطی (فاکتورهای ریسک) مورد نیاز بود. این داده‌ها را می‌توان از منابع مختلف مانند: اسناد

۱ - Relative Humidity

ثبت شده (گزارش‌های گروه نت، مکانیک، روزانه ...)، مدارک آرشیو شده (گزارش‌های قبلی، دفترچه ماشین‌آلات ...)، ملاقات و مصاحبه‌ها، مشاهدات مستقیم گردآوری نمود. در شکل ۳-۵ فرایند جمع‌آوری و تشکیل بانک داده نشان داده شده است. در این تحقیق پس از مطالعه موردی و بررسی شرایط حاکم پنج منبع اصلی شامل: نظارت، ایستگاه هواشناسی، ملاقات و مصاحبه ها ، مشاهدات مستقیم، پیمانکاران برای جمع‌آوری داده در نظر گرفته شد.

۵-۴-۱- نظارت

نظارت یا کارفرما که درواقع شرکت ملی مس بوده و وظیفه بازبینی، نظارت، کنترل، اصلاح، ارائه پیشنهاد، تصمیم‌گیری و مواخذه بخش‌های مختلف را عهده‌دار و کلیه تصمیمات اتخاذ شده در سطح کلان معدن بر عهده این بخش هست. نظارت مانند هر ارگان مدیریت دیگری برای انجام وظایف خود یکسری روش‌های بکار می‌گیرد که در حالت کلی می‌توان آن را در دو دسته تقسیم‌بندی کرد (شکل ۳-۵):



شکل ۵-۳- فرآیند تشکیل بانک داده

I . نظارت مستقیم و بازرسی‌های روزانه در سرزمین: این فعالیت از طرف مدیریت و زیرشاخه‌های نظارت به‌صورت مکرر در هر نوبت انجام می‌گیرد. برای این کار یا شخص مدیریت و معاونین در معدن حاضر شده و از نزدیک پیشروی فرآیند را نظارت می‌کنند و یا از افرادی زبده و متخصص مشاوره می‌گیرند.

II . واحدهای کنترل: واحدهایی مانند نقشه‌برداری، کنترل پروژه، طراحی، تعیین عیار، آتشباری، ... از طریق جمع‌آوری مستقیم داده یا دریافت داده‌های موردنیاز از پیمانکاران و یا با به‌کارگیری هر دو مورد و تطبیق آن‌ها با فعالیت انجام‌گرفته در معدن نتایج فرآیند کنترل را به مدیریت ارجاع می‌دهند. مدیریت معدن نیز با استفاده از نتایج حاصله، سیاست‌های کلی شرکت و طرح اجرایی ارائه شده توسط مشاورین (پارس اولنگ) تصمیمات لازمه را اتخاذ می‌نمایند.

قابل ذکر است که محدوده تحقیق بر معدن متمرکز بوده و این تقسیمات برای این واحد مجتمع در نظر گرفته شده است.

نهایتاً تمامی این روش‌ها نیازمند دریافت بازخورد یا داده می‌باشند که نظارت آن‌ها را از طرق مختلف گردآوری می‌نماید، از این‌رو خود این واحد به‌عنوان یک بانک داده عظیم و معتمد قابل‌استفاده خواهد بود. با این‌وجود در تحقیق خود از داده‌های نظارت که به نحوی شامل تمامی داده‌های خام هست، عمدتاً بعنوان میزان یا شاخصی برای صحت سنجی داده‌های به‌دست‌آمده از دیگر بخش‌ها استفاده نمودیم؛ چراکه داده‌های این بخش غالباً خام بوده (کتبی)، مرتب نشده یا تنها برحسب نیاز بخشی از داده‌ها از منبع اصلی دریافت شده که این منجر به نقص در آن‌ها شده است. از این‌رو اساس بانک داده برحسب داده‌های دریافتی از منابع اصلی هست.

۵-۴-۲- هواشناسی

مطابق شکل ۵-۳ داده‌های مربوط به این منبع از ایستگاه هواشناسی واقع در خود مجتمع دریافت شد. این ایستگاه روزانه داده‌های مربوط به وضعیت آب‌وهوا در قالب عنوان های زیر ثبت می‌نماید:

✓ تاریخ^۱: شامل روز، ماه و سال

✓ دما^۲: برحسب درجه سلسیوس شامل کمینه دما، بیشینه دما و متوسط دما

۱ - Date

۲ - Temperature

✓ رطوبت نسبی^۱: برحسب درصد شامل: کمینه رطوبت، بیشینه رطوبت و متوسط رطوبت

✓ بارندگی^۲: برحسب میلی متر شامل: مجموع بارندگی برف، باران

✓ وضعیت جوی^۳: شامل دو بخش:

○ نوع^۴: آفتابی، صاف، ابری، نیمه ابری، مه آلود

○ میزان^۵: شامل اعدادی به صورت ۱/۸، ۲/۸، ...، ۸/۸ که برحسب شرایط ابری

پراکنده (۱/۸) تا کاملاً ابری به همراه بارش (۸/۸) امتیازبندی شده است.

در نهایت داده های روزانه در قالب یک گزارش ماهیانه به صورت جدول ۵-۱ ارائه می شود. این جدول در آخرین سطور هر گزارش شامل متوسط کلی برای هر ستون هست که در صورت کاستن دقت پارامترهای مورد نیاز از آن داده ها می توان از سطر آخر این جدول استفاده کرد؛ یعنی به جای تعیین وضعیت روزانه برای کل ماه یک مقدار متوسط در نظر گرفت. ما در تحقیق خود به دنبال بانک داده دقیق و قدرتمند بودیم، از این رو از داده های روزانه و نه ماهانه در تحلیل ها استفاده شد. بدین منظور ۸ سری صفحه گزارش ماهیانه (بهمن ۹۶ تا شهریور ۹۷) خام از ایستگاه دریافت شده و در نخستین مرحله از مرتب کردن داده های مربوطه هواشناسی ۸ صفحه گزارش در قالب یک جدول به صورت جدول ۵-۲ مرتب شدند.

جدول ۵-۱- نمونه گزارش ماهیانه هواشناسی - فروردین ۱۳۹۷

Sky Condition		Rain (mm)	Rel.Humidity (%)			Temperature(°C)			Date
Rate	Type	Sum	Avr	Max	Min	Avr	Max	Min	
	semi-cloudy	۰/۲	۵۵/۰	۹۹/۹	۳۶/۰	۷/۱	۱۱/۹	۳/۱	۹۷/۰۱/۰۱
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	semi-cloudy	۱/۱	۵۴/۰	۹۹/۹	۳۱/۰	۸/۸	۱۴/۶	۳/۵	۹۷/۰۱/۳۰
	semi-cloudy	۰/۱	۹۹/۹	۷۲/۱	۳۹/۶	۷/۹	۱۲/۶	۴/۲	۹۷/۰۱/۳۱
		Rain (mm)	Humidity (%)			Temp (oC)			MONTH
		Sum	Avr	Max	Min	Avr	Max	Min	
		۴۶/۱	۷۶/۱	۹۹/۹	۲۱/۹	۵/۲	۱۷/۳	-۵/۲	

همان طور که مشاهده می شود، علاوه بر میزان رطوبت نسبی و دما تنها دو ستون میانگین وارد شده است؛ همچنین علاوه داده های فوق به منظور صحت سنجی و افزایش دقت داده های هواشناسی،

۱ - Relative Humidity

۲ - Rain

۳ - Sky Condition

۴ - Type

۵ - Rate

وضعیت جوی و جاده از گزارش‌های روزانه پیمانکار نیز استفاده شده است. برگه حاصله در مراحل بعدی برای تعیین فاکتورهای ریسک مربوط به وضعیت هواشناسی بکار گرفته می‌شود.

جدول ۵-۲- داده‌های مرتب شده هواشناسی

روز	ماه	سال	Sky.Con.Type	Sky.Con.Rate	Rain (mm)	Rel.Hum. Avr. (%)	Tem. Avr. (°C)
۱	۱	۹۷		Sunny & Clear	۰/۲	۵۵	۷/۱
۲	۱	۹۷		Semi - Cloudy	۰/۰	۴۳/۸	۶/۵
...	...	...	...	...	...	...	...

۵-۴-۳- ملاقات و مصاحبه ها

داده‌های مربوطه به این بخش از سه منبع (شکل ۵-۳):

- مشاوره‌های صورت گرفته با اپراتور دستگاه‌های مختلف بارگیر.
- استعلام نظر کارشناسان و مهندسان بخش تعمیرگاه به‌ویژه سرپرست تعمیرگاه و مسئولین دفتر فنی معدن شرکت.
- راهنمایی‌های صورت گرفته با مشاورین صنعتی محترم، مدیریت مجتمع، مدیریت امور تحقیق و توسعه، مدیریت طراحی و نظارت، سرپرستی معدن شرکت آجین، مسئول نوبت.

جمع‌آوری شده و نتایج آن‌ها که عمدتاً به شکل کیفی بوده در پروسه شناخت معدن، رفع ابهامات نقاط ضعف سیستم و از همه مهم‌تر در تعیین مقادیر کیفی فاکتورهای ریسک مورد استفاده قرار گرفتند.

۵-۴-۴- مشاهدات مستقیم

این منبع از بانک داده توسط شخص محقق و با حضور میدانی در محل مطالعه موردی تکمیل شده است. این منبع شاید از لحاظ کیفی در فرایند گردآوری داده جایی نداشته باشد؛ ولی در تحلیل سیستم، شناسایی چرخه کار، آشنایی با ماشین‌آلات موجود، مشاهده مستقیم شرایط کار و بسیاری از مسائل روانی حاکم در مجتمع مهم‌ترین پارامتر تحقیق بوده و در نتایج تحلیل‌ها نقش بسزایی داشته و

خواهد داشت. درواقع حضور و مشاهده مستقیم امکان حس کامل سیستم را فراهم می‌نماید که این موضوع از هیچ منبع دیگری قابل جبران نخواهد بود.

۵-۴-۵- پیمانکاران

شاید بتوان گفت که مهم‌ترین و عمده‌ترین بخش داده‌های کمی بانک داده متعلق به این منبع هست. این منبع از دو شرکت بزرگ پیمانکاری کشور (اگرچه علاوه بر این دو شرکت، شرکت نوآوران نیز در زمینه استخراج فعال بوده است، لیکن در مطالعه ما واقع نشده است) (شکل ۵-۳):

- شرکت راه‌سازی و معدنی مبین
- شرکت معدنی آهن آجین

تشکیل می‌یابد. هر یک از این شرکت‌ها فلوچارت خاص خود را داشته ولی به علت فعالیت در یک محیط و کارفرمای مشترک دارای اشتراک‌هایی می‌باشند که این شباهت در چارت سازمانی دو شرکت به نفع محقق در تشکیل بانک داده بود؛ چراکه پس از تعیین محل ثبت داده در یک شرکت در شرکت بعدی نیز مستقیماً به دنبال همان بخش بودیم تا همان داده‌ها و حتی همان چارچوب را دریافت نماییم. در هر دو این شرکت‌ها داده‌های موردنیاز در دو بخش اداری به شرح زیر ثبت می‌شوند:

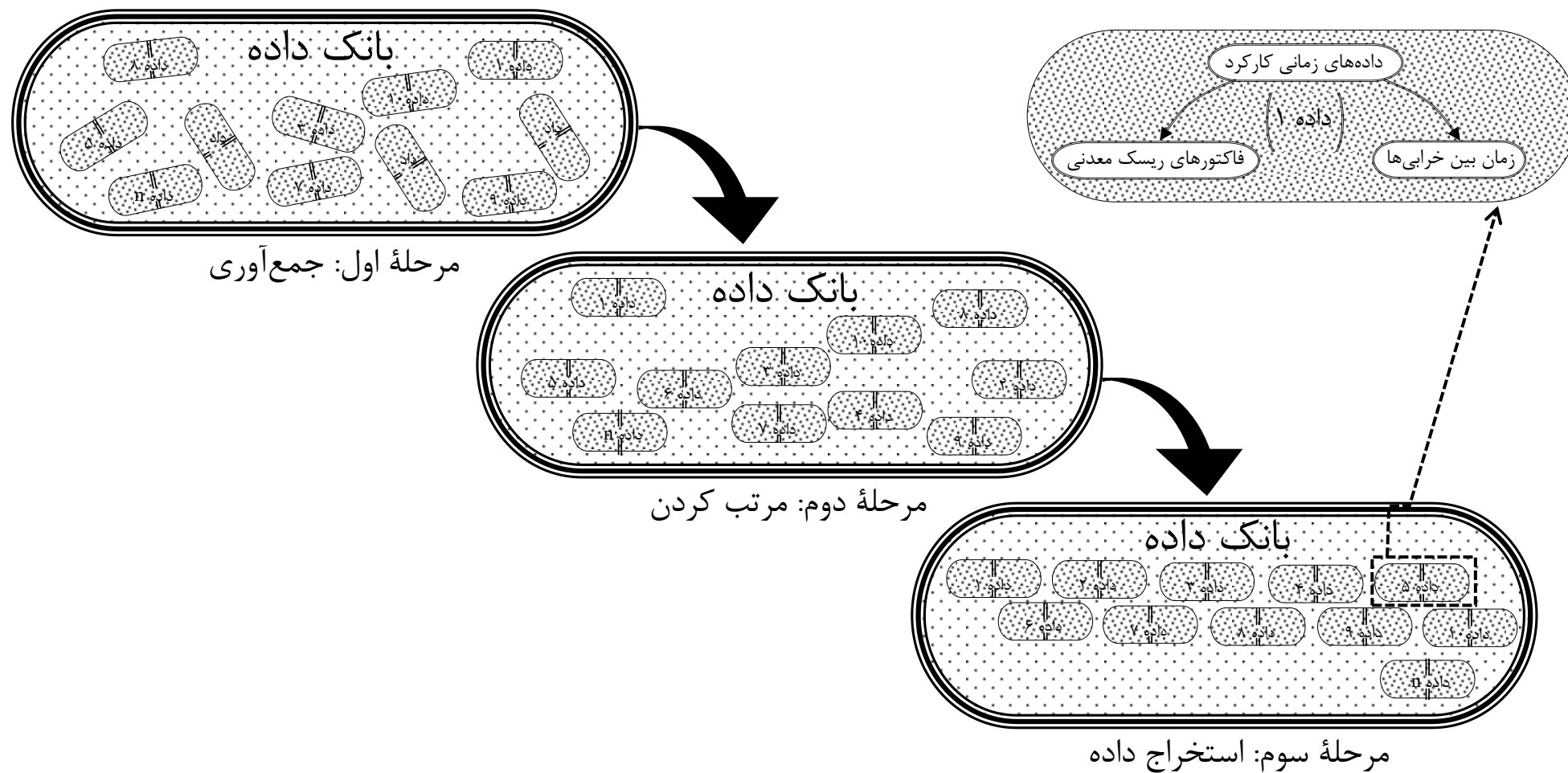
- دفتر فنی تعمیرگاه: داده‌های مربوط به خرابی، انبارداری، تعمیرات انجام گرفته، نوع تعمیرات، زمان و تاریخ تعمیرات، شرح تعمیرات، کد ماشین، زمان راه‌اندازی در آن ثبت می‌شود. داده‌های خام این قسمت از گزارش‌های مکانیک‌ها بخش‌های مختلف و انبارداری جمع‌آوری می‌شوند.
- دفتر فنی معدن: داده‌های این بخش در دو دسته کلی گزارشات روزانه و تابلو فواصل تقسیم‌بندی می‌شود.

گزارش‌های روزانه که تشکیل دهنده اساس بانک داده می‌باشند، به‌صورت روزانه و در هر نوبت توسط سرویس نویس در فرم‌های مخصوص به‌صورت دستی یادداشت و تحویل دفتر فنی می‌شوند. دفتر فنی گزارش‌های فوق را در قالب یک فایل اکسل متشکل از چند دسته صفحه ثبت می‌کند.

۵-۵- استخراج داده‌های خرابی بیل مکانیکی کوماتسو PC-۱۲۵۰

در این بخش نحوه تاثیر فاکتورهای ریسک مؤثر در خرابی‌های رخ داده (تعمیرات انجام گرفته) در سطح سیستم مورد بحث قرار گرفته است؛ همچنین نحوه استخراج داده‌های زمانی خرابی در قالب TBFs (TTRs) برای سیستم بررسی شده است.

پس از تشکیل بانک داده از اطلاعات پنج منبع اصلی اشاره شده در شکل ۵-۳ داده‌ها در نخستین گام طبق شکل ۵-۴ مرتب شد. منظور از مرتب کردن یعنی اینکه داده‌های گزارش‌های روزانه با افزودن تاریخ در سه ستون سال، ماه و روز در یک صفحه مرتب شدند تا در ادامه کار داده‌های موردنیاز از آن استخراج شوند. در سومین مرحله از استخراج داده مطابق شکل ۵-۴ پس از مرتب کردن، داده‌های موردنیاز از بانک داده استخراج گردید. این داده‌ها همان‌طور که در مرحله سوم بزرگ‌نمایی شده، حاوی نوع دیگری از داده‌ها یعنی فاکتورهای ریسک برای بررسی تاثیر شرایط محیطی بر قابلیت اطمینان و در نهایت عمر مفید باقیمانده می‌باشند (داده‌های استفاده شده در این تحلیل در بخش پیوست آورده شده است).



شکل ۴-۵ - فرآیند استخراج داده

۵-۵-۱- داده‌های زمانی خرابی

داده‌های زمانی خرابی که در این تحقیق در غالب زمان بین تعمیرات با آن سرکار داریم، با استفاده از سه ستون زمان‌های کارکرد در سه شیفت محاسبه خواهند شد. ۵ ردیف از داده‌های مرتب شده سیستم در جدول ۵-۳ وارد شده است. این داده‌ها از ستون‌های: ردیف، تاریخ، گزارش‌های کارکرد برای شیفت اول (۶/۵ ساعت)، شیفت دوم (۸/۵ ساعت) و شیفت سوم (۶/۵ ساعت) تشکیل یافته است. در این جدول زمان‌های کمتر از مدت قید شده برای هر شیفت به عنوان زمان تعمیرات در نظر گرفته شده و از هر نوع آماده‌بکاری در سیستم صرف نظر شده است.

جدول ۵-۳- نمونه داده‌های مرتب شده دستگاه بیل مکانیکی

ردیف	سال	ماه	روز	کارکرد شیفت اول	کارکرد شیفت دوم	کارکرد شیفت سوم
۱	۹۶	۱۱	۱	۶:۳۰		
۲	۹۶	۱۱	۱		۸:۳۰	
۳	۹۶	۱۱	۱			۳:۰۰
۴	۹۶	۱۱	۱			۳:۳۰
۵	۹۶	۱۱	۲	۱:۳۰		

در نخستین گام زمان‌های کارکرد برای هر شیفت و برای هر روز در یک ردیف قرار گرفت. سپس زمان‌های کمتر از شیفت کاری برای هر شیفت در هر روز مشخص شده و محل خرابی‌ها تعیین شد. در مرحله بعد زمان بین خرابی‌ها بر حسب کارکرد سیستم محاسبه شده و داده‌های زمان خرابی در قالب TBF به شکل جدول ۵-۴ استخراج شد. در این جدول ۱۰ مورد از خرابی برای نمونه وارد شده و در کل تعداد برای بازه ۸ ماهه مورد تحقیق ۶۰ خرابی از بانک داده استخراج شد. در این جدول ستون اول نشان دهنده شماره خرابی، ستون دوم زمان بین خرابی و ستون سوم نشان دهنده وضعیت خرابی را از نظر خرابی کامل (f) یا سانسور شده (s) نشان می‌دهد. سانسور در داده‌ها برای حالت مختلف در نظر گرفته شده است، فرضاً برای خرابی که بیشتر از یک شیفت طول کشیده و شیفت بعدی شروع به کار شده، زمان دقیق شروع مشخص نبوده، لذا سانسور در نظر گرفته شده است.

جدول ۵-۴- نمونه داده‌های زمانی سیستم بیل مکانیکی

Status	TBF	No. Failure
f	۱۴۹	۱
f	۷۶	۲
f	۱۸	۳
f	۱۸	۴
f	۱۲۷/۵	۵
f	۳۲	۶
f	۴۲۰/۵	۷
f	۱۱/۵	۸
f	۱۵۶/۵	۹
s	۶۷/۵	۱۰

۵-۵-۲- فاکتورهای ریسک خرابی

تشکیل داده‌های این قسمت از بانک داده شاید دشوارترین و وقت‌گیرترین قسمت بود؛ چراکه در داده‌های زمانی با فرایندی نسبتاً معمول و مشخص سرکار داشته و باوجود صرف وقت نیازی به ابتکار یا تفکر آن‌چنانی نداشت؛ ولی در مورد فاکتورهای ریسک، علی‌الخصوص در مورد خرابی‌ها مشکلات عدیده‌ای همچون: نوع داده موجود یا ثبت‌شده، پارامتر مؤثر موجود در این داده‌ها، پارامترهای مؤثر در حالت واقعی، تلفیق پارامترهای مؤثر، حذف پارامترهای غیر مؤثر، ... وجود داشت. با این‌وجود پس از تلاش‌ها و راهنمایی‌های انجام‌گرفته برای سیستم این فاکتورها تعیین شد. در گام بعدی فاکتورهای تعیین‌شده که عمدتاً محتوای کیفی داشته و باید کمی‌سازی می‌شدند، تا فاکتورهای ریسک کمی در کنار داده‌های زمانی (TBF) قرارگرفته و نهایتاً داده موردنظر در قالب جدول ۵-۵ برای تحلیل‌ها آماده باشد.

جدول ۵-۵- چیدمان کلی داده‌های زمانی و فاکتورهای ریسک

فاکتورهای ریسک				وضعیت خرابی	زمان بین خرابی	شماره خرابی
Z_p	...	Z_r	Z_1	Failure status	TBF	No.TBF
Z_{1p}	...	Z_{1r}	Z_{11}	d_1	t_1	۱
Z_{rp}	...	Z_{rr}	Z_{r1}	d_r	t_r	۲
⋮				⋮	⋮	⋮
Z_{np}	...	Z_{nr}	Z_{n1}	d_n	t_n	n

نحوه تشکیل ستون‌های اول این جدول مورد بحث قرار گرفتند، در مورد ستون سوم "وضعیت خرابی" برای تعیین نوع خرابی TBF از منظر سانسور و کامل مشخص شده است.

برای ستون آخر که با عنوان فاکتورهای ریسک مشخص شده‌اند، برحسب شرایط و نوع دستگاه پارامترهایی در نظر گرفته شده که در ادامه برحسب مراحل استخراج به شرح آن‌ها پرداخته خواهد شد. باید توجه کرد که برخی از این فاکتورها در همین ابتدا حذف یا با برخی فاکتورهای دیگر ادغام شده و برخی در ادامه طی تحلیل‌های آماری حذف شده و نهایتاً مؤثرترین آن‌ها باقی خواهد ماند. از سویی دیگر برای کمی‌سازی فاکتورهای ریسک روند کلی از کمترین ریسک با بیشترین مقدار به بیشترین ریسک با کمترین مقدار کمی، مرتب شده‌اند. همچنین مقادیر کمی در نخستین گام برای تمام سطور گزارش‌ها (نه فقط برای زمان وقوع خرابی یا انجام تعمیرات) تعیین شده و در مراحل بعدی مقادیر لازم برای TBFها از بین آن‌ها استخراج شده است. فاکتورهای ریسک سیستم نیز به شرح جدول ۵-۶ در نظر گرفته شد.

جدول ۵-۶- فاکتورهای ریسک خرابی سیستم

سیستم	فاکتورهای ریسک	حذف (X)، باقی ماندن (√)	توضیحات
بارکننده - پیل مکانیکی کوماتسو PC-۱۲۵۰	نوع سنگ	√	مشخصاً جنس سنگ در فرسایش، آسیب‌های وارده، فشار وارده بر دستگاه و نهایتاً وقوع خرابی‌ها مؤثر خواهد بود.
	نوبت‌کاری	√	به علت سه نوبته بودن کار معدن امکان تأثیر نوبت‌کاری بر مهارت اپراتور و نهایتاً خرابی‌ها وجود دارد.
	شرایط آب‌وهوایی	دما	دمای محیط تأثیر مستقیم بر کارکرد دستگاه و مهارت اپراتور خواهد داشت.
		وضعیت جوی	وضعیت جوی به‌ویژه مه، کولاک یا یخبندان تأثیر مستقیم در دید و کارکرد دستگاه خواهد داشت.
		نزولات جوی	نزولات جوی به‌ویژه برف با توجه به ارتفاع معدن و محیط کوهستانی سبب تغییر ریسک خرابی خواهد شد.
		رطوبت	این پارامتر به خاطر تأثیر کم و تلفیق با سایر پارامترهای آب‌وهوایی حذف شد.
	تناسب با نوع کامیون	√	نوع دامپتراک بارگیری برحسب تناسب بین ارتفاع بارکننده و باربر، تناسب بین حجم آن‌ها، زمان چرخه،... مؤثر هست.
	نوع دستگاه بارکننده	X	از این فاکتور به علت ثابت بودن آن در طول چرخه کارکرد صرف‌نظر شد.
	وضعیت جاده	X	این پارامتر برای بررسی وضعیت جاده به‌منظور تردد و به‌ویژه برای پشتیبانی بود که به علت موازی بودن با شرایط آب و هوایی حذف شد.
	محل کار	X	این پارامتر برحسب کارکرد در سینه‌کار و دامپ در نظر گرفته شد چراکه شرایط کاری در این دو محیط کاملاً متفاوت هست. ولی به علت کارکرد دائمی سیستم در سینه‌کار حذف شد.
	تعداد سرویس بارگیری شده	X	این فاکتور به علت پیوستگی شدید با زمان کارکرد (یا TBF) حذف شد.

در این جدول تمامی فاکتورهای ریسک محتمل برای تحقیق با توجه منابع مختلف و مصاحبات انجام گرفته وارد شده است. از برخی فاکتورها بنابر دلایل ذکر شده در ستون آخر جدول، صرف نظر شده است. قابل ذکر است که نحوه کمی سازی از ریسک کم به زیاد است.

نوبت^۱: در مورد فاکتور ریسک "نوبت" مقادیری به شرح جدول ۷-۵ برحسب نوبت بندی سیستم اداری معدن در نظر گرفته شد. این فاکتور ریسک در داده های اولیه با همان مقادیر a، b و c برای سه شیفت وارد شده و در ادامه تحلیل های آماری به عنوان دو متغیر ظاهری^۲ وارد خواهد شد. این دو متغیر با Z_{11} و Z_{12} نمایش داده شد.

جدول ۷-۵ - کمی سازی نوبت کاری

نوبت	زمان کارکرد	متغیر ظاهری فاکتور ریسک نوبت	
		Z_{11}	Z_{12}
a	۶:۳۰ صبح تا ۱:۳۰ بعدازظهر	.	۱
b	۳:۰۰ بعدازظهر تا ۲۳:۳۰ بعدازظهر	۱	.
c	۲۴:۰۰ صبح تا ۶:۳۰ صبح	.	.

وضعیت جوی^۳، نزولات جوی^۴ و دما^۵: فاکتورهای ریسک مربوط به شرایط آب و هوایی شامل سه متغیر هست که دو پارامتر میزان نزولات جوی و دما با متوسط مقدار برای طول مدت کارکرد (TBF) برحسب میلی متر و درجه سلسیوس در محاسبات وارد شده و تنها وضعیت جوی به شرح جدول ۸-۵ کمی سازی شده است.

جدول ۸-۵ - کمی سازی وضعیت جوی

وضعیت جوی	صاف و آفتابی	نیمه ابری	ابری	مه آلود
کد کمی سازی	۴	۳	۲	۱

۱ - Shift

۲ - Dummy variable

۳ - Weather condition

۴ - Precipitation

۵ - Temperature

نوع باربر^۱: در رابطه با فاکتور تناسب با نوع کامیون بر اساس اطلاعات حاصل از مصاحبات با متخصصین دفتر فنی و آمارهای در دسترس سه حالت برای سیستم در نظر گرفته شد:

- حالت اول (کد تقسیم‌بندی ۰): در شیفت خرابی دامپتراک‌های ۳۲ تنی بارگیری شود.
- حالت دوم (کد تقسیم‌بندی ۱): در شیفت خرابی دامپتراک‌های ۱۰۰ تنی بارگیری شود.
- حالت سوم (کد تقسیم‌بندی ۲): در شیفت خرابی هم دامپتراک‌های ۱۰۰ تنی و هم ۳۲ تنی بارگیری شود.

در جدول ۹-۵ تمام فاکتورهای ریسک گسسته که برای سیستم در نظر گرفته شده به همراه مقادیر کمی کدگذاری شده نمایش داده شده است. جدا از این فاکتورهای ریسک دو فاکتور ریسک پیوسته میزان بارندگی (Z_4) و دمای محیط (Z_5) نیز در نظر گرفته شده است.

جدول ۹-۵- فاکتورهای ریسک سیستم‌های بار کننده

فاکتور ریسک	طبقه‌بندی	مقدار کمی اصلاحی
وضعیت خرابی	خرابی کامل	f
	خرابی سانسور شده	s
نوبت (Z_1)	صبح	a
	ظهر	b
	شب	c
نوع دامپتراک (Z_3)	۳۲	۰
	۱۰۰	۱
	۳۲ و ۱۰۰	۲
وضعیت آب‌وهوایی (Z_6)	آفتابی و بدون ابر	۴
	نیمه‌ابری	۳
	ابری	۲
	مه شدید	۱
نوع سنگ (Z_7)	کانسنگ	۳
	اکسید	۳
	سولفور	۳
	منزونیت	۲
	اسکارن	۲
	تراکیت	۱

در جدول ۵-۱۰ نمونه‌ای از داده‌های سیستم بیل مکانیکی ارائه شده است. در این جدول در ستون اول شماره خرابی، ستون دوم مدت زمان بین خرابی بر حسب ساعت، ستون سوم وضعیت خرابی از نظر خرابی کامل یا سانسور شده، شیفت خرابی، نوع سنگ، نوع سیستم باربر، متوسط میزان بارش در طول زمان بین خرابی بر حسب میلیمتر، متوسط میزان دما در طول زمان بین خرابی بر حسب درجه سانتی گراد و وضعیت آب‌وهوا را نشان می‌دهد.

جدول ۵-۱۰- نمونه‌ای از داده‌های TBF سیستم بیل مکانیکی با فاکتورهای ریسک خرابی

شماره خرابی	TBF(Hr)	وضعیت خرابی	شیفت	نوع سنگ	نوع باربر	میزان بارش (mm)	دما (C)	وضعیت آب‌وهوا
۱	۱۴۹	f	a	۲	۰	۱/۳۶	-۴/۸۷	۲
۲	۷۶	f	c	۳	۱	۰	-۷/۷۷	۴
۳	۱۸	f	c	۳	۱	۰	-۴/۴۰	۴
۴	۱۸	f	c	۳	۱	۰	-۱/۰۰	۴
۵	۱۲۷/۵	f	c	۲	۱	۰	۱/۸۵	۴
۶	۳۲	f	c	۳	۱	۰	-۰/۳۰	۴
۷	۴۲۰/۵	f	c	۳	۱	۱/۹۱	-۰/۰۴	۲
۸	۱۱/۵	f	b	۳	۱	۱۸/۱۰	-۳/۶۰	۲
۹	۱۵۶/۵	f	c	۲	۱	۰/۷۷	-۰/۲۱	۳
۱۰	۶۷/۵	s	b	۲	۱	۰/۴۵	۰/۴۲	۳

۵-۶- بررسی وابستگی فاکتورهای ریسک

قبل از بررسی وابستگی فاکتورهای ریسک باید توضیحی در رابطه با فاکتور ریسک نامشهود داده شود، بصورت کلی برخی از عوامل ممکن است، بر قابلیت اطمینان تاثیر بگذارد، اما شناخته شده نباشند؛ بعنوان مثال تفاوت‌های غیر قابل اندازه‌گیری بین اقلام مختلف که ناشی از استراتژی‌های متفاوت تعمیر و نگهداری، میزان تجربه گروه نت یا آموزش‌های فراگرفته توسط آن‌ها یا در رابطه با تفاوت جنس و عناصر تشکیل دهنده قطعات بکار رفته در تعمیرات مانند جنس مته‌های حفاری از شرکت‌های تهیه کننده مختلف را در نظر گرفت یا دو شرکت پیمانکاری مختلف با تصمیمات مدیریتی مختلف که در این شرکت‌ها یکی از آنها با تصمیمات صحیح و بموقع ولی با ماشین‌الات قدیمی تر

عملکرد و بازده بسیار مناسب تری را نسبت به پیمانکار دیگر که دارای ماشین آلات جدیدتری است، داشته باشد که این موارد به هیچ عنوان قابلیت ثبت یا کمی سازی را نخواهند داشت و در نتیجه امکان تشکیل بانک داده و انجام تحلیل مشابهه با عوامل قابل ثبت را هم نخواهد داشت. ذکر این نکته نیز الزامی است که این پارامترها بشدت موثر در عملکرد سیستم می‌باشند و از این پارامترها تحت عنوان متغیرهای نامشهود یاد می‌شود.

پس از تشکیل بانک داده و استخراج تمامی فاکتورهای ریسک برخی از فاکتورها به علت تاثیرات کمتر یا عدم دستیابی به داده های متناظر با آنها از محاسبات حذف شد. در این بخش طبق الگوریتم ارائه شده در شکل ۵-۱ باید تراکنش و وابستگی بین فاکتورهای ریسک بررسی شوند. بدین منظور ماتریس وابستگی برای فاکتورهای ریسک تشکیل شد. در این ماتریس که در جدول ۵-۱۱ مشاهده می‌شود، از روش بوت استرپینگ^۱ برای اطمینان بیشتر از نتایج بدست آمده استفاده شد. در آمار، بوت استرپینگ یک روش محاسبات آماری-کامپیوتری برای تعیین میزان دقت برآوردهای حاصل از داده‌های نمونه است. منظور از کلمه بوت‌استرپ فرایندی خود راه‌انداز است که بدون ورودی بیرونی عمل می‌کند. این روش تخمین‌هایی دقیق از خطاهای استاندارد و بازه‌های اطمینان برای تخمین‌گرهایی نظیر میانگین، مد، میانه، صدک‌ها، ضریب همبستگی و ضرایب رگرسیون را ارائه می‌کند. بوت استرپینگ در واقع تخمین ویژگی‌های (مثل واریانس) یک برآوردها با استفاده از اندازه‌گیری همین ویژگی‌ها در یک توزیع تقریبی از کل داده‌های نمونه است. در این روش خیلی ساده می‌توان تقریباً هر آماره‌ای از توزیع داده‌های نمونه را تخمین زد. به‌طور عمومی این روش از روش‌های بازنمونه‌گیری به حساب می‌آید. در حالتی که بتوان فرض کرد، مجموعه‌ای از مشاهده‌ها از جمعیتی مستقل و به‌طور مساوی توزیع شده باشد، بوت استرپینگ می‌تواند با ساخت تعدادی بازنمونه پیاده‌سازی شود که هرکدام از این بازنمونه‌ها، در واقع نمونه‌هایی تصادفی با جایگذاری از مجموعه داده‌های اصلی هستند. همچنین از این روش می‌توان در ساخت آزمون فرض آماری استفاده کرد. از این روش معمولاً به عنوان جایگزینی برای روش‌های استنباطی بر پایه فرض‌های پارامتری هنگامی که در مورد این فرض‌ها شک داشته باشیم استفاده می‌شود؛ همچنین در استنباط پارامتری زمانی که محاسبه خطای استاندارد دارای روابط محاسباتی پیچیده شود، از بوت استرپینگ استفاده می‌کنیم (‘‘IBM - United States’’, n.d.).

مطابق این جدول وابستگی آنچنانی بین فاکتورهای ریسک وجود ندارد. فقط در مورد فاکتور ریسک شیفت در سطح اطمینان ۹۵ درصد با فاکتور ریسک نوع باربر وابستگی وجود دارد که با توجه به کیفی بودن هر دوفاکتور، وابستگی آنها قابل صرف نظر کردن است.

جدول ۵-۱۱- وابستگی بین داده‌های زمانی و فاکتورهای ریسک با ۱۰۰۰ بوت‌استرپینگ

Temperature (C)	Rain (mm)	Truck Type	Rock Type	Shift	TBF (Hr)	Subjects
۰/۰۷۲	۰/۰۷۳	۰/۹۲۰	-۰/۹۷	۰/۱۲۶	۱	TBF (Hr)
-۰/۱۱۹	-۰/۰۰۳	-۰/۲۵۵*	۰/۱۰۶	۱	۰/۱۲۶	Shift
-۰/۱۰۷	۰/۰۶۹	-۰/۰۲۵	۱	۰/۱۰۶	-۰/۹۷	Rock Type
۰/۰۵۰	۰/۰۷۶	۱	-۰/۰۲۵	-۰/۲۵۵*	۰/۹۲۰	Truck Type
-۰/۲۳۳	۱	۰/۰۷۶	۰/۰۶۹	-۰/۰۰۳	۰/۰۷۳	Rain (mm)
۱	-۰/۲۳۳	۰/۰۵۰	-۰/۱۰۷	-۰/۱۱۹	۰/۰۷۲	Temperature (C)

۵-۷- ارزیابی فرض همگنی برای فاکتورهای ریسک نامشهود

روش‌های مختلف برای این آزمون ارائه شده از بین آنها اخیراً آزمون نرخ درستنمایی بیشینه (LR)^۱، معیار اطلاعاتی آکائیک (AIC) و معیار اطلاعاتی بیزین (BIC) آزمون‌های رایج برای بررسی فرض مقابل (H_1) مبنی بر حضور ناهمگنی در برابر فرض صفر (H_0) مبنی بر عدم حضور ناهمگنی ($\theta = 0$) می‌باشند. در کل آزمون AIC برای مقادیر کوچک ناهمگنی به خوبی عمل کرده، در حالی که BIC برای مقادیر بزرگتر عملکرد مناسب خواهد داشت (Brewer et al., ۲۰۱۶; Garmabaki et al., ۲۰۱۶; Lawless, ۱۹۸۷). در این رساله از رویکرد آزمون LR استفاده می‌شود. این آزمون فرض متقابل: عدم حضور ناهمگنی را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. اگر تابع نرخ مخاطره اساسی ویبول یا مدل فرآیند قانون توانی (PLP) باشد، نرخ درستنمایی بیشینه به صورت زیر خواهد بود:

$$R = 2 \left(\ln L(\hat{\lambda}, \hat{\beta}, \hat{\eta}, \hat{\theta}) - \ln L(\hat{\lambda}_0, \hat{\beta}_0, \hat{\eta}_0, \hat{\theta}_0) \right) \quad (31-2)$$

در این رابطه $\hat{\lambda}$ و $\hat{\beta}$ پارمترهای تابع اساسی و $\hat{\eta}$ ضریب رگرسیون برای فاکتورهای ریسک مشهود و $\hat{\theta}$ به عنوان درجه ناهمگنی تعریف می‌شود (Garmabaki et al., ۲۰۱۶). این پارامترها از طریق بیشینه‌سازی تابع درستنمایی کامل تخمین زده می‌شوند. از آنجایی که $\hat{\eta} = 0$ در درون فضای پارامتر قرار ندارد ($\hat{\eta} < 0$ مجاز نمی‌باشد)، لذا R دارای توزیع کای-دوی (χ^2_1) مجانب نرمال نمی‌باشد. در حقیقت مجانب $\hat{\eta}^2$ دارای توزیع کای-دو با درجه آزادی یک (χ^2_1) با جرم احتمال ^۱ ۰/۵ در $R=0$ است.

۱ - A likelihood ratio test

۲ - Asymptotically

این یعنی در سطح اطمینان ۵٪ فرض صفر: عدم وجود ناهمگنی، رد خواهد شد؛ اگر $R \geq 2/706$. علاوه بر این تحت استراتژی کمینه تعمیرات مدل PLP را می‌توان به عنوان تابع شدت بکار برد. تحت فرض مدل PLP به عنوان تابع شدت خرابی برای بررسی وجود مقدار معناداری ناهمگنی در واحدها (زیرسیستم‌ها) به فرایند سه مرحله‌ای آزمون LR می‌توان استفاده کرد (Garmabaki et al., ۲۰۱۶):

- در مرحله اول فرض صفر برابر است با: $H_0: \lambda_1 = \lambda_2, \lambda_m = \lambda, \beta_1 = \beta_2, \beta_m = \beta$. در برابر فرض یک یا متقابل: $H_1: \lambda_1 \neq \lambda_2, \lambda_m \neq \lambda, \beta_1 \neq \beta_2, \beta_m \neq \beta$. آزمون می‌شود.

- در محله دوم و سوم نیز λ معمول، β غیرمعمول و λ غیرمعمول و β معمول باید به ترتیب بدست آیند (Giorgio et al., ۲۰۱۴).

برای داده‌های بیل مکانیکی مقدار R برابر است با:

$$R = 2 \left(\ln L(\hat{\lambda}, \hat{\beta}, \hat{\eta}, \hat{\theta}) - \ln L(\hat{\lambda}_0, \hat{\beta}_0, \hat{\eta}_0, \hat{\theta}_0) \right) = 8.35 \quad (3-5)$$

برای این مقدار R از آزمون، P-value برابر است با ۰/۰۰۲ که نشان دهنده تاثیر یک فاکتور ریسک نامشهود (ناهمگنی نامشهود) بر قابلیت اطمینان بیل مکانیکی است، لذا نتیجه تحلیل در الگوریتم شکل ۱-۵ به سمت چپ یعنی مدل MPHMM یا EMPHMM هدایت می‌شود.

۵-۸- آزمون فرض متناسب بودن نرخ مخاطره

در این مرحله طبق الگوریتم باید برقراری فرض متناسب بودن نرخ مخاطره (PH) مورد ارزیابی قرار گیرد تا از عدم وابستگی به زمان فاکتورهای ریسک اطمینان حاصل نمود. برای این منظور می‌توان از آزمون فرض GOF استفاده کرد که با ارائه آماره استاتیک و p-value به ارزیابی فرض PH برای هر یک از فاکتورهای ریسک می‌پردازد.

برای تحلیل این آزمون روش‌های مختلفی وجود دارد که روش گرافیکی یکی از کاربردی ترین این روش‌ها است. مشکل این روش ارائه تصویر بصری از موازی بودن نرخ‌های مخاطره است که باید از آن فرض متناسب بودن را نتیجه‌گیری کرد. در این روش از ترسیم نرخ مخاطره به ازای مقادیر مختلف فاکتورهای ریسک (مقایسه آن‌ها به صورت بصری برای تعیین موازی بودن) آن استفاده می‌شود، حال مشکل این است که منظور از "موازی بودن چه نوع موازی بودن است؟" چرا که این موضوع منجر به نتیجه‌گیری جداگانه بر اساس منطق‌های مختلف خواهد شد. مشکل بعدی در رابطه با لایه‌بندی

فاکتورهای ریسک پیوسته مانند بارندگی یا دما خواهد بود؛ چرا که ایجاد لایه‌بندی بیشتر باعث نازک تر شدن لایه ها خواهد شد. مشکل سوم نیز درباره نحوه ارزیابی فرض PH برای چندین فاکتور ریسک به‌طور هم‌زمان است. بدین منظور آزمون GOF تحلیلی برای ارزیابی این فرض استفاده می‌شود. در این رساله از آزمون هارل و لی^۱ که حالت تغییر یافته از آزمون شوئنفلد (سال ۱۹۸۲) بوده و معروف به آزمون "باقیمانده‌های شوئنفلد" استفاده می‌شود.

این روش به خاطر ارائه نتایج بر اساس p-value (مقدار- P) جذاب‌تر بوده و ارزیابی راحت‌تری با استفاده از منطق ریاضی ارائه می‌دهد. یک p-value معنادار بزرگ‌تر از ۰/۱ نشان دهنده قابل قبول بودن فرض PH بوده، درحالی‌که یک p-value کوچک‌تر از ۰/۰۵ برای یک فاکتور ریسک نشان می‌دهد که فرض PH ارضاء نشده است (Kleinbaum and Klein, ۲۰۱۲). به عبارت دیگر آزمون فرض صفر آزمون بیان می‌دارد که در صورت برقراری فرض PH باقیمانده‌های شوئنفلد همبستگی با زمان نخواهند داشت ($H_0: \rho=0$) و در صورت رد فرض صفر، فرض PH نیز رد خواهد شد (Kleinbaum, ۲۰۱۱).

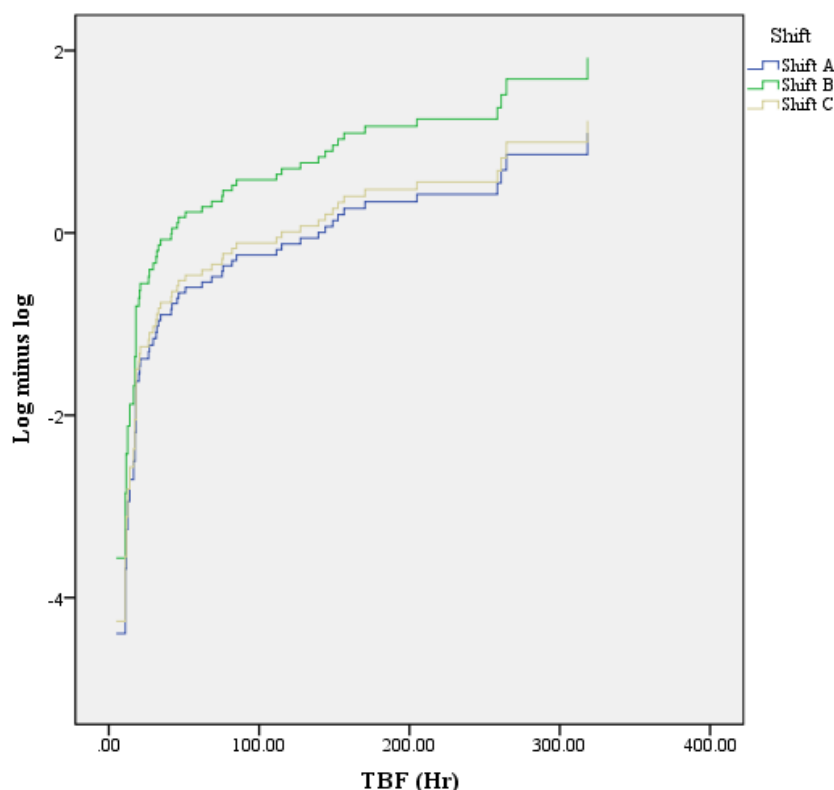
نتایج آزمون برای فاکتورهای ریسک مختلف به‌صورت جدول ۵-۱۲ تنظیم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، P(PH)-value برای فاکتور ریسک شیفت در سطح ۵ درصد، معنادار نیست؛ بنابراین فرض PH برای تمامی فاکتورهای ریسک برقرار است. در مورد سایر فاکتورهای ریسک به علت یکسان بودن باقیمانده‌های محاسبه شده نیازی به ارزیابی فرض نیست.

جدول ۵-۱۲- مقادیر p-value برای ارزیابی فرض PH فاکتورهای ریسک بیل مکانیکی

Partial residual for covariates										Statistic	Rank of TBF
Weather condition(۳)	Weather condition(۲)	Weather condition(۱)	Temperature	Rain	Truck type(۲)	Truck type(۱)	Rock type	Shift(۲)	Shift(۱)		
.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a	-۰/۰۵۳	۰/۲۴۲	Pearson Correlation	Rank of TBF
								۰/۷۲۰	۰/۰۹۴	P(PH)	

۱ - Harrel and Lee

برای اطمینان از نتایج بدست آمده در آزمون GOF فرض PH این بار از آزمون گرافیکی ارزیابی فرض PH نیز استفاده شده است. یکی از پرکاربردترین این دسته از روش‌ها، مقایسه نمودارهای منفی لگاریتم- منفی لگاریتم قابلیت اطمینان^۱ $-\ln(-\ln R)$ برای مقادیر مختلف فاکتورهای ریسک است. این نمودار از دوبار لگاریتم طبیعی گرفتن از مقادیر قابلیت اطمینان حاصل می‌شود و مقادیر قابلیت اطمینان متغیر در بازه $[0,1]$ را به مقادیر $-\ln(-\ln R)$ در بازه $[-\infty, +\infty]$ منتقل می‌کند. ارزیابی فرض بدین گونه است که در صورت رسم نمودارهای لگاریتمی قابلیت اطمینان مربوط به مقادیر مختلف یک فاکتور ریسک در یک نمودار مشترک این نمودارها به صورت تقریباً موازی با یکدیگر قرار گیرند (Kleinbaum, ۲۰۱۱). در شکل ۵-۵ نمودار $-\ln(-\ln R)$ برای فاکتور ریسک شیفت ترسیم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، نمودار قابلیت اطمینان برای هر سه شیفت در طول زمان تقریباً به صورت موازی حرکت کرده است؛ لذا فرض متناسب بودن یا مستقل از زمان بودن فاکتورهای ریسک برای داده‌های بیل مکانیکی را می‌توان پذیرفت؛ لذا طبق الگوریتم ارائه شده در شکل ۵-۱ از بین مدل MPHMM و EMPHMM مدل MPHMM برای توصیف رفتار خرابی‌های بیل مکانیکی و تابع قابلیت اطمینان (مدل نرخ مخاطرات متناسب مرکب MPHMM) برازش می‌شود.



شکل ۵-۵- نمودار $-\ln(-\ln R)$ برای ارزیابی فرض PH برای بیل مکانیکی

۵-۹- برازش مدل مناسب برای قابلیت اطمینان بیل مکانیکی

همانطور که در مرحله قبل مشخص شد؛ مدل مناسب برای داده‌های خرابی بیل مکانیکی مدل MPHMM از دسته روش‌های رگرسیونی با شکستگی است، ولی برای ارزیابی بیشتر و مقایسه نتایج حاصله در صورت عدم پیروی از الگوریتم ارائه شده در این رساله چهار دسته مدل به ترتیب:

۱. مدل اول: تابع کلاسیک
۲. مدل دوم: تابع کلاسیک-شکستگی
۳. مدل سوم: تابع رگرسیونی
۴. مدل چهارم: تابع رگرسیونی-شکستگی

برای قابلیت اطمینان برازش می‌شود. در هر مرحله نیز از دو معیار اطلاعات اکائیکه^۱ (AIC) و بیزین^۲ (BIC) برای انتخاب مدل مناسب استفاده می‌شود. این دو معیار مبتنی بر اطلاعات بوده و از طریق مقایسه مقدار درست‌نمایی بیشینه به طور کلاسیک برای انتخاب مدل مناسب مورد استفاده قرار می‌گیرند. این دو معیار به صورت زیر فرموله می‌شوند:

$$AIC = -2 \times \ln(\text{likelihood}) + 2 \times k \quad (۴-۵)$$

$$BIC = -2 \times \ln(\text{likelihood}) + \ln(N) \times k \quad (۵-۵)$$

در این رابطه k ؛ نشان دهنده تعداد پارامترهای تخمین زده شده و N ؛ تعداد مشاهدات (خرابی‌ها) را نشان می‌دهد که هنگام تحلیل نتایج هر دو معیار با هم مورد بررسی قرار می‌گیرد؛ چرا که BIC محافظه کارتر از AIC بوده و AIC دارای برخی مشکلات است. هر دو معیار به عنوان سنجش گرهایی که توانایی ترکیب برازش^۳ از طریق محاسبه مقدار منفی $(-2 \times \ln(\text{likelihood}))$ و پیچیدگی^۴ از طریق محاسبه مقادیر مثبت $(2 \times k)$ برای AIC و $(\ln(N) \times k)$ برای BIC را دارند، مطرح می‌باشند. نحوه برازش مدل مناسب به این صورت است که مدلی دارای کوچکترین مقادیر معیار اطلاعاتی AIC و BIC باشد بعنوان مناسب‌ترین مدل انتخاب خواهد شد. اطلاعات بیشتر در رابطه با این دو معیار را می‌توان در منابع (Akaike, ۱۹۹۸; Raftery, ۱۹۹۵; Sakamoto et al., ۱۹۸۶; Schwarz, ۱۹۷۸) یافت.

۱ - Akaike information criterion

۲ - Bayesian information criterion

۳ - Fit

۴ - Complexity

۵-۹-۱- مدل اول: تابع کلاسیک

منظور از توابع کلاسیک حالتی است که از تاثیر فاکتورهای ریسک صرف نظر شده و تنها داده‌های زمانی مد نظر است. برای برازش در این قسمت از سه مدل نمایی، ویبول و گومپتز استفاده شده، که طبق جدول ۵-۱۳ مقادیر AIC و BIC برای این توابع محاسبه شده است. در این بین تابع نمایی با ۱۶۹/۴۳ و ۱۷۱/۵۳ برای AIC و BIC کمترین مقادیر را داشته و بهترین تابع برای توصیف رفتار خرابی خواهد بود.

جدول ۵-۱۳- مقادیر GOF توابع کلاسیک برای داده‌های خرابی بیل مکانیکی

توابع	AIC	BIC
Weibull	۱۷۱/۴۳۴	۱۷۵/۶۲۲
Exponential	۱۶۹/۴۳۹	۱۷۱/۵۳۳
Gompertz	۱۷۱/۱۳۳	۱۷۵/۳۲۱

در جدول ۵-۱۴ نیز پارامتر تابع نمایی به صورت مقدار ثابت با ضریب ۴/۶۰۱- مشاهده می‌شود. در این جدول ستون سوم مقدار خطای استاندارد ضریب محاسبه شده را نشان می‌دهد. ستون چهارم نیز مقدار ضریب آماره آزمون z با فرض صفر (H_0): مقدار تاثیر ضریب در تابع صفر است (یا نرخ مخاطره^۱ مربوطه برابر یک است) را نشان می‌دهد، که در مراحل بعدی برای بررسی تاثیر فاکتورهای ریسک در تابع رگرسیون بکار خواهد رفت. در ستون پنجم نیز p -مقدار مربوط به آزمون z در سطح اطمینان ۰/۰۵ مشاهده می‌شود که با توجه مقدار صفر در این مورد فرض صفر مربوطه رد خواهد شد. در دو ستون آخر نیز مقادیر ضریب محاسبه شده در بازه اطمینان ۹۵٪ جهت ارزیابی‌های بعدی و یا آنالیز حساسیت وارد شده است.

جدول ۵-۱۴- پارامترهای تابع کلاسیک نمایی برای داده‌های خرابی بیل مکانیکی

پارامتر	Coef.	Std. Err.	z	$P> z $	[۹۵% Conf. Interval]
cons	-۴/۶۰۱	۰/۱۴۳	-۳۲/۲۱۰	۰	-۴/۳۲۱ -۴/۸۸۱

مقدار λ برای تابع نمایی از رابطه (۶-۵) و جدول ۵-۱۴ محاسبه شده و در جدول ۵-۱۵ وارد شده است:

$$\lambda = \frac{1}{\exp(-cons)} = ۰/۱۰۰۳۹۸۵۱ \quad (۶-۵)$$

۱ - Hazard ratio

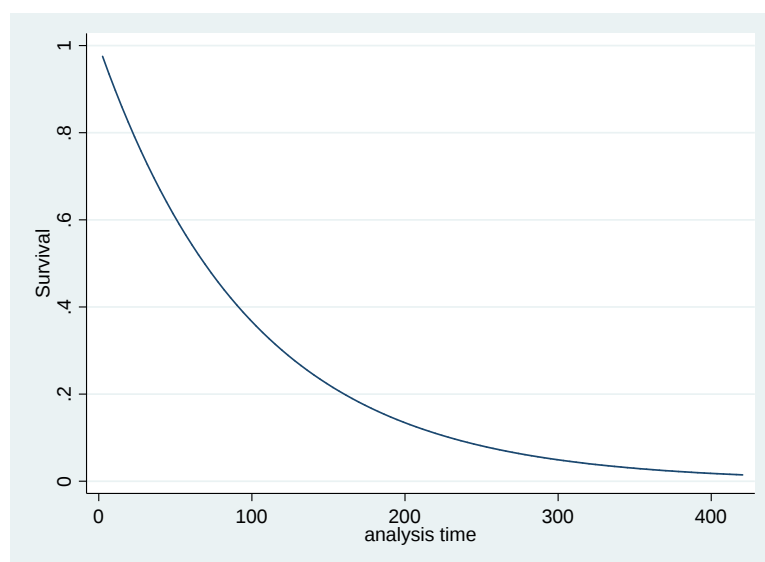
جدول ۵-۱۵- پارامتر تابع نمایی کلاسیک

[۹۵% Conf. Interval]		P> z	z	Std. Err.	Coef.	پارامتر
۰/۰۱۳	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰	۷/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۱۰	λ

تابع قابلیت اطمینان به این صورت است:

$$R(t) = \exp(-۰.۰۱۰۰۳۹۸۵۱ \times t) \quad (۷-۵)$$

در شکل ۵-۶ نمودار قابلیت اطمینان تابع نمایی بیل مکانیکی برای ۴۰۰ ساعت کارکرد ترسیم شده است. مطابق این شکل ملاحظه می‌گردد قابلیت اطمینان این سیستم پس از ۴۰۰ ساعت کارکرد به حدود صفر تقلیل پیدا خواهد کرد.



شکل ۵-۶- نمودار قابلیت اطمینان تابع کلاسیک نمایی برای بیل مکانیکی

۵-۹-۲- مدل دوم: تابع کلاسیک با شکستگی

در دومین مدل از توابع برای داده‌های خرابی بیل مکانیکی مدل کلاسیک در ترکیب با ناهمگنی بررسی شده است. در این مدل جدای از مدل کلاسیک مقدار ناهمگنی در قالب مدل شکستگی در تحلیل وارد می‌شود. طبق روابط ارائه شده در فصل اول برای مدل‌های مرکب تابع قابلیت اطمینان $(R(t))$ می‌توان از تابع شرطی قابلیت اطمینان $(R(t|\alpha))$ که مشروط به شکستگی (α) است، استفاده کرد که به صورت رابطه (۲-۱۱) خواهد بود:

$$R(t|\alpha) = \{R(t)\}^\alpha \quad (۸-۵)$$

تابع قابلیت اطمینان غیرشرطی (جامعه) را نیز می‌توان با انتگرال‌گیری از مقدار (α) نامشهود تخمین زد. اگر تابع چگالی احتمال α را با $g(\alpha)$ بیان شود، تابع قابلیت اطمینان غیرشرطی یا جامعه به صورت رابطه (۱۲-۲) است (Gutierrez, ۲۰۰۲):

$$R_\theta(t) = \int_0^\infty \{R(t)\}^\alpha g(\alpha) d\alpha \quad (۹-۵)$$

در این رابطه پانویس θ در R برای تاکید بر وابسته بودن شکستگی به واریانس θ بکار رفته است. همانطور که مشاهده می‌شود، هنوز رابطه تابع قابلیت اطمینان با تابع نرخ مخاطره به علت وجود α به صورت غیرشرطی است، لذا تابع نرخ مخاطره جامعه عبارت است از (Gutierrez, ۲۰۰۲):

$$\lambda_\theta(t) = -\frac{d}{dt} R_\theta(t) [R_\theta(t)]^{-1} \quad (۱۰-۵)$$

با فرض تابع گاما برای فاکتورهای ریسک نامشهود خواهیم داشت (Gutierrez, ۲۰۰۲):

$$\lambda_\theta(t) = \lambda(t) [1 - \theta \ln(R(t))]^{-1} \quad (۱۱-۵)$$

$$R_\theta(t) = [1 - \theta \ln\{R(t)\}]^{-1/\theta} \quad (۱۲-۵)$$

برای انتخاب مناسب‌ترین مدل همان‌طور که اشاره شده، در نخستین گام از آماره‌های AIC و BIC استفاده می‌شود. مقادیر این آماره‌ها در جدول ۵-۱۶ محاسبه شده است.

جدول ۵-۱۶- مقادیر GOF برای توابع کلاسیک با شکستگی برای داده‌های خرابی بیل مکانیکی

تابع توزیع	AIC	BIC
Weibull-Frailty	۱۶۹/۴۷۸	۱۷۵/۷۶۱۲
Exponential-Frailty	۱۷۱/۰۳۴	۱۷۵/۲۲۲۴
Gompertz-Frailty	۱۷۲/۶۲۳	۱۷۸/۹۰۶۲

طبق جدول کمترین AIC متعلق به تابع ویبول بوده و برای BIC با توجه به نزدیکی مقادیر برای تابع ویبول و نمایی و کمتر بودن مقدار AIC در ویبول در نهایت تابع ویبول-شکستگی به عنوان مدل مناسب انتخاب می‌شود. در جدول ۵-۱۷ پارامترها، مقدار تابع شکستگی و آزمون ناهمگنی وارد شده است.

جدول ۵-۱۷- پارامترهای تابع کلاسیک-شکستگی ویبول برای داده‌های خرابی بیل مکانیکی

[۹۵% Conf. Interval]		P> z	z	Std. Err.	Coef.	
-۱/۰۷۱۵۳۷	-۱۸/۱۹۷۸	۰/۰۲۷	-۲/۲۱۰۰	۴/۳۶۹۰۲۴	-۹/۶۳۴۶۶۷	cons
۲/۱۶۱	-۰/۰۸۹	۰/۰۷۱	۱/۸۰۰	۰/۵۷۴	۱/۰۳۶	/ln_p
۲/۹۴۷	-۰/۳۹۹	۰/۱۳۵	۱/۴۹۰	۰/۸۵۳	۱/۲۷۴	/ln_θ
۸/۶۷۹	۰/۹۱۴			۱/۶۱۷	۲/۸۱۷	p
۱/۰۹۴	۰/۱۱۵			۰/۲۰۴	۰/۳۵۵	۱/p
۱۹/۰۴۳	۰/۶۷۱			۳/۰۵۱	۳/۵۷۵	θ
Prob>=chibar²= ۰/۰۲۳			Likelihood-ratio test theta=۰: chibar²(۰۱)= ۳/۹۶			

طبق رابطه ارائه شده برای بررسی وجود ناهمگنی در داده‌ها از آزمون R استفاده می‌شود که طبق جدول مقدار R در این مدل برابر است با:

$$R = 2 \left(\ln L(\hat{\lambda}, \hat{\beta}, \hat{\eta}, \hat{\theta}) - \ln L(\hat{\lambda}_0, \hat{\beta}_0, \hat{\eta}_0, \theta_0) \right) = 3/96 \quad (5-13)$$

همچنین p-مقدار مربوط به R برای مقایسه با کای-دو در سطح اطمینان ۹۵٪ نیز برابر است با ۰/۰۲۳ که در واقع وجود ناهمگنی در داده‌ها را تایید می‌کند. مقدار θ یا همان واریانس تابع گاما برای تحلیل شکستگی در قابلیت اطمینان که در رابطه (۵-۱۲) نیز مشخص شده طبق محاسبات انجام گرفته در جدول ۵-۱۷ برابر با ۳/۵۷۵ است. تنها قسمت باقیمانده از تابع قابلیت اطمینان، تعیین مشخصات تابع اساسی ویبول است. نرم افزار Stata نتایج تابع ویبول را به صورت ویبول یک پارامتری، بر حسب پارامتر شکل p و مقدار ثابت (cons) ارائه می‌کند:

$$R = \exp\left(-\left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha}\right) \quad (5-14)$$

که در این رساله برای یکسان‌سازی و تبدیل به شکل عمومی تابع ویبول از تبدیل‌های زیر برای دستیابی به پارامترهای شکل (α) و مقیاس (β) با استفاده از جدول ۵-۱۷ و روابط زیر خواهیم داشت:

$$\alpha = p = 2/817 \quad (5-15)$$

$$\beta = \exp\left(-\frac{cons}{\alpha}\right) = 30/565 \quad (5-16)$$

جدول ۵-۱۸ پارامترهای تابع ویبول به همراه خطای استاندارد و بازه اطمینان آن محاسبه شده است:

جدول ۵-۱۸- پارامترهای تابع اساسی ویبول-شکستگی

[۹۵% Conf. Interval]		P> z	z	Std. Err.	Coef.	پارامترها
۵/۹۸۷	-۰/۳۵۳	۰/۰۸۲	۱/۷۴۰	۱/۶۱۷	۲/۸۱۷	α
۵۷/۱۴۷	۳/۹۸۳	۰/۰۲۴	۲/۲۵۰	۱۲/۵۶۲	۳۰/۵۶۵	β

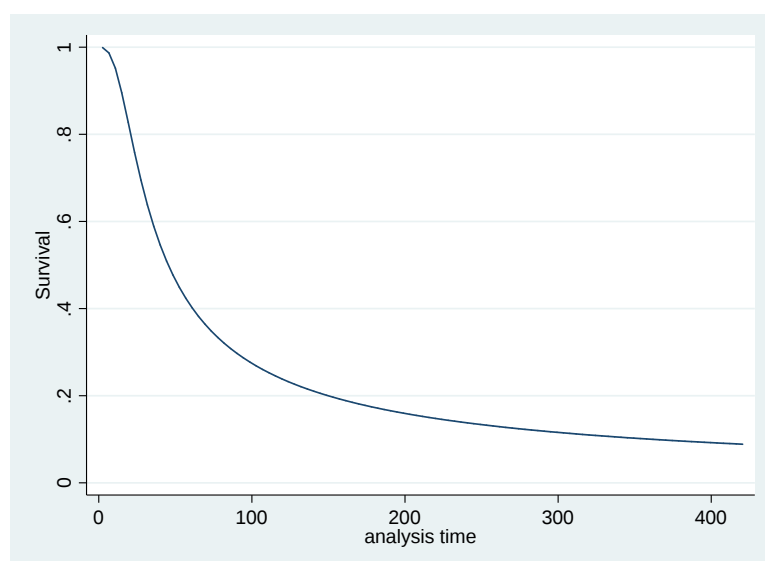
و متعاقباً تابع قابلیت اطمینان ویبول-شکستگی به صورت رابطه (۵-۱۷) خواهد بود:

$$R_{\theta}(t) = \left[1 - \theta \ln \left\{ e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha}} \right\} \right]^{-1/\theta} \quad (۵-۱۷)$$

که پس از جایگذاری مقادیر مربوطه خواهیم داشت:

$$R_{\theta}(t) = \left[1 - ۳.۵۷۵ \ln \left\{ e^{-\left(\frac{t}{۳۰.۵۶۵}\right)^{۲.۸۱۷}} \right\} \right]^{-1/۳.۵۷۵} \quad (۵-۱۸)$$

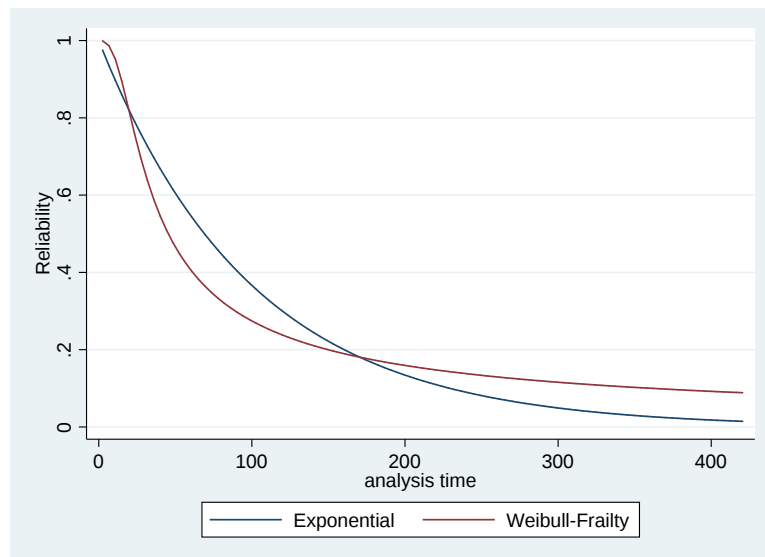
در شکل ۵-۷ نمودار تابع قابلیت اطمینان برای ۴۰۰ ساعت کارکرد ترسیم شده است. همانطور که ملاحظه میشود قابلیت اطمینان سیستم با شیب زیادی در ابتدای بازه کارکردی افت پیدا کرده بطوریکه پس از ۴۰۰ ساعت کارکرد به حدود ۰.۱ کاهش خواهد یافت.



شکل ۵-۷- نمودار قابلیت اطمینان تابع کلاسیک-شکستگی ویبول برای بیل مکانیکی

در شکل ۵-۸ نمودار تابع قابلیت اطمینان کلاسیک نمایی در مقایسه با تابع قابلیت اطمینان کلاسیک-شکستگی ویبول ترسیم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، مقدار شکستگی رفتار قابلیت اطمینان را به طور کل تغییر می‌دهد. سیستم با در نظرگیری شکستگی تا قبل از قابلیت اطمینان تقریباً ۸۰ درصد عملکرد بهتری نسبت به حالت بدون شکستگی داشته و بازه ۸۰ تا ۲۰

درصد قابلیت اطمینان عملکرد سیستم افت کرده و بعد از ۲۰ درصد مجدداً نسبت به حالت قبل بهتر شده است که این تغییرات نشان از تاثیرات وارد کردن یا صرف نظر از تاثیرات شکستگی در تحلیل رفتار خرابی‌های سیستم دارد.



شکل ۵-۸- نمودار قابلیت اطمینان تابع کلاسیک نمایی در مقایسه با کلاسیک-شکستگی ویبول

۵-۹-۳- مدل سوم: تابع رگرسیونی

در این مدل از تابع نیمه پارامتریک PHM با توابع اساسی مختلف برای توصیف رفتار خرابی‌ها استفاده می‌شود. این تابع با توجه به ساختار دو قسمتی خود قادر به تحلیل همزمان داده‌های خرابی و فاکتورهای ریسک است. برای این مدل نیز همانطور که ذکر شد، از دو معیار AIC و BIC برای انتخاب بهترین تابع اساسی استفاده می‌شود. در جدول ۵-۱۹ مقادیر GOF برای توابع ویبول-PHM، نمایی-PHM و گومپتز-PHM محاسبه شده است. تابع نمایی-PHM با مقادیر ۱۷۶/۴۲۹ و ۱۹۱/۰۸۹ برای AIC و BIC با کمترین مقادیر، مناسب‌ترین برازش را دارند.

جدول ۵-۱۹- مقادیر GOF توابع رگرسیون برای داده‌های خرابی بیل مکانیکی

مدل	AIC	BIC
Weibull PH	۱۷۸/۳۱۷	۱۹۵/۰۷۱۳
Exponential PH	۱۷۶/۴۲۹	۱۹۱/۰۸۹۳
Gompertz PH	۱۷۸/۳۸۱	۱۹۵/۱۳۵۴

در جدول ۵-۲۰ نیز پارامترهای تابع نمایی-PHM و ضرایب فاکتورهای ریسک مشاهده می‌شود. در این جدول در ستون نخست فاکتورهای ریسک به ترتیب شیفت، نوع سنگ، نوع باربر، بارندگی، دما و وضعیت آب‌وهوا وارد شده و در آخرین ردیف مقدار ثابت تابع برای دسترسی به پارامترهای تابع نمایی مشخص شده است.

جدول ۵-۲۰- پارامترهای تابع رگرسیونی نمایی-PHM برای داده‌های خرابی بیل مکانیکی

[۹۵% Conf. Interval]		P> z	z	Std. Err.	Coef.	پارامترهای تابع
۰/۲۴۸۶۶۳۹	-۰/۴۷۵۰۱۲۳	۰/۵۴	-۰/۶۱	۰/۱۸۴۶۱۴۷	-۰/۱۱۳۱۷۴۲	shift (z_1)
۱/۰۰۶۰۳۱	-۰/۲۳۲۶۹۳۱	۰/۲۲۱	۱/۲۲	۰/۳۱۶۰۰۶۸	۰/۳۸۶۶۶۸۹	rocktype (z_2)
۰/۳۵۳۶۶۱۷	-۰/۶۸۵۷۳۴۲	۰/۵۳۱	-۰/۶۳	۰/۲۶۵۱۵۶۹	-۰/۱۶۶۰۳۶۳	trucktype (z_3)
۰/۱۶۴۵۸۹۲	-۰/۱۹۸۷۱۷۵	۰/۸۵۴	-۱/۱۸	۰/۰۹۲۶۸۲	-۰/۰۱۷۰۶۴۲	Precipitation [mm] (z_4)
۰/۰۲۹۶۴۱۱	-۰/۰۴۸۲۷۰۱	۰/۶۳۹	-۰/۴۷	۰/۰۱۹۸۷۵۷	-۰/۰۰۹۳۱۴۵	temperature (z_5)
۰/۵۵۸۹۹۲۲	-۰/۰۷۷۹۳۱۹	۰/۱۳۹	۱/۴۸	۰/۱۶۲۴۸۳۶	۰/۲۴۰۵۳۰۱	weathercondition (z_6)
-۳/۸۷۲۷۳۷	-۷/۵۶۷۳۴	.	-۶/۰۷	۰/۹۴۲۵۱۸۲	-۵/۷۲۰۰۳۹	Constant

با توجه به مطالب ذکر شده، در این جدول p - مقدار (ستون پنجم) که برای بیان تاثیر فاکتورهای ریسک برای قابلیت اطمینان محاسبه شده با مقادیر بیشتر از ۰/۰۵ نشان از عدم تاثیر این فاکتورها دارد؛ در حالی که در تابع PHM مقادیر نمایی ضرایب تحت عنوان نرخ مخاطره (H.R) نشان از میزان تاثیر این ضرایب در تابع دارند؛ به اینصورت که هر چقدر مقدار H.R به سمت یک میل نماید، نشان دهنده عدم تاثیر ضرایب است. در جدول ۵-۲۱ پارامترهای تابع نمایی-PHM براساس نرخ مخاطره محاسبه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، به جزء فاکتورهای ریسک بارندگی و دما با نرخ مخاطره ۰/۹۸۳ و ۰/۹۹۱ که تقریباً برابر یک می‌باشند، سایر فاکتورهای ریسک موثر بر قابلیت اطمینان می‌باشند. به طور مثال فاکتور ریسک نوع سنگ با ضریب ۱/۴۷۲، یعنی با افزایش یک واحد فاکتور ریسک نوع سنگ نرخ وقوع ۴۷/۲ درصد افزایش خواهد داشت. یا برای فاکتور ریسک شیفت با ضریب ۰/۸۹۳ با افزایش یک واحد شیفت نرخ وقوع به اندازه ۱۰/۷ درصد کاهش خواهد داشت.

جدول ۵-۲۱- ضرایب نرخ مخاطره تابع رگرسیونی نمایی-PHM برای داده‌های خرابی بیل مکانیکی

[۹۵% Conf. Interval]		P> z	z	Std. Err.	Hazard ratio	پارامترهای تابع
۱/۲۸۲	۰/۶۲۲	۰/۵۴۰	-۰/۶۱	۰/۱۶۵	۰/۸۹۳	shift (z_1)
۲/۷۳۵	۰/۷۹۲	۰/۲۲۱	۱/۲۲۰	۰/۴۶۵	۱/۴۷۲	rocktype (z_2)
۱/۴۲۴	۰/۵۰۴	۰/۵۳۱	-۰/۶۳۰	۰/۲۲۵	۱/۸۴۷	trucktype (z_3)
۱/۱۷۹	۰/۸۲۰	۰/۸۵۴	-۰/۱۸	۰/۰۹۱	۰/۹۸۳	Precipitation [mm] (z_4)
۱/۰۳۰	۰/۹۵۳	۰/۶۲۹	-۰/۴۷۰	۰/۰۲۰	۰/۹۹۱	temperature (z_5)
۱/۷۴۹	۰/۹۲۵	۰/۱۲۹	۱/۴۸۰	۰/۲۰۷	۱/۲۷۲	weathercondition (z_6)

مقدار λ برای تابع نمایی (تابع قابلیت اطمینان اساسی) از رابطه (۵-۱۹) و جدول ۵-۲۰ محاسبه شده و در جدول ۵-۲۲ وارد شده است:

$$\lambda = \frac{1}{\exp(-cons)} = 0.003 \quad (5-19)$$

جدول ۵-۲۲- پارامتر تابع نمایی رگرسیون

پارامتر	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
λ	0.003	0.003	1.060	0.289	-0.003	0.009

لذا تابع قابلیت اطمینان نمایی-PHM با در نظرگیری فاکتورهای ریسک شیف، نوع سنگ، نوع باربر و وضعیت آبوهوا به صورت زیر خواهد بود:

$$R(t, z) = R_0(t)^{\exp(\sum_{i=1}^n z_i \alpha_i)} \quad (5-20)$$

$$R(t, z) = (\exp(-0.003t))^{\exp(-0.113z_1 + 0.387z_2 - 0.166z_3 + 0.241z_4)} \quad (5-21)$$

در این مرحله از روش طراحی عامل^۱ برای تعیین سناریوهای مختلف تحلیل استفاده شده است. در جدول ۵-۲۳ طراحی عاملی برای چهار فاکتور ریسک موثر و سطوح مختلف این فاکتورها مشخص شده است.

جدول ۵-۲۳- طراحی عاملی چهار فاکتور ریسک موثر بر قابلیت اطمینان بیل مکانیکی

Number of data	فاکتورهای ریسک			
۱	Overcast	Truck ۳۰t	MZT & Dump	Shift A
۲	Dense fog	Truck ۱۰۰t		
۳	Overcast			
۲	Sunny&Clear			
۲	Sunny&Clear	Truck ۳۰t & ۱۰۰t		
۳	Semi-cloudy	Truck ۱۰۰t	ORE & OXD & SUF	
۱	Sunny&Clear			
۱	Semi-cloudy			Truck ۳۰t & ۱۰۰t
۱	Semi-cloudy	Truck ۳۰t	MZT & Dump	Shift B
۳	Semi-cloudy	Truck ۱۰۰t		
۳	Sunny&Clear			
۱	Dense fog			
۱	Sunny&Clear			
۱	Sunny&Clear	Truck ۳۰t	ORE & OXD & SUF	
۱	Overcast	Truck ۱۰۰t		
۲	Semi-cloudy			
۱	Sunny&Clear			
۱	Dense fog	Truck ۳۰t	MZT & Dump	Shift C
۳	Semi-cloudy			
۲	Sunny&Clear			
۳	Overcast	Truck ۱۰۰t		
۳	Semi-cloudy			
۳	Sunny&Clear			
۱	Dense fog	Truck ۳۰t & ۱۰۰t		
۱	Overcast			
۱	Semi-cloudy	Truck ۳۰t	ORE & OXD & SUF	
۱	Sunny&Clear			
۳	Overcast	Truck ۱۰۰t		
۲	Semi-cloudy			
۷	Sunny&Clear			

در آمار، یک آزمایش عاملی کامل آزمایشی است که طراحی آن از دو یا چند عامل تشکیل شده است، هر یک از آن‌ها دارای ارزش یا «سطح» مجزا هستند، واحدهای آزمایش آن، تمام ترکیبات این سطوح را در مقابل تمام عامل‌ها برعهده می‌گیرند. یک طراحی عاملی کامل را طراحی تقابلی کامل نیز می‌گویند. چنین آزمایشی به محققان اجازه می‌دهد تا همانند تعاملات بین عوامل مؤثر متغیرها، تأثیر هر یک از عوامل را بر متغیرهای وابسته و مستقل را مطالعه کنند. در بیشتر آزمایش‌های عاملی، هر

عامل تنها دارای دو سطح است. مثلاً، با دو عامل که هر کدام دو سطح دارند، یک آزمایش عاملی، در مجموع تنها چهار ترکیب رفتاری دارد و اغلب به آن "طراحی عاملی ۲×۲" گویند. اگر تعداد ترکیبات طراحی عاملی کامل به قدری زیاد باشد که نتوان آن را از نظر منطقی امکان‌پذیر تلقی کرد، باید یک طراحی عاملی کسری صورت گیرد که در آن برخی از ترکیبات ممکن (معمولاً حداقل نیمی از آن‌ها) حذف می‌شود (George et al., ۲۰۰۵). خروجی این جدول حدود ۳۰ سناریوی مختلف را نشان می‌دهد، از این بین تنها ۱۰ مورد بصورت تصادفی برای ادامه تحلیل‌ها انتخاب شد که در جدول (۵-۲۳) به رنگ خانه خاکستری مشخص شده است. در جدول ۵-۲۴ ده سناریوی انتخاب شده به همراه مقادیر کیفی فاکتورهای ریسک مشخص شده است.

جدول ۵-۲۴- سناریوهای برگزیده از روش تحلیل عامل برای تابع نمایی- PHM

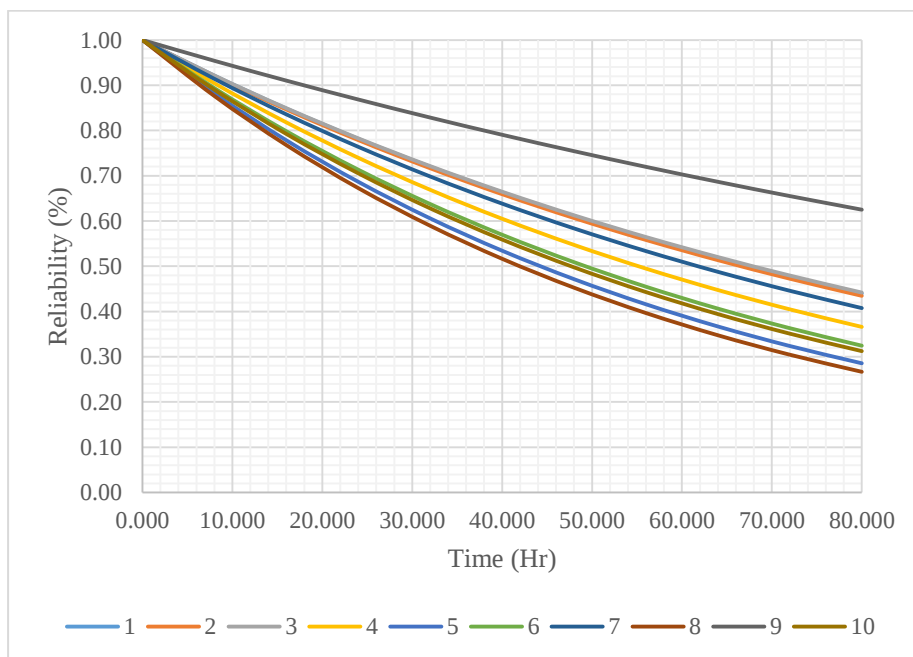
Sky Condition-Rate	Truck type	Rock kind	Shift	Scenario
۲	۰	۲	۱	۱
۳	۰	۲	۳	۲
۲	۱	۳	۳	۳
۴	۱	۲	۲	۴
۴	۲	۳	۲	۵
۴	۱	۲	۱	۶
۴	۱	۲	۳	۷
۴	۱	۳	۳	۸
۲	۲	۲	۳	۹
۳	۱	۳	۲	۱۰

در جدول ۵-۲۵ مقادیر قابلیت اطمینان سیستم با استفاده از رابطه (۵-۲۱) و مقادیر جدول ۵-۲۴ برای ۸۰ ساعت کارکرد سیستم محاسبه شده است.

جدول ۵-۲۵- مقادیر قابلیت اطمینان مدل نمایی- PHM بیل مکانیکی

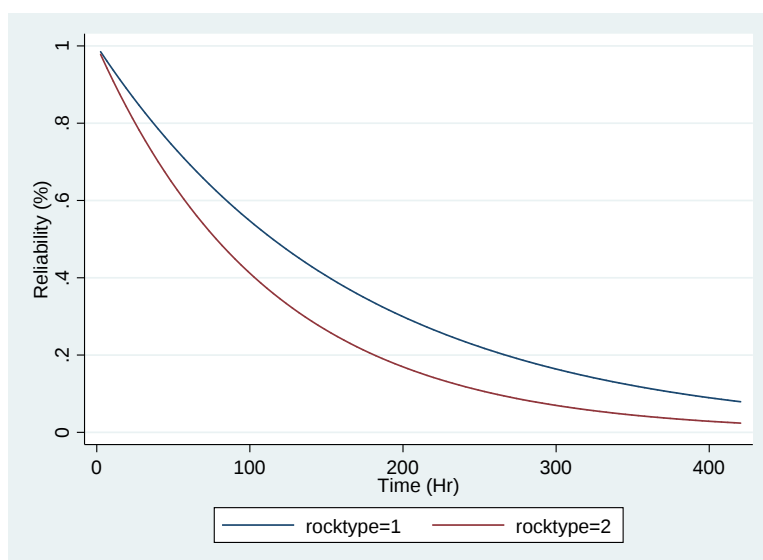
Time (Hr)											سناریوها
۸۰	۷۲	۶۴	۵۶	۴۸	۴۰	۳۲	۲۴	۱۶	۸	۰	
۰/۴۴۰	۰/۴۷۷	۰/۵۱۸	۰/۵۶۳	۰/۶۱۱	۰/۶۶۳	۰/۷۲۰	۰/۷۸۲	۰/۸۴۹	۰/۹۲۱	۱	۱
۰/۴۳۵	۰/۴۷۲	۰/۵۱۴	۰/۵۵۸	۰/۶۰۷	۰/۶۵۹	۰/۷۱۷	۰/۷۷۹	۰/۸۴۷	۰/۹۲۰	۱	۲
۰/۴۴۲	۰/۴۷۹	۰/۵۲۰	۰/۵۶۵	۰/۶۱۳	۰/۶۶۵	۰/۷۲۱	۰/۷۸۳	۰/۸۴۹	۰/۹۲۲	۱	۳
۰/۳۶۶	۰/۴۰۵	۰/۴۴۸	۰/۴۹۵	۰/۵۴۷	۰/۶۰۵	۰/۶۶۹	۰/۷۴۰	۰/۸۱۸	۰/۹۰۴	۱	۴
۰/۲۸۶	۰/۳۲۴	۰/۳۶۷	۰/۴۱۶	۰/۴۷۱	۰/۵۳۴	۰/۶۰۶	۰/۶۸۷	۰/۷۷۸	۰/۸۸۲	۱	۵
۰/۳۲۴	۰/۳۶۳	۰/۴۰۶	۰/۴۵۵	۰/۵۰۹	۰/۵۷۰	۰/۶۳۷	۰/۷۱۳	۰/۷۹۸	۰/۸۹۴	۱	۶
۰/۴۰۸	۰/۴۴۶	۰/۴۸۸	۰/۵۳۴	۰/۵۸۴	۰/۶۳۸	۰/۶۹۸	۰/۷۶۴	۰/۸۳۶	۰/۹۱۴	۱	۷
۰/۲۶۷	۰/۳۰۴	۰/۳۴۸	۰/۳۹۷	۰/۴۵۳	۰/۵۱۷	۰/۵۸۹	۰/۶۷۳	۰/۷۶۸	۰/۸۷۶	۱	۸
۰/۶۲۵	۰/۶۵۵	۰/۶۸۷	۰/۷۲۰	۰/۷۵۴	۰/۷۹۱	۰/۸۲۹	۰/۸۶۹	۰/۹۱۰	۰/۹۵۴	۱	۹
۰/۳۱۲	۰/۳۵۱	۰/۳۹۴	۰/۴۴۳	۰/۴۹۸	۰/۵۵۹	۰/۶۲۸	۰/۷۰۵	۰/۷۹۲	۰/۸۹	۱	۱۰

در شکل ۵-۹ نیز قابلیت اطمینان ۱۰ سناریو برای ۸۰ ساعت کارکرد سیستم ترسیم شده است. در این نمودار سناریوی ۹ با شیفتر کاری سوم، نوع سنگ منزونیت یا دامپ، سیستم باربری مرکب از تراک‌های ۱۰۰ و ۳۰ تنی و وضعیت آب‌وهوایی به شدت ابری بالاترین قابلیت اطمینان در طول ۸۰ ساعت را داشته و سناریوی ۸ با شیفتر کاری سوم، نوع سنگ کانسنگ، اکسید و سولفور، سیستم باربری با تراک‌های ۱۰۰ تنی و وضعیت آب‌وهوایی صاف پایین‌ترین قابلیت اطمینان را دارد. این مسئله ناشی از تأثیرات دو فاکتور ریسک نوع سنگ و وضعیت آب‌وهوایی است.



شکل ۵-۹- قابلیت اطمینان مدل نمایی PHM برای بیل مکانیکی

در شکل ۵-۱۰ نیز نمودار قابلیت اطمینان بیل مکانیکی به ازای مقادیر مختلف فاکتور ریسک نوع سنگ ترسیم شده است. با توجه به نرخ مخاطره بالای این فاکتور در تابع اصلی (۱/۴۷۲) به خوبی قابل مشاهده است که افزایش این فاکتور، افزایش نرخ وقوع در نتیجه کاهش قابلیت اطمینان را به همراه خواهد داشت. به طور مثال قابلیت اطمینان در ۱۰۰ ساعت برای نوع سنگ ۱ (منزونیت یا دامپ) تقریباً برابر ۵۸ درصد بوده، در حالیکه برای نوع سنگ ۲ (کانسنگ، اکسید و سولفور) در همین مدت از کارکرد به ۴۰ درصد افت می‌کند.



شکل ۵-۱۰- نمودار قابلیت اطمینان با تاثیر فاکتور ریسک نوع سنگ

۵-۹-۴- مدل چهارم: تابع رگرسیونی با شکستگی

چهارمین دسته مدل با توجه به الگوریتم ارائه شده در شکل ۵-۱ در واقع ترکیبی از سه مدل قبلی و به نوعی کامل‌ترین مدل بین مدل‌های برازش شده است. این مدل همانطور که در فصل‌های قبلی نیز معرفی شد، تحت عنوان مدل نرخ مخاطرات مرکب (MPHM) شناخته می‌شود. این مدل در واقع ترکیبی از مدل رگرسیونی PHM با در نظر گرفتن شکستگی است. این مدل به طور کل دربرگیرنده تاثیر فاکتورهای ریسک مشهود و نامشهود بر داده‌های زمانی است، این تاثیر با ضریب α که در تابع گاما است بر تابع PHM افزوده شده و در نهایت رابطه نرخ مخاطره و قابلیت اطمینان تابع MPHM به صورت رابطه (۵-۲۲) و (۵-۲۳) است (Gutierrez, ۲۰۰۲):

$$\lambda_{\theta}(t; z; z(t)) = \lambda(t; z; z(t)) [1 - \theta \ln(R(t; z; z(t)))]^{-1} \quad (5-22)$$

$$R_{\theta}(t; z; z(t)) = [1 - \theta \ln\{R(t; z; z(t))\}]^{-1/\theta} \quad (5-23)$$

در این مدل نیز برای تعیین تابع اساسی $(\lambda(t; z; z(t)))$ و $(R(t; z; z(t)))$ سراغ آماره‌های AIC و BIC رفته که در جدول ۵-۲۶ مقادیر این آماره‌ها برای سه تابع ویبول، نمایی و گومپتز مشخص شده است. در بین توابع اشاره شده ویبول-MPHM با مقادیر ۱۷۱/۹۶۵ و ۱۹۰/۸۱۴ برای AIC و BIC کمترین مقدار را داشته و لذا مناسب‌ترین برازش را دارد.

جدول ۵-۲۶- مقادیر GOF توابع رگرسیون-رگرسیونی برای داده‌های خرابی بیل مکانیکی

مدل	AIC	BIC
Weibull PH-Farilty	۱۷۱/۹۶۵	۱۹۰/۸۱۳۹
Exponential PH-Farilty	۱۷۸/۳۶۹	۱۹۵/۱۲۳۷
Gompertz PH	۱۸۰/۱۳۴	۱۹۸/۹۸۲۹

در جدول ۵-۲۷ مقادیر ضرایب فاکتورهای ریسک، پارامترهای تابع اساسی و مقدار ناهمگنی تابع شکستگی محاسبه شده است.

جدول ۵-۲۷- پارامترهای تابع رگرسیونی ویبول-MPHM برای داده‌های خرابی بیل مکانیکی

پارامتر و ضرایب	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[۹۵% Conf. Interval]	
shift (z_1)	۰/۹۷۷	۰/۸۶۵	۱/۱۳۰	۰/۲۵۹	-۰/۷۱۸	۲/۶۷۲
rocktype (z_2)	۱/۳۳۲	۱/۰۰۸	۱/۳۲۰	۰/۱۸۷	-۰/۶۴۵	۳/۳۰۸
trucktype (z_3)	-۱/۵۸۹	۱/۲۸۷	-۱/۲۳۰	۰/۲۱۷	-۴/۱۱۲	۰/۹۳۴
precipitationmm (z_4)	۰/۱۶۶	۰/۱۵۱	۱/۱۰۰	۰/۲۷۲	-۰/۱۳۰	۰/۴۶۲
temperature (z_5)	۰/۰۶۱	۰/۰۶۷	۰/۹۱۰	۰/۳۶۲	-۰/۰۷۰	۰/۱۹۲
weathercondition (z_6)	-۰/۰۵۴	۰/۴۶۵	-۰/۱۲۰	۰/۹۰۸	-۰/۹۶۵	۰/۸۵۷
cons	-۱۸/۴۶۰	۶/۴۳۱	-۲/۸۷۰	۰/۰۰۴	۳۱/۰۶۵	-۵/۸۵۴
/ln_p	۱/۴۴۲	۰/۴۰۰	۳/۶۱۰	.	۰/۶۵۸	۲/۲۲۷
/ln_the	۱/۶۸۵	۰/۵۱۸	۳/۲۵۰	۰/۰۰۱	۰/۶۷۰	۲/۷۰۰
p	۴/۲۳۱	۱/۶۹۳			۱/۹۳۱	۹/۲۶۸
۱/p	۰/۲۳۶	۰/۹۵۰			۰/۱۰۸	۰/۵۱۸
θ	۵/۳۹۴	۲/۷۹۳			۱/۹۵۵	۱۴/۸۸۲
Likelihood-ratio test $\theta = 0$: $\text{chibar}^2(0,1) = 8/35$		Prob>=chibar ² = ۰/۰۰۲				

همانطور که در دومین مدل توضیح داده شده برای بررسی وجود ناهمگنی در داده‌ها از آزمون R استفاده می‌شود که طبق جدول مقدار R در این مدل برابر است با:

$$R = 2 \left(\ln L(\hat{\lambda}, \hat{\beta}, \hat{\eta}, \hat{\theta}) - \ln L(\hat{\lambda}, \hat{\beta}, \hat{\eta}, 0) \right) = 8/35 \quad (5-24)$$

همچنین p-مقدار مربوط به R برای مقایسه با کای-دو در سطح اطمینان ۹۵٪ نیز برابر است با ۰/۰۰۲ که در واقع وجود ناهمگنی در داده‌ها را تایید می‌کند. در این جدول مقدار θ که نشان دهنده ناهمگنی در داده‌ها یا تاثیر فاکتورهای ریسک نامشهود بر رفتار عملکردی سیستم است و در رابطه (۵-۲۳) نیز اشاره شده با مقدار ۵/۳۹۴ مشخص شده است. در ادامه باید فاکتورهای ریسک موثر بر قابلیت اطمینان را با استفاده از p-مقدارهای آزمون z در ستون چهارم مشخص کنیم، با توجه به سطح اعتماد ۰/۰۵ هیچ یک از فاکتورهای ریسک موثر نیستند؛ در حالی که در صورت محاسبه ضرایب نرخ مخاطره مطابق جدول ۵-۲۸ به جزء دو فاکتور ریسک دما و وضعیت آب‌وهوا با ضرایب

۰/۹۴۸ و ۱/۰۶۳ موثر در تغییرات نرخ وقوع می‌باشند. به طور مثال تنها یک واحد افزایش در مقدار فاکتور ریسک شیفت نرخ وقوع را ۱۶۶ درصد افزایش خواهد داد؛ لذا چهار فاکتور ریسک شیفت، نوع سنگ، نوع باربر و بارندگی در تابع قابلیت اطمینان وارد خواهند شد.

جدول ۵-۲۸- ضرایب نرخ مخاطره تابع رگرسیونی ویبول-MPHM برای داده‌های خرابی بیل مکانیکی

[۹۵% Conf. Interval]		P> z	z	Std. Err.	Haz. Ratio	فاکتورهای ریسک
۱۴/۴۶۴	۰/۴۸۸	۰/۲۵۹	۱/۱۳۰	۲/۲۹۷	۲/۶۵۶	shift (z _۱)
۲۷/۳۳۷	۰/۵۲۵	۰/۱۸۷	۱/۳۲۰	۳/۸۲۰	۳/۷۸۸	rocktype (z _۲)
۲/۵۴۶	۰/۰۱۶	۰/۲۱۷	-۱/۲۳۰	۰/۲۶۳	۰/۲۰۴	trucktype (z _۳)
۱/۵۸۷	۰/۸۷۸	۰/۲۷۲	۱/۱۰۰	۰/۱۷۸	۱/۱۸۰	precipitationmm (z _۴)
۱/۲۱۲	۰/۹۳۲	۰/۳۶۲	۰/۹۱۰	۰/۰۷۱	۱/۰۶۳	temperature (z _۵)
۲/۳۵۷	۰/۳۸۱	۰/۹۰۸	-۰/۱۲۰	۰/۴۴۱	۰/۹۴۸	weathercondition (z _۶)

برای دستیابی به تابع اساسی ویبول با استفاده از جدول ۵-۲۷ و از تبدیل‌های زیر برای دستیابی به پارامترهای شکل (α) و مقیاس (β) استفاده می‌شود:

$$\alpha = p = ۴/۲۳۱ \quad (۲۵-۵)$$

$$\beta = \exp\left(-\frac{cons}{\alpha}\right) = ۷۸/۴۹۹ \quad (۲۶-۵)$$

در جدول ۵-۲۹ نیز این پارامترها به همراه خطای استاندارد محاسبه شده است:

جدول ۵-۲۹- پارامترهای تابع ویبول-MPHM

[۹۵% Conf. Interval]		P> z	z	Std. Err.	Coef.	پارامترها
۷/۵۴۸	۰/۹۱۳	۰/۰۱۲	۲/۵۰۰	۱/۶۹۳	۴/۲۳۱	α
۲۳۰/۸۴۷	-۷۳/۸۴۹	۰/۳۱۳	۱/۰۱۰	۷۷/۷۳۰	۷۸/۴۹۹	β

و متعاقباً تابع قابلیت اطمینان ویبول-MPHM به صورت رابطه (۵-۱۷) خواهد بود

$$R_{\theta}(t; z) = \left[1 - \theta \ln \left\{ \left(e^{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha}} \right)^{\exp\left(\sum_{j=1}^n \omega_j z_j\right)} \right\} \right]^{-1/\theta} \quad (۲۷-۵)$$

که پس از جایگذاری مقادیر مربوطه خواهیم داشت:

$$R_{\theta}(t; z) = \left[1 - ۵.۳۹۴ \times \ln \left\{ \left(e^{-\left(\frac{t}{۷۸.۴۹۹}\right)^{۴.۲۳۱}} \right)^{\exp(-۰.۹۷۷z_1 + ۱.۳۳۲z_2 - ۱.۵۸۹z_3 + ۰.۱۶۶z_4)} \right\} \right]^{-1/۵.۳۹۴} \quad (۲۸-۵)$$

در این مدل نیز مطابق جدول ۵-۳۰، ۱۰ سناریوی به روش طراحی عامل ارائه شده و مقدار متوسط بارندگی ۱/۱۹ میلیمتر در نظر گرفته شده است.

جدول ۵-۳۰- سناریوهای برگزیده از روش تحلیل عامل در مدل ویبول-MHPM برای بیل مکانیکی

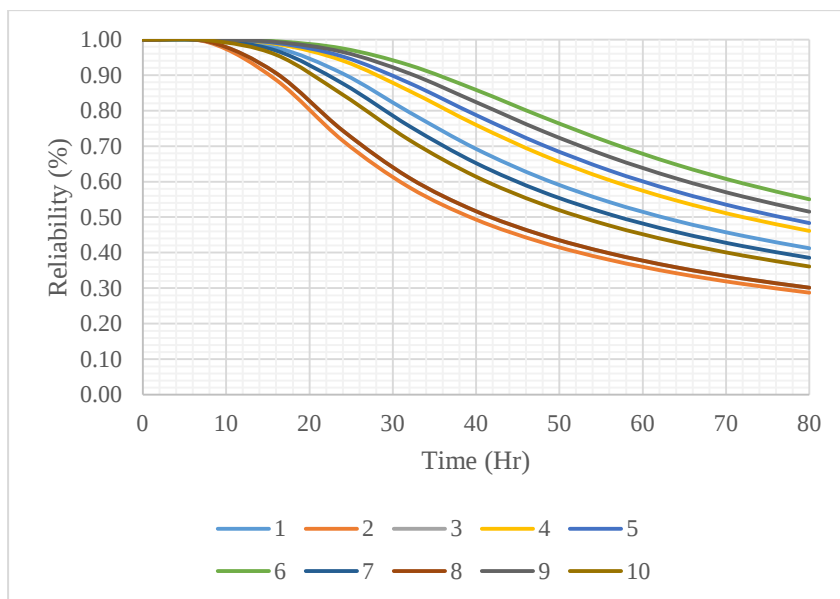
Truck type (z_7)	Rock kind (z_8)	Shift (z_9)	Scenario
۰	۲	۱	۱
۰	۲	۳	۲
۱	۳	۳	۳
۱	۲	۲	۴
۲	۳	۲	۵
۱	۲	۱	۶
۱	۲	۳	۷
۱	۳	۳	۸
۲	۲	۳	۹
۱	۳	۲	۱۰

در جدول ۵-۳۱ مقادیر قابلیت اطمینان محاسبه شده براساس رابطه (۵-۲۸) و جدول ۵-۳۰ برای ۱۰ سناریوی مختلف نشان می‌دهد.

جدول ۵-۳۱- مقادیر قابلیت اطمینان مدل ویبول-MPHM بیل مکانیکی

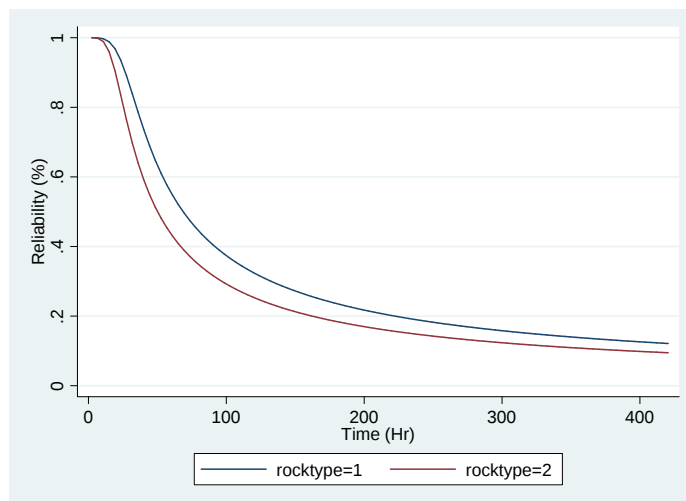
Time (Hr)											سناریو
۸۰	۷۲	۶۴	۵۶	۴۸	۴۰	۳۲	۲۴	۱۶	۸	۰	
۰/۴۱۲	۰/۴۴۷	۰/۴۹۰	۰/۵۴۳	۰/۶۰۸	۰/۶۹۲	۰/۷۹۵	۰/۹۰۴	۰/۹۷۸	۰/۹۹۹	۱	۱
۰/۲۸۷	۰/۳۱۲	۰/۳۴۲	۰/۳۸۰	۰/۴۲۸	۰/۴۹۳	۰/۵۸۴	۰/۷۱۵	۰/۸۸۶	۰/۹۹۱	۱	۲
۰/۳۰۱	۰/۳۲۷	۰/۳۵۹	۰/۳۹۸	۰/۴۴۹	۰/۵۱۷	۰/۶۱۰	۰/۷۴۳	۰/۹۰۵	۰/۹۹۳	۱	۳
۰/۴۶۱	۰/۵۰۰	۰/۵۴۷	۰/۶۰۴	۰/۶۷۴	۰/۷۶۰	۰/۸۵۵	۰/۹۴۰	۰/۹۸۷	۰/۹۹۹	۱	۴
۰/۴۸۳	۰/۵۲۴	۰/۵۷۳	۰/۶۳۱	۰/۷۰۳	۰/۷۸۷	۰/۸۷۷	۰/۹۵۲	۰/۹۹۰	۰/۹۹۹	۱	۵
۰/۵۵۰	۰/۵۹۵	۰/۶۴۸	۰/۷۱۰	۰/۷۸۲	۰/۸۵۸	۰/۹۲۸	۰/۹۷۵	۰/۹۹۵	۱/۰۰۰	۱	۶
۰/۳۸۶	۰/۴۱۸	۰/۴۵۸	۰/۵۰۸	۰/۵۷۱	۰/۶۵۲	۰/۷۵۶	۰/۸۷۶	۰/۹۶۹	۰/۹۹۸	۱	۷
۰/۳۰۱	۰/۳۲۷	۰/۳۵۹	۰/۳۹۸	۰/۴۴۹	۰/۵۱۷	۰/۶۱۰	۰/۷۴۳	۰/۹۰۵	۰/۹۹۳	۱	۸
۰/۵۱۵	۰/۵۵۸	۰/۶۰۹	۰/۶۷۰	۰/۷۴۲	۰/۸۲۴	۰/۹۰۴	۰/۹۶۵	۰/۹۹۳	۱/۰۰۰	۱	۹
۰/۳۶۱	۰/۳۹۲	۰/۴۳۰	۰/۴۷۶	۰/۵۳۶	۰/۶۱۴	۰/۷۱۷	۰/۸۴۵	۰/۹۵۷	۰/۹۹۷	۱	۱۰

در شکل ۵-۱۱ قابلیت اطمینان سناریوهای مختلف محاسبه در جدول ۵-۳۱ درج شده است. در این نمودار سناریوی ۶ یعنی کارکرد بیل مکانیکی در شیفت صبح، در سنگ منزونیت یا دمپ مواد و باربری با دامپ تراک ۱۰۰ تنی بالاترین قابلیت اطمینان در طول ۸۰ ساعت را داشته و سناریوی ۲ با شیفت کاری سوم و نوع سنگ منزونیت و دمپ مواد و باربری با دامپ تراک ۳۰ تنی پایین‌ترین قابلیت اطمینان در طول کارکرد را دارد که در واقع شیفت کاری و نوع سیستم باربری کارکرد سیستم را بشدت تحت تاثیر قرار داده است.



شکل ۱۱-۵- قابلیت اطمینان ۱۰ سناریوی مختلف برای مدل ویبول-MPHM

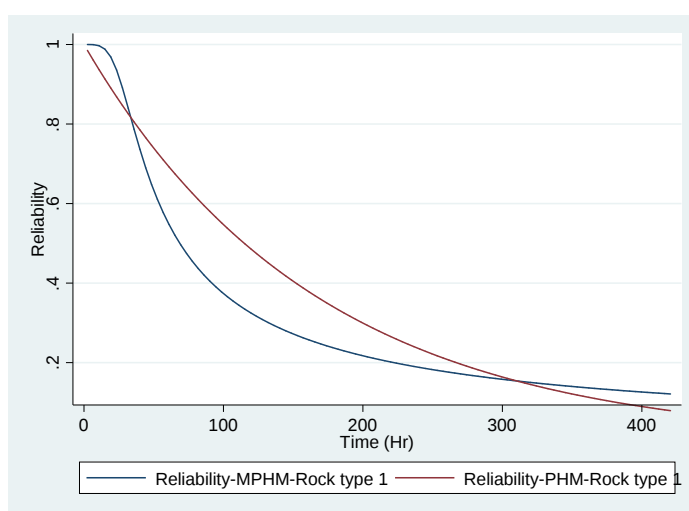
شکل ۱۲-۵ نیز قابلیت اطمینان سیستم را به ازای ۴۰۰ ساعت کارکرد برای مقادیر مختلف فاکتور ریسک نوع سنگ و مقدار متوسط برای سایر فاکتورهای ریسک و تاثیر نوع سنگ را به تصویر کشیده است همانطور که مشاهده میگردد تاثیر نوع سنگ تاثیر بسیاری در افت قابلیت اطمینان سیستم در طول بازه کارکردی ۴۰۰ ساعت دارد بطوریکه قابلیت اطمینان سیستم در سنگ اکسید سولفور پائین تر از سنگ منزونیت بوده و بوضوح این شکل تاثیر نوع و سختی سنگ را نشان داده است.



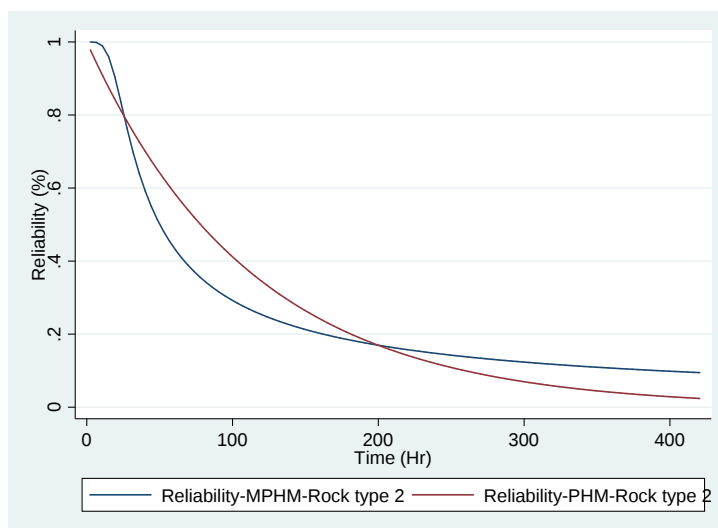
شکل ۱۲-۵- قابلیت اطمینان بیل مکانیکی به ازای مقادیر مختلف فاکتور ریسک نوع سنگ

منزونیت: Rocktype ۱- کانسنگ، اکسید سولفور: Rocktype ۲

در شکل ۵-۱۳ نمودار قابلیت اطمینان سیستم برای فاکتور ریسک نوع سنگ در مدل سوم (نمایی- PHM) که از تاثیر فاکتورهای ریسک نامشهود صرف نظر شده و مدل چهارم (ویبول-MPHM) با در نظرگیری تاثیر فاکتورهای ریسک مشهود و نامشهود ترسیم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، قابلیت اطمینان تقریباً ۵۰ ساعت کارکرد برای MPHMM بیشتر PHM بوده، سپس از ۵۰ تا ۳۱۰ ساعت قابلیت اطمینان MPHMM با تقریری بیشتری نسبت به PHM افت کرده و بعد از آن مجدداً قابلیت اطمینان MPHMM بیشتر PHM می‌شود. این تغییرات برای نوع سنگ ۲ (کانسنگ، اکسید سولفور) در مدل سوم و چهارم نیز دقیقاً مشابه همین حالت است، در شکل ۵-۱۴ تغییرات قابلیت اطمینان این حالت ترسیم شده است.



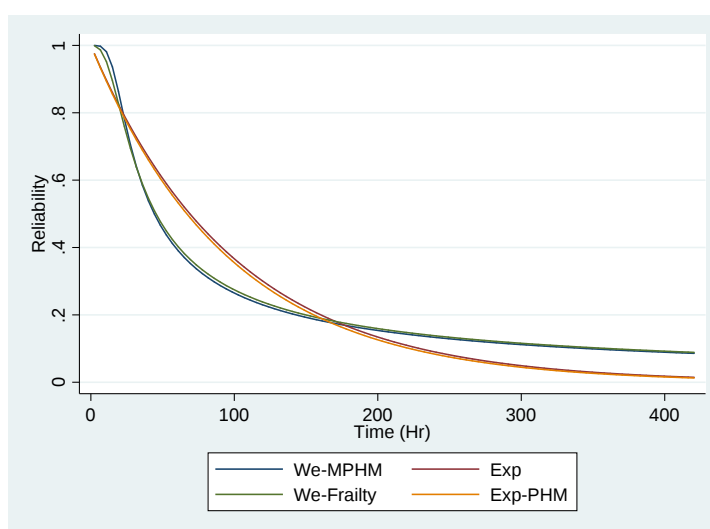
شکل ۵-۱۳- قابلیت اطمینان بیل مکانیکی برای نوع سنگ منزونیت در دو مدل نمایی-PHM و ویبول-MPHM



شکل ۵-۱۴- قابلیت اطمینان بیل مکانیکی برای نوع سنگ (کانسنگ، اکسید سولفور)

در دو مدل نمایی-PHM و ویبول-MPHM

در شکل ۵-۱۵ قابلیت اطمینان سیستم برای چهار مدل مختلف ترسیم شده که در مدل‌های PHM و MPM از مقادیر متوسط فاکتورهای ریسک استفاده شده است. کاربرد مقادیر متوسط فاکتور ریسک و نمایی بودن تابع اساسی قابلیت اطمینان در PHM و مدل کلاسیک دلیل انطباق دو مدل نمایی-کلاسیک و نمایی-PHM بوده و لذا شباهت رفتاری سیستم را به همراه داشته است. همین دلایل برای دو مدل ویبول-شکستگی و ویبول-MPHM نیز برقرار بوده، ولی در مقایسه مدل کلاسیک و مدل نمایی-PHM با دو مدل ویبول-شکستگی و ویبول-MPHM تاثیر فاکتورهای ریسک نامشهود کاملاً مشخص بوده و رفتار قابلیت اطمینان سیستم را بین ۸۰ تا ۲۰ درصد بشدت تحت تاثیر قرار داده است.



شکل ۵-۱۵- قابلیت اطمینان بیل مکانیکی برای چهار مدل

۵-۱۰- تخمین عمر مفید باقیمانده

مطابق الگوریتم ارائه شده در شکل ۵-۱ پس از تحلیل آزمون‌های وابستگی به زمان و همگنی مدل مناسب برای قابلیت اطمینان برازش شده و پارامترهای آن تخمین زده می‌شود، در این رساله برای مقایسه نتایج و بررسی‌های بیشتر چهار مدل در نظر گرفته شد که چهارمین مدل یعنی تابع رگرسیون-شکستگی (MPHM) با در نظرگیری تاثیر فاکتورهای ریسک مشهود و نامشهود به عنوان مناسب‌ترین حالت انتخاب شد. در این بخش طبق محاسبات صورت گرفته در مبحث قابلیت اطمینان، محاسبات RUL برای چهار مدل انجام می‌شود:

۱. مدل اول: تابع کلاسیک

۲. مدل دوم: تابع کلاسیک-شکستگی

۳. مدل سوم: تابع رگرسیونی

۴. مدل چهارم: تابع رگرسیونی-شکستگی

۵-۱۰-۱- تخمین عمر مفید باقیمانده مدل اول: تابع کلاسیک

در تخمین عمر مفید باقیمانده از رابطه (۵-۲۹) استفاده می‌شود:

$$MTTF(t.) = \frac{\int_{t.}^{\infty} R(t) dt}{R(t.)} \quad (۲۹-۵)$$

طبق محاسبات انجام گرفته در قسمت قبل تابع قابلیت اطمینان مدل کلاسیک به صورت تابع نمایشی بود:

$$R(t) = \exp(-0.010039851 \times t) \quad (۳۰-۵)$$

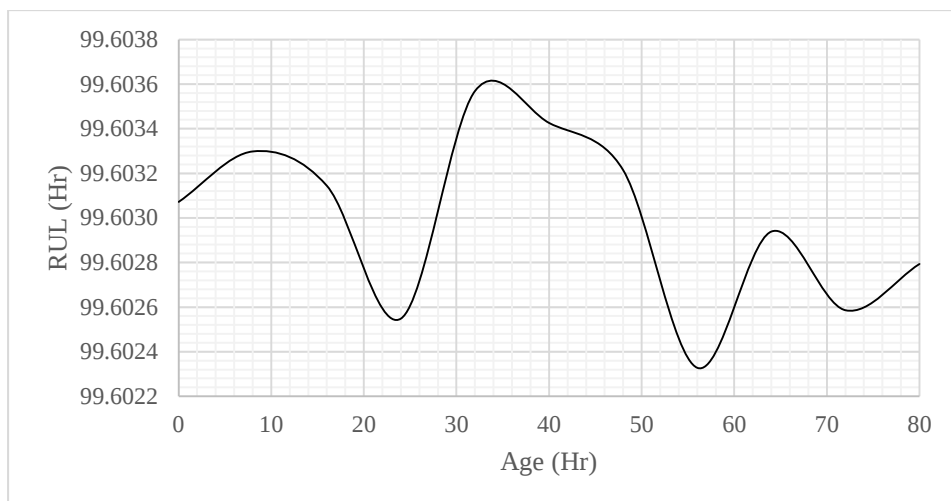
لذا تابع RUL به صورت زیر خواهد بود:

$$RUL(t.) = \frac{\int_{t.}^{\infty} \exp(-0.010039851 \times t) dt}{\exp(-0.010039851 \times t.)} \quad (۳۱-۵)$$

جدول ۵-۳۲ مقادیر RUL به ازای ۸۰ ساعت کارکرد محاسبه شده است. مطابق شکل ۵-۱۶ مقادیر RUL در طول بازه ۸۰ ساعت در عدد ۹۹ نوسان داشته که این نتیجه با شرایط واقعی سازگاری ندارد، دلیل این امر را می‌توان در نوع تابع نمایشی جستجو کرد.

جدول ۵-۳۲- مقادیر RUL برای مدل نمایشی-کلاسیک

$t. (Hr)$											شاخص عملکرد
۸۰	۷۲	۶۴	۵۶	۴۸	۴۰	۳۲	۲۴	۱۶	۸	۰	
۰/۴۴۸	۰/۴۸۵	۰/۵۲۶	۰/۵۷۰	۰/۶۱۸	۰/۶۶۹	۰/۷۲۵	۰/۷۸۶	۰/۸۵۲	۰/۹۲۳	۱/۰۰۰	Reliability
۹۹/۶۰۲۷	۹۹/۶۰۲۵	۹۹/۶۰۲۹	۹۹/۶۰۲۳	۹۹/۶۰۳۲	۹۹/۶۰۳۴	۹۹/۶۰۳۵	۹۹/۶۰۲۵	۹۹/۶۰۳۱	۹۹/۶۰۳۲	۹۹/۶۰۳۰	RUL (Hr)



شکل ۵-۱۶- RUL بیل مکانیکی در مدل اول: نمایی-کلاسیک

۵-۱۰-۲- تخمین عمر مفید باقیمانده مدل دوم: تابع کلاسیک با شکستگی

طبق رابطه (۵-۲۹) محاسبه عمر مفید باقیمانده نیازمند تابع قابلیت اطمینان است که در رابطه (۵-۳۲) مشاهده می‌شود:

$$R_{\theta}(t) = \left[1 - 3.575 \ln \left\{ e^{-\left(\frac{t}{30.565}\right)^{2.817}} \right\} \right]^{-1/3.575} \quad (5-32)$$

لذا تابع RUL به صورت زیر خواهد بود:

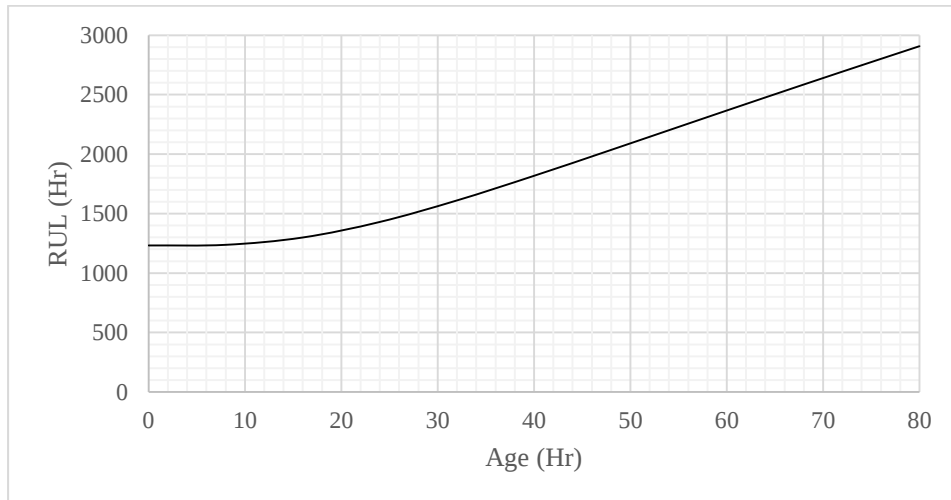
$$RUL(t, \alpha) = \frac{\int_t^{\infty} \left[1 - 3.575 \ln \left\{ e^{-\left(\frac{t}{30.565}\right)^{2.817}} \right\} \right]^{-1/3.575} dt}{\left[1 - 3.575 \ln \left\{ e^{-\left(\frac{t}{30.565}\right)^{2.817}} \right\} \right]^{-1/3.575}} \quad (5-33)$$

مقادیر RUL به ازای عمرهای مختلف در جدول ۵-۳۳ محاسبه شده است:

جدول ۵-۳۳- مقادیر RUL برای مدل ویبول-شکستگی

$t_0(Hr)$											شاخص
۸۰	۷۲	۶۴	۵۶	۴۸	۴۰	۳۲	۲۴	۱۶	۸	۰	عملکرد
۰/۴۱	۰/۴۴	۰/۴۸	۰/۵۳	۰/۵۹	۰/۶۶	۰/۷۵	۰/۸۵	۰/۹۴	۰/۹۹	۱/۰۰	Reliability
۲۹۰۷/۸۰	۲۶۹۳/۹۸	۲۴۷۶/۶۷	۲۲۵۶/۶۶	۲۰۳۵/۷۴	۱۸۱۷/۷۹	۱۶۱۰/۷۵	۱۴۲۹/۹۶	۱۲۹۹/۲۴	۱۲۳۷/۶۲	۱۲۳۲/۰۴	RUL (Hr)

در شکل ۱۷-۵ نمودار RUL به ازای زمان‌های (عمرها) مختلف ترسیم شده است، مطابق این شکل ملاحظه می‌گردد مقادیر RUL در طول بازه کارکردی و با افزایش زمان کارکرد افزایش پیدا کرده است که این شرایط با شرایط واقعی سازگار نیست.



شکل ۱۷-۵ RUL بیل مکانیکی در مدل دوم: ویبول-شکستگی

۳-۱۰-۵- تخمین عمر مفید باقیمانده مدل سوم: تابع رگرسیونی

با توجه به پارامترهای تابع اساسی و میزان تاثیرات فاکتورهای ریسک، تابع قابلیت اطمینان نمایی- PHM عبارت است از:

$$R(t, z) = (\exp(-\dots \lambda t)) \exp(-\dots \lambda_1 z_1 + \dots \lambda_2 z_2 - \dots \lambda_3 z_3 + \dots \lambda_4 z_4) \quad (34-5)$$

لذا تابع عمر مفید باقیمانده به صورت زیر خواهد بود:

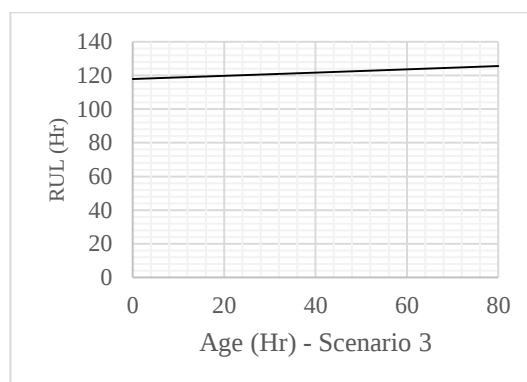
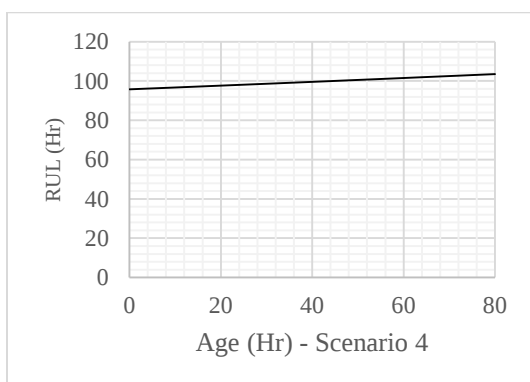
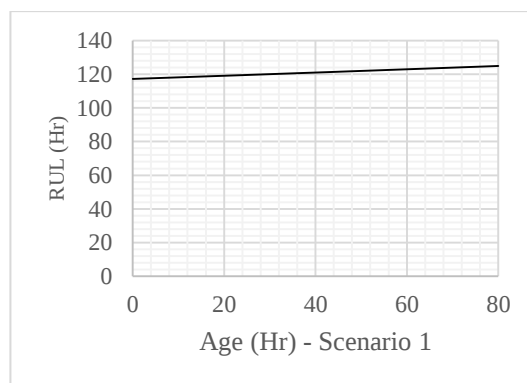
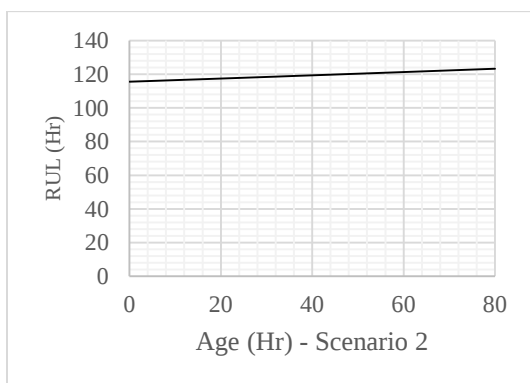
$$RUL(t, z) = \frac{\int_{t_0}^{\infty} ((\exp(-\dots \lambda t)) \exp(-\dots \lambda_1 z_1 + \dots \lambda_2 z_2 - \dots \lambda_3 z_3 + \dots \lambda_4 z_4)) dt}{((\exp(-\dots \lambda t_0)) \exp(-\dots \lambda_1 z_1 + \dots \lambda_2 z_2 - \dots \lambda_3 z_3 + \dots \lambda_4 z_4))} \quad (35-5)$$

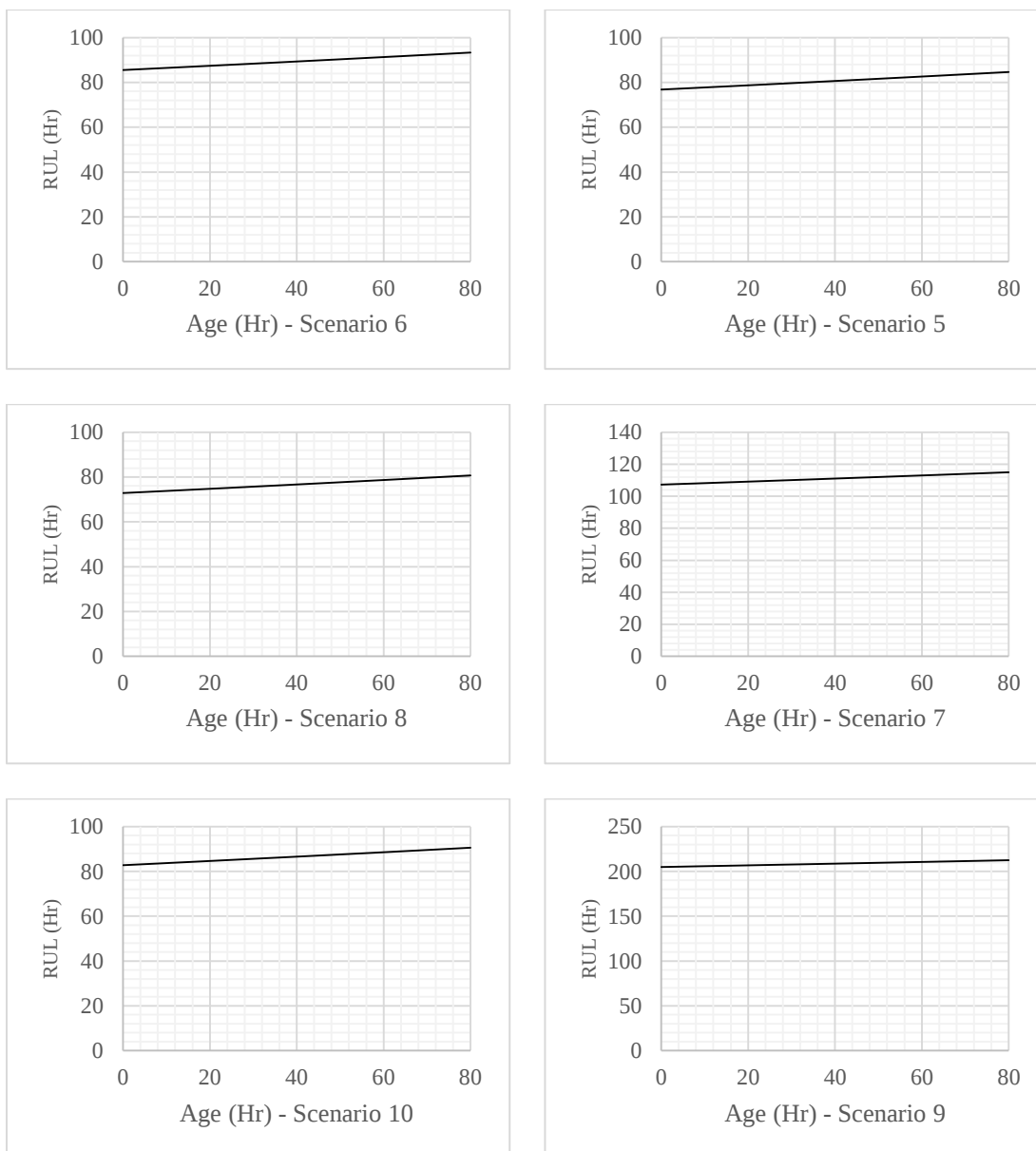
لذا محاسبات انجام گرفته برای سناریوهای مختلف که در جدول ۲۴-۵ تعریف شده است، به صورت جدول ۳۴-۵ است:

جدول ۵-۳۴- مقدار عمر مفید باقیمانده سیستم بیل مکانیکی برای مدل نمایی- PHM

سناریو	Time (Hr)									
	۸۰	۷۲	۶۴	۵۶	۴۸	۴۰	۳۲	۲۴	۱۶	۸
۱	۱۲۴/۸۹	۱۲۴/۰۹	۱۲۳/۳۱	۱۲۲/۵۳	۱۲۱/۷۵	۱۲۰/۹۸	۱۲۰/۲۱	۱۱۹/۴۵	۱۱۸/۶۹	۱۱۷/۹۴
۲	۱۲۳/۲۴	۱۲۲/۴۵	۱۲۱/۶۶	۱۲۰/۸۸	۱۲۰/۱۰	۱۱۹/۳۳	۱۱۸/۵۶	۱۱۷/۸۰	۱۱۷/۰۴	۱۱۶/۲۹
۳	۱۲۵/۵۶	۱۲۴/۷۷	۱۲۳/۹۸	۱۲۳/۲۰	۱۲۲/۴۲	۱۲۱/۶۵	۱۲۰/۸۸	۱۲۰/۱۲	۱۱۹/۳۶	۱۱۸/۶۱
۴	۱۰۳/۵۲	۱۰۲/۷۲	۱۰۱/۹۲	۱۰۱/۱۳	۱۰۰/۳۵	۹۹/۵۷	۹۸/۸۰	۹۸/۰۳	۹۷/۲۷	۹۶/۵۲
۵	۸۴/۶۴	۸۳/۸۲	۸۳/۰۱	۸۲/۲۱	۸۱/۴۱	۸۰/۶۳	۷۹/۸۵	۷۹/۰۸	۷۸/۳۱	۷۷/۵۶
۶	۹۳/۳۱	۹۲/۵۰	۹۱/۷۰	۹۰/۹۰	۹۰/۱۱	۸۹/۳۳	۸۸/۵۶	۸۷/۷۹	۸۷/۰۳	۸۶/۲۷
۷	۱۱۴/۹۷	۱۱۴/۱۷	۱۱۳/۳۸	۱۱۲/۵۹	۱۱۱/۸۱	۱۱۱/۰۴	۱۱۰/۲۷	۱۰۹/۵۱	۱۰۸/۷۵	۱۰۷/۹۹
۸	۸۰/۷۱	۷۹/۸۸	۹۷/۰۷	۷۸/۲۶	۷۷/۴۷	۷۶/۶۸	۷۵/۹۰	۷۵/۱۲	۷۴/۳۶	۷۳/۶۰
۹	۲۱۲/۴۳	۲۱۱/۶۶	۲۱۰/۹۸	۲۱۰/۱۲	۲۰۹/۳۶	۲۰۸/۶۰	۲۰۷/۸۴	۲۰۷/۰۹	۲۰۶/۳۳	۲۰۵/۵۸
۱۰	۹۰/۵۵	۸۹/۷۴	۸۸/۹۳	۸۸/۱۴	۸۷/۳۴	۸۶/۵۶	۸۵/۷۹	۸۵/۰۲	۸۴/۲۵	۸۳/۵۰

در شکل ۵-۱۸ نمودار عمر مفید باقیمانده برای تمام سناریوهای ترسیم شده است.





شکل ۵-۱۸- عمر مفید باقیمانده بیل مکانیکی برای ۱۰ سناریوی مختلف با مدل نمایی-PHM

همانطور که مشاهده می‌شود، این مدل تقریباً در تمام سناریوها عمر مفید باقیمانده را به طور افزایشی نشان می‌دهد، در حالی که در شرایط واقعی وضع به این شکل نبوده و این مسأله ناشی از تابع نمایی است که در انتگرال‌گیری فرمول (۵-۳۵) بکار رفته است. در این مدل در صورت بکارگیری تابع ویبول به عنوان تابع اساسی نتایج متفاوت خواهد بود. در جدول ۵-۳۵ ضرایب فاکتورهای ریسک و پارامترهای تابع اساسی ویبول (α و β) محاسبه شده است. فاکتور ریسک بارندگی (z_4) و دما (z_5) با توجه به ضرایب -0.022 و -0.010 که نرخ مخاطره (H.R) 0.979 و 0.989 را به ترتیب برای دو فاکتور ریسک z_4 و z_5 به همراه دارد که با توجه به مقدار تقریبی برابر با یک این مقادیر عملاً از محاسبات قابلیت اطمینان حذف خواهند شد.

جدول ۵-۳۵- پارامترهای تابع رگرسیونی ویبول-PHM برای داده‌های خرابی بیل مکانیکی

[۹۵% Conf. Interval]		P> z	z	Std. Err.	Coef.	فاکتورهای ریسک و پارامتر
۰/۲۴۶	-۰/۴۸۳	۰/۵۲۳	-۰/۶۴۰	۰/۱۸۶	-۰/۱۱۹	shift (z_1)
۱/۰۱۶	-۰/۲۳۰	۰/۲۱۶	۱/۲۴۰	۰/۳۱۸	۰/۳۹۳	rocktype (z_2)
۰/۳۵۲	-۰/۶۸۸	۰/۵۲۶	-۰/۶۳۰	۰/۲۶۵	-۰/۱۶۸	trucktype (z_3)
۰/۱۶۷	-۰/۲۱۰	۰/۸۲۳	-۰/۲۲۰	۰/۰۹۶	-۰/۰۲۲	precipitationmm (z_4)
۰/۰۲۹	-۰/۰۵۰	۰/۶۱۱	-۰/۵۱۰	۰/۰۲۰	-۰/۰۱۰	temperature (z_5)
۰/۵۷۳	-۰/۰۷۴	۰/۱۳۱	۱/۵۱۰	۰/۱۶۵	۰/۲۴۹	weathercondition (z_6)
-۳/۷۳۶	-۸/۰۹۳	۰/۰۰۰	-۵/۳۲۰	۱/۱۱۱	-۵/۹۱۴	cons
۰/۲۴۸	-۰/۱۷۵	۰/۷۳۵	۰/۳۴۰	۰/۱۰۸	۰/۰۳۶	/ln_p
۱/۲۸۱	۰/۸۴۰			۰/۱۱۲	۱/۰۳۷	p
۱/۱۹۱	۰/۷۸۱			۰/۱۰۴	۰/۹۶۴	۱/p
۱/۲۵۶	۰/۸۱۸	۰/۰۰۰	۹/۲۸۰	۰/۱۱۲	۱/۰۳۷	α
۸۳۵/۱۷۸	-۲۳۵/۷۸۹	۰/۲۷۳	۱/۱۰۰	۲۷۳/۲۱۱	۲۹۹/۶۹۵	β

در نتیجه تابع قابلیت اطمینان مدل ویبول-PHM به صورت زیر است :

$$R(t, z) = \left(e^{-\left(\frac{t}{299.695}\right)^{1.37}} \right) \exp(-0.119z_1 + 0.393z_2 - 0.168z_3 + 0.249z_6) \quad (36-5)$$

تابع RUL مدل ویبول-PHM نیز عبارت است از:

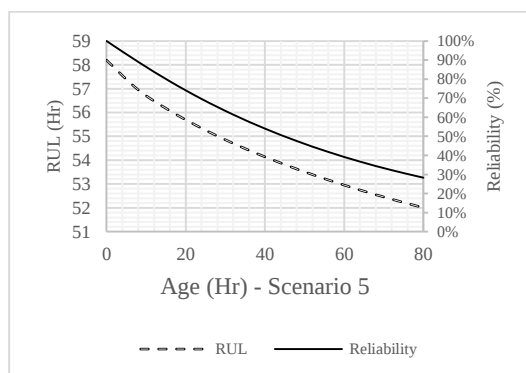
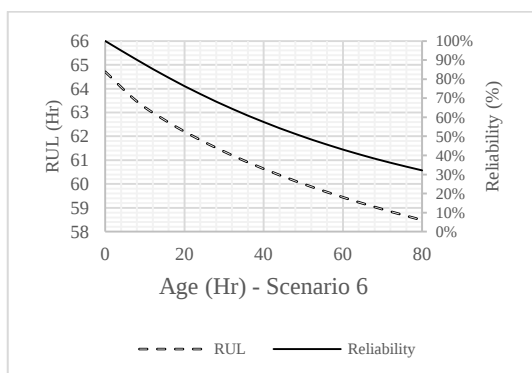
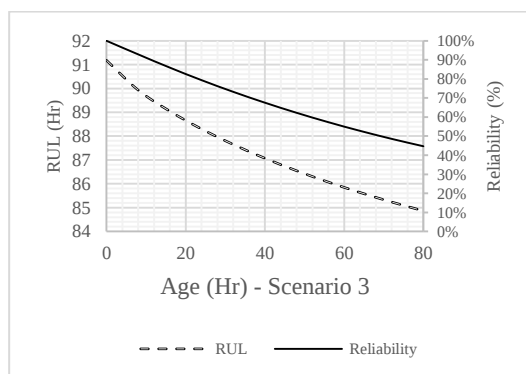
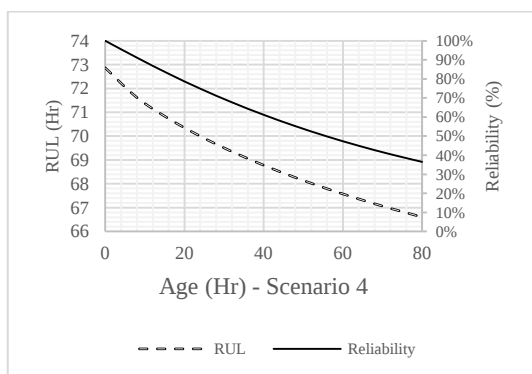
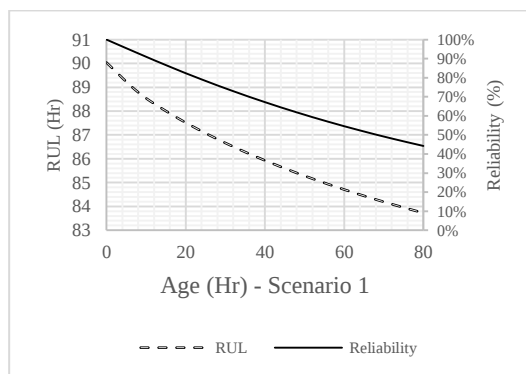
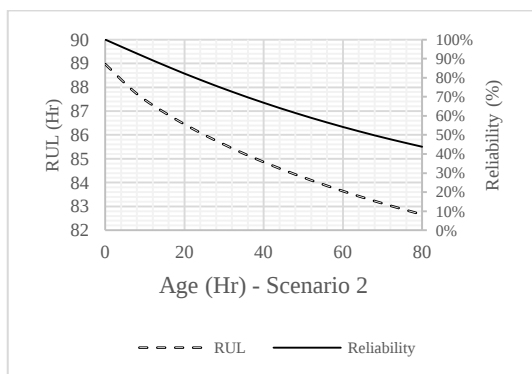
$$RUL(t, z) = \frac{\int_t^{\infty} \left(\left(e^{-\left(\frac{t}{299.695}\right)^{1.37}} \right) \exp(-0.119z_1 + 0.393z_2 - 0.168z_3 + 0.249z_6) \right) dt}{\left(e^{-\left(\frac{t}{299.695}\right)^{1.37}} \right) \exp(-0.119z_1 + 0.393z_2 - 0.168z_3 + 0.249z_6)} \quad (37-5)$$

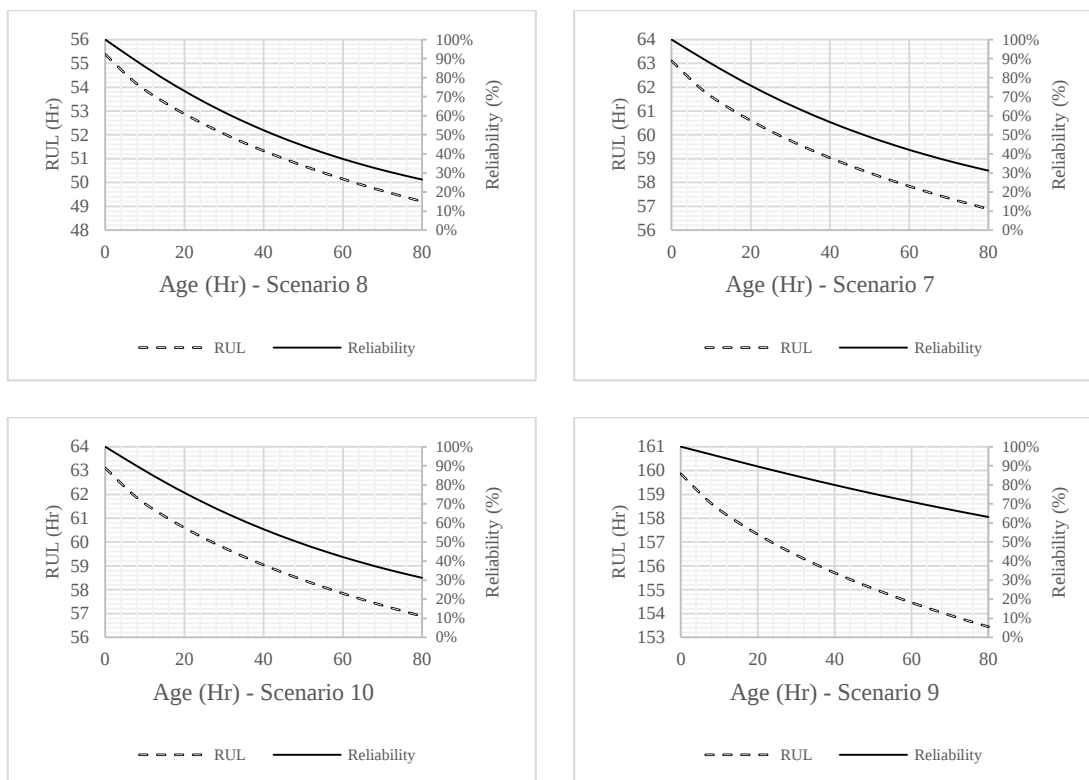
مقادیر RUL طبق رابطه (۳۹-۵) برای ۱۰ سناریو به صورت جدول ۵-۳۶ است.

جدول ۵-۳۶- مقادیر RUL برای تابع ویبول-PHM

Time (Hr)											سناریو
۸۰	۷۲	۶۴	۵۶	۴۸	۴۰	۳۲	۲۴	۱۶	۸	۰	
۸۳/۷	۸۴/۱	۸۴/۵	۸۴/۹	۸۵/۴	۸۵/۹	۸۶/۵	۸۷/۲	۸۷/۹	۸۸/۸	۹۰/۰	۱
۸۲/۷	۸۳/۰	۸۳/۴	۸۳/۹	۸۴/۳	۸۴/۹	۸۵/۴	۸۶/۱	۸۶/۸	۸۷/۷	۸۹/۰	۲
۸۴/۹	۸۵/۲	۸۵/۶	۸۶/۱	۸۶/۵	۸۷/۱	۸۷/۶	۸۸/۳	۸۹/۰	۸۹/۹	۹۱/۲	۳
۶۶/۶	۶۷/۰	۶۷/۶	۶۷/۶	۶۸/۳	۶۸/۶	۶۹/۴	۷۰/۰	۷۰/۷	۷۱/۶	۷۲/۹	۴
۵۲/۰	۵۲/۴	۵۲/۷	۵۳/۲	۵۳/۶	۵۴/۱	۵۴/۷	۵۵/۳	۵۶/۱	۵۷/۰	۵۸/۲	۵
۵۸/۵	۵۸/۸	۵۹/۲	۵۹/۷	۶۰/۱	۶۰/۶	۶۱/۲	۶۱/۶	۶۲/۶	۶۳/۵	۶۴/۷	۶
۷۵/۸	۷۶/۱	۷۶/۵	۷۷/۰	۷۷/۴	۷۷/۹	۷۸/۵	۷۹/۲	۷۹/۹	۸۰/۸	۸۲/۰	۷
۴۹/۲	۴۹/۶	۴۹/۹	۵۰/۴	۵۰/۸	۵۱/۳	۵۱/۹	۵۲/۵	۵۳/۳	۵۴/۱	۵۵/۴	۸
۱۵۳/۴	۱۵۳/۸	۱۵۴/۲	۱۵۴/۷	۱۵۵/۲	۱۵۵/۷	۱۵۶/۳	۱۵۷/۰	۱۵۷/۷	۱۵۸/۶	۱۵۹/۹	۹
۵۶/۹	۵۷/۲	۵۷/۶	۵۸/۱	۵۸/۵	۵۹/۰	۵۹/۶	۶۰/۲	۶۱/۰	۶۱/۹	۶۳/۱	۱۰

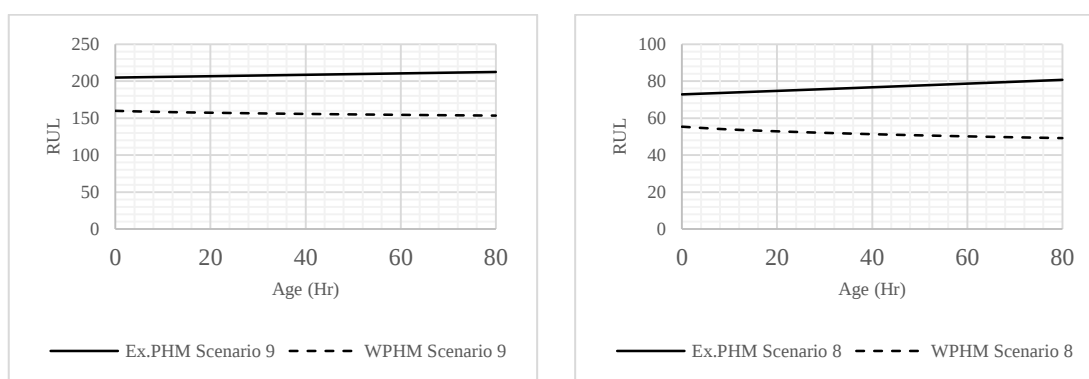
در شکل ۵-۱۹ نیز نمودار قابلیت اطمینان (محور عمودی راست) و عمر مفید باقیمانده (محور عمودی چپ) سناریوهای مختلف برای ۸۰ ساعت کارکرد در یک نمودار ترسیم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، با گذشت زمان از عمر مفید سیستم کاسته شده است که این توصیف نزدیکتر از نتایج تابع نمایی-PHM است.





شکل ۵-۱۹- نمودار قابلیت اطمینان و عمر مفید باقیمانده بیل مکانیکی برای مدل ویبول- PHM

باید توجه نمود که در تمامی سناریوها مدل WPHM نسبت به ExPHM مقادیر کمتری تخمین زده که در شکل ۵-۲۰ دو مورد از سناریوها برای نشان دادن تاثیرات نوع مدل، ترسیم شده است. همانطور که ملاحظه می شود در مدل ویبول بعد از گذشت زمان RUL سیستم کاهشی بوده که با واقعیت سازگاری بیشتری داشته بطوریکه در سناریوی ۸ بعد از ۸۰ ساعت به حدود ۵۰ ساعت خواهد رسید و این عدد برای سناریوی ۹ بعد از ۸۰ ساعت کارکرد دستگاه به ۱۵۰ ساعت تقلیل پیدا خواهد کرد.



شکل ۵-۲۰- نمودار RUL مدل WPHM و ExPHM برای دو سناریوی ۸ و ۹

۵-۱۰-۴- تخمین عمر مفید باقیمانده مدل چهارم: تابع رگرسیونی با شکستگی

تابع قابلیت اطمینان مدل ویبول-MPHM با توجه به در نظرگیری فاکتورهای ریسک مشهود و نامشهود که در واقع هدف اصلی رساله بوده و رفتار سیستم براساس این مدل تعریف می‌شود، به صورت رابطه (۵-۳۸) بیان شده است:

$$R_{\theta}(t; z) = \left[1 - 0.394 \times \ln \left\{ \left(e^{-\left(\frac{t}{78.499}\right)^{4.231}} \right)^{\exp(-0.977Z_1 + 1.232Z_2 - 1.589Z_3 + 0.166Z_4)} \right\} \right]^{-1/0.394} \quad (5-38)$$

لذا طبق روابط (۵-۲۹) و (۵-۳۸) تابع RUL عبارت است از:

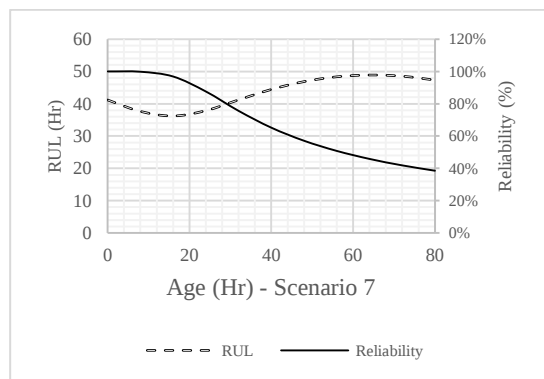
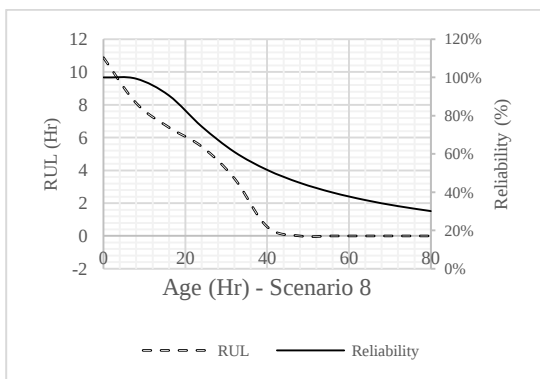
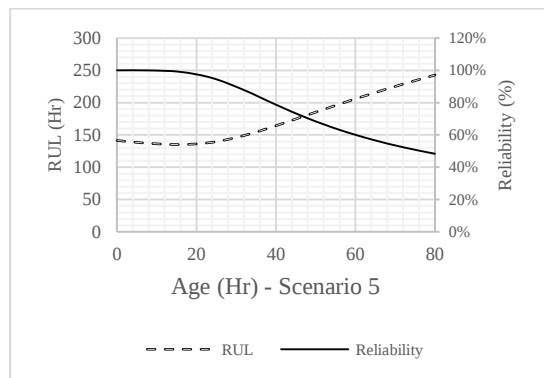
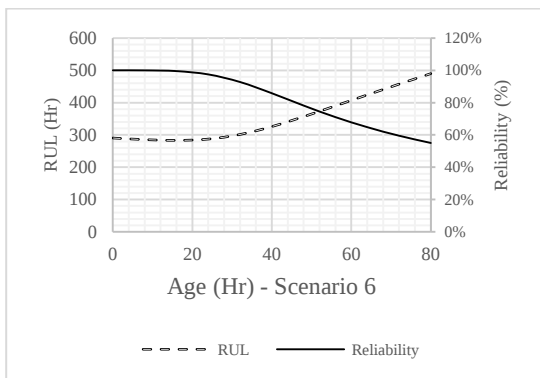
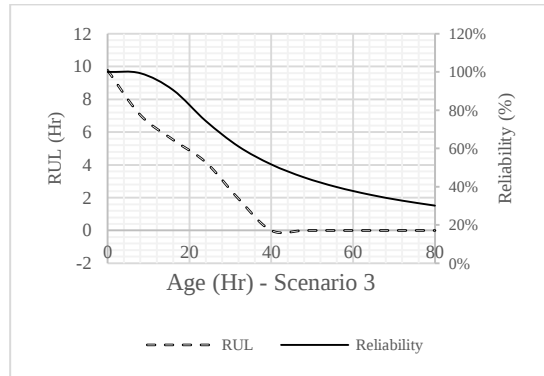
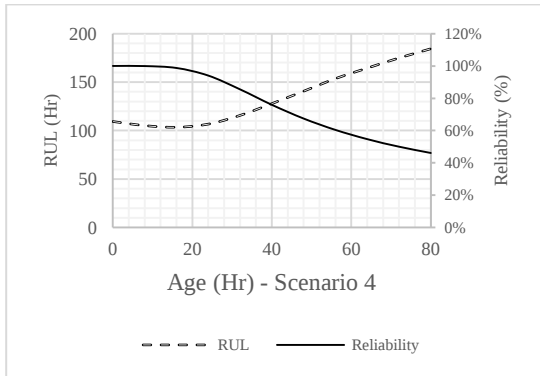
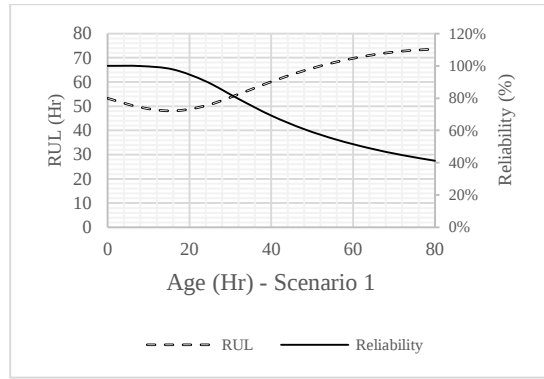
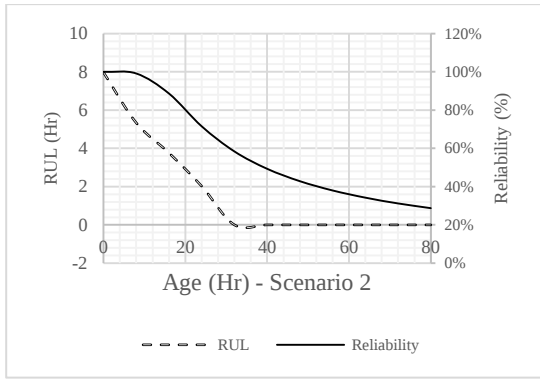
$$RUL(t, z) = \frac{\int_{t.}^{\infty} \left(\left[1 - 0.394 \times \ln \left\{ \left(e^{-\left(\frac{t}{78.499}\right)^{4.231}} \right)^{\exp(-0.977Z_1 + 1.232Z_2 - 1.589Z_3 + 0.166Z_4)} \right\} \right]^{-1/0.394} \right) dt}{\left[1 - 0.394 \times \ln \left\{ \left(e^{-\left(\frac{t.}{78.499}\right)^{4.231}} \right)^{\exp(-0.977Z_1 + 1.232Z_2 - 1.589Z_3 + 0.166Z_4)} \right\} \right]^{-1/0.394}} \quad (5-39)$$

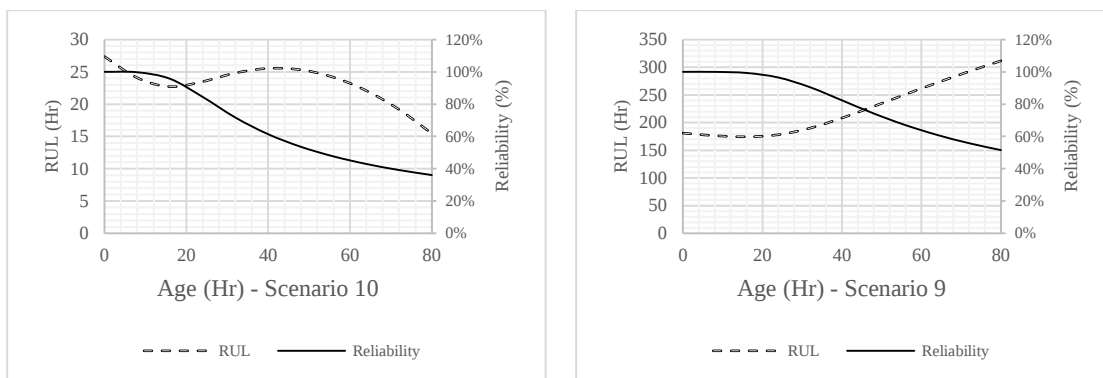
در جدول ۵-۳۷ مقادیر RUL طبق رابطه (۵-۳۹) برای ۱۰ سناریوی ارائه شده در جدول ۵-۳۰ محاسبه شده است.

جدول ۵-۳۷- مقادیر RUL برای مدل ویبول-MPHM برای ۱۰ سناریوی مختلف

Time (Hr)											سناریو
۰	۸	۱۶	۲۴	۳۲	۴۰	۴۸	۵۶	۶۴	۷۲	۸۰	
۱	۵۳/۳	۴۹/۶	۴۸/۱	۵۰/۲	۵۵/۰	۶۰/۱	۶۴/۷	۶۸/۳	۷۱/۰	۷۲/۷	۷۳/۶
۲	۸/۰	۵/۳	۳/۸	۲/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
۳	۹/۸	۷/۰	۵/۵	۴/۲	۱/۹	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
۴	۱۰۹/۴	۱۰۵/۱	۱۰۳/۴	۱۰۶/۷	۱۱۵/۷	۱۲۷/۸	۱۴۰/۶	۱۵۳/۶	۱۶۴/۵	۱۷۴/۹	۱۸۴/۴
۵	۱۴۱/۴	۱۳۷/۰	۱۳۵/۱	۱۳۸/۶	۱۴۹/۲	۱۶۴/۳	۱۸۱/۱	۱۹۷/۸	۲۱۳/۷	۲۲۸/۷	۲۴۲/۷
۶	۲۹۰/۵	۲۸۵/۵	۲۸۳/۲	۲۸۷/۲	۳۰۱/۴	۳۲۵/۹	۳۵۶/۶	۳۹۰/۰	۴۲۳/۹	۴۵۷/۳	۴۹۸/۸
۷	۴۱/۲	۳۷/۶	۳۶/۲	۳۷/۹	۴۱/۲	۴۴/۴	۴۶/۹	۴۸/۳	۴۸/۹	۴۸/۵	۴۷/۳
۸	۱۰/۹	۸/۱	۶/۶	۵/۵	۳/۵	۰/۶	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
۹	۱۸۱/۰	۱۷۶/۴	۱۷۴/۵	۱۷۸/۲	۱۹۰/۱	۲۰۸/۳	۲۲۹/۴	۲۵۱/۰	۲۷۲/۲	۲۹۲/۴	۳۱۱/۶
۱۰	۲۷/۴	۲۴/۱	۲۲/۷	۲۳/۵	۲۴/۸	۲۵/۵	۲۵/۳	۲۴/۲	۲۲/۱	۱۹/۲	۱۵/۵

در شکل ۵-۲۱ نمودار ۱۰ سناریوی مختلف برای عمر مفید باقیمانده سیستم با در نظر گرفتن تاثیر فاکتورهای ریسک مشهود و نامشهود ترسیم شده است.

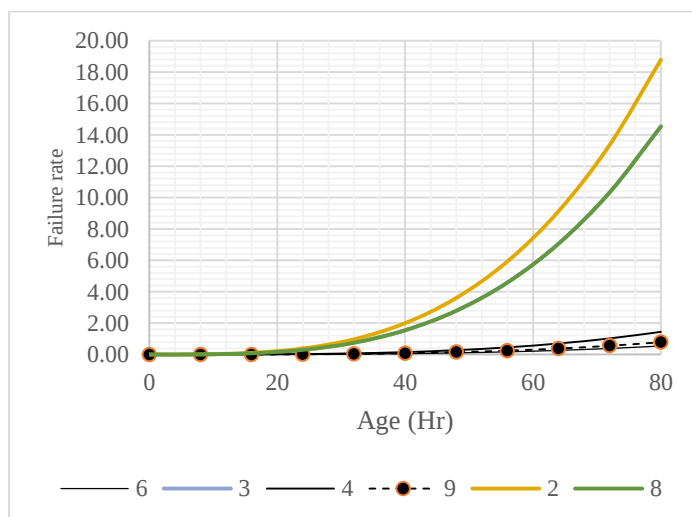




شکل ۵-۲۱- نمودار قابلیت اطمینان عمر مفید باقیمانده با مدل ویبول-MPHM برای ۱۰ سناریو

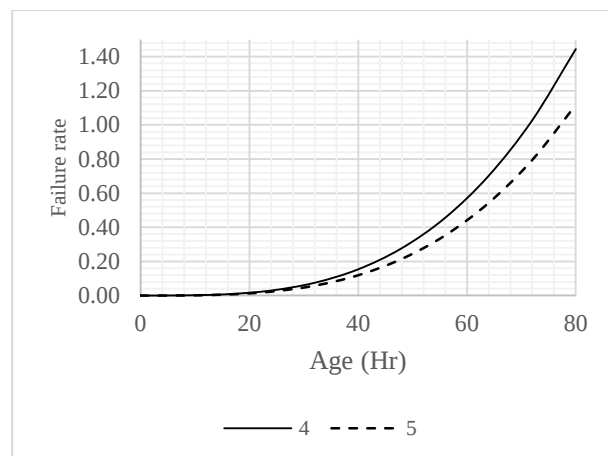
همانطور که مشاهده می‌شود، در سه سناریوی شماره ۲، ۳ و ۸ (دسته اول) عمر مفید سیستم بعد از مدت زمان مشخص صفر شده است. در هر سه سناریو نرخ مخاطره بشدت بالا بوده و تقریباً یکسان است. برای محاسبه نرخ مخاطره نیز از رابطه (۵-۴۰) استفاده می‌شود:

$$\lambda_{\theta} = [1 - \theta \ln(R(t))]^{-\frac{1}{\theta}} \quad (5-40)$$



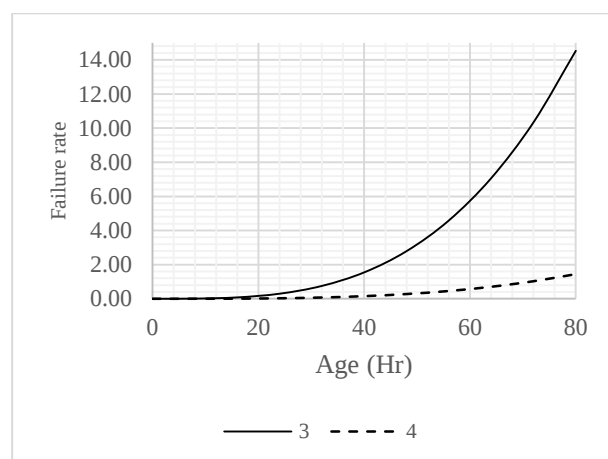
شکل ۵-۲۲- نرخ مخاطره سناریوهای ۲، ۳ و ۸ در مدل ویبول-MPHM نسبت به سایر سناریوها

در سناریوهای ۱، ۴، ۵، ۶ و ۹ (دسته دوم) نیز تقریباً در ۲۰ ساعت اولیه کارکرد سیستم که دقیقاً منطبق بر نقطه عطف منحنی قابلیت اطمینان سیستم است، عمر مفید باقیمانده افت کرده و از این نقطه به بعد افزایش یافته است. این مسئله را می‌توان با نرخ مخاطره سیستم بررسی نمود در شکل ۵-۲۳ نمودار نرخ مخاطره برای دو سناریوی ۴ و ۵ ترسیم شده است در این نمودار نرخ مخاطره تا قبل از ۲۰ ساعت تقریباً ثابت بوده و پس از آن افزایش می‌یابد.



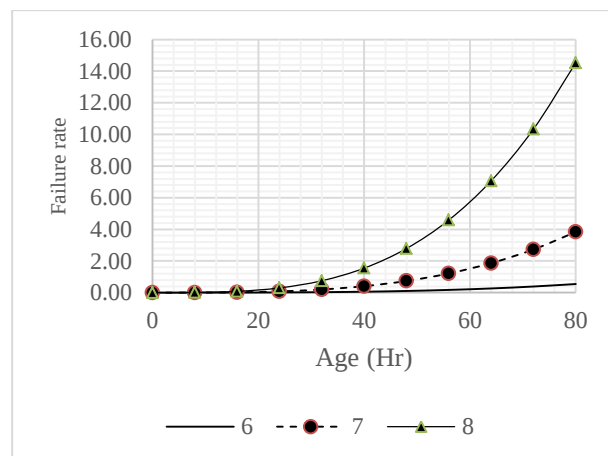
شکل ۵-۲۳- نرخ مخاطره سناریوهای ۴ و ۵ در مدل ویبول-MPHM

البته قابل ذکر است که نمودار سه سناریوی قبلی در شکل ۵-۲۲ نیز شبیه این نمودارها است، ولی شدت خرابی در مقایسه با ۵ سناریو به مراتب بسیار بالاتر است. در شکل ۵-۲۴ برای مقایسه هر چه بهتر نمودار نرخ مخاطره دو سناریوی ۳ و ۴ ترسیم شده است.



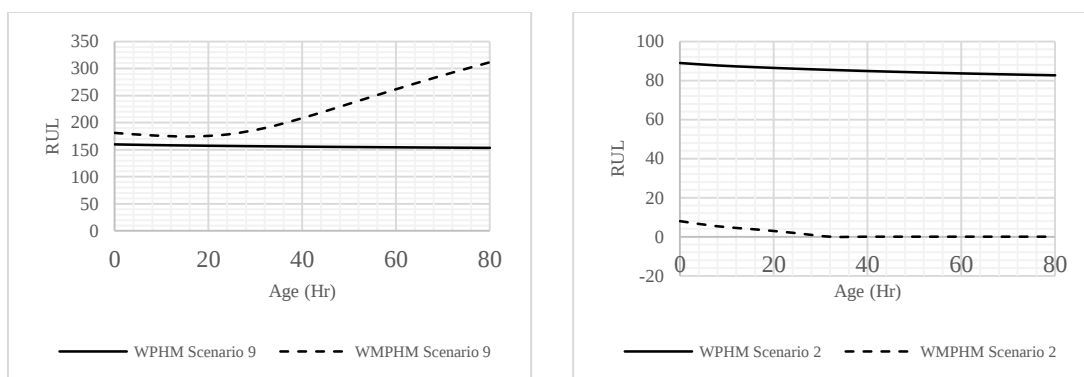
شکل ۵-۲۴- نرخ مخاطره سناریوهای ۳ و ۴ در مدل ویبول-MPHM

در دو سناریوی ۷ و ۱۰ (دسته سوم) نیز حالت بینابین دسته اول و دسته دوم است؛ یعنی با افزایش موضعی RUL در یک بازه مشخص در کل حالت کاهشی دارد. در شکل ۵-۲۵ نمودار نرخ مخاطره سناریوی ۶ از دسته دوم، سناریوی ۷ از دسته سوم و سناریوی ۸ از دسته اول ترسیم شده است.



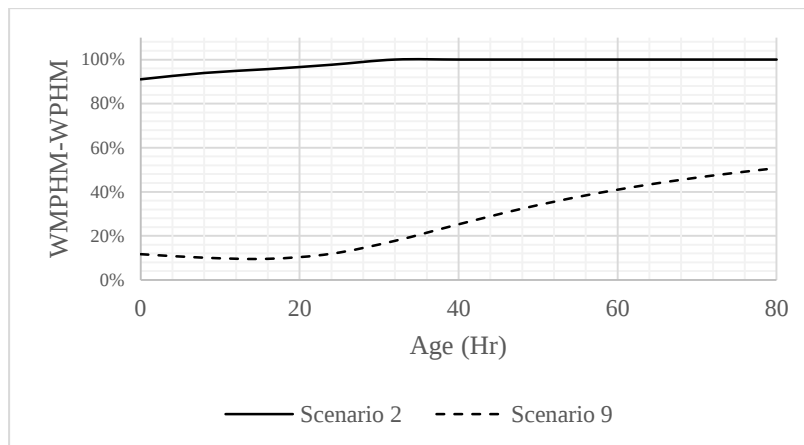
شکل ۵-۲۵- نرخ مخاطره سناریوهای ۶، ۷ و ۸ در مدل ویبول-MPHM

همچنین مقایسه مقادیر محاسباتی برای RUL توسط مدل WMPHM نسبت به مدل WPHM برای سناریوهای مختلف نشان می‌دهد که در سناریوهای ۱، ۲، ۳، ۷، ۸ و ۱۰ مقادیر WPHM نسبت به WMPHM بالاتر بوده و در بقیه سناریوها برعکس است. در شکل ۵-۲۶ نمودار مقادیر محاسباتی برای دو سناریوی ۲ و ۹ ترسیم شده است.



شکل ۵-۲۶- نمودار RUL برای مدل‌های WMPHM و WPHM در سناریوهای مختلف

ورود فاکتورهای ریسک نامشهود مقادیر RUL را به طور کامل تغییر داده است. اختلاف فاحش بین دو مدل MPH و PHM که در شکل ۵-۲۷ ترسیم شده، به خوبی این موضوع را نشان می‌دهد. برای سناریوی ۲ اختلاف محاسباتی در طول ۸۰ ساعت ۹۰ تا ۱۰۰ درصد بوده و برای سناریوی ۹ این مقدار از ۱۰ تا ۵۰ درصد افزایش می‌یابد.



شکل ۵-۲۷- درصد اختلاف بین مقادیر RUL در دو سناریوی ۲ و ۹ برای دو مدل WPHM و WMPHM

۵-۱۱- برنامه ریزی نت مناسب

براساس الگوریتم ارائه شده در شکل ۵-۱ آخرین مرحله الگوریتم ارائه برنامه نت مناسب براساس RUL است. بدین منظور $RUL(0)$ و $RUL(t)$ در طول زمان کارکرد (t) سیستم باید محاسبه شود که در مرحله قبل برای چهار مدل کارکرد سیستم محاسبات انجام گرفت. از سویی دیگر در ادامه الگوریتم، مشخص شدن وضعیت سیستم به عنوان NBUE و برنامه نت براساس شرایط معدن پیشنهاد شود. از آنجایی که با توجه به شرایط کنونی معدن امکان انجام نت پیشگیرانه مبتنی بر شرایط برای پیمانکار امکان پذیر نیست، لذا تنها برنامه نت پیشگیرانه مبتنی بر زمان مد نظر است. در این رساله برای نخستین بار برای ارائه نت پیشگیرانه مبتنی بر زمان از RUL و متوسط زمان تا وقوع سیستم تحت تعمیر $(MTTF_{pm})$ استفاده خواهد شد. در این رویکرد از $RUL(0)$ در زمان صفر استفاده خواهد شد که در واقع برابر با متوسط زمان تا وقوع خرابی در سیستم است:

$$RUL(0) = \frac{\int_0^{\infty} R(t) dt}{R(0)} \Rightarrow R(0) = 1 \Rightarrow RUL(0) = \int_0^{\infty} R(t) dt = MTTF \quad (41-5)$$

برای $MTTF_{pm}$ نیز داریم، اگر فرض شود که سیستم در هر T_{pm} واحد زمان تحت نت پیشگیرانه قرار گیرد $(T_{pm}, 2T_{pm}, 3T_{pm}, \dots)$ متوسط زمان تا وقوع سیستم تحت تعمیر $(MTTF_{pm})$ عبارت از (Kumar et al., ۲۰۱۲):

$$MTTF_{pm} = \int_0^{\infty} R_{pm}(t) dt \quad (42-5)$$

که برای دفعات مختلف نت پیشگیرانه رابطه بالا به صورت زیر بازنویسی خواهد شد:

$$MTTF_{pm} = \int_0^{T_{pm}} R_{pm}(t) dt + \int_{T_{pm}}^{T_{pm}} R_{pm}(t) dt + \int_{T_{pm}}^{T_{pm}} R_{pm}(t) dt + \dots \quad (43-5)$$

که در این رابطه $R_{pm}(t)$ قابلیت اطمینان سیستم تحت نت پیشگیرانه است. اگر فرض شود که سیستم بعد از هر تعمیر به حالت AGAN برسد، تابع قابلیت اطمینان در بین هر دو فعالیت نت (k و k+1) به صورت رابطه (44-5) خواهد بود:

$$R_{pm}(t) = R(T_{PM})^k R(t), \quad KT_{PM} \leq t \leq (k+1)T_{PM} \quad (44-5)$$

با استفاده از رابطه بالا برای $R_{pm}(t)$ رابطه (43-5) به صورت رابطه (45-5) خواهد بود:

$$MTTF_{pm} = \int_0^{T_{pm}} R(t) dt + \int_{T_{pm}}^{T_{pm}} R(T_{PM})R(t) dt + \int_{T_{pm}}^{T_{pm}} R(T_{PM})^2 R(t) dt + \dots \quad (45-5)$$

$$MTTF_{pm} = (1 + R(T_{PM}) + R(T_{PM})^2 + \dots) \int_0^{T_{pm}} R(t) dt \quad (46-5)$$

از آنجایی که $R(t) \leq 1$ در نهایت خواهیم داشت:

$$MTTF_{pm} = \frac{\int_0^{T_{pm}} R(t) dt}{1 - R(T_{PM})} = \frac{\int_0^{T_{pm}} R(t) dt}{F(T_{PM})} \quad (47-5)$$

که این رابطه قابل بسط برای نت ناقص (حالتی که سیستم بعد از تعمیرات AGAN نیست) نیز است. با استفاده از $MTTF_{pm}$ می توان برای تاثیرات اجرای نت پیشگیرانه را بررسی کرد. بدین صورت که:

- اگر $MTTF_{pm} > RUL(0)$ قابلیت اطمینان سیستم در اثر اجرای نت بهبود خواهد یافت.
- اگر $MTTF_{pm} < RUL(0)$ قابلیت اطمینان سیستم در اثر اجرای نت بهبود نخواهد یافت.

لذا نخست باید مقادیر $MTTF_{pm}$ برای زمان های مختلف نت پیشگیرانه (T_{PM}) تعیین شود تا از این طریق زمان مناسب اجرای نت تعیین شود. به عبارت ساده تر اگر نمودار $MTTF_{pm} - T_{PM}$ را ترسیم نموده و $RUL(0)$ روی آن پیاده شود و همدیگر را قطع نمایند، برای T_{PM} های کوچکتر از این زمان نت پیشگیرانه وضعیت سیستم را بهبود داده و برای مقادیر بزرگتر از آن بهبود نخواهد داد. قابل ذکر است که افزایش بیش از حد مقدار زمان T_{PM} ، $MTTF_{pm}$ را به سمت نت اصلاحی سوق خواهد داد. برای چهار مدل بررسی شده برنامه ریزنت در ادامه مورد بحث قرار گرفته است.

۵-۱۱-۱- برنامه‌ریزی نت مدل اول: تابع کلاسیک

مقدار MTTF مدل نمایی کلاسیک از جدول ۵-۳۲ برابر است با ۹۹/۶۰۳. با توجه به رابطه (۵-۴۷)

مقادیر $MTTF_{pm}$ مدل نیز در زمان‌های مختلف از رابطه (۵-۴۸) محاسبه خواهد بود:

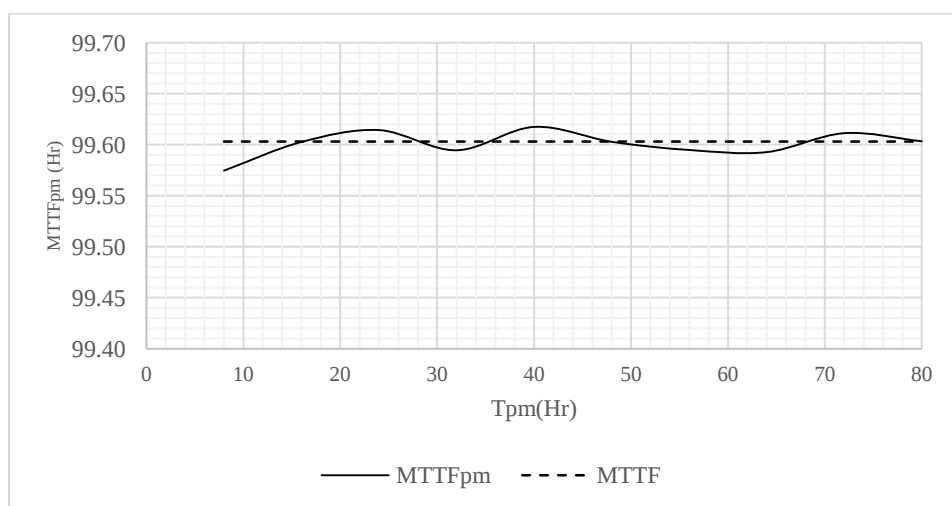
$$MTTF_{pm} = \frac{\int_0^{T_{pm}} \exp(-0.00039851 \times t) dt}{1 - \exp(-0.00039851 \times T_{pm})} \quad (5-48)$$

در جدول ۵-۳۸ مقادیر $MTTF_{pm}$ برای زمان‌های مختلف ارائه شده است.

جدول ۵-۳۸- مقادیر $MTTF_{pm}$ برای مدل کلاسیک-نمایی

Time (Hr)	۰	۸	۱۶	۲۴	۳۲	۴۰	۴۸	۵۶	۶۴	۷۲	۸۰
$MTTF_{pm}$	۱۰۰	۹۹/۵۷۵	۹۹/۶۰۳	۹۹/۶۱۴	۹۹/۵۹۵	۹۹/۶۱۷	۹۹/۶۰۳	۹۹/۵۹۵	۹۹/۵۹۳	۹۹/۶۱۱	۹۹/۶۰۳

با توجه به مقدار MTTF و مقادیر محاسبه شده برای $MTTF_{pm}$ که در شکل ۵-۲۸ نیز ترسیم شده است، در این سیستم به طور مثال در صورت اجرای نت پیشگیرانه مبتنی بر زمان با ۸ ساعت (T_{pm}) در رابطه (۵-۴۸) برابر ۸ باشد $MTTF_{pm}$ سیستم تقریباً ۱۰۰ ساعت خواهد بود که با MTTF سیستم برابر است؛ لذا اجرای نت پیشگیرانه تاثیری در بهبود قابلیت اطمینان سیستم نخواهد داشت. این شرایط برای سایر بازه‌های نت نیز تقریباً برقرار بوده از این رو می‌توان بیان داشت که در صورت پیروی عمر باقیمانده مفید از تابع نمایی معمولاً اجرای نت پیشگیرانه تاثیری در وضعیت قابلیت اطمینان سیستم نخواهد داشت.



شکل ۵-۲۸- مقادیر MTTF و $MTTF_{pm}$ برای مدل کلاسیک-نمایی

۵-۱۱-۲- برنامه‌ریزی نت مدل دوم: تابع کلاسیک با شکستگی

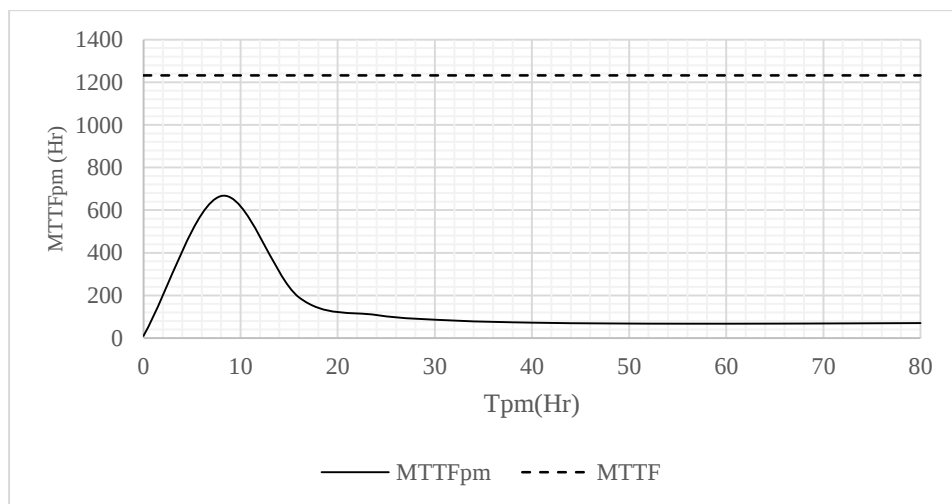
در این مدل مقدار MTTF طبق رابطه (۵-۳۳) و جدول ۵-۳۳ مقدار $RUL(0)$ برابر $1232/0.4$ است. مقدار متوسط زمان تا وقوع خرابی با در نظرگیری نت پیشگیرانه نیز از رابطه (۵-۴۹) محاسبه شده و در جدول ۵-۳۹ وارد شده است:

$$MTTF_{pm} = \frac{\int_0^{T_{pm}} \left[1 - 3.575 \ln \left\{ e^{-\left(\frac{t}{30.565}\right)^{2.817}} \right\} \right]^{-1/3.575} dt}{1 - \left[1 - 3.575 \ln \left\{ e^{-\left(\frac{T_{pm}}{30.565}\right)^{2.817}} \right\} \right]^{-1/3.575}} \quad (5-49)$$

جدول ۵-۳۹- مقادیر $MTTF_{pm}$ برای مدل کلاسیک با شکستگی

Time (Hr)	۰	۸	۱۶	۲۴	۳۲	۴۰	۴۸	۵۶	۶۴	۷۲	۸۰
$MTTF_{pm}$	۱۰/۰۰	۶۶۶/۳۴	۱۹۱/۴۰	۱۰۷/۸۵	۸۲/۰۵	۷۲/۲۴	۶۸/۴۵	۶۷/۳۶	۶۷/۶۴	۶۸/۷۰	۷۰/۲۲

در شکل ۵-۲۹ نیز مقادیر $MTTF_{pm}$ با مقدار MTTF مقایسه شده است. طبق این شکل چون MTTF در تمام طول بازه‌های محاسباتی بزرگتر از $MTTF_{pm}$ است، لذا اجرای نت، بهبودی در قابلیت اطمینان سیستم نخواهد داشت.



شکل ۵-۲۹- مقادیر MTTF و $MTTF_{pm}$ برای مدل کلاسیک با شکستگی

۵-۱۱-۳- برنامه ریزی نت مدل سوم: تابع رگرسیونی

در این مدل مقدار MTTF با توجه به جدول ۵-۳۴ در محاسبات RUL برای سناریوهای مختلف به صورت جدول ۵-۴۰ بدست خواهد آمد:

جدول ۵-۴۰- مقادیر متوسط زمان تا وقوع خرابی در سناریوهای مختلف تابع نمایی-PHM

Scenarios	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
MTTF	۱۱۷/۱۹	۱۱۵/۵۴	۱۱۷/۸۶	۹۵/۷۷	۷۶/۸۱	۸۵/۵۲	۱۰۷/۲۵	۷۲/۸۵	۲۰۴/۸۴	۸۲/۷۵

برای محاسبه مقادیر $MTTF_{pm}$ نیز از رابطه زیر استفاده شده و مقادیر حاصله در جدول ۵-۴۱

وارد شده است:

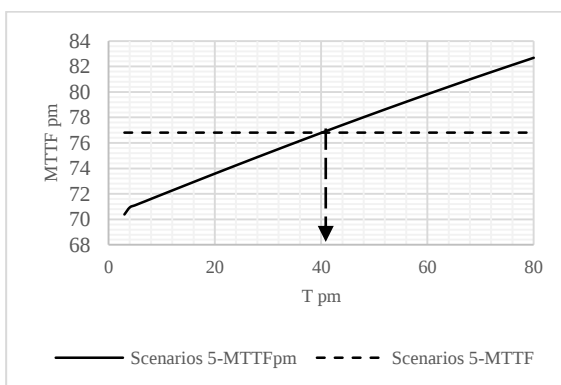
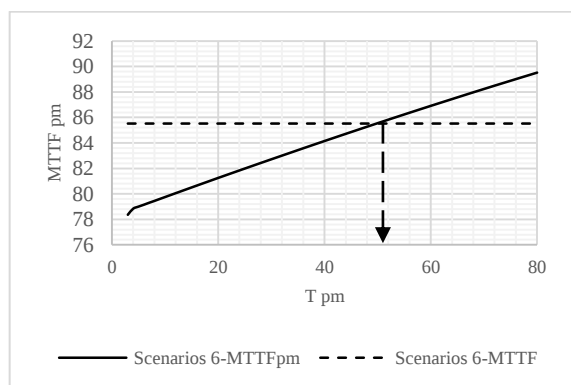
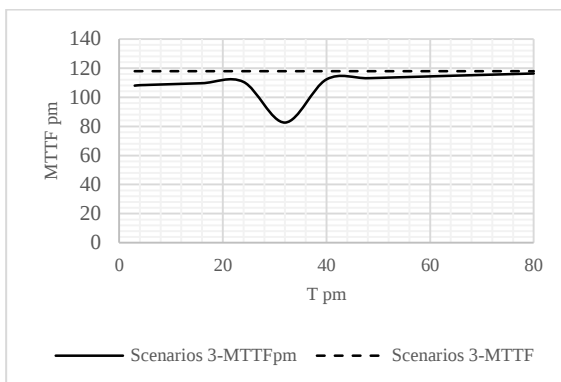
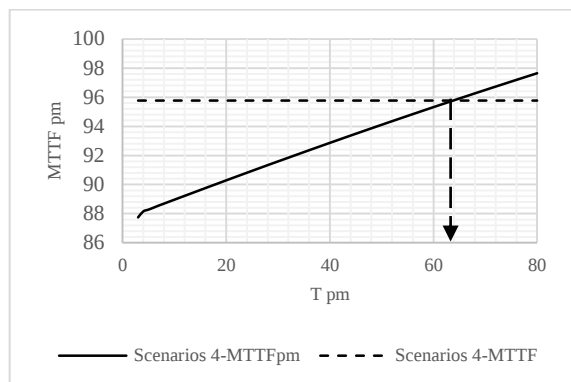
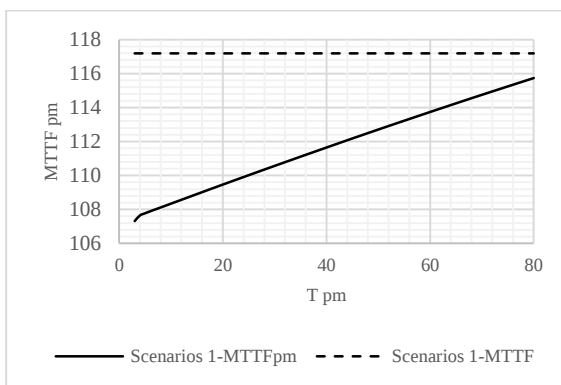
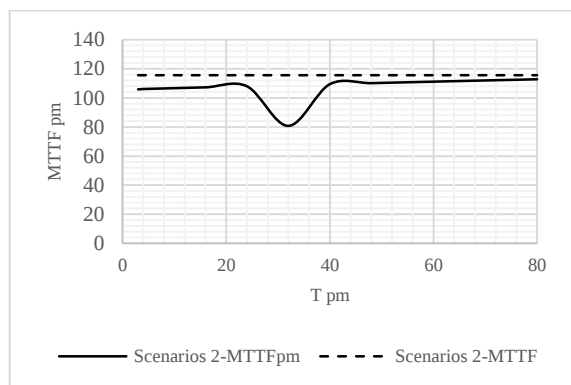
$$MTTF_{pm} = \frac{\int_0^{T_{pm}} ((\exp(-0.003t))^{\exp(-0.113Z_1 + 0.381Z_2 - 0.166Z_3 + 0.241Z_4)}) dt}{1 - ((\exp(-0.003T_{pm}))^{\exp(-0.113Z_1 + 0.381Z_2 - 0.166Z_3 + 0.241Z_4)})} \quad (5-50)$$

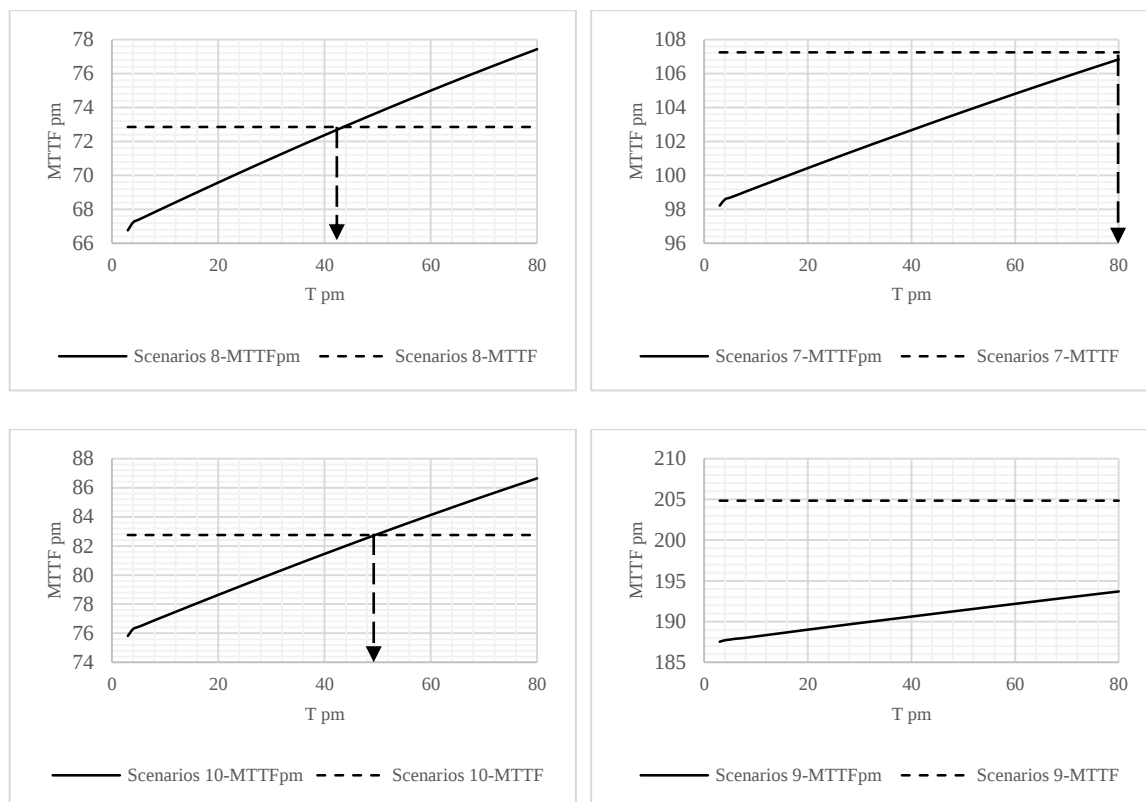
جدول ۵-۴۱- مقادیر $MTTF_{pm}$ برای سیستم بیل مکانیکی و مدل نمایی-PHM

Time (Hr)											ساعت
۸۰	۷۲	۶۴	۵۶	۴۸	۴۰	۳۲	۲۴	۱۶	۸	۳	
۱۱۵/۷	۱۱۴/۹	۱۱۴/۱	۱۱۳/۳	۱۱۲/۵	۱۱۱/۶	۱۱۰/۸	۱۰۹/۹	۱۰۹/۰	۱۰۸/۱	۱۰۷/۳	۱
۱۱۲/۸	۱۱۲/۱	۱۱۱/۵	۱۱۰/۸	۱۱۰/۱	۱۰۹/۴	۸۰/۷	۱۰۷/۹	۱۰۷/۲	۱۰۶/۵	۱۰۵/۸	۲
۱۱۶/۳	۱۱۵/۵	۱۱۴/۷	۱۱۳/۹	۱۱۳/۱	۱۱۲/۲	۸۲/۶	۱۱۰/۵	۱۰۹/۶	۱۰۸/۷	۱۰۷/۹	۳
۹۷/۶	۹۶/۷	۹۵/۸	۹۴/۸	۹۳/۹	۹۲/۹	۹۱/۸	۹۰/۸	۸۹/۸	۸۸/۷	۸۷/۷	۴
۸۲/۷	۸۱/۶	۸۰/۴	۷۹/۲	۷۸/۰	۷۶/۸	۷۵/۵	۷۴/۲	۷۲/۹	۷۱/۶	۷۰/۴	۵
۸۹/۵	۸۸/۵	۸۷/۴	۸۶/۴	۸۵/۳	۸۴/۱	۸۳/۰	۸۱/۸	۸۰/۷	۷۹/۴	۷۸/۴	۶
۱۰۶/۸	۱۰۶/۰	۱۰۵/۲	۱۰۴/۴	۱۰۳/۵	۱۰۲/۷	۱۰۱/۸	۱۰۰/۹	۱۰۰/۰	۹۹/۰	۹۸/۲	۷
۷۷/۴	۷۶/۵	۷۵/۵	۷۴/۵	۷۳/۴	۷۲/۴	۷۱/۳	۷۰/۲	۶۹/۰	۶۷/۶	۶۶/۸	۸
۱۹۳/۷	۱۹۳/۱	۱۹۲/۵	۱۹۱/۹	۱۹۱/۳	۱۹۰/۶	۱۹۰/۰	۱۸۹/۳	۱۸۸/۷	۱۸۸/۰	۱۸۷/۵	۹
۸۶/۶	۸۵/۷	۸۴/۶	۸۳/۶	۸۲/۵	۸۱/۵	۸۰/۳	۷۹/۲	۷۸/۱	۷۶/۹	۷۵/۸	۱۰

در شکل ۵-۳۰ همانطور که مشاهده می شود، برای سناریوهای ۱، ۲، ۳ و ۹ اجرای نت پیشگیرانه تا قبل از ۸۰ ساعت کارکرد سبب کاهش متوسط زمان وقوع خرابی خواهد شد؛ لذا بهتر است که از اجرای آن صرف نظر شود، ولی با توجه به روند نمودار $MTTF_{pm}$ در ساعت های آتی سیستم نیازمند اجرای نت پیشگیرانه خواهد بود. در سناریوهای ۲ و ۳ نیز اجرای نت پیشگیرانه بهبودی در قابلیت اطمینان سیستم به همراه نخواهد داشت و روند نمودار $MTTF_{pm}$ اجرای آن در آینده را نیز رد کرده و

با توجه به شیب ثابت نمودار اجرای نت در بازه‌های ثابت برای آن پیشنهاد می‌شود. سناریوهای ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ و ۱۰ به ترتیب تقریباً پس از ۴۰، ۵۱، ۸۲، ۴۳ و ۵۰ ساعت که با فلش روی نمودارهای مربوطه مشخص شده‌اند، نیازمند اجرای نت پیشگیرانه می‌باشند؛ به عبارت دیگر حداقل اجرای بازه‌های نت پیشگیرانه برای این سناریوها مقادیر ذکر شده است.





شکل ۵-۳- مقادیر $MTTF$ و $MTTF_{pm}$ برای ۱۰ سناریوی مختلف با مدل نمایی- PHM

در این مدل با توجه به مشکلات موجود در تابع RUL در صورت استفاده از تابع ویبول- PHM مقادیر $MTTF$ با توجه به جدول ۵-۳۶ به صورت جدول ۵-۴۲ است:

جدول ۵-۴۲- مقادیر متوسط زمان تا وقوع خرابی در سناریوهای مختلف تابع ویبول- PHM

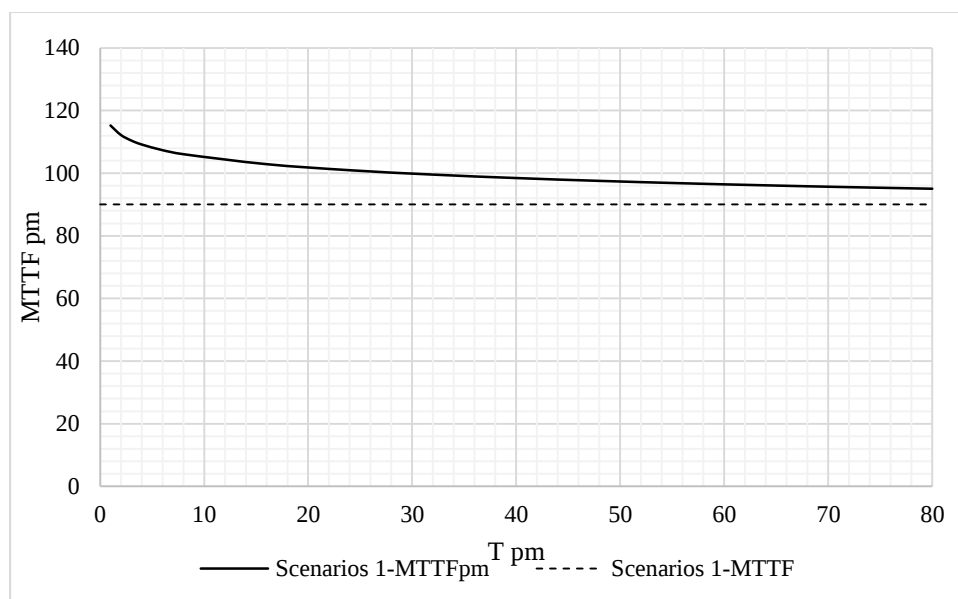
Scenarios	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
MTTF	۹۰/۰۴	۸۸/۹۷	۹۱/۱۸	۷۲/۸۶	۵۸/۱۹	۶۴/۷۱	۸۲/۰۵	۵۵/۳۸	۱۵۹/۸۶	۶۳/۱۰

مقادیر $MTTF_{pm}$ نیز مطابق جدول ۵-۴۳ است:

جدول ۵-۴۳- مقادیر $MTTF_{pm}$ برای سیستم بیل مکانیکی و مدل ویبول-PHM

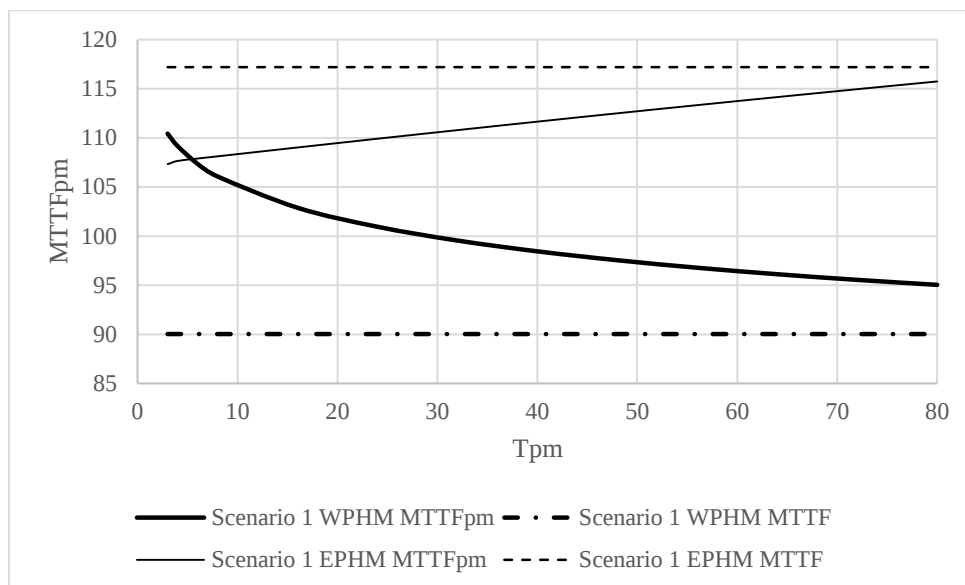
Time (Hr)											سناریو
۸۰	۷۲	۶۴	۵۶	۴۸	۴۰	۳۲	۲۴	۱۶	۸	۱	
۹۵/۰	۹۵/۵	۹۶/۱	۹۶/۸	۹۷/۵	۹۸/۴	۹۹/۶	۱۰۱/۰	۱۰۲/۹	۱۰۶/۱	۱۱۵/۲	۱
۹۳/۹	۹۴/۴	۹۵/۰	۹۵/۶	۹۶/۴	۹۷/۳	۹۸/۴	۹۹/۷	۱۰۱/۷	۱۰۴/۸	۱۱۳/۹	۲
۹۶/۳	۹۶/۸	۹۷/۴	۸۳/۴	۹۸/۸	۹۹/۷	۱۰۰/۸	۱۰۲/۳	۱۰۴/۲	۱۰۷/۴	۱۱۶/۷	۳
۷۶/۶	۷۶/۹	۷۷/۴	۷۸/۴	۷۸/۵	۷۹/۳	۸۰/۲	۸۱/۴	۸۳/۰	۸۵/۷	۹۳/۳	۴
۶۰/۶	۶۱/۰	۶۱/۴	۶۱/۸	۶۲/۳	۶۳/۰	۶۳/۷	۶۴/۷	۶۶/۱	۶۸/۳	۷۴/۴	۵
۶۷/۷	۶۸/۰	۶۸/۵	۶۸/۹	۶۹/۶	۷۰/۲	۷۱/۱	۷۲/۱	۷۳/۶	۷۶/۰	۸۲/۸	۶
۸۶/۴	۸۶/۹	۸۷/۴	۸۸/۰	۸۸/۷	۸۹/۵	۹۰/۶	۹۱/۹	۹۳/۷	۹۶/۶	۱۰۵/۰	۷
۵۷/۶	۵۷/۹	۵۸/۳	۵۸/۷	۵۹/۲	۵۹/۸	۶۰/۶	۶۱/۵	۶۲/۶	۶۵/۰	۷۰/۸	۸
۱۷۰/۹	۱۷۱/۷	۱۷۲/۶	۱۷۳/۷	۱۷۴/۹	۱۷۶/۴	۱۷۸/۲	۱۸۰/۴	۱۸۳/۶	۱۸۸/۹	۲۰۴/۷	۹
۶۵/۹	۶۶/۳	۶۶/۷	۶۷/۲	۶۷/۸	۶۸/۴	۶۹/۳	۷۰/۳	۷۱/۸	۷۴/۱	۸۰/۷	۱۰

در این مدل (ویبول-PHM) در تمامی ده سناریو مقدار $MTTF_{pm}$ بزرگتر $MTTF$ است؛ لذا اجرای نت پیشگیرانه در کل سبب بهبود قابلیت اطمینان خواهد شد. در شکل ۵-۳۱ رشد رو پایین نمودار نشان می‌دهد که با افزایش T_{pm} مقدار $MTTF_{pm}$ به سمت نت اصلاحی حرکت می‌کند.



شکل ۵-۳۱- مقادیر $MTTF$ و $MTTF_{pm}$ برای سناریوی اول با مدل ویبول-PHM

در شکل ۵-۳۲ نیز وضعیت سناریوی اول برای دو مدل نمایی-PHM و ویبول-PHM ترسیم شده است. این نمودار مدل ویبول اجرای نت برای سیستم را سبب بهبود قابلیت اطمینان توصیف کرده، در حالی که مدل نمایی اجرای نت پیشگیرانه را تقریباً بعد از ۸۰ ساعت برای بهبود وضعیت سیستم موثر می‌داند.



شکل ۵-۳۲- مقادیر MTTF و MTTF_{pm} برای سناریوی اول با مدل نمایی و ویبول- PHM

۵-۱۱-۴- برنامه‌ریزی نت مدل چهارم: تابع رگرسیونی با شکستگی

در این مدل برای وارد نمودن تاثیرات فاکتورهای ریسک نامشهود از شکستگی استفاده شد که تابع MTTF_{pm} در آن به شکل رابطه (۵-۵۱) است.

$$MTTF_{pm} = \frac{\int_{t_0}^{\infty} \left[1 - 0.394 \times \ln \left\{ \left(e^{-\left(\frac{t}{78.499}\right)^{0.121}} \right)^{\exp(-0.977Z_1 + 1.332Z_2 - 1.589Z_3 + 0.166Z_4)} \right\} \right]^{-1/0.394} dt}{\left[1 - 0.394 \times \ln \left\{ \left(e^{-\left(\frac{T_{pm}}{78.499}\right)^{0.121}} \right)^{\exp(-0.977Z_1 + 1.332Z_2 - 1.589Z_3 + 0.166Z_4)} \right\} \right]^{-1/0.394}} \quad (5-51)$$

برای این مدل نیز مطابق مدل سوم از ۱۰ سناریوی مختلف استفاده که مقادیر MTTF آن بر اساس جدول ۵-۳۷ به صورت جدول ۵-۴۴ خواهد بود:

جدول ۵-۴۴- مقادیر متوسط زمان تا وقوع خرابی در سناریوهای مختلف تابع ویبول-MPHM

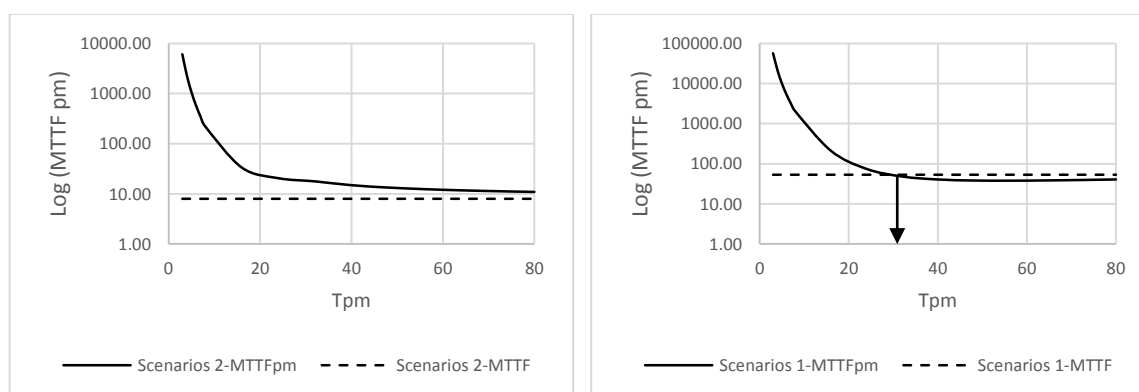
سناریو	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
MTTF	۵۳/۲۵	۷/۹۷	۹/۷۶	۱۰۹/۳۵	۱۴۱/۳۸	۲۹۰/۴۷	۴۱/۱۷	۱۰/۸۷	۱۸۱/۰۲	۲۷/۳۵

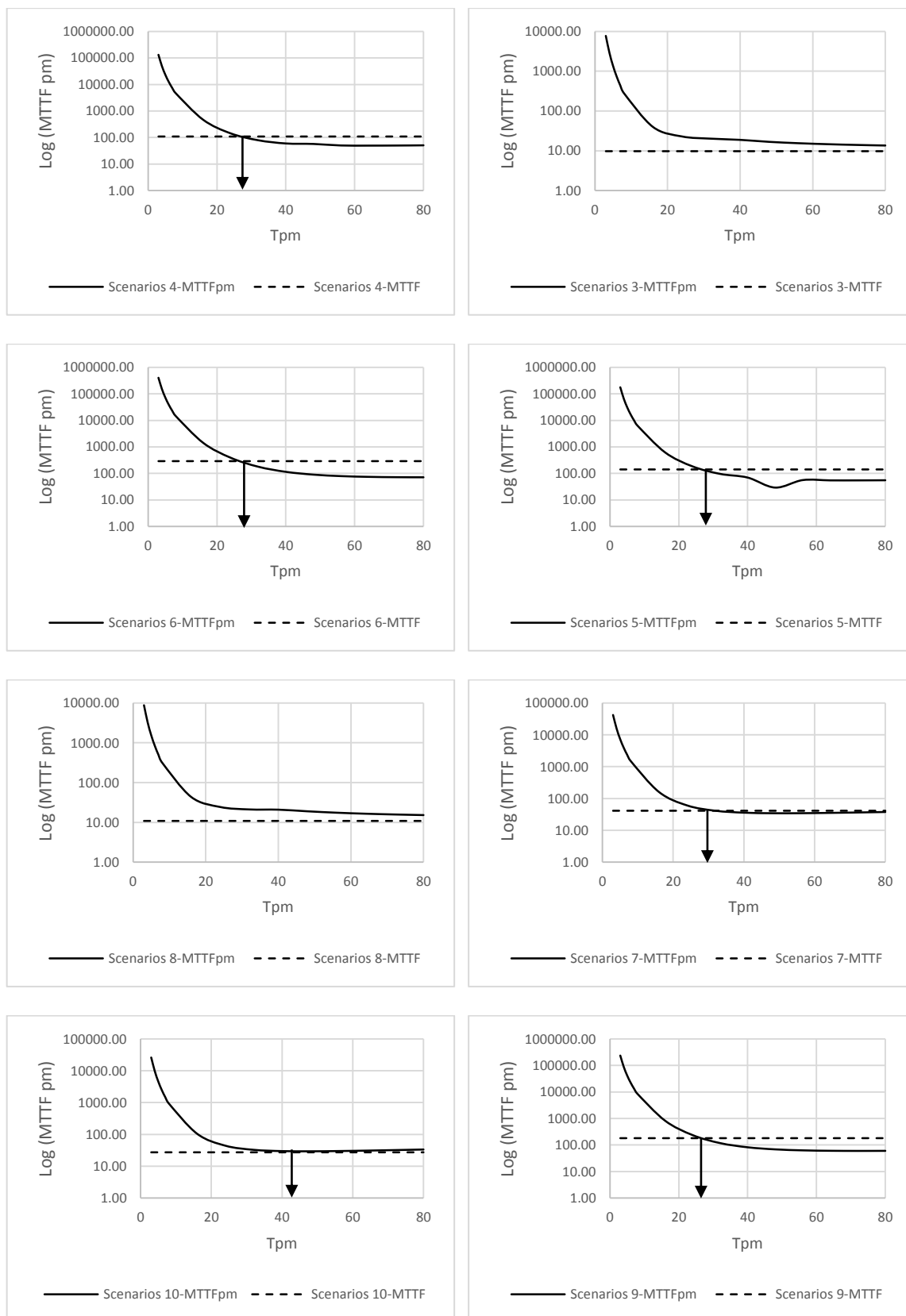
مقادیر MTTF_{pm} برای مدل ویبول-MPHM را نیز براساس رابطه (۵-۵۱) در جدول ۵-۴۵ وارد شده است:

جدول ۴۵-۵- مقادیر $MTTF_{pm}$ برای مدل ویبول-MPHM و ۱۰ سناریوی مختلف

Time (Hr)											ساز
۸۰	۷۲	۶۴	۵۶	۴۸	۴۰	۳۲	۲۴	۱۶	۸	۳	
۴۰/۵۷	۳۹/۳۳	۳۸/۳۴	۳۷/۸۲	۳۸/۱۹	۴۰/۵۱	۴۸/۰۲	۷۴/۳۳	۲۰۹/۸۵	۲۰۲۰/۲۱	۵۶۶۳۹/۸۲	۱
۱۰/۹۲	۱۱/۲۸	۱۱/۷۵	۱۲/۳۹	۱۳/۳۴	۱۴/۸۷	۱۷/۷۲	۲۰/۵۰	۳۳/۴۴	۲۲۱/۵۰	۶۰۶۱/۲۱	۲
۱۳/۵۶	۱۴/۰۴	۱۴/۶۶	۱۵/۵۱	۱۶/۷۸	۱۸/۸۳	۲۰/۱۶	۲۲/۸۸	۳۹/۶۱	۲۷۹/۶۴	۷۷۰/۱/۹۳	۳
۵۰/۷۷	۴۹/۸۹	۴۹/۵۵	۵۰/۱۹	۵۷/۲۷	۵۹/۷۰	۷۸/۷۸	۱۴۲/۸۶	۴۶۵/۳۵	۴۶۹۰/۱۹	۱۳۰۹۶۶/۲۴	۴
۵۵/۲۹	۵۴/۶۵	۵۴/۷۲	۵۶/۰۸	۲۹/۲۷	۶۹/۸۱	۹۶/۱۵	۱۸۳/۹۱	۶۲۲/۱۸	۶۶۳۱/۴۳	۱۷۶۳۱۷/۵۴	۵
۷۱/۴۷	۷۲/۱۱	۷۴/۲۹	۷۹/۳۱	۹۰/۱۶	۱۱۴/۸۲	۱۷۹/۰۰	۳۸۹/۰۱	۱۴۱۷/۴۸	۱۴۶۳۳/۵۸	۴۰۲۹۶۷/۰۳	۶
۳۷/۶۱	۳۶/۳۱	۳۵/۲۱	۳۴/۴۷	۳۴/۴۰	۳۵/۸۱	۴۱/۰۸	۶۰/۱۴	۱۵۹/۲۶	۱۴۹۴/۴۵	۴۱۹۰۴/۴۵	۷
۱۵/۲۳	۱۵/۷۷	۱۶/۴۹	۱۷/۴۸	۱۸/۹۶	۲۰/۸۲	۲۱/۱۰	۲۴/۳۱	۴۳/۴۶	۳۱۶/۶۴	۸۷۴۵/۹۶	۸
۶۰/۱۹	۵۹/۸۷	۶۰/۴۸	۶۲/۷۷	۶۸/۴۴	۸۱/۹۸	۱۱۷/۸۰	۲۶۳/۳۹	۸۲۴/۴۶	۸۴۴۶/۸۲	۲۳۴۴۶۷/۸۵	۹
۳۳/۴۷	۳۲/۱۳	۳۰/۹۳	۲۹/۹۶	۲۹/۴۳	۲۹/۸۶	۳۲/۷۲	۴۴/۰۵	۱۰۴/۱۷	۹۲۶/۳۰	۲۵۹۳۵/۶۳	۱۰

در شکل ۵-۳۳ نمودارهای لگاریتمی متوسط زمان تا وقوع خرابی و $MTTF_{pm}$ برای ده سناریوی مختلف ترسیم شده است. دلیل لگاریتمی ترسیم کردن محور قائم نیز به خاطر اختلاف زیاد مقادیر $MTTF_{pm}$ در زمان‌های T_{pm} کوچکتر نسبت به T_{pm} بزرگتر است. به طور مثال در سناریوی اول مقدار $MTTF_{pm}$ برای T_{pm} سه ساعت ۵۶۶۳۹/۸۲ بوده، در حالی که برای ۸۰ ساعت این مقدار به ۴۰/۵۷ افت می‌کند. در این مدل نیز مشابه تابع ویبول-PHM به علت ویبول بودن تابع اساسی، تمامی ده سناریو با افزایش T_{pm} به سمت نت اصلاحی میل می‌کنند. در طول بازه اجرای نت پیشگیرانه تا ۸۰ ساعت نیز سناریوهای ۲، ۳ و ۸ در صورت اجرای نت وضعیت سیستم بهبودی خواهد داشت، ولی برای سناریوهای ۱، ۴، ۵، ۶، ۷، ۹ و ۱۰ به ترتیب در صورت اجرای نت در زمان‌های کمتر از تقریباً ۳۰، ۲۷، ۲۵، ۲۵، ۳۰، ۲۵ و ۴۴ ساعت اجرای نت پیشگیرانه سبب ارتقاء قابلیت اطمینان سیستم خواهد شد، ولی در زمان‌های بیشتر از این اجرای نت پیشگیرانه سبب افت قابلیت اطمینان سیستم خواهد شد.





شکل ۵-۳۳- مقادیر $MTTF$ و $MTTF_{pm}$ برای ۱۰ سناریوی مختلف با مدل ویبول-MPHM

۵-۱۲- جمع‌بندی فصل

در این فصل طی شش مرحله به بررسی رفتار بیل مکانیکی از معدن مس سونگون پرداخته شد. در اولین مرحله پس از تعیین سیستم مورد نظر با توجه به محدودیات و مرزهای تعیین شده داده‌های مورد نیاز از منابع مختلف اعم از گزارشات روزانه، گزارشات تعمیرگاه، اطلاعات نظارت، برداشت‌های سرزمین، ملاقات و مصاحبات با متخصصین و هواشناسی گردآوری شده و پس از تشکیل بانک داده اولیه در مرحله بعد داده‌ها در قالب داده‌های زمانی و فاکتورهای ریسک استخراج شد. در سومین مرحله جدا از پروسه‌های قبلی تحلیل قابلیت اطمینان با در نظرگیری فاکتورهای ریسک مشهود برای نخستین بار فاکتورهای ریسک نامشهود به صورت تابع شکستگی در محاسبات وارد شد؛ لذا انجام آزمون همگنی برای تعیین وجود یا عدم وجود فاکتورهای ریسک نامشهود در تحلیل‌ها ضروری شد و به دنبال آن مدل‌های رگرسیونی تحلیل قابلیت اطمینان نیز در دو دسته کلی مشهود (PHM)، SCRM یا EPHM و نامشهود (MPHM و EMPHM) تقسیم شدند که رفتار بیل مکانیکی با توجه به داده‌های ثبت و تحلیل‌های انجام گرفته از مدل MPHM پیروی کرده و در واقع متاثر از فاکتورهای ریسک نامشهود بود. در این رساله برای بررسی رفتار سیستم و نمایش تاثیرات آیت‌های مختلف در تحلیل‌ها جدا از مدل MPHM از سه مدل دیگر نیز استفاده شد تا بنوعی روند تکاملی تحلیل‌ها به نمایش گذاشته شود؛ لذا چهار مدل به ترتیب تابع کلاسیک، تابع کلاسیک با شکستگی، تابع رگرسیونی و تابع رگرسیونی با شکستگی بعنوان توابع شاخص در نظر گرفته شد. مدل اول همان توابع آماری کلاسیک مانند نمایی، ویبول؛ لاگ نرمال و ... را شامل شده در مدل دوم همان توابع کلاسیک با تابع شکستگی ترکیب شده است. سومین دسته مدل شامل زیرمجموعه‌های مدل نرخ مخاطرات متناسب بوده و انواع آن مانند تابع نمایی-PHM، لاگ نرمال-PHM، ویبول-PHM را شامل می‌شود. چهارمین دسته مدل نیز از ادغام مدل رگرسیونی نیمه پارامتریک PHM با شکستگی حاصل شده و از آن به عنوان نرخ مخاطرات متناسب مرکب (MPHM) نام برده می‌شود که انواع آن را می‌توان در سه مدل نمایی-MPHM، لاگ نرمال-MPHM و ویبول-MPHM دسته‌بندی کرد. در این مرحله در هر دسته مدل تابع مناسب با استفاده از آزمون‌های GOF تعیین شد و قابلیت اطمینان سیستم محاسبه شد. در پنجمین مرحله نیز براساس توابع یاد شده در مرحله قبل برای هر مدل مقادیر عمر باقیمانده مفید سیستم محاسبه شد. در آخرین مرحله کار نیز از مقادیر RUL و MTTF محاسبه شده برای چهار مدل استفاده شده و این مقادیر با مقدار متوسط زمان تا وقوع خرابی پس از اعمال نت پیشگیرانه مقایسه شد تا علاوه بر پیشنهاد برنامه نت مناسب برای سیستم اجرا یا عدم اجرای نت پیشگیرانه سیستم نیز تعیین شود.

فصل ششم

بحث، نتیجه گیری و پیشنهادات



مفهوم عمر مفید باقیمانده (RUL) بخصوص در بخش معدن مفهوم جدیدی است که بسیار کم به آن پرداخته شده است در این رساله مدلی برای تخمین عمر مفید باقیمانده که مبتنی بر نرخ مخاطره و قابلیت اطمینان سیستم می باشد، ارائه شده است.

جهت دستیابی به نتایج واقعی تر و دقیق تر نیاز بود شرایط محیطی و نیز عوامل خارجی که از آن تحت عنوان فاکتورهای ریسک مشهود و نامشهود یاد می شود در محاسبات وارد شوند، چراکه این عوامل بشدت قابلیت اطمینان سیستم را تحت تاثیر قرار میدهند. شرایط محیطی موثر بر عمر مفید باقیمانده سیستم برای نخستین بار در قالب فاکتورهای ریسک مشهود و نامشهود بررسی شد. فاکتور ریسک مشهود آن دسته فاکتورهایی است که قابل مشاهده و اندازه گیری می باشند مانند تاثیر جنس سنگ یا دمای محیط در عملکرد سیستم. فاکتورهای ریسک نامشهود فاکتورهایی هستند که غیر قابل مشاهده بوده و امکان سنجش مستقیم آنها وجود ندارد، مانند تاثیرات تصمیمات نادرست مدیران رده بالا در وضعیت کارکرد سیستم پائین دست، این دسته فاکتورهای ریسک تحت تابعی بعنوان تابع شکستگی در تخمین قابلیت اطمینان وارد شده و برحسب اینکه دارای مقادیر بزرگتر یا کوچکتر از یک باشد به تناسب آن باعث افزایش و یا کاهش تابع اساسی خواهند شد، از آنجا که فاکتورهای ریسک نامشهود قابل مشاهده نبوده می باید از طریق همگنی یا ناهمگنی داده ها اقدام به بررسی و وجود آن در داده های جمع آوری شده شود. به بیان ساده تر در مرحله اول تاثیر شرایط محیطی در قابلیت اطمینان باید وارد شده و در مرحله بعدی پس از تخمین دقیق تر آن اقدام به محاسبه RUL شود.

در فصل اول اقدام به معرفی قابلیت اطمینان و کاربردهای آن در زمینه های مختلف علوم مهندسی شد، براساس اینکه برای تحلیل قابلیت اطمینان شرایط محیطی در نظر گرفته شود یا خیر، روشهای تحلیل قابلیت اطمینان به دوروش روشهای کلاسیک و روشهای مبتنی بر فاکتور ریسک دسته بندی می شوند. در بخش اول تابع اساسی صرفاً شامل داده های زمانی بوده و در بخش دوم تابع اساسی شامل فاکتورهای ریسک مشهود و نامشهود که دربرگیرنده تاثیرات شرایط محیطی می باشد، برای محاسبه این تابع باید از تابع رگرسیونی استفاده نمود.

در این رساله وبا ورود فاکتورهای ریسک نامشهود در داده ها و به تناسب آن در تابع اساسی و باتوجه به عدم امکان تحلیل توسط شکل قدیمی تابع یعنی نرخ مخاطرات متناسب (PHM) تابع دیگری تحت عنوان نرخ مخاطرات متناسب مرکب (MPHM) مورد استفاده قرار گرفت، این تابع کمبودهای

تابع PHM را جبران نموده و ناهمگنی را به شکل ضریبی در نرخ مخاطره و قابلیت اطمینان وارد می نماید.

جهت تحلیل همزمان تمامی پارامترها، الگوریتمی در این رساله پیشنهاد گردید که پس از تعیین سیستم و جمع آوری داده‌های مناسب در دونوع زمانی و فاکتورهای ریسک مشهود جمع آوری شده و در مرحله بعد آزمونی برای تعیین همگنی و یا ناهمگنی داده ها انجام شد تا با استفاده از نتایج آزمون وجود یا عدم وجود فاکتورهای ریسک نامشهود در داده ها مشخص گردد. آزمون فوق تحلیل ها را به دو دسته کلی مدل PHM (در صورت وجود فاکتورهای ریسک وابسته به زمان از SCRM و یا EPHM استفاده می شود) و MPHM (در صورت وجود فاکتور ریسک وابسته به زمان EMPHM استفاده می شود). تقسیم بندی نمود. در مرحله بعد که مهمترین بخش رساله نیز می باشد نحوه محاسبه عمر مفید باقیمانده مورد بررسی قرار گرفت.

بحث عمر مفید باقیمانده در سالهای ابتدایی تحقیقات توسط محققین تحت عنوان متوسط عمر باقیمانده (MRL) مطرح شد که با پیشرفت تحقیقات در سالهای اخیر این مفهوم به سوی عمر مفید باقیمانده کشیده شده است. در اکثر صنایع کشورهای کمتر توسعه یافته یا در حال توسعه پایشی از وضعیت اجزاء یا زیر سیستم ها بعلت عدم دسترسی به اجزاء، پیچیدگی بیش از حد اجزاء یا در محیط های کاری بسیار خشن معدن صورت نمی گیرد، بهمین دلیل در این رساله بعنوان دومین هدف بعد از تخمین قابلیت اطمینان سیستم رویکردی به دور از پیچیدگی و کاربردی در صنعت و بخصوص در بخش معدن برای تخمین عمر مفید باقیمانده پیشنهاد شده که این رویکرد ناشی از عملکرد گذشته سیستم در طول زمان و در قالب قابلیت اطمینان بوده ضمن آنکه تاثیرات فاکتورهای ریسک نامشهود نیز علاوه بر فاکتورهای مشهود در محاسبات وارد شده است.

در آخرین مرحله نگهداری، تعمیرات (نت) و هدف نهایی رساله که ارائه استراتژی مناسب مبتنی بر عمر مفید باقیمانده سیستم می باشد، مورد بررسی قرار گرفت. در رویکرد پیشنهادی و با استفاده از مقایسه متوسط زمان وقوع خرابی سیستم با متوسط زمان تا وقوع خرابی پس از اجرای نت تاثیر اجرای نت پیشگیرانه در وضعیت عملکردی سیستم را مشخص نمود.

در این رساله پس از محاسبه دقیق تابع قابلیت اطمینان سیستم، عمر مفید باقیمانده سیستم نیز تحلیل شده و در نهایت سیاست نت مناسب برای سیستم پیشنهاد داده می شود.

رویکرد فوق در شش مرحله تنظیم شد، مرحله نخست شامل انتخاب سیستم بود که با توجه به مشکلات موجود در معدن یکدستگاه بیل مکانیکی PC-۱۲۵۰ برای تحلیل انتخاب شد، تشکیل بانک

داده ۸ ماهه برای این سیستم که دربرگیرنده داده های زمانی (زمان بین خرابی ها TBFs) و فاکتورهای ریسک مشهود (نوبت کاری (Z_1) ، نوع سنگ بارگیری شده (Z_2) ، نوع سیستم باربری (دامپتراک) (Z_3) ، میزان بارندگی (Z_4) ، دمای محیط (Z_5) و وضعیت آب و هوایی (Z_6) بعد حذف یا ادغام سایر موارد از آن) استخراج شد. سپس وابستگی بین فاکتورهای ریسک به منظور همپوشانی نتایج و جلوگیری از بروز مشکلات آتی در تحلیل با ضریب پیرسون بررسی شد، که نتایج هیچ گونه وابستگی بین فاکتورهای ریسک با یکدیگر و با خود TBFs نشان نداد.

در گام بعدی از آزمون R یا همگنی برای ارزیابی وجود یا عدم وجود فاکتورهای ریسک نامشهود استفاده شد، نتایج وجود فاکتورهای ریسک نامشهود را با توجه به مقدار تتای $(\alpha/35)$ بدست آمده تایید نمود؛ لذا توصیف رفتار خرابی های سیستم باید با استفاده مدل MPHM یا تعدیل یافته آن یعنی EMPHM انجام می شد. استفاده از روش های رگرسیونی کاکس و توسعه روابط مختلف از آن جدای از آزمون همگنی بر فرض کلی متناسب بودن نرخ مخاطره استوار است که از آن به عنوان فرض PH نام برده می شود. این فرض در واقع چک می کند که آیا فاکتورهای ریسک مشهود در طول زمان تحلیل، مستقل از زمان هستند یا وابسته به آن، چرا که در صورت وابستگی به زمان باید تابع وابستگی به زمان را برای آن تعریف کرد. نتایج تحلیل آزمون همگنی روش تحلیل داده های بیل مکانیکی را به سمت مدل MPHM سوق داد که خود این مدل نیز زیرشاخه ای از مدل PHM است، لذا در مرحله بعد آزمون PH برای ارزیابی متناسب بودن نرخ مخاطرات انجام گرفت. در این رساله از دو نوع آزمون تحلیلی و ترسیمی برای ارزیابی این فرض استفاده شد، در آزمون تحلیلی انجام گرفته برای باقیمانده های جزئی فاکتورهای ریسک با TBFs و در سطح اعتماد ۵ درصد وجود هر نوع وابستگی در طول زمان و در واقع برقراری فرض PH را برای داده های بیل مکانیکی تایید نمود. آزمون ترسیمی - $\ln(-\ln R)$ با زمان برای ارزیابی فرض PH نیز با توجه به موازی بودن نمودارهای ترسیمی به ازاء مقادیر مختلف هر فاکتور ریسک برقراری این فرض را تصدیق کرد.

محققین با وجود تعیین مدل MPHM برای توصیف رفتار خرابی ها به منظور بررسی هرچه بیشتر و مقایسه نتایج حاصله از چهار دسته مدل شامل: (۱) تابع کلاسیک که فقط توابع کلاسیک مانند ویبول، نمایی یا لاگ نرمال را دربر می گیرد، (۲) توابع کلاسیک-شکستگی که ترکیبی از ناهمگنی در قالب تابع شکستگی گاما با توابع کلاسیک است، (۳) تابع رگرسیونی که در واقع همان PHM بدون تاثیر فاکتورهای ریسک نامشهود است، (۴) تابع رگرسیونی-شکستگی که ترکیبی از تابع PHM با فاکتورهای نامشهود که بصورت تابع شکستگی گاما روی مدل نرخ مخاطرات متناسب افزوده شده و MPHM نامیده می شود، استفاده نمودند.

موضوع بعدی در رابطه با این چهار مدل و بویژه مدل MPHM انتخاب تابع مناسب در هر دسته مدل است که از طریق آزمون GOF باید مشخص می شد. در این رساله از دو آماره AIC و BIC برای انتخاب مدل مناسب استفاده شد. نتایج تحلیل آزمون GOF به ترتیب در مدل اول تابع نمایی، در مدل دوم ویبول-شکستگی (WF)، در مدل سوم نمایی-PHM (ExPHM) و در مدل چهارم ویبول-MPHM (WPHM) را با توجه به داشتن کمینه مقادیر برای دو آماره فوق مناسب تر تشخیص داد.

در مدل اول قابلیت اطمینان سیستم تقریباً بعد از ۴۰۰ ساعت کارکرد به صفر کاهش پیدا میکند. در حالی که در مدل دوم بعد از ۴۰۰ ساعت کارکرد قابلیت اطمینان به ۱۰ درصد افت می نماید. در ادامه تحلیل‌ها برای ورود تاثیر شرایط محیطی و مقادیر آزمون‌های GOF از مدل ExPHM استفاده شد. در این مدل ضرایب رگرسیون برای فاکتورهای ریسک مختلف مشخص شده و با توجه نرخ مخاطره بدست آمده برای چهار فاکتور ریسک شیفت، نوع سنگ، نوع باربر و وضعیت آب‌وهوا به عنوان موثرترین فاکتورها در محاسبه قابلیت اطمینان وارد شد. مسئله بعدی در مورد ExPHM وارد نمودن مقادیر فاکتورهای ریسک است که برای حل این مسئله از روش طراحی عامل استفاده شد و از بین ۳۰ سناریوی مختلف پیشنهادی براساس چهار فاکتور ریسک موثر به ۱۰ سناریو اکتفا شد. در این مدل سناریوی ۹ با شیفت کاری سوم، نوع سنگ منزونیت یا دامپ، سیستم باربری مرکب از تراک‌های ۱۰۰ و ۳۰ تنی و وضعیت آب‌وهوایی به شدت ابری بالاترین قابلیت اطمینان در طول ۸۰ ساعت را داشته و سناریوی ۸ با شیفت کاری سوم، نوع سنگ کانسنگ، اکسید و سولفور، سیستم باربری با تراک‌های ۱۰۰ تنی و وضعیت آب‌وهوایی صاف پایین ترین قابلیت اطمینان را دارد. این مسئله ناشی از تاثیرات دو فاکتور ریسک نوع سنگ و وضعیت آب‌وهوایی است و درواقع این ده سناریو به خوبی نحوه تاثیرات شرایط محیطی بر وضعیت عملکردی سیستم را به نمایش گذاشته‌اند و صرف نظر از این تاثیرات نتایج کاملاً متفاوت را بدنبال خواهد داشت، به همین دلیل تلاش می‌شود تا حد امکان تمامی فاکتورهای ریسک به درست‌ترین شکل ممکن در تحلیل وارد شود که متأسفانه با توجه به ماهیت برخی شرایط محیطی گاهی غیرممکن است و دقیقاً به همین خاطر بود که در این رساله مبحث ناهمگنی در داده‌ها ذکر شده است.

در مدل چهارم که در واقع مدل اصلی توصیف رفتار بیل مکانیکی است، مقدار R ، $۸/۳۵$ بدست آمده که تایید کننده وجود فاکتورهای ریسک نامشهود در داده‌ها است، لذا از مدل WMPHM (با تتای $۵/۳۹۴$) به عنوان تابع قابلیت اطمینان استفاده شد. به عبارت ساده مدل چهار ترکیبی از داده‌های زمانی، فاکتورهای ریسک مشهود و نامشهود بوده و در واقع کامل‌ترین تابع ممکن بوده است. در این مدل نیز با توجه به ضرایب نرخ مخاطره $۲/۶۶$ ، $۳/۷۹$ ، $۰/۲۰۴$ و $۱/۱۸$ به ترتیب برای چهار فاکتور

ریسک شیف، نوع سنگ، نوع باربر و بارندگی به عنوان موثرترین فاکتورها در نظر گرفته شد. در این مدل نیز با توجه با زیربنای PHM مطابق مدل سوم ۱۰ سناریوی مختلف با روش عاملی برای فاکتورهای ریسک موثر تعریف شد. محاسبات قابلیت اطمینان برای این سناریوها نشان داد که سناریوی ۶ یعنی کارکرد بیل مکانیکی در شیف صبح، در سنگ منزونیت یا دمپ مواد و باربری با دامپ تراک ۱۰۰ تنی بالاترین قابلیت اطمینان در طول ۸۰ ساعت را داشته و سناریوی ۲ با شیف کاری سوم و نوع سنگ منزونیت و دمپ مواد و باربری با دامپ تراک ۳۰ تنی پائین ترین قابلیت اطمینان در طول کارکرد را دارد و در واقع شیف کاری و نوع سیستم باربری کارکرد، سیستم را بشدت تحت تاثیر قرار داده است. همچنین مقایسه بین مدل ExPHM با WMPHM در طول ۸۰ ساعت کارکرد نشان داد که که تقعر منحنی قابلیت اطمینان در مدل دومی بیشتر از مدل اولی بوده و در واقع سرعت افت قابلیت اطمینان در ابتدای بازه کارکردی بیشتر است، به طوری که برای نوع سنگ ۱ (منزونیت یا دامپ) قابلیت اطمینان بعد از ۱۰۰ ساعت کارکرد در WMPHM تقریباً به ۳۰ درصد افت کرده در حالیکه مقدار آن برای ExPHM تقریباً ۵۰ درصد است؛ همچنین مقایسه چهار مدل به ازای مقادیر متوسط فاکتورهای ریسک نشان داد که شکل اصلی تابع همانطور که انتظار می رفت، از تابع اساسی پیروی می نماید. در این حالت نیز وارد نمودن تاثیرات فاکتورهای ریسک نامشهود افزایش سرعت افت قابلیت اطمینان در ابتدای بازه کارکردی را به همراه دارد.

در گام بعدی مطابق الگوریتم ارائه شده برای هر چهار مدل (که قابلیت اطمینان آنها بررسی شد) عمر مفید باقیمانده تخمین زده شد. در مدل اول عمر باقیمانده روی ۹۹ ساعت نوسان مختصری داشت که این مسئله ناشی از نمایی بودن تابع قابلیت اطمینان است. در مدل دوم RUL تا ۱۰ ساعت کارکرد تقریباً ثابت بوده، ولی از این زمان به بعد حالتی افزایشی گرفته است که با شرایط واقعی سازگار نیست، که دلیل آن را می توان افزایشی بودن نرخ مخاطره این تابع در طول بازه دانست. در سومین مدل که تابع آن از نوع PHM با تابع اساسی نمایی است، مشابه مدل قبلی (مدل نمایی) به علت نمایی بودن تابع اساسی عمر مفید باقیمانده تقریباً در طول عمر کارکرد سیستم ثابت باقی مانده که با شرایط واقعی سازگاری ندارد. هر چند در این حالت برای سناریوهای مختلف عمر باقیمانده متفاوتی بدست آمده، به طوری که سناریوی ۹ با عمر مفید ۲۱۲ ساعت برای کارکرد ۸۰ ساعت بالاترین RUL را داشته و سناریوی ۸ با عمر مفید ۸۱ ساعت در همین مدت زمان کارکرد کمترین مقدار RUL را تخمین زده است. برای این مدل با توجه به افزایشی بودن عمر مفید باقیمانده در ادامه ساعت های کارکرد به جای تابع نمایی در تخمین RUL مجدداً با تابع اساسی ویبول مورد ارزیابی قرار گرفت. در این حالت با توجه به ضرایب نرخ مخاطره فاکتورهای ریسک نوبت کاری، نوع سنگ، نوع باربر و

وضعیت آبوهوا به عنوان شرایط محیطی موثر در محاسبات وارد شدند. محاسبات عمر مفید باقیمانده نشان داد که در تمامی سناریوها با گذشت زمان عمر سیستم کاهش یافته (مشابه حالت نمایی) سناریوی ۹ در طول ۸۰ ساعت کارکرد عمر سیستم با ۱۵۳ ساعت بالاترین عمر مفید و سناریوی ۸ با مقدار ۴۰ ساعت در همین مدت کمترین مقدار RUL را دارا می باشد. اگر دقت شود، مدل ویبول علاوه بر تخمین نزولی از RUL مقدار عمر مفید نقطه‌ای را نیز خیلی کمتر از مدل نمایی تخمین می‌زند.

در چهارمین و کامل‌ترین مدل رساله که دربرگیرنده داده‌های زمانی، فاکتورهای ریسک مشهود و نامشهود است، با ورود مقدارفاکتورهای ریسک نامشهود در معادلات مقادیر RUL محاسباتی به شدت متفاوت با مدل‌های قبلی است. در سه سناریوی شماره ۲، ۳ و ۸ (دسته اول) عمر مفید سیستم بعد طی زمان مشخص صفر شده است که دلیل این امر را در نرخ بشدت بالای مخاطره می توان عنوان نمود. در سناریوهای ۱، ۴، ۵، ۶ و ۹ (دسته دوم) نیز تقریباً در ۲۰ ساعت اولیه کارکرد سیستم که دقیقاً منطبق بر نقطه عطف منحنی قابلیت اطمینان سیستم است، عمر مفید باقیمانده افت کرده و از این نقطه به بعد افزایش یافته است. این مسئله را می‌توان با نرخ مخاطره سیستم بررسی نمود که در این نمودار نرخ مخاطره تا قبل از ۲۰ ساعت تقریباً ثابت بوده و پس از آن افزایش می‌یابد. در دو سناریوی ۷ و ۱۰ (دسته سوم) نیز حالت بینابین دسته اول و دسته دوم است؛ یعنی با افزایش موضعی RUL در یک بازه مشخص در کل حالت کاهشی دارد.

مقایسه نتایج بدست برای RUL در دو مدل WMPHM و WPHM نشان داد که ورود فاکتورهای ریسک در محاسبات اختلاف فاحشی را بدنبال داشته به طور مثال برای سناریوی ۲ اختلاف محاسباتی در طول ۸۰ ساعت از ۹۰ تا ۱۰۰ درصد و برای سناریوی ۹ این مقدار از ۱۰ تا ۵۰ درصد افزایش می‌یابد. این موضوع تاثیر فاکتورهای ریسک نامشهود در تخمین قابلیت اطمینان و RUL را نشان داده و اهمیت توجه به آن را برای دستیابی به نتایج واقعی‌تر به خوبی به نمایش می‌گذارد.

در آخرین بخش مطابق الگوریتم ارائه شده برنامه ریزی نت بر اساس عمر مفید باقیمانده انجام گرفت. در این رویکرد از $RUL(0)$ و متوسط زمان پس از انجام نت پیشگیرانه ($MTTF_{pm}$) استفاده شد. در مدل اول براساس مقدار ۹۹/۶۰۳ ساعت برای RUL و مقادیر محاسبه شده برای $MTTF_{pm}$ سیستم بی‌نیاز از اجرای نت است. البته در این مدل بعلت نمایی بودن تابع اساسی مانع از افت RUL در مدت کارکرد می‌شود. برای مدل دوم نیز وضعیت سیستم به همین منوال بوده و اجرای نت پیشگیرانه تاثیری در وضعیت سیستم نخواهد داشت. در مدل سوم یا ExPHM با توجه به مقادیر $RUL(0)$ و $MTTF_{pm}$ محاسباتی برای سناریوهای ۱، ۲، ۳ و ۹ اجرای نت پیشگیرانه تا قبل از ۸۰ ساعت کارکرد

سبب کاهش متوسط زمان وقوع خرابی خواهد شد، لذا بهتر است که از اجرای آن صرف نظر شود، ولی با توجه به روند نمودار $MTTF_{pm}$ در ساعت‌های آتی سیستم نیازمند اجرای نت پیشگیرانه خواهد بود. در سناریوهای ۲ و ۳ نیز اجرای نت پیشگیرانه بهبودی در قابلیت اطمینان سیستم به همراه نخواهد داشت و روند نمودار $MTTF_{pm}$ اجرای آن را نیز در آینده رد کرده که با توجه به شیب ثابت نمودار اجرای نت در بازه‌های ثابت برای آن پیشنهاد می‌شود. سناریوهای ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ و ۱۰ به ترتیب تقریباً بعد از ۶۴، ۴۰، ۵۱، ۸۲، ۴۳ و ۵۰ ساعت، نیازمند اجرای نت پیشگیرانه می‌باشند؛ به عبارت دیگر حداقل اجرای بازه‌های نت پیشگیرانه برای این سناریوها مقادیر ذکر شده می‌باشد. برای مدل WPHM نیز در تمامی ده سناریو مقدار $MTTF_{pm}$ بزرگتر $MTTF$ است، لذا اجرای نت پیشگیرانه در کل سبب بهبود قابلیت اطمینان خواهد شد. در این نمودار رشد رو به پایین نمودار نشان می‌دهد که با افزایش T_{pm} مقدار $MTTF_{pm}$ به سمت نت اصلاحی حرکت می‌کند. در مدل WMPHM نیز مشابه تابع ویبول-PHM به علت ویبول بودن تابع اساسی، تمامی ده سناریو با افزایش T_{pm} به سمت نت اصلاحی میل می‌کنند، بطوریکه در طول بازه اجرای نت پیشگیرانه تا ۸۰ ساعت سناریوهای ۲، ۳ و ۸ در صورت اجرا وضعیت سیستم بهبود خواهد داشت، ولی برای سناریوهای ۱، ۴، ۵، ۶، ۷، ۹ و ۱۰ به ترتیب در صورت اجرای نت در زمان‌های کمتر از تقریباً ۳۰، ۲۷، ۲۵، ۲۵، ۳۰، ۲۵ و ۴۴ ساعت اجرای نت پیشگیرانه سبب ارتقاء قابلیت اطمینان سیستم خواهد شد، ولی در زمان‌های بیشتر از آن اجرای نت پیشگیرانه سبب افت قابلیت اطمینان سیستم خواهد شد.

۶-۲- نتیجه گیری:

- استفاده از آزمون R یا همگنی وجود فاکتورهای ریسک نامشهود را با توجه به مقدار تتای بدست آمده، تایید نمود.
- در آزمون تحلیلی انجام گرفته برای باقیمانده‌های جزئی فاکتورهای ریسک با TBFs و در سطح اعتماد ۵ درصد وجود هر نوع وابستگی در طول زمان و در واقع برقراری فرض PH را برای داده های بیل مکانیکی تایید نمود.
- این سناریوها به خوبی نحوه تاثیرات شرایط محیطی بر وضعیت عملکردی سیستم را به نمایش گذاشته‌اند و صرف نظر از این تاثیرات نتایج کاملاً متفاوت را بدنبال خواهد داشت.
- وارد نمودن تاثیرات فاکتورهای ریسک نامشهود افزایش سرعت افت قابلیت اطمینان در ابتدای بازه کارکردی را به همراه دارد.
- محاسبات عمر مفید باقیمانده نشان داد که در تمامی سناریوها با گذشت زمان عمر سیستم کاهش یافته (مشابه حالت نمایی) مدل ویبول علاوه بر تخمین نزولی از RUL مقدار عمر مفید نقطه‌ای را نیز خیلی کمتر از مدل نمایی تخمین می‌زند.
- عمر مفید سیستم بعد طی زمان مشخص صفر شده است که دلیل این امر را در نرخ بشدت بالای مخاطره می توان عنوان نمود. در سناریوهای ۱، ۴، ۵، ۶ و ۹ (دسته دوم) نیز تقریباً در ۲۰ ساعت اولیه کارکرد سیستم که دقیقاً منطبق بر نقطه عطف منحنی قابلیت اطمینان سیستم است، عمر مفید باقیمانده افت کرده و از این نقطه به بعد افزایش یافته است.
- در مدل اول برای RUL و مقادیر محاسبه شده برای $MTTF_{pm}$ سیستم بی‌نیاز از اجرای نت است.
- برای مدل دوم نیز وضعیت سیستم به همین منوال بوده و اجرای نت پیشگیرانه تاثیری در وضعیت سیستم نخواهد داشت.
- در مدل سوم یا ExPHM با توجه به مقادیر $RUL(0)$ و $MTTF_{pm}$ اجرای نت پیشگیرانه تا قبل از ۸۰ ساعت کارکرد سبب کاهش متوسط زمان وقوع خرابی خواهد شد، لذا بهتر است که از اجرای آن صرف نظر شود.
- برای مدل WPHM نیز در تمامی ده سناریو مقدار $MTTF_{pm}$ بزرگتر $MTTF$ است، لذا اجرای نت پیشگیرانه در کل سبب بهبود قابلیت اطمینان خواهد شد. در این نمودار رشد رو به پایین نمودار نشان می‌دهد که با افزایش T_{pm} مقدار $MTTF_{pm}$ به سمت نت اصلاحی حرکت

می‌کند. در مدل WMPHM نیز مشابه تابع ویبول-PHM به علت ویبول بودن تابع اساسی، تمامی ده سناریو با افزایش Tpm به سمت نت اصلاحی میل می‌کنند.

- در مدل WMPHM نیز مشابه تابع ویبول-PHM به علت ویبول بودن تابع اساسی، تمامی ده سناریو با افزایش Tpm به سمت نت اصلاحی میل می‌کنند، بطوریکه در طول بازه اجرای نت پیشگیرانه تا ۸۰ ساعت سناریوهای ۲، ۳ و ۸ در صورت اجرا وضعیت سیستم بهبود خواهد داشت، ولی برای سایر سناریوها به ترتیب در صورت اجرای نت در زمان‌های کمتر از تقریباً ۴۵ ساعت اجرای نت پیشگیرانه سبب ارتقاء قابلیت اطمینان سیستم خواهد شد، ولی در زمان‌های بیشتر از آن اجرای نت پیشگیرانه سبب افت قابلیت اطمینان سیستم خواهد شد.

۳-۶- پیشنهادات:

- با توجه به محدودیت زمانی در انجام رساله دکتری، در بخش‌های مختلف سیستم به صورت گزینشی مورد بررسی قرار گرفتند. پیشنهاد می‌شود، تحلیل کل ناوگان استخراجی در قالب یک پروژه صنعتی با سرمایه‌گذاری مناسب، نیروی کار حرفه‌ای و در مدت زمان کافی انجام پذیرد. این کار به راحتی با گسترش رویکردهای پیشنهادی در این رساله امکان‌پذیر است.
- وارد نمود تأثیرات شرایط محیطی در تحلیل شاخص‌های عملکردی سیستم‌های چند جزئی.
- افزودن فاکتور هزینه در مبحث سنجش اهمیت و تکامل بخشیدن به ایده سنجش اهمیت.
- افزودن مباحث تحلیل حساسیت بر تخمین پارامترهای توابع اساسی یا ضرایب رگرسیون.
- ارائه استراتژی نت پیشگیرانه مبتنی بر شرایط محیطی و تأثیر نت ناقص برای سیستم‌های چند جزئی و تعدیل آن با دخالت دادن مسائل هزینه‌ای و اقتصادی بین اجزاء.
- ارائه استراتژی نت پیشگیرانه بر اساس سایر شاخص‌های عملکردی همچون قابلیت دسترسی یا نرخ مخاطره سیستم.

فهرست منابع



- Aamer, Zohair Richar, Fernando, M. (۲۰۰۹), *Cost Comparison of Several Maintenance Policies*, Research project, Group project, Mechanical & Industrial Engineering, University of Toronto.
- Ahmadzadeh, F., Ghodrati, B. and Kumar, U. (۲۰۱۲), "Mean residual life estimation considering operating environment", presented at the International Conference on Quality, Reliability, Infocom Technology and Industrial Technology Management: ۲۶/۱۱/۲۰۱۲-۲۸/۱۱/۲۰۱۲.
- Ahmadzadeh, F. and Lundberg, J. (۲۰۱۳), "Remaining useful life prediction of grinding mill liners using an artificial neural network", *Minerals Engineering*, Vol. ۵۳, pp. ۱-۸.
- Ahmadzadeh, F. and Lundberg, J. (۲۰۱۴), "Remaining useful life estimation: review", *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, Vol. ۵ No. ۴, pp. ۴۶۱-۴۷۴.
- Aijaz, A. and Kothari, D. (۱۹۹۸), "A review of recent advances in generator maintenance scheduling", *Electric Machines and Power Systems*, Vol. ۲۶ No. ۴, pp. ۳۷۳-۳۸۷.
- Akaike, H. (۱۹۹۸), "A New Look at the Statistical Model Identification", in Parzen, E., Tanabe, K. and Kitagawa, G. (Eds.), *Selected Papers of Hirotugu Akaike*, Springer New York, New York, NY, pp. ۲۱۵-۲۲۲.
- Ali, N.G., Mohammad, A., Reza, K. and Vahid, E. (۲۰۱۶), "Throughput Capacity Analysis (Case Study: Sungun Copper Mine)", *CIVILICA*, Vol. ۵, presented at the ۲nd International Conference on Engineering and Applied Sciences, available at: http://www.civilica.com/Paper-ICEASCONF۰۲-ICEASCONF۰۲_۰۳۶=Throughput-Capacity-AnalysisCase-Study-Sungun-Copper-Mine.html (accessed ۲۳ January ۲۰۱۷).
- Ali, N.G., Reza, K., Mohammad, A. and Ashkan, M. (۲۰۱۵a), "Reliability Analysis of Conveyor Belt System of Crushing Department", *CIVILICA*, Vol. ۵, presented at the International Conference on Research in engineering , Science and Technology, available at: http://www.civilica.com/Paper-RSTCONF۰۱-RSTCONF۰۱_۱۱۵=Reliability-Analysis-of-Conveyor-Belt-System-of-Crushing-Department.html (accessed ۲۹ January ۲۰۱۷).
- Ali, N.G., Reza, K., Mohammad, A. and Ashkan, M. (۲۰۱۵b), "Power Law Model for Reliability Analysis of Crusher System in Khoy Cement Factory", *CIVILICA*, Vol. ۵, presented at the International Conference on Research in engineering , Science and Technology, available at: http://www.civilica.com/Paper-RSTCONF۰۱-RSTCONF۰۱_۰۵۷=Power-Law-Model-for-Reliability-Analysis-of-Crusher-System-in-Khoy-Cement-Factory.html (accessed ۲۹ January ۲۰۱۷).
- Allaby, M. (۲۰۰۸), "Dictionary of earth sciences".
- Altay, N. and Green, W.G. (۲۰۰۶), "OR/MS research in disaster operations management", *European Journal of Operational Research*, Vol. ۱۷۵ No. ۱, pp. ۴۷۵-۴۹۳.
- Asfaw, Z.G. and Lindqvist, B.H. (۲۰۱۵), "Unobserved heterogeneity in the power law nonhomogeneous Poisson process", *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. ۱۳۴, pp. ۵۹-۶۵.
- "Asremes". (۲۰۱۶), *Asremes Online*, available at: <http://asremesonline.ir/news/?Id=۱۰۴۱۹> (accessed ۱۴ December ۲۰۱۶).
- Atkins, A., Zhang, L. and Yu, H. (۲۰۱۰), "Application of RFID and Mobile technology in Tracking of Equipment for Maintenance in the Mining Industry", presented at the The

- Australasian Institute of Mining and Metallurgy, University of Wollongong, pp. ۳۵۰–۳۵۸.
- Bagul, Y.G. (۲۰۰۹), “Assessment of current health and remaining useful life of hard disk drives”.
- Bagul, Y.G., Zeid, I. and Kamarthi, S.V. (۲۰۰۸), “Overview of remaining useful life methodologies”, presented at the ASME ۲۰۰۸ International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, American Society of Mechanical Engineers, pp. ۱۳۹۱–۱۴۰۰.
- Banjevic, D. (۲۰۰۹), “Remaining useful life in theory and practice”, *Metrika*, Vol. ۶۹ No. ۲, pp. ۳۳۷–۳۴۹.
- Banjevic, D. and Jardine, A. (۲۰۰۶), “Calculation of reliability function and remaining useful life for a Markov failure time process”, *IMA Journal of Management Mathematics*, Vol. ۱۷ No. ۲, pp. ۱۱۵–۱۳۰.
- Barabadi, A., Barabady, J. and Markeset, T. (۲۰۱۰), “Application of accelerated failure model for the oil and gas industry in Arctic region”, presented at the Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), ۲۰۱۰ IEEE International Conference on, IEEE, pp. ۲۲۴۴–۲۲۴۸.
- Barabadi, A., Barabady, J. and Markeset, T. (۲۰۱۱a), “A methodology for throughput capacity analysis of a production facility considering environment condition”, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. ۹۶ No. ۱۲, pp. ۱۶۳۷–۱۶۴۶.
- Barabadi, A., Barabady, J. and Markeset, T. (۲۰۱۱b), “Maintainability analysis considering time-dependent and time-independent covariates”, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. ۹۶ No. ۱, pp. ۲۱۰–۲۱۷.
- Barabadi, A., Garmabaki, A., Yuan, F. and Lu, J. (۲۰۱۵), “Maintainability analysis of equipment using point process models”, presented at the Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), ۲۰۱۵ IEEE International Conference on, IEEE, pp. ۷۹۷–۸۰۱.
- Barabadi, A. and Markeset, T. (۲۰۱۱), “Reliability and maintainability performance under Arctic conditions”, *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, Vol. ۲ No. ۳, pp. ۲۰۵–۲۱۷.
- Barabady, J. (۲۰۰۵), “Reliability and maintainability analysis of crushing plants in Jajarm Bauxite Mine of Iran”, presented at the Reliability and Maintainability Symposium, ۲۰۰۵. Proceedings. Annual, IEEE, pp. ۱۰۹–۱۱۵.
- Barabady, J. and Kumar, U. (۲۰۰۵), “Maintenance Schedule by Using Reliability Analysis: A Case Study at Jajram Bauxite Mine of Iran”, Vol. ۲, presented at the ۲۰th World Mining Congress, World Mining Congress, Tehran, Iran, pp. ۸۳۱–۸۳۸.
- Barabady, J. and Kumar, U. (۲۰۰۸), “Reliability analysis of mining equipment: A case study of a crushing plant at Jajarm Bauxite Mine in Iran”, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. ۹۳ No. ۴, pp. ۶۴۷–۶۵۳.
- Baraldi, P., Di Maio, F., Al-Dahidi, S., Zio, E. and Mangili, F. (۲۰۱۷), “Prediction of industrial equipment Remaining Useful Life by fuzzy similarity and belief function theory”, *Expert Systems with Applications*, Vol. ۸۳, pp. ۲۲۶–۲۴۱.
- Barberá, L., Crespo, A., Viveros, P. and Stegmaier, R. (۲۰۱۴), “A case study of GAMM (graphical analysis for maintenance management) in the mining industry”, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. ۱۲۱, pp. ۱۱۳–۱۲۰.

- Barlow, R.E. and Proschan, F. (1996), *Mathematical Theory of Reliability*, Vol. 19, Siam.
- Beganovic, N. and Söffker, D. (2017), “Remaining lifetime modeling using State-of-Health estimation”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 92, pp. 107–123.
- Billinton, R. and Allan, R.N. (1998), *Reliability Assessment of Large Electric Power Systems*, Kluwer Academic Print on Demand.
- Billinton, R. and Allan, R.N. (2013), *Reliability Evaluation of Engineering Systems: Concepts and Techniques*, Springer Science & Business Media.
- Brewer, M.J., Butler, A. and Cooksley, S.L. (2016), “The relative performance of AIC, AICC and BIC in the presence of unobserved heterogeneity”, *Methods in Ecology and Evolution*, Vol. 7 No. 6, pp. 699–709.
- Buzacott, J.A. (1990), “Markov approach to finding failure times of repairable systems”, *Reliability, IEEE Transactions On*, Vol. 39 No. 5, pp. 128–135.
- Byington, C.S., Watson, M. and Edwards, D. (2004), “Data-driven neural network methodology to remaining life predictions for aircraft actuator components”, Vol. 6, presented at the Aerospace Conference, 2004. Proceedings. 2004 IEEE, IEEE, pp. 3081–3089.
- Cha, J.H. and Finkelstein, M. (2014), “Some notes on unobserved parameters (frailties) in reliability modeling”, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 123, pp. 99–103.
- Chen, C., Vachtsevanos, G. and Orchard, M. (2010), “Machine remaining useful life prediction based on adaptive neuro-fuzzy and high-order particle filtering”, presented at the Annual conference of the prognostics and health management society.
- Chen, M.-C., Hsu, C.-M. and Chen, S.-W. (2006), “Optimizing joint maintenance and stock provisioning policy for a multi-echelon spare part logistics network”, *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, Vol. 39 No. 5, pp. 289–302.
- Chinnam, R.B. and Baruah, P. (2004), “A neuro-fuzzy approach for estimating mean residual life in condition-based maintenance systems”, *International Journal of Materials and Product Technology*, Vol. 20 No. 1–3, pp. 166–179.
- Chow, D.K. (1993), “Reliability of some redundant systems with repair”, *Reliability, IEEE Transactions On*, Vol. 42 No. 5, pp. 223–228.
- Cox, D.R. (1962), “Renewal theory”.
- Cox, D.R. (1972), “Regression models and life-tables”, *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, pp. 187–220.
- Cui, L. (2008), “Maintenance Models and Optimization”, in Misra, K.B. (Ed.), *Handbook of Performability Engineering*, Springer London, pp. 989–1000.
- Dhillon, B.S. (1986), “Bibliography of literature on mining equipment reliability”, *Microelectronics Reliability*, Vol. 26 No. 6, pp. 1131–1138.
- Dhillon, B.S. (2006), *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*, CRC Press.
- Dhillon, B.S. (2008), *Mining Equipment Reliability, Maintainability, and Safety*, Springer.
- Diallo, C., Ait-Kadi, D. and Chelbi, A. (n.d.). “An Integrated Approach for Spare Parts Provisioning”.
- Distefano, S. (2000), *System Dependability and Performances: Techniques, Methodologies and Tools*, Doctoral Thesis, Doctoral dissertation, faculty of Engineering, University of Messina, Italy.

- Distefano, S. and Puliafito, A. (۲۰۰۷), "Dynamic reliability block diagrams vs dynamic fault trees", presented at the Reliability and Maintainability Symposium, ۲۰۰۷. RAMS'۰۷. Annual, IEEE, pp. ۷۱-۷۶.
- Distefano, S. and Puliafito, A. (۲۰۰۹), "Reliability and availability analysis of dependent-dynamic systems with DRBDs", *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. ۹۴ No. ۹, pp. ۱۳۸۱-۱۳۹۳.
- Distefano, S. and Xing, L. (۲۰۰۶), "A new approach to modeling the system reliability: dynamic reliability block diagrams", presented at the Reliability and Maintainability Symposium, ۲۰۰۶. RAMS'۰۶. Annual, IEEE, pp. ۱۸۹-۱۹۰.
- Djeziri, M., Benmoussa, S. and Sanchez, R. (۲۰۱۷), "Hybrid method for remaining useful life prediction in wind turbine systems", *Renewable Energy*.
- Dong, M., He, D., Banerjee, P. and Keller, J. (۲۰۰۶), "Equipment health diagnosis and prognosis using hidden semi-Markov models", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. ۳۰ No. ۷-۸, pp. ۷۳۸-۷۴۹.
- Dragomir, O.E., Gouriveau, R., Dragomir, F., Minca, E. and Zerhouni, N. (۲۰۰۹), "Review of prognostic problem in condition-based maintenance", presented at the Control Conference (ECC), ۲۰۰۹ European, IEEE, pp. ۱۰۸۷-۱۰۹۲.
- El Koujok, M., Gouriveau, R. and Zerhouni, N. (۲۰۰۸), "From monitoring data to remaining useful life: an evolving approach including uncertainty.", presented at the ۳۴th European Safety Reliability & Data Association, ESReDA Seminar and ۲nd Joint ESReDA/ESRA Seminar on Supporting Technologies for Advanced Maintenance Informaiton Management., pp. ۱-۱۲.
- Elandt-Johnson, R.C. and Johnson, N.L. (۱۹۹۹), *Survival Models and Data Analysis*, Vol. ۷۴, John Wiley & Sons.
- El-Ferik, S. and Ben-Daya, M. (۲۰۰۶), "Age-based hybrid model for imperfect preventive maintenance", *IIE Transactions*, Vol. ۳۸ No. ۴, pp. ۳۶۰-۳۷۰.
- Elsayed, E.A. (۲۰۰۳), "Mean residual life and optimal operating conditions for industrial furnace tubes", *Case Studies in Reliability and Maintenance*, pp. ۴۹۷-۵۱۰.
- Elwany, A.H. and Gebraeel, N.Z. (۲۰۰۸), "Sensor-driven prognostic models for equipment replacement and spare parts inventory", *IIE Transactions*, Vol. ۴۰ No. ۷, pp. ۶۲۹-۶۳۹.
- Engel, S.J., Gilmartin, B.J., Bongort, K. and Hess, A. (۲۰۰۰), "Prognostics, the real issues involved with predicting life remaining", Vol. ۶, presented at the Aerospace Conference Proceedings, ۲۰۰۰ IEEE, IEEE, pp. ۴۰۷-۴۶۹.
- Essawy, M.A. (۲۰۰۱), *Methods to Estimate Machine Remaining Useful Life Using Artificial Neural Networks*, GEORGIA SOUTHERN UNIV STATESBORO ENGINEERING STUDIES PROGRAM.
- Fathzadeh, A. (۲۰۱۲), *Integrated Blending Criteria for the Classification of Sungun Copper Mine ROM to Improve Capacity of Comminution*, Sahand University of Technology.
- Galar, D., Kumar, U., Lee, J. and Zhao, W. (۲۰۱۲), "Remaining useful life estimation using time trajectory tracking and support vector machines", Vol. ۳۶۴, presented at the Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, p. ۰۱۲۰۶۳.
- Garmabaki, A., Ahmadi, A., Block, J., Pham, H. and Kumar, U. (۲۰۱۶), "A reliability decision framework for multiple repairable units", *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. ۱۵۰, pp. ۷۸-۸۸.

- Gasmi, S., Love, C.E. and Kahle, W. (۲۰۰۳), "A general repair, proportional-hazards, framework to model complex repairable systems", *Reliability, IEEE Transactions On*, Vol. ۵۲ No. ۱, pp. ۲۶-۳۲.
- Gebraeel, N., Lawley, M., Liu, R. and Parmeshwaran, V. (۲۰۰۴), "Residual life predictions from vibration-based degradation signals: a neural network approach", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. ۵۱ No. ۳, pp. ۶۹۴-۷۰۰.
- Gebraeel, N.Z., Lawley, M.A., Li, R. and Ryan, J.K. (۲۰۰۵), "Residual-life distributions from component degradation signals: A Bayesian approach", *IIE Transactions*, Vol. ۳۷ No. ۶, pp. ۵۴۳-۵۵۷.
- George, E., Hunter, W.G. and Hunter, J.S. (۲۰۰۵), *Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery*, Wiley.
- Ghai, G.L. and Mi, J. (۱۹۹۹), "Mean residual life and its association with failure rate", *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. ۴۸ No. ۳, pp. ۲۶۲-۲۶۶.
- Gharahasanlou, A.N., Ataei, M., Khalokakaie, R., Barabadi, A. and Einian, V. (۲۰۱۷), "Risk based maintenance strategy: a quantitative approach based on time-to-failure model", *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, pp. ۱-۱۰.
- Ghasemi, A. and Hodkiewicz, M.R. (۲۰۱۲), "Estimating mean residual life for a case study of rail wagon bearings", *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. ۶۱ No. ۳, pp. ۷۱۹-۷۳۰.
- Ghodrati, B. (۲۰۰۵), *Reliability and Operating Environment Based Spare Parts Planning*, Doctoral Thesis, Luleå University of Technology, Sweden.
- Ghodrati, B. (۲۰۰۶), "Weibull and Exponential Renewal Models in Spare Parts Estimation: A Comparison", *International Journal of Performability Engineering*, Vol. ۲ No. ۲, p. ۱۳۵.
- Ghodrati, B., Banjevic, D. and Jardine, A. (۲۰۱۰), "Developing effective spare parts estimations results in improved system availability", presented at the Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), ۲۰۱۰ Proceedings-Annual, IEEE, pp. ۱-۶.
- Ghodrati, B., Benjevic, D. and Jardine, A. (۲۰۱۲), "Product support improvement by considering system operating environment: A case study on spare parts procurement", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. ۲۹ No. ۴, pp. ۴۳۶-۴۵۰.
- Ghodrati, B. and Kumar, U. (۲۰۰۵a), "Operating environment-based spare parts forecasting and logistics: a case study", *International Journal of Logistics Research and Applications*, Vol. ۸ No. ۲, pp. ۹۵-۱۰۵.
- Ghodrati, B. and Kumar, U. (۲۰۰۵b), "Reliability and operating environment-based spare parts estimation approach: a case study in Kiruna Mine, Sweden", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. ۱۱ No. ۲, pp. ۱۶۹-۱۸۴.
- Ghodrati, B., Kumar, U. and Ahmadzadeh, F. (۲۰۱۲), "Remaining useful life estimation of mining equipment: A case study", presented at the International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection: ۲۸/۱۱/۲۰۱۲ - ۳۰/۱۱/۲۰۱۲, available at: <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva۲:۱۰۰۵۶۲۵> (accessed ۱۴ August ۲۰۱۷).
- Ghodrati, B., Kumar, U. and Kumar, D. (۲۰۰۳), "Product support logistics based on product design characteristics and operating environment", presented at the ۳۸th Annual International Logistics Conference and Exhibition: SOLE ۲۰۰۳, Society of Logistics Engineers, Huntsville, United States, p. ۲۱.

- Giorgio, M., Guida, M. and Pulcini, G. (୨୦୧୫), “Repairable system analysis in presence of covariates and random effects”, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. ୧୪୧, pp. ୨୪୧–୨୪୮.
- Goel, L. and Gupta, R. (୧୯୮୫), “Analysis of a two-unit standby system with three modes and imperfect switching device”, *Microelectronics Reliability*, Vol. ୨୫ No. ୩, pp. ୫୧୦–୫୨୧.
- Goodman, G.V.R. (୧୯୮୮), “An assessment of coal mine escapeway reliability using fault tree analysis”, *Mining Science and Technology*, Vol. ୩ No. ୩, pp. ୨୦୦–୨୧୦.
- Gorjian Jolfaei, N. (୨୦୧୨), *Asset Health Prediction Using the Explicit Hazard Model*, Queensland University of Technology.
- Gorjian, N., Ma, L., Mittinty, M., Yarlagadda, P. and Sun, Y. (୨୦୧୦), “The explicit hazard model-part ୧: theoretical development”, presented at the Prognostics and Health Management Conference, ୨୦୧୦. PHM’୧୦., IEEE, pp. ୧–୧୦.
- Gorjian, N., Mittinty, M., Ma, L., Yarlagadda, P. and Sun, Y. (୨୦୧୦), “The explicit hazard model-part ୨: applications”, presented at the Prognostics and Health Management Conference, ୨୦୧୦. PHM’୧୦., IEEE, pp. ୧–୧୦.
- Govil, K.K. and Aggarwal, K.K. (୧୯୮୩), “Mean residual life function for normal, gamma and lognormal densities”, *Reliability Engineering*, Vol. ୦ No. ୧, pp. ୫୧–୦୧.
- Grujic, M.M., Grujic, M.M. and Ivkovic, M.D. (୨୦୧୮), “The impact of multi-element external coal transportation on reliability of the system and on environment”, *Mine Planning and Equipment Selection ୨୦୦୦*, Routledge, pp. ୦୧୧–୦୧୨.
- Guerin, T.F. (୨୦୦୨), “Heavy equipment maintenance wastes and environmental management in the mining industry”, *Journal of Environmental Management*, Vol. ୬୬ No. ୨, pp. ୧୮୦–୧୯୧.
- Guess, F. and Proschan, F. (୧୯୮୮), “୧୨ Mean residual life: Theory and applications”, *Handbook of Statistics*, Vol. ୩, pp. ୨୧୦–୨୨୫.
- GUPTA, R.C. and Kirmani, S. (୧୯୯୮), “Residual life function in reliability studies”, *Frontiers in Reliability*, World Scientific, pp. ୧୨୦–୧୨୦.
- Gupta, S., Ramkrishna, N. and Bhattacharya, J. (୨୦୦୬), “Replacement and maintenance analysis of longwall shearer using fault tree technique”, *Mining Technology*, Vol. ୧୧୦ No. ୨, pp. ୫୧–୦୮.
- Gustafson, A., Schunnesson, H. and Kumar, U. (୨୦୧୩), “Reliability Analysis and Comparison Between Automatic and Manual Load Haul Dump Machines”, *Quality and Reliability Engineering International*.
- Gutierrez, R.G. (୨୦୦୨), “Parametric frailty and shared frailty survival models”, *Stata Journal*, Vol. ୨ No. ୧, pp. ୨୨–୫୫.
- Hall, R. and Daneshmend, L. (୨୦୧୮), “Evaluation of mining equipment automation including process considerations and sensitivity analysis”, *Mine Planning and Equipment Selection ୨୦୦୦*, Routledge, pp. ୧୦୧–୧୧୩.
- Hall, R.A. (୨୦୦୦), *Reliability Analysis and Discrete Event Simulation As Tools For Mining Equipment Management*, Queen’s University, Kingston, Ontario, Canada.
- Hall, R.A. and Daneshmend, L.K. (୨୦୦୩a), “Reliability Modelling of Surface Mining Equipment: Data Gathering and Analysis Methodologies”, *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, Vol. ୧୭ No. ୩, pp. ୧୩୧–୧୦୦.

- Hall, R.A. and Daneshmend, L.K. (۲۰۰۳b), "Reliability and maintainability models for mobile underground haulage equipment", *Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum (CIM) Bulletin*, Vol. ۹۶ No. ۱۰۷۲, pp. ۱۵۹–۱۶۵.
- Heng, A., Zhang, S., Tan, A.C. and Mathew, J. (۲۰۰۹), "Rotating machinery prognostics: State of the art, challenges and opportunities", *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. ۲۳ No. ۳, pp. ۷۲۴–۷۳۹.
- Horberry, T., Burgess-Limerick, R. and Steiner, L.J. (۲۰۱۶), *Human Factors for the Design, Operation, and Maintenance of Mining Equipment*, CRC Press.
- Hoseinie, S.H., Ataei, M., Khalokakaie, R., Ghodrati, B. and Kumar, U. (۲۰۱۳a), "Reliability analysis of the cable system of drum shearer using the power law process model", *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, pp. ۱–۱۵.
- Hoseinie, S.H., Ataei, M., Khalokakaie, R., Ghodrati, B. and Kumar, U. (۲۰۱۳b), "Reliability analysis of drum shearer machine at mechanized longwall mines", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. ۱۸ No. ۱, pp. ۹۸–۱۱۹.
- Hoseinie, S.H., Ataei, M., Khalokakaie, R. and Kumar, U. (۲۰۱۱a), "Reliability modeling of hydraulic system of drum shearer machine", *Journal of Coal Science and Engineering (China)*, Vol. ۱۷ No. ۴, pp. ۴۵۰–۴۵۶.
- Hoseinie, S.H., Ataei, M., Khalokakaie, R. and Kumar, U. (۲۰۱۱b), "Reliability and maintainability analysis of electrical system of drum shearers", *Journal of Coal Science and Engineering (China)*, Vol. ۱۷ No. ۲, pp. ۱۹۲–۱۹۷.
- Høyland, A. and Rausand, M. (۱۹۹۴), *System Reliability Theory: Models and Statistical Methods*, Wiley.
- Hu, Y., Liu, S., Lu, H. and Zhang, H. (۲۰۱۴), "Remaining useful life assessment and its application in the decision for remanufacturing", *Procedia CIRP*, Vol. ۱۵, pp. ۲۱۲–۲۱۷.
- Huang, R., Xi, L., Li, X., Liu, C.R., Qiu, H. and Lee, J. (۲۰۰۷), "Residual life predictions for ball bearings based on self-organizing map and back propagation neural network methods", *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. ۲۱ No. ۱, pp. ۱۹۳–۲۰۷.
- "IBM - United States". (n.d.). , available at: <http://www.ibm.com/us-en/> (accessed ۱۱ November ۲۰۱۵).
- "IEC ۶۰۰۵۰ - International Electrotechnical Vocabulary - Details for IEC number ۱۹۱-۰۲-۰۶: 'reliability (performance)'". (۲۰۱۴), , ۲۴ January, available at: <http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=۱۹۱-۰۲-۰۶> (accessed ۲۴ January ۲۰۱۴).
- "IEC ۶۰۰۵۰ - International Electrotechnical Vocabulary - Details for IEC number ۱۹۱-۰۴-۰۱: 'failure'". (۲۰۱۴), , ۲۴ January, available at: <http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=۱۹۱-۰۴-۰۱> (accessed ۲۴ January ۲۰۱۴).
- "IEC ۶۰۰۵۰ - International Electrotechnical Vocabulary - Details for IEC number ۱۹۱-۰۷-۰۱: 'maintenance'". (۲۰۱۴), , ۲۴ January, available at: <http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=۱۹۱-۰۷-۰۱> (accessed ۲۴ January ۲۰۱۴).
- "IEC ۶۰۰۵۰ - International Electrotechnical Vocabulary - Details for IEC number ۱۹۱-۰۷-۰۷: 'preventive maintenance'". (۲۰۱۴), , ۲۴ January, available at:

<http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=۱۹۱-۰۷-۰۷>
(accessed ۲۰ January ۲۰۱۴).

“IEC ۶۰۰۵۰ - International Electrotechnical Vocabulary - Details for IEV number ۱۹۱-۰۷-۰۸: ‘corrective maintenance’”. (۲۰۱۴), , ۲۴ January, available at: <http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=۱۹۱-۰۷-۰۸> (accessed ۲۰ January ۲۰۱۴).

Ilgin, M.A. and Tunali, S. (۲۰۰۷), “Joint optimization of spare parts inventory and maintenance policies using genetic algorithms”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. ۳۴ No. ۵-۶, pp. ۵۹۴-۶۰۴.

Jafari, R. (۲۰۱۳), *Numerical Modeling of Water Entrance to Open Pit Mines; Case Study: Sungun Copper Mine*, Faculty of Mining Engineering.

Jalali, S. and Forouhandeh, S. (۲۰۱۱), “Reliability estimation of auxiliary ventilation systems in long tunnels during construction”, *Safety Science*, Vol. ۴۹ No. ۵, pp. ۶۶۴-۶۶۹.

Jardine, A.K., Lin, D. and Banjevic, D. (۲۰۰۶), “A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. ۲۰ No. ۷, pp. ۱۴۸۳-۱۵۱۰.

Khelif, R., Chebel-Morello, B., Malinowski, S., Laajili, E., Fnaiech, F. and Zerhouni, N. (۲۰۱۷), “Direct Remaining Useful Life Estimation Based on Support Vector Regression”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. ۶۴ No. ۳, pp. ۲۲۷۶-۲۲۸۵.

Khorasgani, H., Biswas, G. and Sankararaman, S. (۲۰۱۶), “Methodologies for system-level remaining useful life prediction”, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. ۱۵۴, pp. ۸-۱۸.

Kiddy, J.S. (۲۰۰۳), “Remaining useful life prediction based on known usage data”, presented at the NDE for Health Monitoring and Diagnostics, International Society for Optics and Photonics, pp. ۱۱-۱۸.

Kleinbaum, D.G. (۲۰۱۱), *Survival Analysis*, Springer.

Kleinbaum, D.G. and Klein, M. (۲۰۱۲), “Survival Analysis: A Self-Learning Text”, *Springer Science & Business Media*.

Kodama, M. and Fukuta, J. (۱۹۷۵), “Renewal theoretical approach to the mission reliability of a redundant repairable system with two dissimilar units”.

Kothamasu, R., Huang, S.H. and VerDuin, W.H. (۲۰۰۶), “System health monitoring and prognostics—a review of current paradigms and practices”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. ۲۸ No. ۹-۱۰, pp. ۱۰۱۲-۱۰۲۴.

Kovalev, V., Gerike, B., Khoreshok, A. and Gerike, P. (۲۰۱۴), “Preventive maintenance of mining equipment based on identification of its actual technical state”, presented at the Symposium of the Taishan academic forum—Project on mine disaster prevention and control, pp. ۱۸۴-۱۸۹.

Kumar, D. (۱۹۹۵), “Proportional hazards modelling of repairable systems”, *Quality and Reliability Engineering International*, Vol. ۱۱ No. ۵, pp. ۳۶۱-۳۶۹.

Kumar, D. and Klefsjö, B. (۱۹۹۴a), “Proportional hazards model: a review”, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. ۴۴ No. ۲, pp. ۱۷۷-۱۸۸.

- Kumar, D. and Klefsjö, B. (1994b), "Proportional hazards model—an application to power supply cables of electric mine loaders", *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, Vol. 1 No. 3, pp. 237–252.
- Kumar, D., Klefsjö, B. and Kumar, U. (1992), "Reliability analysis of power transmission cables of electric mine loaders using the proportional hazards model", *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 37 No. 3, pp. 217–222.
- Kumar, D. and Westberg, U. (1996), "Proportional hazards modeling of time-dependent covariates using linear regression: a case study [mine power cable reliability]", *Reliability, IEEE Transactions On*, Vol. 43 No. 3, pp. 386–392.
- Kumar, S. (2010), *Performance Analysis And Optimization Of Some Operating Systems Of A Fertilizer Plant*, Phd Thesis, Department of mechanical engineering National institute of technology Kurukshetra, India, March.
- Kumar, U. (1990), *Reliability Analysis of Load-Haul-Dump Machines*, Phd Thesis, Lulea University of Technology, Lulea, Sweden.
- Kumar, U. and Granholm, S. (1990), "Reliability centred maintenance: a tool for higher profitability", *Maintenance*, Vol. 6 No. 3, pp. 23–26.
- Kumar, U. and Klefsjö, B. (1992), "Reliability analysis of hydraulic systems of LHD machines using the power law process model", *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 30 No. 3, pp. 217–224.
- Kumar, U., Klefsjö, B. and Granholm, S. (1989), "Reliability investigation for a fleet of load haul dump machines in a Swedish mine", *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 26 No. 4, pp. 341–361.
- Kumar, U.D., Crocker, J., Knezevic, J. and El-Haram, M. (2012), *Reliability, Maintenance and Logistic Support: - A Life Cycle Approach*, Springer Science & Business Media.
- Lai, C., Xie, M. and Murthy, D. (2001), "Bathtub-shaped failure rate life distributions. Handbook of statistics, Advances in reliability, vol. 20".
- Lakshmi, S. and Sundari, P.G. (2012), "A new mathematical model in weibull proportional hazards regression using GABAA", *Bulletin of Pure & Applied Sciences-Mathematics and Statistics*, Vol. 31 No. 1, pp. 101–107.
- Lao, H. and Zein-Sabatto, S. (2001), "Analysis of vibration signal's time-frequency patterns for prediction of bearing's remaining useful life", presented at the System Theory, 2001. Proceedings of the 33rd Southeastern Symposium on, IEEE, pp. 20–29.
- Lashgari, A. and Sayadi, A.R. (2013), "Statistical approach to determination of overhaul and maintenance cost of loading equipment in surface mining", *International Journal of Mining Science and Technology*, Vol. 23 No. 3, pp. 441–446.
- Lawless, J.F. (1987), "Regression methods for Poisson process data", *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 82 No. 399, pp. 808–810.
- Le Son, K., Barros, A. and Fouladirad, M. (2012), "Deterioration model filtering by gibbs algorithm and rul estimation", *IFAC Proceedings Volumes*, Vol. 45 No. 20, pp. 13–18.
- Lee, J., Ni, J., Djurdjanovic, D., Qiu, H. and Liao, H. (2006), "Intelligent prognostics tools and e-maintenance", *Computers in Industry*, Vol. 57 No. 6, pp. 476–489.
- Lee, M.-L.T. and Whitmore, G.A. (2006), "Threshold regression for survival analysis: modeling event times by a stochastic process reaching a boundary", *Statistical Science*, pp. 501–513.

- Lei, Y., Li, N., Gontarz, S., Lin, J., Radkowski, S. and Dybala, J. (۲۰۱۶), “A Model-Based Method for Remaining Useful Life Prediction of Machinery”, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. ۶۵ No. ۳, pp. ۱۳۱۴–۱۳۲۶.
- Li, C.J. and Lee, H. (۲۰۰۵), “Gear fatigue crack prognosis using embedded model, gear dynamic model and fracture mechanics”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. ۱۹ No. ۴, pp. ۸۳۶–۸۴۶.
- Liao, H., Lin, D., Qiu, H., Banjevic, D., Jardine, A. and Lee, J. (۲۰۰۵), “A predictive tool for remaining useful life estimation of rotating machinery components”, presented at the ASME International ۲۰th Biennial Conference on Mechanical Vibration and Noise, Long Beach, CA, pp. ۲۴–۲۸.
- Liao, H., Zhao, W. and Guo, H. (۲۰۰۶), “Predicting remaining useful life of an individual unit using proportional hazards model and logistic regression model”, presented at the RAMS’۰۶. Annual Reliability and Maintainability Symposium, ۲۰۰۶., IEEE, pp. ۱۲۷–۱۳۲.
- Lilly, P. (۲۰۰۰), “The minimum total cost approach to optimum pit slope design”, presented at the Proceedings of International Symposium on Mine Planning & Equipment Selection, Athens, Greece, ۶–۹ November, pp. ۷۷–۸۲.
- Lim, J.-H. and Park, D.H. (۱۹۹۵), “Trend change in mean residual life”, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. ۴۴ No. ۲, pp. ۲۹۱–۲۹۶.
- Lim, J.-H. and Park, D.H. (۱۹۹۸), “A family of tests for trend change in mean residual life”, *Communications in Statistics-Theory and Methods*, Vol. ۲۷ No. ۵, pp. ۱۱۶۳–۱۱۷۹.
- Lim, T.-J. and Lie, C.H. (۲۰۰۰), “Analysis of system reliability with dependent repair modes”, *Reliability, IEEE Transactions On*, Vol. ۴۹ No. ۲, pp. ۱۵۳–۱۶۲.
- Lisnianski, A. and Ding, Y. (۲۰۰۹), “Redundancy analysis for repairable multi-state system by using combined stochastic processes methods and universal generating function technique”, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. ۹۴ No. ۱۱, pp. ۱۷۸۸–۱۷۹۵.
- Liu, L., Wang, S., Liu, D. and Peng, Y. (۲۰۱۷), “Quantitative selection of sensor data based on improved permutation entropy for system remaining useful life prediction”, *Microelectronics Reliability*.
- Livingston, D.E. (۱۹۷۳), “A plate tectonic hypothesis for the genesis of porphyry copper deposits of the southern Basin and Range province”, *Earth and Planetary Science Letters*, Elsevier, Vol. ۲۰ No. ۲, pp. ۱۷۱–۱۷۹.
- Lloyd, G.M., Hasselman, T. and Paez, T. (۲۰۰۵), “A proportional hazards neural network for performing reliability estimates and risk prognostics for mobile systems subject to stochastic covariates”, *Tech and Soc, Eng Bus Management, Health and Safety*, Vol. ۲۰۰۵, pp. ۹۷–۱۰۶.
- Lorton, A., Fouladirad, M. and Grall, A. (۲۰۱۳), “Computation of remaining useful life on a physic-based model and impact of a prognosis on the maintenance process”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, Vol. ۲۲۷ No. ۴, pp. ۴۳۴–۴۴۹.
- Ma, Z. (۲۰۰۸), “Survival analysis approach to reliability, survivability and prognostics and health management (phm)”, presented at the Aerospace Conference, ۲۰۰۸ IEEE, IEEE, pp. ۱–۲۰.

- Marseguerra, M. and Zio, E. (۲۰۰۰), "Optimizing maintenance and repair policies via a combination of genetic algorithms and Monte Carlo simulation", *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. ۶۸ No. ۱, pp. ۶۹-۸۳.
- Martorell, S., Sanchez, A. and Serradell, V. (۱۹۹۹), "Age-dependent reliability model considering effects of maintenance and working conditions", *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. ۶۴ No. ۱, pp. ۱۹-۳۱.
- Mazhar, M., Kara, S. and Kaebernick, H. (۲۰۰۷), "Remaining life estimation of used components in consumer products: Life cycle data analysis by Weibull and artificial neural networks", *Journal of Operations Management*, Vol. ۲۵ No. ۶, pp. ۱۱۸۴-۱۱۹۳.
- Medjaher, K., Tobon-Mejia, D.A. and Zerhouni, N. (۲۰۱۲), "Remaining useful life estimation of critical components with application to bearings", *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. ۶۱ No. ۲, pp. ۲۹۲-۳۰۲.
- Misra, K.B. (۲۰۰۸), "Reliability Engineering: A Perspective", *Handbook of Performability Engineering*, Springer, pp. ۲۵۳-۲۸۹.
- Moniri-Morad, A., Pourgol-Mohammad, M., Aghababaei, H. and Sattarvand, J. (۲۰۱۸), "Reliability-based covariate analysis for complex systems in heterogeneous environment: Case study of mining equipment", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, p. ۱۷۴۸۰۰۶۸۱۸۸۰۷۰۹۱.
- Morrison, D.G. (۱۹۷۸), "On linearly increasing mean residual lifetimes", *Journal of Applied Probability*, Vol. ۱۵ No. ۳, pp. ۶۱۷-۶۲۰.
- Nanda, A.K., Bhattacharjee, S. and Alam, S. (۲۰۰۶), "Properties of proportional mean residual life model", *Statistics & Probability Letters*, Vol. ۷۶ No. ۹, pp. ۸۸۰-۸۹۰.
- Nouri Gharahasanlou, A., Khalokakaie, R., Ataei, M. and Fatorachi, S. (۲۰۱۷), "Availability analysis of mining machinery in Sungun copper mine", *Geotechnical Engineering Journal*, Vol. ۱ No. ۲, pp. ۶۱-۷۲.
- Nouri Gharahasanlou, A., Khalokakaie, R., Khalokakaie, M. and Mokhtarei, A. (۲۰۱۵), "Reliability Analysis of Conveyor Belt System of Crushing Department", *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences-TextRoad Publication*, Vol. ۵, pp. ۳۴۹-۳۵۷.
- Nouri Qarahasanlou, A. (۲۰۱۷), *Production Assurance of Mining Fleet Based on Dependability and Risk Factor(Case Study: Sungun Copper Mine)*, PhD Thesis in Mineral Exploita, Shahrood University of Technology Faculty of Mining, Petroleum & Geophysics, Iran, Shahrood, February.
- Nouri Qarahasanlou, A., Khalokakaie, R., Ataei, M., Mokhberdoran, M., Jafarei, R. and Mokhtarei, A. (۲۰۱۵), "Power Law Model for Reliability Analysis of Crusher System in Khoy Cement Factory", *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences-TextRoad Publication*, Vol. ۵, pp. ۳۴۰-۳۴۸.
- Nouri Qarahasanlou, A., Mokhtarei, A., Khodayarei, A. and Ataei, M. (۲۰۱۴), "Fault tree analysis of failure cause of crushing plant and mixing bed hall at Khoy cement factory in Iran", *Case Studies in Engineering Failure Analysis*, Vol. ۲ No. ۱, pp. ۲۳-۳۸.
- Ntuen, C.A. (۱۹۹۱), "An economic preventive maintenance scheduling model with truncated gamma function", *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. ۳۱ No. ۱, pp. ۳۱-۳۸.

- Nuziale, T., Vagenas, N. and Vagenas, N. (۲۰۱۸), “Reliability assessment of mining equipment using genetic algorithms”, *Mine Planning and Equipment Selection* ۲۰۰۰, ۸ May, available at: <https://doi.org/10.1201/9780429451241-108>.
- Okoh, C., Roy, R., Mehnen, J. and Redding, L. (۲۰۱۴), “Overview of remaining useful life prediction techniques in through-life engineering services”, *Procedia CIRP*, Vol. ۱۶, pp. ۱۵۸–۱۶۳.
- Oppenheimer, C.H. and Loparo, K.A. (۲۰۰۲), “Physically based diagnosis and prognosis of cracked rotor shafts”, presented at the AeroSense ۲۰۰۲, International Society for Optics and Photonics, pp. ۱۲۲–۱۳۲.
- Pérès, F. and Noyes, D. (۲۰۰۳), “Evaluation of a maintenance strategy by the analysis of the rate of repair”, *Quality and Reliability Engineering International*, Vol. ۱۹ No. ۲, pp. ۱۲۹–۱۴۸.
- Pham, H. (۲۰۰۶), *System Software Reliability*, Springer.
- Pham, H. and Wang, H. (۱۹۹۶), “Imperfect maintenance”, *European Journal of Operational Research*, Vol. ۹۴ No. ۳, pp. ۴۲۵–۴۳۸.
- Phuc, D.V., Levrat, E., Voisin, A. and Benoit, I. (۲۰۱۲), “Remaining useful life (RUL) based maintenance decision making for deteriorating systems”, *IFAC Proceedings Volumes*, Vol. ۴۵ No. ۳۱, pp. ۶۶–۷۲.
- Pijnenburg, M. (۱۹۹۱), “Additive hazards models in repairable systems reliability”, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. ۲۱ No. ۳, pp. ۳۶۹–۳۹۰.
- Pollard, J., Heberger, J. and G. Dempsey, P. (۲۰۱۴), “Maintenance and repair injuries in US mining”, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. ۲۰ No. ۱, pp. ۲۰–۳۱.
- Pourjavad, E., Shirouyehzad, H. and Shahin, A. (۲۰۱۳), “Selecting maintenance strategy in mining industry by analytic network process and TOPSIS”, *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, Vol. ۱۵ No. ۲, pp. ۱۷۱–۱۹۲.
- Prasad, P. and Rao, K. (۲۰۰۲), “Reliability models of repairable systems considering the effect of operating conditions”, presented at the Reliability and Maintainability Symposium, ۲۰۰۲. Proceedings. Annual, IEEE, pp. ۵۰۳–۵۱۰.
- Qarahasanlou, A.N., Khalokakaie, R., Ataei, M. and Ghodrati, B. (۲۰۱۷), “Operating Environment-Based Availability Importance Measures for Mining Equipment (Case Study: Sungun Copper Mine)”, *Journal of Failure Analysis and Prevention*, Vol. ۱۷ No. ۱, pp. ۵۶–۶۷.
- Qian, Y., Yan, R. and Gao, R.X. (۲۰۱۷), “A multi-time scale approach to remaining useful life prediction in rolling bearing”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. ۸۳, pp. ۵۴۹–۵۶۷.
- Raftery, A.E. (۱۹۹۵), “Bayesian model selection in social research”, *Sociological Methodology*, Vol. ۲۵, pp. ۱۱۱–۱۶۴.
- Rahadiyan Wijaya, A. (۲۰۱۲), *Methods for Availability Improvements of a Scaling Machine System*, Doctoral Thesis, Luleå University of Technology, Luleå, Sweden.
- Rahimdel, M.J., Ataei, M., Khalokakaie, R. and Hoseinie, S.H. (۲۰۱۳), “Reliability-based maintenance scheduling of hydraulic system of rotary drilling machines”, *International Journal of Mining Science and Technology*, Vol. ۲۳ No. ۵, pp. ۷۷۱–۷۷۵.
- Rahimdel, M.J., Ataei, M., Khalokakaie, R. and Hoseinie, S.H. (۲۰۱۴), “Maintenance Plan for a Fleet of Rotary Drill Rigs/Harmonogram Utrzymania I Konserwacji Floty

- Obrotowych Urządzeń Wiertniczych”, *Archives of Mining Sciences*, Vol. 59 No. 2, pp. 441–453.
- Redtenbacher, F.J. (1802), *Principien der Mechanik und des Maschinenbaues*, Рипол Классик.
- Remenyte-Prescott, R., Andrews, J. and Chung, P. (2010), “An efficient phased mission reliability analysis for autonomous vehicles”, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 95 No. 2, pp. 226–230.
- Rusiński, E., Czmochowski, J., Moczko, P. and Pietrusiak, D. (2017), *Surface Mining Machines: Problems of Maintenance and Modernization*, Springer.
- Sakamoto, Y., Ishiguro, M. and Kitagawa, G. (1986), “Akaike information criterion statistics”, *Dordrecht, The Netherlands: D. Reidel*, Vol. 83, pp. 902–926.
- Samanta, B., Sarkar, B. and Mukherjee, S. (2004), “Reliability modelling and performance analyses of an LHD system in mining”, *South African Institute Mining And Metallurgy*, Vol. 104, pp. 1–8.
- Sankararaman, S. and Goebel, K. (2013), “Uncertainty quantification in remaining useful life of aerospace components using state space models and inverse form”, presented at the Proceedings of the 10th Non-Deterministic Approaches Conference.
- Sarkar, J. and Sarkar, S. (2001), “Availability of a periodically inspected system supported by a spare unit, under perfect repair or perfect upgrade”, *Statistics & Probability Letters*, Vol. 53 No. 2, pp. 207–217.
- Schuh, P., Stern, H. and Tracht, K. (2014), “Integration of expert judgment into remaining useful lifetime prediction of components”, *Procedia CIRP*, Vol. 22, pp. 109–114.
- Schwarz, G. (1978), “Estimating the dimension of a model”, *The Annals of Statistics*, Vol. 6 No. 2, pp. 461–464.
- Shahin, A., Shirouyehzad, H. and Pourjavad, E. (2012), “Optimum maintenance strategy: a case study in the mining industry”, *International Journal of Services and Operations Management*, Vol. 12 No. 3, pp. 368–386.
- Shao, Y. and Nezu, K. (2000), “Prognosis of remaining bearing life using neural networks”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, Vol. 214 No. 3, pp. 217–230.
- Shi, H. and Zeng, J. (2016), “Real-time prediction of remaining useful life and preventive opportunistic maintenance strategy for multi-component systems considering stochastic dependence”, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 93, pp. 192–204.
- Si, X.-S., Wang, W., Chen, M.-Y., Hu, C.-H. and Zhou, D.-H. (2013), “A degradation path-dependent approach for remaining useful life estimation with an exact and closed-form solution”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 226 No. 1, pp. 53–66.
- Si, X.-S., Wang, W., Hu, C.-H. and Zhou, D.-H. (2011), “Remaining useful life estimation—a review on the statistical data driven approaches”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 213 No. 1, pp. 1–14.
- Sikorska, J., Hodkiewicz, M. and Ma, L. (2011), “Prognostic modelling options for remaining useful life estimation by industry”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 25 No. 5, pp. 1803–1826.
- Sinha, R.S. and Mukhopadhyay, A.K. (2010), “Reliability centered maintenance of cone crusher: a case study”, *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, Vol. 6 No. 1, pp. 32–35.

- Skima, H., Medjaher, K., Varnier, C., Dedu, E. and Bourgeois, J. (2016), "A hybrid prognostics approach for MEMS: From real measurements to remaining useful life estimation", *Microelectronics Reliability*, Vol. 60, pp. 79-88.
- Slimacek, V. and Lindqvist, B.H. (2017), "Nonhomogeneous Poisson process with nonparametric frailty and covariates", *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 167, pp. 70-83.
- Stapelberg, R.F. (2009), *Handbook of Reliability, Availability, Maintainability and Safety in Engineering Design*, Springer Science & Business Media.
- Sutrisno, E., Oh, H., Vasan, A.S.S. and Pecht, M. (2012), "Estimation of remaining useful life of ball bearings using data driven methodologies", presented at the Prognostics and Health Management (PHM), 2012 IEEE Conference on, IEEE, pp. 1-7.
- Tang, L., Lu, Y. and Chew, E. (1999), "Mean residual life of lifetime distributions", *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 48 No. 1, pp. 73-78.
- Tian, Z. (2012), "An artificial neural network method for remaining useful life prediction of equipment subject to condition monitoring", *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 23 No. 2, pp. 227-237.
- Tian, Z., Wong, L. and Safaei, N. (2010), "A neural network approach for remaining useful life prediction utilizing both failure and suspension histories", *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 24 No. 5, pp. 1042-1050.
- Topal, E. and Ramazan, S. (2012), "Mining truck scheduling with stochastic maintenance cost", *Journal of Coal Science and Engineering (China)*, Vol. 18 No. 3, pp. 313-319.
- Tran, V.T., Thom Pham, H., Yang, B.-S. and Tien Nguyen, T. (2012), "Machine performance degradation assessment and remaining useful life prediction using proportional hazard model and support vector machine", *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 32, pp. 320-330.
- Tumanggor, A.H.U. (2018), "Reliability value analysis of dump truck 10A unit (case study: South Kalimantan coal mining company)", Vol. 2022, presented at the AIP Conference Proceedings, AIP Publishing, p. 020019.
- Ursenbach, A., Wang, Q., Rao, M., Coward, J. and Lamb, D.K. (1994), "Intelligent maintenance support system for mining truck conditioning monitoring and troubleshooting", *International Journal of Surface Mining and Reclamation*, Vol. 8 No. 2, pp. 73-81.
- Usynin, A.V. (2007), "A generic prognostic framework for remaining useful life prediction of complex engineering systems".
- Vachtsevanos, G.J., Lewis, F., Hess, A. and Wu, B. (2006), *Intelligent Fault Diagnosis and Prognosis for Engineering Systems*, Wiley Online Library.
- Vagenas, N., Kazakidis, V., Scoble, M. and Espley, S. (2003), "Applying a maintenance methodology for excavation reliability", *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, Vol. 17 No. 1, pp. 4-19.
- Vagenas, N., Runciman, N. and Clément, S.R. (1997), "A methodology for maintenance analysis of mining equipment", *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, Vol. 11 No. 1, pp. 33-40.
- Vališ, D., Žák, L. and Pokora, O. (2010), "Contribution to system failure occurrence prediction and to system remaining useful life estimation based on oil field data", *Proceedings of*

- the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, Vol. 229 No. 1, pp. 36–40.
- Vayenas, N. and Wu, X. (2009), “Maintenance and reliability analysis of a fleet of load-haul-dump vehicles in an underground hard rock mine”, *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, Vol. 23 No. 3, pp. 227–238.
- Waghmode, L.Y. and Patil, R.B. (2016), “Reliability analysis and life cycle cost optimization: a case study from Indian industry”, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 33 No. 3, pp. 414–429.
- Wang, L., Zhang, L. and Wang, X. (2010), “Reliability estimation and remaining useful lifetime prediction for bearing based on proportional hazard model”, *Journal of Central South University*, Vol. 22 No. 12, pp. 420–423.
- Wang, W. (2002), “A model to predict the residual life of rolling element bearings given monitored condition information to date”, *IMA Journal of Management Mathematics*, Vol. 13 No. 1, pp. 3–16.
- Wang, W. (2004), “A prognosis model for wear prediction based on oil-based monitoring”, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 55 No. 4, pp. 887–893.
- Wang, W. and Zhang, W. (2008), “An asset residual life prediction model based on expert judgments”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 188 No. 2, pp. 496–500.
- Watson, G. and Wells, W. (1961), “On the possibility of improving the mean useful life of items by eliminating those with short lives”, *Technometrics*, Vol. 3 No. 2, pp. 281–298.
- Wu, Y., Yuan, M., Dong, S., Lin, L. and Liu, Y. (2018), “Remaining useful life estimation of engineered systems using vanilla LSTM neural networks”, *Neurocomputing*, Vol. 290, pp. 167–179.
- Xi, X., Chen, M. and Zhou, D. (2017), “Remaining useful life prediction for degradation processes with memory effects”, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 66 No. 3, pp. 701–710.
- Xie, M., Goh, T.N. and Tang, Y. (2004), “On changing points of mean residual life and failure rate function for some generalized Weibull distributions”, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 85 No. 3, pp. 293–299.
- Xiongzi, C., Jinsong, Y., Diyin, T. and Yingxun, W. (2011), “Remaining useful life prognostic estimation for aircraft subsystems or components: A review”, Vol. 2, presented at the Electronic Measurement & Instruments (ICEMI), 2011 10th International Conference on, IEEE, pp. 94–98.
- Yan, J. and Lee, J. (2007), “A hybrid method for on-line performance assessment and life prediction in drilling operations”, presented at the Automation and Logistics, 2007 IEEE International Conference on, IEEE, pp. 2000–2000.
- You, M.-Y., Li, H. and Meng, G. (2011), “Control-limit preventive maintenance policies for components subject to imperfect preventive maintenance and variable operational conditions”, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 96 No. 5, pp. 590–598.
- Zhao, Z., Bin Liang, Wang, X. and Lu, W. (2017), “Remaining useful life prediction of aircraft engine based on degradation pattern learning”, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 164, pp. 74–83.

- Zhou, Y., Li, X., Ye, X. and Zhai, G. (۲۰۱۲), “A remaining useful life prediction method based on condition monitoring for LED driver”, presented at the Prognostics and System Health Management (PHM), ۲۰۱۲ IEEE Conference on, IEEE, pp. ۱–۵.
- Zio, E. (۲۰۰۷), *An Introduction to the Basics of Reliability and Risk Analysis*, World Scientific Publishing Company.

پیوسته

مشخصات فنی دستگاه و



داده‌های استفاده شده

KOMATSU®

PC1250LC-11 **PC1250-11**

Tier 4 Final Engine

HYDRAULIC EXCAVATOR

PC1250LC / PC1250



Photos may include optional equipment.

NET HORSEPOWER
758 HP @ 1800 rpm
565 kW @ 1800 rpm

OPERATING WEIGHT
259,960–272,600 lb
118,164–123,909 kg

BUCKET CAPACITY
4.4–8.8 yd³
3.4–6.7 m³



HIGH PERFORMANCE AND VERSATILITY

Mass Excavation Performance

The PC1250-11 mass excavation arrangement is designed for larger buckets, provides high digging forces, high production volume and is an ideal match to 50-70 ton class trucks.

Long Undercarriage Versatility

The PC1250LC-11 long undercarriage arrangements reach boom and 3 arm options provides a excellent combination of stability, digging performance, extended reach and depth.

A powerful Komatsu SAA6D170E-7 engine provides a net output of 565 kW **758 HP**. This engine is EPA Tier 4 Final emissions certified.

Variable Geometry Turbocharger (VGT) water cooled and hydraulically controlled to provide optimum airflow under all speed and load conditions.

Tier 4 Final emissions system uses only Diesel Particulate Filters (DPF) to reduce particulate matter and NOx, while providing automatic regeneration that does not interfere with daily operation. No Selective Catalytic Reduction (SCR) system of Diesel Exhaust Fluid (DEF) is required.

Hydraulically driven reversible variable speed fan is temperature controlled to reduce parasitic load on the engine and improve fuel consumption. Reversible fan direction helps cleaning of coolers to reduce maintenance.

Komatsu Auto Idle and Auto Idle Shutdown help reduce nonproductive engine idle time and reduces operating costs.

Rear service aisle and grouped maintenance points conveniently located behind latched access doors provide excellent access to engine and hydraulic compartments.

Grease pump with hose reel provides efficient lubrication of work equipment.

Service technician restraint harness tie off points on the boom and arm help make maintenance service more efficient.

Battery disconnect switch with lock out/tag out allows a technician to disconnect the power supply and prevent machine start up before servicing the machine.

Komatsu's Open-center Load Sensing System (OLSS) balances hydraulic pump pressure and flow for smooth multi-function operation in all digging conditions.

Two working modes; Power + provides up to an 8% increase in productivity, **Lift Mode** provides fine control and boosts hydraulic pressure 10% for handling objects.

Two boom mode settings; Power mode provides maximum digging forces. **Soft mode** reduces boom down force to minimize machine lifting when working on hard surfaces or in hammer applications.

Boom/Swing Priority mode increases boom raise speed in small swing angle applications or increases swing speed in large swing angle applications to reduce cycle times.

Long undercarriage arrangement with reach boom and 3 arm options for general construction provides lower ground pressure, a large stable operating platform and increased digging depth and reach for a wide variety of general construction applications.

Short undercarriage arrangement with mass excavation boom and short arm provides higher digging forces and larger bucket capacity for high volume stripping and mass excavation projects.

Enhanced working environment

- High back, heated air, suspension operator seat with adjustable arm rests
- Auto climate control
- Cab is Operator Protective Guard (OPG) top guard level 1 compliant (ISO12117-2)
- Standard OPG Level 2 cab top guard conforms to ISO 10262 standards
- Aux jack and (2) 12V power outlets
- Low operator sound level
- Large skylight with sliding sunshade

Large LCD color monitor panel:

- 7" high resolution screen
- "Ecology-Guidance" provides operator recommendations for fuel efficient operation
- KomVision camera display integrated into the monitor display for improved operator awareness of the work area.

Operator Identification System records KOMTRAX machine operation and application data for up to 100 individual codes.

KomVision "birds eye" view camera system (Standard) uses four cameras to provide a "birds eye" view of surrounding machine area for improved operator situational awareness.

Handrails (standard) located on the machine upper structure provide a convenient work area on the top right side of the machine.

Large walkway with handrails on left side of machine provides convenient access to the hydraulic pump compartment.

KOMTRAX®

The KOMTRAX® telematics system is standard on Komatsu equipment with no subscription-fees throughout the life of the machine. Using the latest wireless technology, KOMTRAX® transmits valuable information such as location, utilization, and maintenance records to a PC or smartphone app. Custom machine reports are provided for identifying machine efficiency and operating trends. KOMTRAX® also provides advanced machine troubleshooting capabilities by continuously monitoring machine health.

KOMTRAX Plus® Continuously monitors 123 machine operating parameters and records machine health, detailed history and operational data. Detailed operating parameter history aids in diagnostics and repair or replacement decisions.

Komatsu designed and manufactured components

ENGINE

HYDRAULICS

DRIVES AND BRAKES

Steering control.....	Two levers with pedals
Drive method	Fully hydrostatic
Travel motor	Axial piston motor, in-shoe design
Reduction system	Planetary triple reduction
Maximum drawbar pull	686 kN 70000 kgf 154,320 lbf
Gradeability.....	70%, 35°
Maximum travel speed:	
High.....	3.3 km/h/ 2.0 mph
Low.....	2.3 km/h/ 1.5 mph
Service brake.....	Hydraulic lock
Parking brake.....	Oil disc brake

SWING SYSTEM

UNDERCARRIAGE

COOLANT & LUBRICANT CAPACITY (REFILLING)

SOUND PERFORMANCE

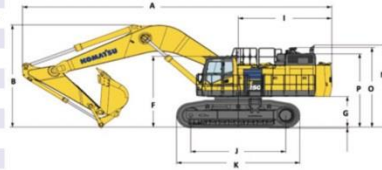
OPERATING WEIGHT (APPROXIMATE)

Triple-Grouser Shoes	PC1250-11		PC1250LC-11 Gauge	
	Operating Weight	Ground Pressure (ISO 16754)	Operating Weight	Ground Pressure (ISO 16754)
700 mm 28"	118164 g 259,960 lb	1.54 kg/cm ² 21.85 psi		
1000 mm 39.4"	120864 g 265,900 lb	1.10 kg/cm ² 15.64 psi	122409 g 269,300 lb	0.95 kg/cm ² 13.45 psi
1200 mm 47.25"			123909 g 272,600 lb	0.80 kg/cm ² 11.35 psi



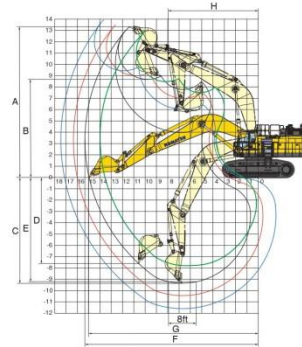
DIMENSIONS

	PC1250LC-11			PC1250-11
Boom Length	9100mm	29'10"		7800mm 25'7"
Arm Length	3400mm 11'2"	4500mm 14'9"	5700mm 18'8"	3400mm 11'2"
A Overall Length	16070mm 52'9"	16100mm 52'10"	15890mm 52'2"	14840mm 48'8"
B Overall Height to top of boom	6040mm 19'10"	6460mm 21'2"	6990mm 22'11"	6265mm 20'7"
C Overall width (walkway installed)	5720mm 18'10"			5570mm 18'3"
D Upper width (L/R walkways walkway removed)	3490mm 11'5"			3490mm 11'5"
E Upper width (R walkway walkway removed)	2260mm 7'5"			2260mm 7'5"
F Overall height to top of cab	4120mm 13'6"			4120mm 13'6"
G Ground clearance, counterweight	1780mm 5'10"			1780mm 5'10"
H Ground clearance, minimum	990mm 3'3"			990mm 3'3"
I Tail swing radius	4860mm 15'11"			4860mm 15'11"
J Track length on ground	5970mm 19'7"			4995mm 16'5"
K Track length	7400mm 24'3"			6425mm 21'1"
L Track gauge	3900mm 12'10"			3900mm 12'10"
M Width over crawler				
28" 700mm shoe	N/A			4600mm 15'1"
39.4" 1000mm shoe	4900mm 16'1"			4900mm 16'1"
47.25" 1200mm shoe	5100mm 16'9"			N/A
N Height to Exhaust Stack	4810mm 15'9"			4810mm 15'9"
O Height to air cleaner	4650mm 15'3"			4650mm 15'3"
P Height to top of engine hood	4300mm 14'1"			4300mm 14'1"
Q Undercarriage width step to step	4965mm 16'4"			4965mm 16'4"



WORKING RANGE

	PC1250-11		PC1250LC-11			
	Boom Length	7.8 m 25'7"	9.1 m 29'10"	9.1 m 29'10"	9.1 m 29'10"	9.1 m 29'10"
	Arm Length	3.4 m 11'2"	4.5 m 14'9"	5.7 m 18'8"	3.4 m 11'2"	3.4 m 11'2"
A	Max. digging height	13000 mm 42'8"	13490 mm 44'3"	13910 mm 45'8"	13400 mm 44'0"	13400 mm 44'0"
B	Max. dumping height	8450 mm 27'9"	9000 mm 29'6"	9440 mm 31'0"	8680 mm 28'6"	8680 mm 28'6"
C	Max. digging depth	7900 mm 25'11"	10440 mm 34'3"	11590 mm 38'0"	9350 mm 30'8"	9350 mm 30'8"
D	Max. vertical wall digging depth	5025 mm 16'6"	8490 mm 27'10"	9480 mm 31'1"	7610 mm 25'0"	7610 mm 25'0"
E	Max. digging depth for 8' level bottom	7745 mm 25'5"	10340 mm 33'11"	11500 mm 37'9"	9220 mm 30'3"	9220 mm 30'3"
F	Max. digging reach	14070 mm 46'2"	16340 mm 53'7"	17450 mm 57'3"	15350 mm 50'4"	15350 mm 50'4"
G	Max. digging reach at ground level	13670 mm 44'10"	16000 mm 52'6"	17130 mm 56'2"	15000 mm 49'3"	15000 mm 49'3"
H	Min. swing radius	6415 mm 21'1"	7990 mm 26'3"	8150 mm 26'9"	7965 mm 26'2"	7965 mm 26'2"
SAE rating	Bucket digging force at power max.	502 kN 51,200 kg / 112,900 lb	422 kN 43,000 kg / 94,900 lb	343 kN 35,000 kg / 77,160 lb	422 kN 43,000 kg / 94,800 lb	422 kN 43,000 kg / 94,800 lb
	Arm crowd force at power max.	395 kN 40,300 kg / 88,860 lb	327 kN 33,300 kg / 73,400 lb	281 kN 28,700 kg / 63,270 lb	392 kN 40,000 kg / 88,180 lb	392 kN 40,000 kg / 88,180 lb
ISO rating	Bucket digging force at power max.	570 kN 58,100 kg / 128,110 lb	479 kN 48,800 kg / 107,590 lb	389 kN 39,700 kg / 87,520 lb	479 kN 48,800 kg / 107,590 lb	479 kN 48,800 kg / 107,590 lb
	Arm crowd force at power max.	412 kN 42,000 kg / 92,590 lb	337 kN 34,400 kg / 75,840 lb	286 kN 29,200 kg / 64,375 lb	412 kN 42,000 kg / 92,590 lb	412 kN 42,000 kg / 92,590 lb



AE5861-00

©2018 Komatsu America Corp.

AD07(Electronic View Only)

07/18 (EV-1)

KOMATSU®

Note: All comparisons and claims of improved performance made herein are made with respect to the prior Komatsu model unless otherwise specifically stated.

www.komatsuamerica.com

KOMATSU®, Komatsu Care®, KOMTRAX® and KOMTRAX Plus® are registered trademarks of Komatsu Ltd. All other trademarks and service marks used herein are the property of Komatsu Ltd., Komatsu America Corp. or their respective owners or licensees.

Komatsu America Corp. is an authorized licensee of Komatsu Ltd. Materials and specifications are subject to change without notice.

ردیف	سال	ماه	روز	کارکرد شیفت اول	کارکرد شیفت دوم	کارکرد شیفت سوم	موقعیت M-S-N	جنس سنگ	مجموع ساعت کارکرد	تراک ۳۰ تنی (مترمکعب)	تراک ۱۰۰ تنی (مترمکعب)
۱	۹۶	۱۱	۱	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	۵۷۶	۰
۲	۹۶	۱۱	۱		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۰۲۴
۳	۹۶	۱۱	۱			۳:۰۰	M	مونزونیت	۳:۰۰:۰۰	۲۷۶	۰
۴	۹۶	۱۱	۱			۳:۳۰	M	مونزونیت	۳:۳۰:۰۰	۱۵۶	۲۸۸
۵	۹۶	۱۱	۲	۱:۳۰			N	اور	۱:۳۰:۰۰	۱۴۴	۰
۶	۹۶	۱۱	۲	۵:۰۰			N	مونزونیت	۵:۰۰:۰۰	۲۷۶	۳۵۲
۷	۹۶	۱۱	۲		۵:۰۰		M	مونزونیت	۵:۰۰:۰۰	۰	۱۶۶۴
۸	۹۶	۱۱	۲		۳:۳۰		M	اور	۳:۳۰:۰۰	۰	۴۸۰
۹	۹۶	۱۱	۲			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۹۲۸
۱۰	۹۶	۱۱	۳	۵:۳۰			N	اور	۵:۳۰:۰۰	۰	۸۹۶
۱۱	۹۶	۱۱	۳	۱:۰۰			N	مونزونیت	۱:۰۰:۰۰	۰	۹۶
۱۲	۹۶	۱۱	۳		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۳۷۶
۱۳	۹۶	۱۱	۳			۶:۳۰	M	سولفور	۶:۳۰:۰۰	۱۰۹۲	۰
۱۴	۹۶	۱۱	۴	۵:۳۰			N	سولفور	۵:۳۰:۰۰	۶۱۲	۰
۱۵	۹۶	۱۱	۴	۱:۰۰			N	مونزونیت	۱:۰۰:۰۰	۱۳۲	۰
۱۶	۹۶	۱۱	۴		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۵۸۸	۰
۱۷	۹۶	۱۱	۴			۶:۳۰	M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۵۷۶	۰
۱۸	۹۶	۱۱	۵	۶:۳۰			M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۵۲۸	۰
۱۹	۹۶	۱۱	۵		۸:۳۰		S	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	۰	۸۶۴
۲۰	۹۶	۱۱	۵			۶:۳۰	M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۳۹۶	۰
۲۱	۹۶	۱۱	۶	۶:۳۰			M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۳۳۶	۷۰۴
۲۲	۹۶	۱۱	۶		۸:۳۰		M	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	۶۶۰	۰
۲۳	۹۶	۱۱	۶			۶:۳۰	M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۶۱۲	۰
۲۴	۹۶	۱۱	۷	۶:۳۰			M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۹۶	۸۰۰
۲۵	۹۶	۱۱	۷		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۰	۹۶۰
۲۶	۹۶	۱۱	۸	۵:۰۰			M	مونزونیت	۵:۰۰:۰۰	۶۹۶	۰
۲۷	۹۶	۱۱	۸		۸:۳۰		M	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	۶۸۴	۰
۲۸	۹۶	۱۱	۸			۶:۳۰	M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۴۰۸	۶۰۸
۲۹	۹۶	۱۱	۹	۶:۳۰			M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۹۳۶	۰
۳۰	۹۶	۱۱	۹		۸:۳۰		M	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	۹۸۴	۰

۳۱	۹۶	۱۱	۹			۶:۳۰	N	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۳۱۲
۳۲	۹۶	۱۱	۱۰	۶:۳۰			M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۳۰۰	۶۷۲
۳۳	۹۶	۱۱	۱۰		۸:۳۰		M	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	۹۱۲	۰
۳۴	۹۶	۱۱	۱۰			۶:۳۰	M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۱۹۲	۶۴۰
۳۵	۹۶	۱۱	۱۱	۱:۰۰			M	مونزونیت	۱:۰۰:۰۰	۰	۹۶
۳۶	۹۶	۱۱	۱۱	۵:۳۰			M	اور	۵:۳۰:۰۰	۷۸۰	۰
۳۷	۹۶	۱۱	۱۱		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۱۵۲
۳۸	۹۶	۱۱	۱۱			۳:۰۰	M	اور	۳:۰۰:۰۰	۰	۵۴۴
۳۹	۹۶	۱۱	۱۲	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۸۹۶
۴۰	۹۶	۱۱	۱۲		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۲۴۸
۴۱	۹۶	۱۱	۱۲			۳:۰۰	M	اور	۳:۰۰:۰۰	۰	۴۴۸
۴۲	۹۶	۱۱	۱۳	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۰۵۶
۴۳	۹۶	۱۱	۱۳		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۶۹۶
۴۴	۹۶	۱۱	۱۳			۳:۰۰	S	اور	۳:۰۰:۰۰	۰	۴۴۸
۴۵	۹۶	۱۱	۱۴	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۲۴۸
۴۶	۹۶	۱۱	۱۴		۵:۳۰		M	اور	۵:۳۰:۰۰	۰	۸۶۴
۴۷	۹۶	۱۱	۱۴			۳:۰۰	M	مونزونیت	۳:۰۰:۰۰	۰	۵۱۲
۴۸	۹۶	۱۱	۱۴			۶:۳۰	M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۲۴۸
۴۹	۹۶	۱۱	۱۵	۶:۳۰			M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۱۰۸	۱۱۵۲
۵۰	۹۶	۱۱	۱۵		۸:۳۰		M	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	۰	۲۰۴۸
۵۱	۹۶	۱۱	۱۵			۶:۳۰	M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۰	۸۹۶
۵۲	۹۶	۱۱	۱۶	۶:۳۰			M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۳۶۰	۹۶۰
۵۳	۹۶	۱۱	۱۶		۸:۳۰		M	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۵۳۶
۵۴	۹۶	۱۱	۱۶			۶:۳۰	M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۲۴۸
۵۵	۹۶	۱۱	۱۷	۱:۳۰			M	مونزونیت	۱:۳۰:۰۰	۱۹۲	۳۲۰
۵۶	۹۶	۱۱	۱۷	۵:۰۰			M	مونزونیت	۵:۰۰:۰۰	۳۷۲	۵۱۲
۵۷	۹۶	۱۱	۱۷		۸:۳۰		M	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	۱۶۸	۱۵۳۶
۵۸	۹۶	۱۱	۱۷			۶:۳۰	M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۲۰۴	۸۹۶
۵۹	۹۶	۱۱	۱۸	۳:۰۰			M	مونزونیت	۳:۰۰:۰۰	۲۶۴	۴۱۶
۶۰	۹۶	۱۱	۱۸	۳:۳۰			M	سولفور	۳:۳۰:۰۰	۳۷۲	۵۷۶
۶۱	۹۶	۱۱	۱۸		۸:۳۰		M	سولفور	۸:۳۰:۰۰	۰	۲۴۳۲
۶۲	۹۶	۱۱	۱۸			۶:۳۰	M	سولفور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۸۵۶
۶۳	۹۶	۱۱	۱۹	۶:۳۰			N	اسکارن	۶:۳۰:۰۰	۴۹۲	۱۸۸۸

۶۴	۹۶	۱۱	۱۹		۸:۳۰		N	اسکارن	۸:۳۰:۰۰	۳۴۸	۱۴۷۲
۶۵	۹۶	۱۱	۱۹			۵:۰۰	N	اسکارن	۵:۰۰:۰۰	.	۶۴۰
۶۶	۹۶	۱۱	۲۰		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۶۸۴	.
۶۷	۹۶	۱۱	۲۰			۳:۰۰	M	اور	۳:۰۰:۰۰	۲۸۸	.
۶۸	۹۶	۱۱	۲۰			۳:۳۰	M	سولفور	۳:۳۰:۰۰	۳۰۰	.
۶۹	۹۶	۱۱	۲۱	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	۶۷۲	.
۷۰	۹۶	۱۱	۲۱		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	.	۱۳۱۲
۷۱	۹۶	۱۱	۲۱			۲:۰۰	M	اور	۲:۰۰:۰۰	.	۴۸۰
۷۲	۹۶	۱۱	۲۲	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	.	۱۳۷۶
۷۳	۹۶	۱۱	۲۲		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	.	۱۲۴۸
۷۴	۹۶	۱۱	۲۲			۳:۰۰	S	مونزونیت	۳:۰۰:۰۰	.	۵۱۲
۷۵	۹۶	۱۱	۲۲			۳:۳۰	M	مونزونیت	۳:۳۰:۰۰	.	۹۲۸
۷۶	۹۶	۱۱	۲۳	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	.	۸۳۲
۷۷	۹۶	۱۱	۲۳		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	.	۱۱۵۲
۷۸	۹۶	۱۱	۲۳			۲:۳۰	M	اور	۲:۳۰:۰۰	.	۳۵۲
۷۹	۹۶	۱۱	۲۳			۴:۰۰	M	مونزونیت	۴:۰۰:۰۰	۴۳۲	۳۸۴
۸۰	۹۶	۱۱	۲۴	۶:۳۰			M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	.	۸۰۰
۸۱	۹۶	۱۱	۲۴		۸:۳۰		M	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	.	۱۷۹۲
۸۲	۹۶	۱۱	۲۴			۶:۳۰	M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۱۲۰
۸۳	۹۶	۱۱	۲۵	۶:۳۰			S	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۳۴۴
۸۴	۹۶	۱۱	۲۵		۸:۳۰		M	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	.	۱۵۶۸
۸۵	۹۶	۱۱	۲۵			۶:۳۰	M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۷۶۰
۸۶	۹۶	۱۱	۲۶	۶:۳۰			M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۳۴۴
۸۷	۹۶	۱۱	۲۶		۸:۳۰		M	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	.	۲۴۶۴
۸۸	۹۶	۱۱	۲۶			۶:۳۰	M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۵۰۴
۸۹	۹۶	۱۱	۲۷	۶:۳۰			M	سولفور	۶:۳۰:۰۰	.	۱۸۸۸
۹۰	۹۶	۱۱	۲۷		۸:۳۰		M	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	.	۲۲۰۸
۹۱	۹۶	۱۱	۲۷			۵:۰۰	M	مونزونیت	۵:۰۰:۰۰	.	۱۴۰۸
۹۲	۹۶	۱۱	۲۷			۱:۳۰	M	سولفور	۱:۳۰:۰۰	.	۳۲۰
۹۳	۹۶	۱۱	۲۸	۵:۳۰			M	سولفور	۵:۳۰:۰۰	.	۱۶۶۴
۹۴	۹۶	۱۱	۲۸	۱:۰۰			M	مونزونیت	۱:۰۰:۰۰	.	۱۶۰
۹۵	۹۶	۱۱	۲۸		۳:۰۰		M	اور	۳:۰۰:۰۰	۳۳۶	.
۹۶	۹۶	۱۱	۲۸		۵:۳۰		M	مونزونیت	۵:۳۰:۰۰	.	۱۲۴۸

۹۷	۹۶	۱۱	۲۸			۳:۰۰	M	اور	۳:۰۰:۰۰	۳۳۶	.
۹۸	۹۶	۱۱	۲۹	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	۸۴۰	.
۹۹	۹۶	۱۱	۲۹		۵:۰۰		M	اور	۵:۰۰:۰۰	.	۱۱۲۰
۱۰۰	۹۶	۱۱	۲۹			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	.	۸۹۶
۱۰۱	۹۶	۱۱	۳۰	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	.	۱۶۰۰
۱۰۲	۹۶	۱۱	۳۰		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	.	۱۸۸۸
۱۰۳	۹۶	۱۱	۳۰			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۳۷۶
۱۰۴	۹۶	۱۲	۱	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	.	۱۱۸۴
۱۰۵	۹۶	۱۲	۱		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	.	۲۱۷۶
۱۰۶	۹۶	۱۲	۱			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	.	۱۶۶۴
۱۰۷	۹۶	۱۲	۲	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	.	۱۷۶۰
۱۰۸	۹۶	۱۲	۲		۸:۳۰		M	سولفور	۸:۳۰:۰۰	.	۲۳۰۴
۱۰۹	۹۶	۱۲	۲			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۰۸۰
۱۱۰	۹۶	۱۲	۳	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۲۴۰
۱۱۱	۹۶	۱۲	۳		۸:۳۰		M	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۲۸۸۰
۱۱۲	۹۶	۱۲	۳			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۶۳۲
۱۱۳	۹۶	۱۲	۴	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۸۲۴
۱۱۴	۹۶	۱۲	۴		۸:۳۰		M	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۱۹۵۲
۱۱۵	۹۶	۱۲	۴			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۰۱۶
۱۱۶	۹۶	۱۲	۵	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۷۹۲
۱۱۷	۹۶	۱۲	۵		۸:۳۰		M	سولفور	۸:۳۰:۰۰	.	۱۹۸۴
۱۱۸	۹۶	۱۲	۵			۶:۳۰	M	سولفور	۶:۳۰:۰۰	.	۱۴۰۸
۱۱۹	۹۶	۱۲	۶	۶:۳۰			M	سولفور	۶:۳۰:۰۰	.	۱۸۵۶
۱۲۰	۹۶	۱۲	۶		۸:۳۰		M	سولفور	۸:۳۰:۰۰	۶۰	۱۶۹۶
۱۲۱	۹۶	۱۲	۶			۱:۳۰	M	سولفور	۱:۳۰:۰۰	.	۴۴۸
۱۲۲	۹۶	۱۲	۶			۴:۳۰	M	مونزونیٹ	۴:۳۰:۰۰	.	۱۴۰۸
۱۲۳	۹۶	۱۲	۷	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۸۴	۱۷۹۲
۱۲۴	۹۶	۱۲	۷		۸:۳۰		M	سولفور	۸:۳۰:۰۰	۲۶۴	۱۷۶۰
۱۲۵	۹۶	۱۲	۷			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۰۸۰
۱۲۶	۹۶	۱۲	۸	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۵۰۴
۱۲۷	۹۶	۱۲	۸		۸:۳۰		M	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۱۸۲۴
۱۲۸	۹۶	۱۲	۸			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۰۴۸
۱۲۹	۹۶	۱۲	۹	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۰۴۸

۱۳۰	۹۶	۱۲	۹		۳:۰۰		M	مونزونیت	۳:۰۰:۰۰	۱۴۴	۰
۱۳۱	۹۶	۱۲	۹		۵:۳۰		M	اور	۵:۳۰:۰۰	۰	۱۰۵۶
۱۳۲	۹۶	۱۲	۹			۴:۰۰	M	اور	۴:۰۰:۰۰	۰	۱۰۲۴
۱۳۳	۹۶	۱۲	۹			۲:۳۰	M	اور	۲:۳۰:۰۰	۰	۴۸۰
۱۳۴	۹۶	۱۲	۱۰		۳:۰۰		M	مونزونیت	۳:۰۰:۰۰	۳۳۶	۰
۱۳۵	۹۶	۱۲	۱۲			۶:۳۰	S	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۵۶۸
۱۳۶	۹۶	۱۲	۱۳	۶:۳۰			M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۰	۲۳۶۸
۱۳۷	۹۶	۱۲	۱۳		۸:۳۰		M	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	۰	۲۵۲۸
۱۳۸	۹۶	۱۲	۱۳			۱:۰۰	M	مونزونیت	۱:۰۰:۰۰	۰	۴۴۸
۱۳۹	۹۶	۱۲	۱۳			۵:۳۰	M	مونزونیت	۵:۳۰:۰۰	۰	۱۲۸۰
۱۴۰	۹۶	۱۲	۱۴	۴:۳۰			M	مونزونیت	۴:۳۰:۰۰	۰	۱۲۸۰
۱۴۱	۹۶	۱۲	۱۵		۴:۰۰		M	اور	۴:۰۰:۰۰	۳۷۲	۰
۱۴۲	۹۶	۱۲	۱۵			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	۵۶۴	۰
۱۴۳	۹۶	۱۲	۱۶	۱:۰۰			M	اور	۱:۰۰:۰۰	۹۶	۰
۱۴۴	۹۶	۱۲	۱۶	۵:۳۰			M	اور	۵:۳۰:۰۰	۰	۱۰۵۶
۱۴۵	۹۶	۱۲	۱۶		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۰	۲۲۰۸
۱۴۶	۹۶	۱۲	۱۶			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۴۴۰
۱۴۷	۹۶	۱۲	۱۷	۵:۰۰			M	اور	۵:۰۰:۰۰	۰	۱۴۴۰
۱۴۸	۹۶	۱۲	۱۷		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۷۲۸
۱۴۹	۹۶	۱۲	۱۷			۵:۳۰	M	مونزونیت	۵:۳۰:۰۰	۷۰۸	۰
۱۵۰	۹۶	۱۲	۱۸	۲:۳۰			M	اور	۲:۳۰:۰۰	۷۲	۳۵۲
۱۵۱	۹۶	۱۲	۱۸			۴:۰۰	M	اور	۴:۰۰:۰۰	۰	۹۶۰
۱۵۲	۹۶	۱۲	۱۹	۵:۰۰			M	اور	۵:۰۰:۰۰	۰	۱۰۸۸
۱۵۳	۹۶	۱۲	۱۹		۲:۰۰		M	مونزونیت	۲:۰۰:۰۰	۰	۶۷۲
۱۵۴	۹۶	۱۲	۱۹		۴:۳۰		M	اور	۴:۳۰:۰۰	۰	۸۳۲
۱۵۵	۹۶	۱۲	۱۹			۶:۳۰	S	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۰	۲۴۳۲
۱۵۶	۹۶	۱۲	۲۰	۶:۳۰			N	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۰	۲۰۱۶
۱۵۷	۹۶	۱۲	۲۰		۸:۳۰		N	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	۰	۲۷۲۰
۱۵۸	۹۶	۱۲	۲۰			۶:۳۰	M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۰	۲۲۴۰
۱۵۹	۹۶	۱۲	۲۱	۶:۳۰			M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۶۹۶
۱۶۰	۹۶	۱۲	۲۱		۸:۳۰		N	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	۰	۲۴۹۶
۱۶۱	۹۶	۱۲	۲۱			۴:۰۰	M	سولفور	۴:۰۰:۰۰	۰	۱۱۸۴
۱۶۲	۹۶	۱۲	۲۱			۲:۳۰	M	مونزونیت	۲:۳۰:۰۰	۰	۶۴۰

۱۶۳	۹۶	۱۲	۲۲	۵:۳۰			N	مونزونیٹ	۵:۳۰:۰۰	.	۱۴۴۰
۱۶۴	۹۶	۱۲	۲۲	۱:۰۰			N	سولفور	۱:۰۰:۰۰	.	۱۹۲
۱۶۵	۹۶	۱۲	۲۲		۳:۰۰		M	سولفور	۳:۰۰:۰۰	.	۴۴۸
۱۶۶	۹۶	۱۲	۲۲		۵:۳۰		M	اور	۵:۳۰:۰۰	.	۱۲۴۸
۱۶۷	۹۶	۱۲	۲۲			۱:۳۰	M	اور	۱:۳۰:۰۰	.	۴۴۸
۱۶۸	۹۶	۱۲	۲۲			۳:۰۰	M	سولفور	۳:۰۰:۰۰	.	۱۱۵۲
۱۶۹	۹۶	۱۲	۲۳	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۷۶۰
۱۷۰	۹۶	۱۲	۲۳		۳:۰۰		M	سولفور	۳:۰۰:۰۰	۲۶۴	.
۱۷۱	۹۶	۱۲	۲۳		۵:۳۰		M	اور	۵:۳۰:۰۰	.	۱۱۵۲
۱۷۲	۹۶	۱۲	۲۳			۳:۳۰	M	اور	۳:۳۰:۰۰	.	۸۶۴
۱۷۳	۹۶	۱۲	۲۳			۳:۰۰	M	مونزونیٹ	۳:۰۰:۰۰	.	۳۸۴
۱۷۴	۹۶	۱۲	۲۴	۳:۰۰			M	اور	۳:۰۰:۰۰	.	۸۳۲
۱۷۵	۹۶	۱۲	۲۴	۳:۳۰			S	مونزونیٹ	۳:۳۰:۰۰	۵۶۴	.
۱۷۶	۹۶	۱۲	۲۴		۸:۳۰		S	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۲۳۶۸
۱۷۷	۹۶	۱۲	۲۴			۶:۳۰	S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۵۶۰
۱۷۸	۹۶	۱۲	۲۵	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۰۸۰
۱۷۹	۹۶	۱۲	۲۵		۸:۳۰		N	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۲۸۸۰
۱۸۰	۹۶	۱۲	۲۵			۴:۰۰	M	مونزونیٹ	۴:۰۰:۰۰	۵۱۶	.
۱۸۱	۹۶	۱۲	۲۶	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۲۸۸	۴۸۰
۱۸۲	۹۶	۱۲	۲۶		۸:۳۰		M	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	۸۴۰	.
۱۸۳	۹۶	۱۲	۲۶			۵:۰۰	S	مونزونیٹ	۵:۰۰:۰۰	.	۵۱۲
۱۸۴	۹۶	۱۲	۲۷	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۰۲۴
۱۸۵	۹۶	۱۲	۲۷		۳:۰۰		M	مونزونیٹ	۳:۰۰:۰۰	.	۵۱۲
۱۸۶	۹۶	۱۲	۲۷		۵:۳۰		M	اور	۵:۳۰:۰۰	.	۹۶۰
۱۸۷	۹۶	۱۲	۲۷			۲:۰۰	N	اور	۲:۰۰:۰۰	.	۴۱۶
۱۸۸	۹۶	۱۲	۲۷			۴:۳۰	N	مونزونیٹ	۴:۳۰:۰۰	.	۹۲۸
۱۸۹	۹۶	۱۲	۲۸	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	.	۱۳۴۴
۱۹۰	۹۶	۱۲	۲۸		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	.	۱۴۴۰
۱۹۱	۹۶	۱۲	۲۸			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	.	۱۳۷۶
۱۹۲	۹۶	۱۲	۲۹	۴:۰۰			M	اور	۴:۰۰:۰۰	.	۷۳۶
۱۹۳	۹۶	۱۲	۲۹	۲:۳۰			M	مونزونیٹ	۲:۳۰:۰۰	.	۳۲۰
۱۹۴	۹۷	۱	۲	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۶۰۰
۱۹۵	۹۷	۱	۲		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	.	۱۵۰۴

۱۹۶	۹۷	۱	۲			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۱۲۰
۱۹۷	۹۷	۱	۳	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۳۴۴
۱۹۸	۹۷	۱	۳		۸:۳۰		N	اور	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۷۶۰
۱۹۹	۹۷	۱	۳			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۱۸۴
۲۰۰	۹۷	۱	۴	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۵۰۴
۲۰۱	۹۷	۱	۴		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۹۲۰
۲۰۲	۹۷	۱	۴			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۲۴۸
۲۰۳	۹۷	۱	۵	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۰۵۶
۲۰۴	۹۷	۱	۵		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۲۸۰
۲۰۵	۹۷	۱	۵			۶:۳۰	M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۱۲۰
۲۰۶	۹۷	۱	۶	۴:۰۰			M	مونزونیت	۴:۰۰:۰۰	۲۸۸	۸۶۴
۲۰۷	۹۷	۱	۶		۸:۳۰		M	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	۰	۲۴۳۲
۲۰۸	۹۷	۱	۶			۲:۰۰	M	مونزونیت	۲:۰۰:۰۰	۰	۵۷۶
۲۰۹	۹۷	۱	۶			۴:۳۰	M	مونزونیت	۴:۳۰:۰۰	۰	۵۱۲
۲۱۰	۹۷	۱	۷	۶:۳۰			M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۴۹۲	۱۰۵۶
۲۱۱	۹۷	۱	۷		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۹۲۰
۲۱۲	۹۷	۱	۷			۲:۰۰	M	اور	۲:۰۰:۰۰	۰	۵۱۲
۲۱۳	۹۷	۱	۷			۲:۳۰	M	مونزونیت	۲:۳۰:۰۰	۲۴۰	۰
۲۱۴	۹۷	۱	۸	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	۷۲	۱۶۳۲
۲۱۵	۹۷	۱	۸		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۰	۲۳۰۴
۲۱۶	۹۷	۱	۸			۳:۰۰	M	اور	۳:۰۰:۰۰	۰	۱۰۲۴
۲۱۷	۹۷	۱	۹	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	۱۲۰	۱۵۰۴
۲۱۸	۹۷	۱	۹		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۰۲۴
۲۱۹	۹۷	۱	۹			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	۵۴۰	۰
۲۲۰	۹۷	۱	۱۰	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	۵۱۶	۰
۲۲۱	۹۷	۱	۱۰		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۳۰۰	۱۶۰۰
۲۲۲	۹۷	۱	۱۰			۲:۰۰	M	اور	۲:۰۰:۰۰	۰	۵۱۲
۲۲۳	۹۷	۱	۱۰			۴:۳۰	M	مونزونیت	۴:۳۰:۰۰	۰	۱۳۷۶
۲۲۴	۹۷	۱	۱۱	۲:۳۰			M	اور	۲:۳۰:۰۰	۰	۵۴۴
۲۲۵	۹۷	۱	۱۱	۴:۰۰			M	مونزونیت	۴:۰۰:۰۰	۹۶	۹۲۸
۲۲۶	۹۷	۱	۱۱		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۰	۲۲۴۰
۲۲۷	۹۷	۱	۱۱			۵:۰۰	M	مونزونیت	۵:۰۰:۰۰	۲۱۶	۵۱۲
۲۲۸	۹۷	۱	۱۱			۱:۳۰	M	اور	۱:۳۰:۰۰	۰	۸۳۲

۲۲۹	۹۷	۱	۱۲	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۳۷۶
۲۳۰	۹۷	۱	۱۲		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۷۲۸
۲۳۱	۹۷	۱	۱۲			۲:۳۰	M	اور	۲:۳۰:۰۰	۰	۳۸۴
۲۳۲	۹۷	۱	۱۳	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۲۸۰
۲۳۳	۹۷	۱	۱۳		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۹۲۰
۲۳۴	۹۷	۱	۱۳			۳:۰۰	M	اور	۳:۰۰:۰۰	۰	۷۰۴
۲۳۵	۹۷	۱	۱۴	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۲۸۰
۲۳۶	۹۷	۱	۱۴		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۷۲۸
۲۳۷	۹۷	۱	۱۴			۲:۰۰	M	مونزونیت	۲:۰۰:۰۰	۰	۷۰۴
۲۳۸	۹۷	۱	۱۴			۰:۳۰	M	اور	۰:۳۰:۰۰	۰	۶۴
۲۳۹	۹۷	۱	۱۵	۱:۰۰			M	اور	۱:۰۰:۰۰	۰	۲۲۴
۲۴۰	۹۷	۱	۱۵	۵:۳۰			M	مونزونیت	۵:۳۰:۰۰	۰	۱۶۶۴
۲۴۱	۹۷	۱	۱۵		۸:۳۰		M	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	۰	۲۷۸۴
۲۴۲	۹۷	۱	۱۵			۶:۳۰	M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۰	۲۳۶۸
۲۴۳	۹۷	۱	۱۶	۶:۳۰			M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۶۰	۲۵۶۰
۲۴۴	۹۷	۱	۱۶		۸:۳۰		M	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۳۴۴
۲۴۵	۹۷	۱	۱۶			۲:۳۰	M	مونزونیت	۲:۳۰:۰۰	۰	۳۵۲
۲۴۶	۹۷	۱	۱۷	۵:۰۰			M	مونزونیت	۵:۰۰:۰۰	۵۴۰	۵۱۲
۲۴۷	۹۷	۱	۱۷		۵:۰۰		M	مونزونیت	۵:۰۰:۰۰	۷۲۰	۰
۲۴۸	۹۷	۱	۱۷			۶:۳۰	S	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۲۶۴	۷۳۶
۲۴۹	۹۷	۱	۱۸	۶:۳۰			S	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۳۳۶	۱۲۴۸
۲۵۰	۹۷	۱	۱۸		۸:۳۰		S	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	۳۳۶	۱۳۷۶
۲۵۱	۹۷	۱	۱۸			۶:۳۰	S	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۳۶۰	۱۴۰۸
۲۵۲	۹۷	۱	۱۹	۶:۳۰			S	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۳۱۲	۱۲۴۸
۲۵۳	۹۷	۱	۱۹		۸:۳۰		M	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	۱۰۸	۱۳۷۶
۲۵۴	۹۷	۱	۱۹			۶:۳۰	M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۱۲۰	۱۸۲۴
۲۵۵	۹۷	۱	۲۰	۱:۳۰			M	مونزونیت	۱:۳۰:۰۰	۱۸۰	۴۸۰
۲۵۶	۹۷	۱	۲۰		۸:۳۰		S	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۵۰۴
۲۵۷	۹۷	۱	۲۰			۶:۳۰	M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۵۰۴
۲۵۸	۹۷	۱	۲۱	۶:۳۰			S	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۴۲۰	۱۰۵۶
۲۵۹	۹۷	۱	۲۱		۸:۳۰		S	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	۰	۲۶۲۴
۲۶۰	۹۷	۱	۲۱			۶:۳۰	S	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۴۰۸
۲۶۱	۹۷	۱	۲۲	۶:۳۰			M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۶۱۲	۸۳۲

۲۶۲	۹۷	۱	۲۲		۸:۳۰		M	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۲۶۸۸
۲۶۳	۹۷	۱	۲۲			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۴۷۲
۲۶۴	۹۷	۱	۲۳	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۶۹۶	۱۲۱۶
۲۶۵	۹۷	۱	۲۳		۸:۳۰		N	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۲۲۷۲
۲۶۶	۹۷	۱	۲۳			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۴۷۲
۲۶۷	۹۷	۱	۲۴	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۹۵۲
۲۶۸	۹۷	۱	۲۴		۸:۳۰		M	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۳۰۷۲
۲۶۹	۹۷	۱	۲۴			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۴۰۸
۲۷۰	۹۷	۱	۲۵	۶:۳۰			N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۳۶۸
۲۷۱	۹۷	۱	۲۵		۸:۳۰		M	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۱۹۵۲
۲۷۲	۹۷	۱	۲۵			۳:۰۰	N	مونزونیٹ	۳:۰۰:۰۰	۳۸۴	.
۲۷۳	۹۷	۱	۲۵			۳:۳۰	N	مونزونیٹ	۳:۳۰:۰۰	.	۱۰۸۸
۲۷۴	۹۷	۱	۲۶	۶:۳۰			N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۹۳۶	.
۲۷۵	۹۷	۱	۲۶		۸:۳۰		M	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	۱۳۹۲	۱۶۰
۲۷۶	۹۷	۱	۲۶			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۸۳۲
۲۷۷	۹۷	۱	۲۷	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۵۲۸
۲۷۸	۹۷	۱	۲۷		۸:۳۰		M	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۱۵۳۶
۲۷۹	۹۷	۱	۲۷			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۰۴۸
۲۸۰	۹۷	۱	۲۸	۶:۳۰			N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۳۰۴
۲۸۱	۹۷	۱	۲۸		۵:۰۰		M	مونزونیٹ	۵:۰۰:۰۰	.	۸۳۲
۲۸۲	۹۷	۱	۲۸		۳:۳۰		M	مونزونیٹ	۳:۳۰:۰۰	.	۸۰۰
۲۸۳	۹۷	۱	۲۸			۶:۳۰	N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۵۳۶
۲۸۴	۹۷	۱	۲۹	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۴۰۸
۲۸۵	۹۷	۱	۲۹		۶:۳۰		M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۲۸۸	۱۱۲۰
۲۸۶	۹۷	۱	۲۹		۲:۰۰		M	سولفور	۲:۰۰:۰۰	۹۶	۲۵۶
۲۸۷	۹۷	۱	۲۹			۲:۰۰	M	مونزونیٹ	۲:۰۰:۰۰	.	۳۲۰
۲۸۸	۹۷	۱	۲۹			۴:۳۰	M	مونزونیٹ	۴:۳۰:۰۰	۳۳۶	.
۲۸۹	۹۷	۱	۳۰	۶:۳۰			M	سولفور	۶:۳۰:۰۰	۵۵۲	۹۹۲
۲۹۰	۹۷	۱	۳۰		۴:۳۰		M	سولفور	۴:۳۰:۰۰	۳۸۴	۴۸۰
۲۹۱	۹۷	۱	۳۰		۴:۰۰		N	مونزونیٹ	۴:۰۰:۰۰	۳۹۶	۹۲۸
۲۹۲	۹۷	۱	۳۰			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۲۷۶	۱۹۲۰
۲۹۳	۹۷	۱	۳۱	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۳۳۶
۲۹۴	۹۷	۱	۳۱		۴:۰۰		M	سولفور	۴:۰۰:۰۰	۴۳۲	۶۴۰

۲۹۵	۹۷	۱	۳۱		۴:۳۰		M	مونزوئیت	۴:۳۰:۰۰	۳۱۲	۱۱۵۲
۲۹۶	۹۷	۱	۳۱			۵:۳۰	M	مونزوئیت	۵:۳۰:۰۰	۱۰۸	۵۴۴
۲۹۷	۹۷	۲	۲	۶:۳۰			M	مونزوئیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۲۸۰
۲۹۸	۹۷	۲	۲		۸:۳۰		S	مونزوئیت	۸:۳۰:۰۰	.	۱۷۹۲
۲۹۹	۹۷	۲	۲			۶:۳۰	S	مونزوئیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۷۲۸
۳۰۰	۹۷	۲	۳	۶:۳۰			M	مونزوئیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۶۳۲
۳۰۱	۹۷	۲	۳		۸:۳۰		M	مونزوئیت	۸:۳۰:۰۰	.	۲۵۲۸
۳۰۲	۹۷	۲	۳			۶:۳۰	M	مونزوئیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۸۲۴
۳۰۳	۹۷	۲	۴	۵:۰۰			M	مونزوئیت	۵:۰۰:۰۰	.	۱۴۴۰
۳۰۴	۹۷	۲	۴		۸:۳۰		N	مونزوئیت	۸:۳۰:۰۰	.	۳۱۳۶
۳۰۵	۹۷	۲	۴			۶:۳۰	S	مونزوئیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۴۴۰
۳۰۶	۹۷	۲	۵	۱:۳۰			M	مونزوئیت	۱:۳۰:۰۰	.	۳۲۰
۳۰۷	۹۷	۲	۵	۵:۰۰			M	مونزوئیت	۵:۰۰:۰۰	.	۱۵۶۸
۳۰۸	۹۷	۲	۵		۴:۳۰		M	مونزوئیت	۴:۳۰:۰۰	۱۸۰	۸۰۰
۳۰۹	۹۷	۲	۵		۴:۰۰		M	مونزوئیت	۴:۰۰:۰۰	.	۷۰۴
۳۱۰	۹۷	۲	۵			۶:۳۰	S	مونزوئیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۰۸۸
۳۱۱	۹۷	۲	۶	۴:۰۰			S	مونزوئیت	۴:۰۰:۰۰	.	۱۵۶۸
۳۱۲	۹۷	۲	۶		۷:۳۰		S	مونزوئیت	۷:۳۰:۰۰	.	۲۱۴۴
۳۱۳	۹۷	۲	۶			۶:۳۰	S	مونزوئیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۵۰۴
۳۱۴	۹۷	۲	۷	۶:۳۰			S	مونزوئیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۳۱۲
۳۱۵	۹۷	۲	۷		۸:۳۰		S	مونزوئیت	۸:۳۰:۰۰	.	۱۷۶۰
۳۱۶	۹۷	۲	۷			۶:۳۰	S	مونزوئیت	۶:۳۰:۰۰	.	۲۰۱۶
۳۱۷	۹۷	۲	۸	۶:۳۰			S	مونزوئیت	۶:۳۰:۰۰	.	۲۳۰۴
۳۱۸	۹۷	۲	۸		۸:۳۰		S	مونزوئیت	۸:۳۰:۰۰	.	۱۸۲۴
۳۱۹	۹۷	۲	۸			۶:۳۰	S	مونزوئیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۲۱۶
۳۲۰	۹۷	۲	۹	۶:۳۰			S	مونزوئیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۲۱۶
۳۲۱	۹۷	۲	۹		۸:۳۰		S	مونزوئیت	۸:۳۰:۰۰	.	۴۱۶
۳۲۲	۹۷	۲	۹			۴:۰۰	M	مونزوئیت	۴:۰۰:۰۰	.	۹۲۸
۳۲۳	۹۷	۲	۱۰	۶:۳۰			M	مونزوئیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۰۲۴
۳۲۴	۹۷	۲	۱۰		۸:۳۰		M	مونزوئیت	۸:۳۰:۰۰	.	۵۴۴
۳۲۵	۹۷	۲	۱۰			۶:۳۰	M	مونزوئیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۰۵۶
۳۲۶	۹۷	۲	۱۱	۶:۳۰			S	مونزوئیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۸۵۶
۳۲۷	۹۷	۲	۱۱		۸:۳۰		S	مونزوئیت	۸:۳۰:۰۰	.	۲۰۸۰

۳۲۸	۹۷	۲	۱۱			۶:۳۰	S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۸۲۴
۳۲۹	۹۷	۲	۱۲	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۷۲۸
۳۳۰	۹۷	۲	۱۲		۸:۳۰		M	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	۱۳۲	۱۶۰۰
۳۳۱	۹۷	۲	۱۲			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۱۰۸	۱۰۸۸
۳۳۲	۹۷	۲	۱۳	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۷۹۲
۳۳۳	۹۷	۲	۱۳		۸:۳۰		M	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۱۲۱۶
۳۳۴	۹۷	۲	۱۳			۶:۳۰	S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۵۳۶
۳۳۵	۹۷	۲	۱۴	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۶۶۴
۳۳۶	۹۷	۲	۱۴		۸:۳۰		M	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۲۲۰۸
۳۳۷	۹۷	۲	۱۴			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۲۴۸
۳۳۸	۹۷	۲	۱۵	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۵۰۴
۳۳۹	۹۷	۲	۱۵		۸:۳۰		M	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۲۳۰۴
۳۴۰	۹۷	۲	۱۵			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۵۰۴
۳۴۱	۹۷	۲	۱۶	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۷۲۸
۳۴۲	۹۷	۲	۱۶		۸:۳۰		M	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۱۸۵۶
۳۴۳	۹۷	۲	۱۶			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۲۱۶
۳۴۴	۹۷	۲	۱۷	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۴۰۸
۳۴۵	۹۷	۲	۱۷		۸:۳۰		M	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	۱۲۹۶	.
۳۴۶	۹۷	۲	۱۷			۴:۰۰	M	مونزونیٹ	۴:۰۰:۰۰	.	۷۳۶
۳۴۷	۹۷	۲	۱۷			۲:۳۰	M	مونزونیٹ	۲:۳۰:۰۰	۴۲۰	.
۳۴۸	۹۷	۲	۱۸	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۳۱۲	۱۲۱۶
۳۴۹	۹۷	۲	۱۸		۸:۳۰		S	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	۱۱۴۰	.
۳۵۰	۹۷	۲	۱۸			۶:۳۰	S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۹۴۸	.
۳۵۱	۹۷	۲	۱۹	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۵۰۴	۸۰۰
۳۵۲	۹۷	۲	۱۹		۸:۳۰		S	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۱۸۲۴
۳۵۳	۹۷	۲	۱۹			۶:۳۰	S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۵۴۰	۴۸۰
۳۵۴	۹۷	۲	۲۰	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۳۳۶	۱۰۸۸
۳۵۵	۹۷	۲	۲۰		۸:۳۰		S	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	۴۸	۱۸۸۸
۳۵۶	۹۷	۲	۲۰			۶:۳۰	S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۵۲۸	۶۰۸
۳۵۷	۹۷	۲	۲۱	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۴۳۲	۱۰۸۸
۳۵۸	۹۷	۲	۲۱	۱:۳۰			M	مونزونیٹ	۱:۳۰:۰۰	.	۵۱۲
۳۵۹	۹۷	۲	۲۱		۸:۳۰		M	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	۶۳۶	۹۶۰
۳۶۰	۹۷	۲	۲۱			۵:۳۰	N	مونزونیٹ	۵:۳۰:۰۰	۴۰۸	۳۵۲

۳۶۱	۹۷	۲	۲۲	۶:۳۰			N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۵۶۸
۳۶۲	۹۷	۲	۲۲		۸:۳۰		N	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	۰	۲۱۱۲
۳۶۳	۹۷	۲	۲۲			۶:۳۰	N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۱۰۸	۲۰۱۶
۳۶۴	۹۷	۲	۲۳	۶:۳۰			N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۹۵۲
۳۶۵	۹۷	۲	۲۳		۸:۳۰		S	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۵۳۶
۳۶۶	۹۷	۲	۲۳			۶:۳۰	S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۳۲۴	۱۱۸۴
۳۶۷	۹۷	۲	۲۴	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۳۱۲
۳۶۸	۹۷	۲	۲۴		۵:۰۰		S	مونزونیٹ	۵:۰۰:۰۰	۰	۱۰۵۶
۳۶۹	۹۷	۲	۲۴		۳:۳۰		S	مونزونیٹ	۳:۳۰:۰۰	۱۴۴	۰
۳۷۰	۹۷	۲	۲۵	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۲۴۸
۳۷۱	۹۷	۲	۲۵		۸:۳۰		S	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	۱۳۲	۱۸۵۶
۳۷۲	۹۷	۲	۲۵			۶:۳۰	S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۴۰۸
۳۷۳	۹۷	۲	۲۶	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۵۶۸
۳۷۴	۹۷	۲	۲۶		۸:۳۰		S	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۱۲۰
۳۷۵	۹۷	۲	۲۶			۶:۳۰	S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۳۶	۱۰۲۴
۳۷۶	۹۷	۲	۲۷	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۶۹۶
۳۷۷	۹۷	۲	۲۷		۸:۳۰		S	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۲۴۸
۳۷۸	۹۷	۲	۲۷			۶:۳۰	S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۱۲۰	۱۲۱۶
۳۷۹	۹۷	۲	۲۸	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۹۶	۱۳۱۲
۳۸۰	۹۷	۲	۲۸		۸:۳۰		S	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	۲۰۴	۹۲۸
۳۸۱	۹۷	۲	۲۸			۶:۳۰	S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۱۰۸	۶۴۰
۳۸۲	۹۷	۲	۲۹	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۹۹۶	۲۸۸
۳۸۳	۹۷	۲	۲۹		۸:۳۰		S	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	۰	۸۶۴
۳۸۴	۹۷	۲	۲۹			۶:۳۰	S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۲۴۸
۳۸۵	۹۷	۲	۳۰		۵:۰۰		S	مونزونیٹ	۵:۰۰:۰۰	۳۳۶	۰
۳۸۶	۹۷	۲	۳۰			۶:۳۰	S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۶۰۰
۳۸۷	۹۷	۲	۳۱	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۳۶۰	۱۴۰۸
۳۸۸	۹۷	۲	۳۱		۸:۳۰		S	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	۳۴۸	۱۴۴۰
۳۸۹	۹۷	۲	۳۱			۶:۳۰	N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۰۲۴
۳۹۰	۹۷	۳	۱	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۷۰۸	۵۱۲
۳۹۱	۹۷	۳	۱		۸:۳۰		S	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	۹۷۲	۵۴۴
۳۹۲	۹۷	۳	۱			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۰۵۶
۳۹۳	۹۷	۳	۲	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۳۸۴	۷۶۸

۳۹۴	۹۷	۳	۲		۴:۰۰		N	مونزونیٹ	۴:۰۰:۰۰	۲۱۶	۵۷۶
۳۹۵	۹۷	۳	۲		۴:۳۰		M	مونزونیٹ	۴:۳۰:۰۰	۲۰۴	۵۴۴
۳۹۶	۹۷	۳	۲			۳:۰۰	M	مونزونیٹ	۳:۰۰:۰۰	۰	۴۸۰
۳۹۷	۹۷	۳	۲			۳:۳۰	M	مونزونیٹ	۳:۳۰:۰۰	۹۰۰	۰
۳۹۸	۹۷	۳	۳	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۵۰۴
۳۹۹	۹۷	۳	۳		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۷۲۸
۴۰۰	۹۷	۳	۳			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۲۴۸
۴۰۱	۹۷	۳	۴	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۴۴۰
۴۰۲	۹۷	۳	۴		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۰	۲۰۱۶
۴۰۳	۹۷	۳	۴			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۷۹۲
۴۰۴	۹۷	۳	۵	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۸۲۴
۴۰۵	۹۷	۳	۵		۶:۰۰		M	مونزونیٹ	۶:۰۰:۰۰	۰	۱۰۸۸
۴۰۶	۹۷	۳	۵		۲:۳۰		M	اور	۲:۳۰:۰۰	۰	۶۷۲
۴۰۷	۹۷	۳	۵			۶:۳۰	M	سولفور	۶:۳۰:۰۰	۱۹۲	۱۷۲۸
۴۰۸	۹۷	۳	۶	۶:۳۰			M	سولفور	۶:۳۰:۰۰	۶۱۲	۱۶۹۶
۴۰۹	۹۷	۳	۶		۸:۳۰		M	سولفور	۸:۳۰:۰۰	۳۶	۱۵۰۴
۴۱۰	۹۷	۳	۶			۶:۳۰	M	سولفور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۴۴۰
۴۱۱	۹۷	۳	۷	۶:۳۰			M	سولفور	۶:۳۰:۰۰	۸۰۴	۰
۴۱۲	۹۷	۳	۷		۲:۰۰		M	اور	۲:۰۰:۰۰	۶۰	۲۵۶
۴۱۳	۹۷	۳	۷		۶:۰۰		M	اور	۶:۰۰:۰۰	۶۴۸	۰
۴۱۴	۹۷	۳	۷			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	۱۴۴	۷۳۶
۴۱۵	۹۷	۳	۸	۵:۰۰			M	مونزونیٹ	۵:۰۰:۰۰	۰	۱۹۸۴
۴۱۶	۹۷	۳	۸	۱:۳۰			N	سولفور	۱:۳۰:۰۰	۰	۱۶۰
۴۱۷	۹۷	۳	۸		۸:۳۰		N	سولفور	۸:۳۰:۰۰	۷۳۲	۰
۴۱۸	۹۷	۳	۸			۰:۳۰	M	سولفور	۰:۳۰:۰۰	۱۲۰	۰
۴۱۹	۹۷	۳	۸			۶:۰۰	M	مونزونیٹ	۶:۰۰:۰۰	۹۸۴	۰
۴۲۰	۹۷	۳	۹	۶:۳۰			N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۴۸۰	۹۹۲
۴۲۱	۹۷	۳	۹		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۷۲	۱۱۸۴
۴۲۲	۹۷	۳	۹			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۱۵۲
۴۲۳	۹۷	۳	۱۰	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۳۷۶
۴۲۴	۹۷	۳	۱۰		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۸۲۴
۴۲۵	۹۷	۳	۱۰			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۲۸۰
۴۲۶	۹۷	۳	۱۱	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۲۴۸

۴۲۷	۹۷	۳	۱۱		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	.	۱۷۲۸
۴۲۸	۹۷	۳	۱۱			۳:۳۰	N	اور	۳:۳۰:۰۰	.	۱۱۸۴
۴۲۹	۹۷	۳	۱۲	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	.	۱۶۰۰
۴۳۰	۹۷	۳	۱۲		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	.	۱۹۸۴
۴۳۱	۹۷	۳	۱۲			۶:۳۰	M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۱۸۰	۱۳۷۶
۴۳۲	۹۷	۳	۱۳		۵:۰۰		M	مونزونیت	۵:۰۰:۰۰	۲۶۴	۶۷۲
۴۳۳	۹۷	۳	۱۳			۶:۳۰	N	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۳۴۴
۴۳۴	۹۷	۳	۱۴	۶:۳۰			N	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۹۸۴
۴۳۵	۹۷	۳	۱۴		۸:۳۰		M	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	.	۱۶۶۴
۴۳۶	۹۷	۳	۱۴			۶:۳۰	M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۶۰۰
۴۳۷	۹۷	۳	۱۵	۶:۳۰			N	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۱۶۸	۱۶۹۶
۴۳۸	۹۷	۳	۱۵		۸:۳۰		N	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	.	۲۲۴۰
۴۳۹	۹۷	۳	۱۵			۶:۳۰	N	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۸۸۸
۴۴۰	۹۷	۳	۱۶	۶:۳۰			N	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۸۸۸
۴۴۱	۹۷	۳	۱۶		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	.	۱۹۲۰
۴۴۲	۹۷	۳	۱۶			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	.	۱۱۸۴
۴۴۳	۹۷	۳	۱۷	۶:۳۰			M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۶۶۴
۴۴۴	۹۷	۳	۱۷		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	.	۱۶۳۲
۴۴۵	۹۷	۳	۱۷			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	.	۱۲۴۸
۴۴۶	۹۷	۳	۱۸	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	.	۱۶۳۲
۴۴۷	۹۷	۳	۱۸		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۶۷۲	.
۴۴۸	۹۷	۳	۱۸			۶:۳۰	M	سولفور	۶:۳۰:۰۰	۸۶۴	.
۴۴۹	۹۷	۳	۱۹	۶:۳۰			M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۲۱۶	۱۱۲۰
۴۵۰	۹۷	۳	۱۹		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	.	۲۳۰۴
۴۵۱	۹۷	۳	۱۹			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	.	۱۵۳۶
۴۵۲	۹۷	۳	۲۰	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	.	۱۷۹۲
۴۵۳	۹۷	۳	۲۰		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	.	۱۷۲۸
۴۵۴	۹۷	۳	۲۰			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	.	۱۰۵۶
۴۵۵	۹۷	۳	۲۱	۶:۳۰			N	اور	۶:۳۰:۰۰	.	۱۴۰۸
۴۵۶	۹۷	۳	۲۱		۸:۳۰		N	تراکیت	۸:۳۰:۰۰	.	۱۷۹۲
۴۵۷	۹۷	۳	۲۱			۶:۳۰	N	تراکیت	۶:۳۰:۰۰	.	۸۳۲
۴۵۸	۹۷	۳	۲۲	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	.	۹۶۰
۴۵۹	۹۷	۳	۲۲		۸:۳۰		M	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	.	۹۲۸

۴۶۰	۹۷	۳	۲۲			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۵۱۶	۰
۴۶۱	۹۷	۳	۲۳	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۰	۹۲۸
۴۶۲	۹۷	۳	۲۳		۸:۳۰		N	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۸۸۸
۴۶۳	۹۷	۳	۲۳			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۶۸۴	۰
۴۶۴	۹۷	۳	۲۴	۲:۳۰			M	مونزونیٹ	۲:۳۰:۰۰	۲۵۲	۲۸۸
۴۶۵	۹۷	۳	۲۴	۴:۰۰			M	سولفور	۴:۰۰:۰۰	۳۴۸	۲۸۸
۴۶۶	۹۷	۳	۲۴		۸:۳۰		N	سولفور	۸:۳۰:۰۰	۰	۷۰۴
۴۶۷	۹۷	۳	۲۴			۶:۳۰	N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۴۴۰
۴۶۸	۹۷	۳	۲۵	۸:۰۰			N	مونزونیٹ	۸:۰۰:۰۰	۰	۲۱۴۴
۴۶۹	۹۷	۳	۲۵		۵:۳۰		M	مونزونیٹ	۵:۳۰:۰۰	۰	۹۹۲
۴۷۰	۹۷	۳	۲۵		۳:۰۰		M	اور	۳:۰۰:۰۰	۰	۳۲۰
۴۷۱	۹۷	۳	۲۵			۵:۰۰	M	اور	۵:۰۰:۰۰	۰	۶۴۰
۴۷۲	۹۷	۳	۲۶	۲:۳۰			N	سولفور	۲:۳۰:۰۰	۰	۳۵۲
۴۷۳	۹۷	۳	۲۶	۴:۰۰			N	مونزونیٹ	۴:۰۰:۰۰	۰	۱۵۶۸
۴۷۴	۹۷	۳	۲۶		۲:۰۰		M	مونزونیٹ	۲:۰۰:۰۰	۰	۴۴۸
۴۷۵	۹۷	۳	۲۶		۶:۳۰		M	سولفور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۶۰۰
۴۷۶	۹۷	۳	۲۶			۱:۳۰	N	سولفور	۱:۳۰:۰۰	۱۲۰	۰
۴۷۷	۹۷	۳	۲۷	۶:۳۰			N	سولفور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۸۸۸
۴۷۸	۹۷	۳	۲۷		۶:۳۰		M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۱۵۲
۴۷۹	۹۷	۳	۲۷		۱:۰۰		M	اور	۱:۰۰:۰۰	۰	۲۲۴
۴۸۰	۹۷	۳	۲۷			۶:۳۰	N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۱۹۲	۱۱۵۲
۴۸۱	۹۷	۳	۲۸	۶:۳۰			N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۰	۲۰۴۸
۴۸۲	۹۷	۳	۲۸		۵:۰۰		M	اور	۵:۰۰:۰۰	۰	۱۲۴۸
۴۸۳	۹۷	۳	۲۸			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۵۶۸
۴۸۴	۹۷	۳	۲۹	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۵۶۸
۴۸۵	۹۷	۳	۲۹		۸:۳۰		S	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۶۹۶
۴۸۶	۹۷	۳	۲۹			۶:۳۰	S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۹۲۰
۴۸۷	۹۷	۳	۳۰	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۶۰	۷۶۸
۴۸۸	۹۷	۳	۳۰		۵:۰۰		M	اور	۵:۰۰:۰۰	۰	۹۶۰
۴۸۹	۹۷	۳	۳۰		۲:۳۰		M	سولفور	۲:۳۰:۰۰	۰	۷۰۴
۴۹۰	۹۷	۳	۳۰			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۸۹۶
۴۹۱	۹۷	۳	۳۱	۶:۳۰			M	تراکیت	۶:۳۰:۰۰	۱۹۲	۹۶۰
۴۹۲	۹۷	۳	۳۱		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۷۲۸

۴۹۳	۹۷	۳	۳۱			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۴۴۰
۴۹۴	۹۷	۴	۱	۱:۳۰			M	اور	۱:۳۰:۰۰	۰	۵۱۲
۴۹۵	۹۷	۴	۱		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۵۶۸
۴۹۶	۹۷	۴	۱			۵:۰۰	M	اور	۵:۰۰:۰۰	۰	۱۱۵۲
۴۹۷	۹۷	۴	۱			۱:۳۰	M	سولفور	۱:۳۰:۰۰	۰	۱۲۸
۴۹۸	۹۷	۴	۲	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۴۷۲
۴۹۹	۹۷	۴	۲		۷:۳۰		M	اور	۷:۳۰:۰۰	۰	۱۲۱۶
۵۰۰	۹۷	۴	۲		۱:۰۰		M	مونزونیٹ	۱:۰۰:۰۰	۰	۱۲۸
۵۰۱	۹۷	۴	۲			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۹۶۰
۵۰۲	۹۷	۴	۳	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۱۵۲
۵۰۳	۹۷	۴	۳		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۹۲۰
۵۰۴	۹۷	۴	۳			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۲۱۶
۵۰۵	۹۷	۴	۴	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۴۷۲
۵۰۶	۹۷	۴	۴		۶:۳۰		M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۲۴۸
۵۰۷	۹۷	۴	۴		۲:۰۰		M	سولفور	۲:۰۰:۰۰	۰	۳۸۴
۵۰۸	۹۷	۴	۴			۵:۳۰	M	سولفور	۵:۳۰:۰۰	۲۶۴	۱۱۵۲
۵۰۹	۹۷	۴	۴			۱:۰۰	M	مونزونیٹ	۱:۰۰:۰۰	۴۸	۱۲۸
۵۱۰	۹۷	۴	۵	۶:۳۰			M	سولفور	۶:۳۰:۰۰	۲۴	۱۵۰۴
۵۱۱	۹۷	۴	۵		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۲۸۰
۵۱۲	۹۷	۴	۵			۱:۳۰	M	اور	۱:۳۰:۰۰	۰	۲۵۶
۵۱۳	۹۷	۴	۵			۵:۰۰	M	مونزونیٹ	۵:۰۰:۰۰	۰	۶۴۰
۵۱۴	۹۷	۴	۶	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۹۶	۱۲۱۶
۵۱۵	۹۷	۴	۶		۷:۳۰		M	مونزونیٹ	۷:۳۰:۰۰	۰	۱۵۶۸
۵۱۶	۹۷	۴	۶			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۶۷۲	۶۰۸
۵۱۷	۹۷	۴	۷	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۵۰۴	۹۹۲
۵۱۸	۹۷	۴	۷		۲:۰۰		M	اور	۲:۰۰:۰۰	۰	۲۸۸
۵۱۹	۹۷	۴	۷		۶:۰۰		S	مونزونیٹ	۶:۰۰:۰۰	۰	۱۴۰۸
۵۲۰	۹۷	۴	۷			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۱۶۸	۱۲۴۸
۵۲۱	۹۷	۴	۸	۴:۰۰			M	سولفور	۴:۰۰:۰۰	۰	۹۶۰
۵۲۲	۹۷	۴	۸	۲:۳۰			M	اور	۲:۳۰:۰۰	۰	۴۸۰
۵۲۳	۹۷	۴	۸		۸:۳۰		M	سولفور	۸:۳۰:۰۰	۸۱۶	۵۱۲
۵۲۴	۹۷	۴	۸			۱:۳۰	M	سولفور	۱:۳۰:۰۰	۲۰۴	۰
۵۲۵	۹۷	۴	۸			۵:۰۰	S	مونزونیٹ	۵:۰۰:۰۰	۵۸۸	۰

۵۲۶	۹۷	۴	۹	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۵۴۰	۶۷۲
۵۲۷	۹۷	۴	۹		۸:۳۰		M	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	۶۱۲	۹۶۰
۵۲۸	۹۷	۴	۹			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۱۵۲
۵۲۹	۹۷	۴	۱۰	۴:۳۰			M	مونزونیٹ	۴:۳۰:۰۰	۴۸	۹۲۸
۵۳۰	۹۷	۴	۱۰	۲:۰۰			M	اور	۲:۰۰:۰۰	۰	۳۸۴
۵۳۱	۹۷	۴	۱۰		۸:۳۰		M	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۲۸۰
۵۳۲	۹۷	۴	۱۰			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۰۵۶
۵۳۳	۹۷	۴	۱۱	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۵۳۶
۵۳۴	۹۷	۴	۱۱		۷:۳۰		S	مونزونیٹ	۷:۳۰:۰۰	۳۲۴	۱۲۴۸
۵۳۵	۹۷	۴	۱۱			۶:۳۰	S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۷۲	۷۰۴
۵۳۶	۹۷	۴	۱۲	۵:۳۰			M	اور	۵:۳۰:۰۰	۷۹۲	۰
۵۳۷	۹۷	۴	۱۲	۱:۰۰			S	مونزونیٹ	۱:۰۰:۰۰	۰	۲۲۴
۵۳۸	۹۷	۴	۱۲		۴:۳۰		M	اور	۴:۳۰:۰۰	۵۴۰	۰
۵۳۹	۹۷	۴	۱۲			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۰	۳۵۲
۵۴۰	۹۷	۴	۱۳	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۶۰۰
۵۴۱	۹۷	۴	۱۳		۸:۳۰		S	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	۴۰۸	۹۹۲
۵۴۲	۹۷	۴	۱۳			۶:۳۰	S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۴۳۲	۰
۵۴۳	۹۷	۴	۱۴	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۰	۹۹۲
۵۴۴	۹۷	۴	۱۴		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۰	۱۸۲۴
۵۴۵	۹۷	۴	۱۴			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۶۳۲
۵۴۶	۹۷	۴	۱۵	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۶۰۰
۵۴۷	۹۷	۴	۱۵	۱:۳۰			M	اور	۱:۳۰:۰۰	۰	۵۱۲
۵۴۸	۹۷	۴	۱۵		۶:۳۰		M	اور	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۲۸۰
۵۴۹	۹۷	۴	۱۵		۱:۳۰		S	مونزونیٹ	۱:۳۰:۰۰	۷۲	۰
۵۵۰	۹۷	۴	۱۵			۶:۳۰	S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۳۷۲	۰
۵۵۱	۹۷	۴	۱۶	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۰۵۶
۵۵۲	۹۷	۴	۱۶		۲:۰۰		M	اور	۲:۰۰:۰۰	۰	۹۶۰
۵۵۳	۹۷	۴	۱۶		۶:۳۰		M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۰	۴۴۸
۵۵۴	۹۷	۴	۱۶			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۰	۹۶۰
۵۵۵	۹۷	۴	۱۷	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۰	۱۴۰۸
۵۵۶	۹۷	۴	۱۷		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۰	۲۲۰۸
۵۵۷	۹۷	۴	۱۷			۳:۳۰	M	اور	۳:۳۰:۰۰	۰	۱۰۸۸
۵۵۸	۹۷	۴	۱۷			۳:۰۰	M	مونزونیٹ	۳:۰۰:۰۰	۰	۴۱۶

۵۵۹	۹۷	۴	۱۸	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۱۶۸	۹۹۲
۵۶۰	۹۷	۴	۱۸		۸:۳۰		M	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۱۸۸۸
۵۶۱	۹۷	۴	۱۸			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۲۴۸
۵۶۲	۹۷	۴	۱۹	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	.	۱۷۲۸
۵۶۳	۹۷	۴	۱۹		۵:۳۰		M	اور	۵:۳۰:۰۰	.	۱۰۸۸
۵۶۴	۹۷	۴	۱۹		۲:۳۰		M	مونزونیٹ	۲:۳۰:۰۰	.	۸۰۰
۵۶۵	۹۷	۴	۱۹			۱:۳۰	M	اور	۱:۳۰:۰۰	۲۰-۴	.
۵۶۶	۹۷	۴	۲۰	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۷۲۸
۵۶۷	۹۷	۴	۲۰		۸:۰۰		M	مونزونیٹ	۸:۰۰:۰۰	.	۲۰۸۰
۵۶۸	۹۷	۴	۲۰			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۵۳۶
۵۶۹	۹۷	۴	۲۱	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۵۳۶
۵۷۰	۹۷	۴	۲۱		۸:۳۰		M	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۱۸۲۴
۵۷۱	۹۷	۴	۲۱			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۵۳۶
۵۷۲	۹۷	۴	۲۲	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۳۱۲
۵۷۳	۹۷	۴	۲۲		۸:۳۰		M	سولفور	۸:۳۰:۰۰	.	۱۸۸۸
۵۷۴	۹۷	۴	۲۲			۶:۳۰	M	سولفور	۶:۳۰:۰۰	۹۶	۱۵۳۶
۵۷۵	۹۷	۴	۲۳	۶:۳۰			M	سولفور	۶:۳۰:۰۰	.	۱۹۲۰
۵۷۶	۹۷	۴	۲۳		۴:۰۰		M	سولفور	۴:۰۰:۰۰	.	۱۱۵۲
۵۷۷	۹۷	۴	۲۳		۴:۳۰		M	اور	۴:۳۰:۰۰	.	۶۰۸
۵۷۸	۹۷	۴	۲۳			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	.	۱۵۶۸
۵۷۹	۹۷	۴	۲۴	۳:۰۰			M	اور	۳:۰۰:۰۰	۵۲۸	.
۵۸۰	۹۷	۴	۲۴	۳:۳۰			M	مونزونیٹ	۳:۳۰:۰۰	.	۸۹۶
۵۸۱	۹۷	۴	۲۴		۳:۰۰		M	مونزونیٹ	۳:۰۰:۰۰	.	۱۳۴۴
۵۸۲	۹۷	۴	۲۴		۵:۳۰		M	اور	۵:۳۰:۰۰	.	۵۴۴
۵۸۳	۹۷	۴	۲۴			۲:۳۰	M	مونزونیٹ	۲:۳۰:۰۰	.	۶۷۲
۵۸۴	۹۷	۴	۲۴			۴:۰۰	M	اور	۴:۰۰:۰۰	.	۷۳۶
۵۸۵	۹۷	۴	۲۵	۶:۳۰			M	سولفور	۶:۳۰:۰۰	۴۸	۱۲۱۶
۵۸۶	۹۷	۴	۲۵		۸:۳۰		S	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۱۵۳۶
۵۸۷	۹۷	۴	۲۵			۶:۳۰	S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۲۱۶	۱۷۲۸
۵۸۸	۹۷	۴	۲۶	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۶۳۲
۵۸۹	۹۷	۴	۲۶			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۰۲۴
۵۹۰	۹۷	۴	۲۷	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۷۶۰
۵۹۱	۹۷	۴	۲۷		۸:۳۰		M	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۱۷۶۰

۵۹۲	۹۷	۴	۲۷			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۶۳۲
۵۹۳	۹۷	۴	۲۸	۶:۳۰				مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۲۴۸
۵۹۴	۹۷	۴	۲۸		۸:۳۰			مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۲۱۱۲
۵۹۵	۹۷	۴	۲۸			۶:۳۰		مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۳۱۲
۵۹۶	۹۷	۴	۲۹	۸:۰۰			S	مونزونیٹ	۸:۰۰:۰۰	.	۲۱۴۴
۵۹۷	۹۷	۴	۲۹		۸:۳۰		S	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۲۲۷۲
۵۹۸	۹۷	۴	۲۹			۶:۳۰	S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۰۴۸
۵۹۹	۹۷	۴	۳۰	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۵۶۰
۶۰۰	۹۷	۴	۳۰		۸:۳۰		S	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۲۱۴۴
۶۰۱	۹۷	۴	۳۰			۶:۳۰	S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۷۹۲
۶۰۲	۹۷	۴	۳۱	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۱۴۴
۶۰۳	۹۷	۴	۳۱		۸:۳۰		S	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۱۸۸۸
۶۰۴	۹۷	۴	۳۱			۶:۳۰	S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۴۰۸
۶۰۵	۹۷	۵	۱	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۷۲	۱۰۲۴
۶۰۶	۹۷	۵	۱		۸:۳۰		S	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۲۴۳۲
۶۰۷	۹۷	۵	۱			۶:۳۰	S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۴۸	۱۷۹۲
۶۰۸	۹۷	۵	۲	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۳۹۶	۲۰۴۸
۶۰۹	۹۷	۵	۲		۸:۳۰		S	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۲۲۷۲
۶۱۰	۹۷	۵	۲			۶:۳۰	S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۹۵۲
۶۱۱	۹۷	۵	۳	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۹۲۰
۶۱۲	۹۷	۵	۳		۸:۳۰		S	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۱۹۲۰
۶۱۳	۹۷	۵	۳			۶:۳۰	S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۵۳۶
۶۱۴	۹۷	۵	۴	۳:۳۰			S	مونزونیٹ	۳:۳۰:۰۰	.	۱۱۲۰
۶۱۵	۹۷	۵	۴		۸:۳۰		S	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۲۰۸۰
۶۱۶	۹۷	۵	۴			۶:۳۰	S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۷۶۸
۶۱۷	۹۷	۵	۵	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۷۲۸
۶۱۸	۹۷	۵	۵		۵:۳۰		N	مونزونیٹ	۵:۳۰:۰۰	.	۱۲۱۶
۶۱۹	۹۷	۵	۵			۶:۳۰	N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۲۴۸
۶۲۰	۹۷	۵	۶	۶:۳۰			N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۱۰۸	۲۱۴۴
۶۲۱	۹۷	۵	۶		۸:۳۰		N	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۲۰۸۰
۶۲۲	۹۷	۵	۶			۶:۳۰	N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۴۷۲
۶۲۳	۹۷	۵	۷	۶:۳۰			N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۸۵۶
۶۲۴	۹۷	۵	۷		۸:۳۰		N	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۲۲۷۲

۶۲۵	۹۷	۵	۷			۶:۳۰	N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۱۸۰	۱۵۳۶
۶۲۶	۹۷	۵	۸	۶:۳۰			S	تراکیت	۶:۳۰:۰۰	.	۲۲۷۲
۶۲۷	۹۷	۵	۸		۸:۳۰		N	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۲۸۴۸
۶۲۸	۹۷	۵	۸			۶:۳۰	N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۱۹۲	۱۶۳۲
۶۲۹	۹۷	۵	۹	۶:۳۰			N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۰۴۸
۶۳۰	۹۷	۵	۹		۸:۳۰		N	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۱۲۱۶
۶۳۱	۹۷	۵	۹			۶:۳۰	S	تراکیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۷۹۲
۶۳۲	۹۷	۵	۱۰	۶:۳۰			N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۰۴۸
۶۳۳	۹۷	۵	۱۰		۸:۳۰		N	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۳۱۰۴
۶۳۴	۹۷	۵	۱۰			۶:۳۰	N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۷۵۲
۶۳۵	۹۷	۵	۱۱	۶:۳۰			N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۳۳۶
۶۳۶	۹۷	۵	۱۱		۸:۳۰		N	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۲۹۴۴
۶۳۷	۹۷	۵	۱۱			۶:۳۰	N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۲۰۴	۱۹۵۲
۶۳۸	۹۷	۵	۱۲	۶:۳۰			N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۷۶۰
۶۳۹	۹۷	۵	۱۲	۱:۳۰			N	مونزونیٹ	۱:۳۰:۰۰	.	۵۱۲
۶۴۰	۹۷	۵	۱۲		۸:۰۰		S	مونزونیٹ	۸:۰۰:۰۰	۲۵۲	۲۰۸۰
۶۴۱	۹۷	۵	۱۲			۶:۳۰	N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	۹۶	۲۲۴۰
۶۴۲	۹۷	۵	۱۳	۶:۳۰			N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۲۴۰
۶۴۳	۹۷	۵	۱۳		۸:۳۰		N	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۲۴۹۶
۶۴۴	۹۷	۵	۱۳			۶:۳۰	N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۳۳۶
۶۴۵	۹۷	۵	۱۴	۶:۳۰			N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۳۰۴
۶۴۶	۹۷	۵	۱۴		۸:۳۰		N	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	۳۶	۲۲۴۰
۶۴۷	۹۷	۵	۱۴			۶:۳۰	N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۰۱۶
۶۴۸	۹۷	۵	۱۵	۴:۰۰			N	مونزونیٹ	۴:۰۰:۰۰	.	۶۷۲
۶۴۹	۹۷	۵	۱۵		۸:۳۰		M	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۲۹۴۴
۶۵۰	۹۷	۵	۱۵			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۱۷۶
۶۵۱	۹۷	۵	۱۶	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۳۳۶
۶۵۲	۹۷	۵	۱۶		۸:۳۰		M	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۲۴۶۴
۶۵۳	۹۷	۵	۱۶			۱:۳۰	M	مونزونیٹ	۱:۳۰:۰۰	.	۳۸۴
۶۵۴	۹۷	۵	۱۷	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	.	۱۰۲۴
۶۵۵	۹۷	۵	۱۷		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	.	۱۰۲۴
۶۵۶	۹۷	۵	۱۷			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	.	۱۳۷۶
۶۵۷	۹۷	۵	۱۸	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	.	۱۵۶۸

۶۵۸	۹۷	۵	۱۸		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	.	۱۶۰۰
۶۵۹	۹۷	۵	۱۸			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	.	۱۲۴۸
۶۶۰	۹۷	۵	۱۹	۱:۰۰			M	مونزونیت	۱:۰۰:۰۰	.	۱۶۰
۶۶۱	۹۷	۵	۱۹	۱:۳۰			M	مونزونیت	۱:۳۰:۰۰	.	۴۴۸
۶۶۲	۹۷	۵	۱۹		۸:۳۰		M	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	.	۲۰۱۶
۶۶۳	۹۷	۵	۱۹			۴:۰۰	M	مونزونیت	۴:۰۰:۰۰	۵۵۲	.
۶۶۴	۹۷	۵	۲۰	۶:۳۰			M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۹۵۲
۶۶۵	۹۷	۵	۲۰		۴:۰۰		M	مونزونیت	۴:۰۰:۰۰	.	۱۱۸۴
۶۶۶	۹۷	۵	۲۰		۴:۳۰		M	اور	۴:۳۰:۰۰	.	۵۷۶
۶۶۷	۹۷	۵	۲۰			۳:۳۰	M	اور	۳:۳۰:۰۰	.	۶۴۰
۶۶۸	۹۷	۵	۲۰			۳:۰۰	M	مونزونیت	۳:۰۰:۰۰	.	۳۸۴
۶۶۹	۹۷	۵	۲۱	۶:۳۰			M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۲۴۰	۱۱۲۰
۶۷۰	۹۷	۵	۲۱		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	۷۲۰	.
۶۷۱	۹۷	۵	۲۱			۳:۰۰	M	اور	۳:۰۰:۰۰	۱۸۰	.
۶۷۲	۹۷	۵	۲۱			۳:۳۰	M	مونزونیت	۳:۳۰:۰۰	۷۲	.
۶۷۳	۹۷	۵	۲۲	۳:۳۰			N	مونزونیت	۳:۳۰:۰۰	.	۹۶۰
۶۷۴	۹۷	۵	۲۲		۸:۳۰		N	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	.	۱۷۶۰
۶۷۵	۹۷	۵	۲۲			۶:۳۰	N	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۲۴۸
۶۷۶	۹۷	۵	۲۳	۴:۳۰			N	مونزونیت	۴:۳۰:۰۰	.	۶۷۲
۶۷۷	۹۷	۵	۲۳		۸:۳۰		N	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	.	۱۰۲۴
۶۷۸	۹۷	۵	۲۳			۶:۳۰	N	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	.	۲۵۶
۶۷۹	۹۷	۵	۲۴	۶:۳۰			N	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	.	۲۳۶۸
۶۸۰	۹۷	۵	۲۴		۸:۰۰		N	مونزونیت	۸:۰۰:۰۰	.	۲۴۳۲
۶۸۱	۹۷	۵	۲۴		۸:۳۰		N	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	.	۱۵۳۶
۶۸۲	۹۷	۵	۲۵	۶:۳۰			N	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	.	۲۲۷۲
۶۸۳	۹۷	۵	۲۵		۸:۳۰		N	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	.	۲۱۱۲
۶۸۴	۹۷	۵	۲۵			۶:۳۰	N	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۳۴۴
۶۸۵	۹۷	۵	۲۶	۶:۳۰			N	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	.	۲۱۱۲
۶۸۶	۹۷	۵	۲۶	۱:۳۰			N	مونزونیت	۱:۳۰:۰۰	.	۵۷۶
۶۸۷	۹۷	۵	۲۶		۸:۳۰		N	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	.	۲۴۰۰
۶۸۸	۹۷	۵	۲۶			۶:۳۰	N	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۸۲۴
۶۸۹	۹۷	۵	۲۷	۶:۳۰			N	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۹۲۰
۶۹۰	۹۷	۵	۲۷		۸:۳۰		N	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	.	۲۳۳۶

۶۹۱	۹۷	۵	۲۷			۶:۳۰	N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۰۵۶
۶۹۲	۹۷	۵	۲۸	۶:۳۰			N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۷۶۰
۶۹۳	۹۷	۵	۲۸		۸:۳۰		N	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۲۶۵۶
۶۹۴	۹۷	۵	۲۸			۵:۳۰	N	مونزونیٹ	۵:۳۰:۰۰	.	۱۲۸۰
۶۹۵	۹۷	۵	۲۹	۶:۳۰			N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۸۲۴
۶۹۶	۹۷	۵	۲۹		۶:۰۰		N	مونزونیٹ	۶:۰۰:۰۰	.	۱۲۸۰
۶۹۷	۹۷	۵	۳۰		۸:۳۰		N	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۱۹۸۴
۶۹۸	۹۷	۵	۳۰			۶:۳۰	N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۵۰۴
۶۹۹	۹۷	۵	۳۱	۶:۳۰			N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۷۹۲
۷۰۰	۹۷	۵	۳۱		۸:۳۰		N	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۲۴۶۴
۷۰۱	۹۷	۵	۳۱			۶:۳۰	N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۴۴۰
۷۰۲	۹۷	۶	۱	۶:۳۰			N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۰۴۸
۷۰۳	۹۷	۶	۱		۸:۳۰		N	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۲۰۸۰
۷۰۴	۹۷	۶	۱			۶:۳۰	N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۹۸۴
۷۰۵	۹۷	۶	۲	۶:۳۰			N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۸۲۴
۷۰۶	۹۷	۶	۲	۱:۳۰			N	مونزونیٹ	۱:۳۰:۰۰	.	۵۱۲
۷۰۷	۹۷	۶	۲		۸:۳۰		N	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۲۰۸۰
۷۰۸	۹۷	۶	۲			۶:۳۰	N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۹۲۰
۷۰۹	۹۷	۶	۳	۶:۳۰			N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۹۵۲
۷۱۰	۹۷	۶	۳		۸:۳۰		N	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۱۹۵۲
۷۱۱	۹۷	۶	۷		۸:۳۰		N	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۲۰۸۰
۷۱۲	۹۷	۶	۷			۶:۳۰	N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۸۲۴
۷۱۳	۹۷	۶	۸	۶:۳۰			N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۲۷۲
۷۱۴	۹۷	۶	۸		۸:۳۰		N	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۲۱۱۲
۷۱۵	۹۷	۶	۸			۶:۳۰	N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۸۸۸
۷۱۶	۹۷	۶	۹	۶:۳۰			S	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۱۱۲
۷۱۷	۹۷	۶	۹	۱:۳۰			M	مونزونیٹ	۱:۳۰:۰۰	.	۳۸۴
۷۱۸	۹۷	۶	۹		۸:۳۰		N	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۲۰۴۸
۷۱۹	۹۷	۶	۹			۶:۳۰	N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۰۱۶
۷۲۰	۹۷	۶	۱۰	۶:۳۰			N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۲۴۳۲
۷۲۱	۹۷	۶	۱۰		۸:۳۰		N	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۱۸۲۴
۷۲۲	۹۷	۶	۱۰			۶:۳۰	N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۸۲۴
۷۲۳	۹۷	۶	۱۱	۶:۳۰			N	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۵۳۶

۷۲۴	۹۷	۶	۱۱		۸:۳۰		N	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	.	۲۶۲۴
۷۲۵	۹۷	۶	۱۱			۶:۳۰	N	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۷۶۰
۷۲۶	۹۷	۶	۱۲	۶:۳۰			N	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	۴۸	۱۰۲۴
۷۲۷	۹۷	۶	۱۲		۸:۳۰		N	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	۵۸۸	۱۲۴۸
۷۲۸	۹۷	۶	۱۲			۶:۰۳	N	مونزونیت	۶:۰۳:۰۰	۴۴۴	.
۷۲۹	۹۷	۶	۱۴		۳:۳۰		N	مونزونیت	۳:۳۰:۰۰	.	۷۰۴
۷۳۰	۹۷	۶	۱۵	۶:۳۰			M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۲۸۰
۷۳۱	۹۷	۶	۱۵		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	.	۲۰۸۰
۷۳۲	۹۷	۶	۱۵			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	.	۱۷۲۸
۷۳۳	۹۷	۶	۱۶	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	.	۱۶۰۰
۷۳۴	۹۷	۶	۱۶		۸:۳۰		S	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	.	۲۸۸۰
۷۳۵	۹۷	۶	۱۶			۶:۳۰	M	اور	۶:۳۰:۰۰	.	۲۱۱۲
۷۳۶	۹۷	۶	۱۷	۵:۰۰			M	اور	۵:۰۰:۰۰	.	۱۵۳۶
۷۳۷	۹۷	۶	۱۷		۷:۳۰		N	مونزونیت	۷:۳۰:۰۰	.	۱۹۵۲
۷۳۸	۹۷	۶	۱۷			۵:۰۰	M	مونزونیت	۵:۰۰:۰۰	.	۱۳۷۶
۷۳۹	۹۷	۶	۱۸	۶:۳۰			M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۷۲۸
۷۴۰	۹۷	۶	۱۸		۸:۳۰		N	مونزونیت	۸:۳۰:۰۰	.	۲۴۶۴
۷۴۱	۹۷	۶	۱۸			۶:۳۰	N	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۶۳۲
۷۴۲	۹۷	۶	۱۹	۵:۰۰			M	مونزونیت	۵:۰۰:۰۰	.	۱۶۰۰
۷۴۳	۹۷	۶	۱۹	۱:۳۰			M	سولفور	۱:۳۰:۰۰	.	۱۹۲
۷۴۴	۹۷	۶	۱۹		۵:۳۰		N	اکسید	۵:۳۰:۰۰	.	۱۰۸۸
۷۴۵	۹۷	۶	۱۹		۳:۰۰		N	مونزونیت	۳:۰۰:۰۰	.	۹۹۲
۷۴۶	۹۷	۶	۱۹			۶:۳۰	M	مونزونیت	۶:۳۰:۰۰	.	۱۶۰۰
۷۴۷	۹۷	۶	۲۰	۳:۰۰			M	مونزونیت	۳:۰۰:۰۰	.	۸۰۰
۷۴۸	۹۷	۶	۲۰	۳:۳۰			M	سولفور	۳:۳۰:۰۰	.	۶۴۰
۷۴۹	۹۷	۶	۲۰		۸:۳۰		N	اکسید	۸:۳۰:۰۰	.	۱۷۶۰
۷۵۰	۹۷	۶	۲۰			۴:۰۰	M	سولفور	۴:۰۰:۰۰	.	۶۰۸
۷۵۱	۹۷	۶	۲۰			۲:۳۰	M	اور	۲:۳۰:۰۰	.	۵۱۲
۷۵۲	۹۷	۶	۲۱	۶:۳۰			M	اور	۶:۳۰:۰۰	.	۱۴۷۲
۷۵۳	۹۷	۶	۲۱		۸:۳۰		M	اور	۸:۳۰:۰۰	.	۱۰۲۴
۷۵۴	۹۷	۶	۲۱			۲:۱۵	M	اور	۲:۱۵:۰۰	.	۲۸۸
۷۵۵	۹۷	۶	۲۱			۴:۱۵	M	سولفور	۴:۱۵:۰۰	.	۱۱۵۲
۷۵۶	۹۷	۶	۲۲	۳:۳۰			S	سولفور	۳:۳۰:۰۰	.	۷۳۶

۷۵۷	۹۷	۶	۲۲	۳:۰۰			S	مونزونیٹ	۳:۰۰:۰۰	.	۷۳۶
۷۵۸	۹۷	۶	۲۲		۱:۳۰		N	سولفور	۱:۳۰:۰۰	.	۳۸۴
۷۵۹	۹۷	۶	۲۲		۷:۰۰		N	مونزونیٹ	۷:۰۰:۰۰	.	۱۲۸۰
۷۶۰	۹۷	۶	۲۲			۵:۳۰	M	مونزونیٹ	۵:۳۰:۰۰	.	۹۶۰
۷۶۱	۹۷	۶	۲۳	۲:۰۰			M	مونزونیٹ	۲:۰۰:۰۰	۱۴۴	.
۷۶۲	۹۷	۶	۲۶	۴:۳۰			M	مونزونیٹ	۴:۳۰:۰۰	۵۲۸	.
۷۶۳	۹۷	۶	۲۶		۸:۳۰		M	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	۸۴۰	.
۷۶۴	۹۷	۶	۲۶			۵:۳۰	M	مونزونیٹ	۵:۳۰:۰۰	.	۸۳۲
۷۶۵	۹۷	۶	۲۷	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۱۵۲
۷۶۶	۹۷	۶	۲۷		۴:۳۰		M	مونزونیٹ	۴:۳۰:۰۰	.	۱۰۵۶
۷۶۷	۹۷	۶	۲۷			۱:۳۰	M	مونزونیٹ	۱:۳۰:۰۰	.	۲۵۶
۷۶۸	۹۷	۶	۲۸	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۰۲۴
۷۶۹	۹۷	۶	۲۸		۴:۳۰		M	مونزونیٹ	۴:۳۰:۰۰	.	۸۶۴
۷۷۰	۹۷	۶	۲۸			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۶۷۲
۷۷۱	۹۷	۶	۳۰	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۵۶۸
۷۷۲	۹۷	۶	۳۰	۱:۳۰			M	مونزونیٹ	۱:۳۰:۰۰	.	۴۴۸
۷۷۳	۹۷	۶	۳۰		۸:۳۰		M	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۱۰۵۶
۷۷۴	۹۷	۶	۳۰			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۴۴۰
۷۷۵	۹۷	۶	۳۱	۶:۳۰			M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۸۲۴
۷۷۶	۹۷	۶	۳۱		۸:۳۰		M	مونزونیٹ	۸:۳۰:۰۰	.	۱۶۰۰
۷۷۷	۹۷	۶	۳۱			۶:۳۰	M	مونزونیٹ	۶:۳۰:۰۰	.	۱۲۸۰

Abstract

In mining, production/output assurance and customer satisfaction depend on foresight and knowledge of the future status of heavy mining equipment. Because the equipment is responsible for production in the current mining automation system, the performance of these types of equipment can be measured based on the device's health or, in other words, the number of failures that occurred. In this case, predicting the breakdown of expensive machinery is fundamental, and their maintenance (net) before failure can prevent the mine from incurring high costs. Therefore, the analysis of the Songun mine extraction fleet requires a broad and detailed concept to monitor the behavior of systems and subsystems more closely during their useful life. The idea of residual useful life (RUL) is a new concept that analyzes system behavior and delivers more realistic results. This concept predicts the remaining useful life before a system fails based on current conditions and past operating profiles. Therefore, RUL estimation will be as effective in net optimization as system reliability estimation. Preventing a failure after identifying it and determining how the system is discounted requires timely application of the net using a correct RUL estimation. In this dissertation, the concept of reliability is used in estimating the RUL. This concept can also be used to plan net activities, estimate spare parts, and determine its profitability for the owner. The impact of environmental conditions as "obvious risk factors" was also included to complete this approach and bring the analysis results to the actual situation. Notwithstanding the rough working environment conditions in the analysis of mines, there will be a significant disruption in all results. However, it is not possible to determine and enter all risk factors in the analysis. These factors should be included in the analysis as "intangible risk factors" due to lack of information, accurate environmental knowledge, expertise, or short data collection period. For this purpose, expansions based on the Cox regression model were used. This model can simultaneously analyze the operational data (time series) and environmental conditions (tangible and intangible risk factors). In the next step, to validate the proposed algorithm for estimating the RUL based on obvious and unobvious risk factors, a case sample of the loading system (Shaul Komatsu 1250) from the Songun copper mine was selected in 8 months. After collecting the required data, reliability analysis was performed, and the RUL of the

loading system was estimated. Finally, an appropriate maintenance strategy was proposed based on the calculated RUL for the system.

Keywords : Reliability, Cox regression model, Maintenance, Remaining useful life estimation (RUL), Haulage and loading system of Sungun Copper mine



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

Ph.D. Thesis in **Mineral Exploitation**.

**Optimal Maintenance and Repair Strategy Based on Remaining Useful Life Time(Case
Study: Songun Copper Mine Loading System)**

By:Awat Ghomghaleh

Supervisor:

Dr. Mohamad Ataei

Dr. Reza Kakaei

Advisor:

Dr. Abbas Barabadi

Dr. Ali Noori Qarahasanlo

۱۵th sep ۲۰۲۱