

تحلیل قابلیت اطمینان دستگاه ناوزنجیری زرهی در معدن زغالسنگ مکانیزه طبس

عمید مرشدلو^۱، حسام دهقانی^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی همدان، morshedlou@hut.ac.ir

۲- هیات علمی دانشگاه صنعتی همدان، dehghani@hut.ac.ir

(دریافت ۱۷ بهمن ۱۳۹۲، پذیرش ۱۵ آذر ۱۳۹۳)

چکیده

با توجه به اهمیت زغال سنگ در تولید انرژی، تلاش‌های زیادی برای افزایش استخراج این ماده معدنی انجام گرفته است. امروزه در بسیاری از معادن زیرزمینی عملیات استخراج زغال سنگ به صورت تمام مکانیزه انجام می‌شود. بنابراین تعیین و بهبود عملکرد ماشین‌آلات از مسائل مهم به شمار می‌رود. ماشین ناوزنجیری زرهی (AFC^۱)، یکی از پرکاربردترین ماشین‌آلات استخراجی در معادن زیرزمینی است که عملکرد آن با میزان تولید نقش مستقیم دارد. بنابراین تحلیل قابلیت اطمینان این ماشین بسیار مهم است. در این مقاله، قابلیت اطمینان AFC با استفاده از داده‌های خرابی و زمان بین خرابی‌های ثبت شده در طی دو سال در معدن زغال سنگ طبس، بررسی شده است. برای این دستگاه چهار زیرسیستم اصلی در نظر گرفته شده است: سیستم برق، سیستم مکانیک، سیستم کشش زنجیر، سیستم کنترل سرعت. سپس داده‌ها با استفاده از روش‌های آماری و طی دو مرحله شامل بررسی وجود روند و وجود همبستگی بررسی شدند. متناسب با نوع داده‌ها و با استفاده از فرآیندهای متفاوت آماری بهترین تابع توزیع برای داده‌های خرابی انتخاب شد. نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که رفتار خرابی سیستم برق و کشش زنجیر از مدل قانون توان، سیستم مکانیک از تابع گاما ۳ پارامتری و سیستم کنترل سرعت از تابع گامای عمومی ۴ پارامتری تبعیت می‌کنند و قابلیت اطمینان کل دستگاه پس از ۱۲۰ ساعت به حدود صفر می‌رسد. فاصله زمانی تعمیر و نگهداری پیش‌گیرانه بر اساس قابلیت اطمینان ۸۰ درصد برای زیرسیستم‌های ناوزنجیری محاسبه شد. توصیه می‌شود زیرسیستم‌های برق، مکانیک، کشش زنجیر و کنترل سرعت به ترتیب هر ۱، ۲۰، ۲۰ و ۱۰ ساعت کنترل و بررسی شوند.

کلمات کلیدی

ناوزنجیری زرهی، قابلیت اطمینان، خرابی، تعمیر و نگهداری پیش‌گیرانه

۱-۱- مقدمه

امروزه صنعت فولادسازی بازار جهانی زغال سنگ را پررونق ساخته است. درصد بالایی از زغال سنگ مصرفی در جهان توسط معادن زیرزمینی و به روش جبهه کار طولانی مکانیزه استخراج می شود. روش جبهه کار طولانی مکانیزه روشی پیوسته با توان تولید بالا است که عملیات استخراج زغال را به صورت مجموعه ای از عملیات های سری توسط ماشین آلات گوناگون انجام می دهد. شکل ۱ شمایی از کارگاه جبهه کار طولانی را نشان می دهد.



شکل ۱: نمایی از کارگاه جبهه کار طولانی مکانیزه در معدن طبس

ماشین ناوزنجیری زرهی یکی از مهم ترین ماشین آلات موجود در فرآیند تولید زغال است که وظیفه انتقال زغال به بیرون کارگاه استخراج را برعهده دارد. هرگونه خرابی در این ماشین، باعث توقف سایر دستگاه های مرتبط با تولید و در نهایت توقف عملیات در کارگاه استخراج می شود. این امر در نهایت باعث اتلاف سرمایه و تحمیل خسارت های مالی بسیاری به معدن می شود. از اینرو مطالعه قابلیت اطمینان این دستگاه بسیار مهم است. با استفاده از این کمیت می توان احتمال عدم خرابی و عملکرد مطلوب دستگاه در یک بازه زمانی را تخمین زد.

از دهه ۱۹۶۰ تا کنون، به طور پیوسته مطالعات زیادی بر روی قابلیت اطمینان سیستم های معدنی انجام شده است. اما حجم این تحقیقات در مقایسه با وسعت و حجم ماشین آلات و سیستم های معدنی بسیار ناچیز است. میزان استفاده از مفاهیم قابلیت اطمینان و تعمیر و نگهداری در مهندسی معدن نسبت به سایر شاخه های مهندسی بسیار کمتر بوده و در زمینه تعیین قابلیت اطمینان ماشین ناوزنجیری زرهی نمی توان تحقیقات قابل توجهی یافت.

در سال ۱۹۷۳ میلادی قابلیت اطمینان عملیات نگهدارنده قدرتی توسط ایوکو و همکاران بررسی شد [۱]. قابلیت اطمینان

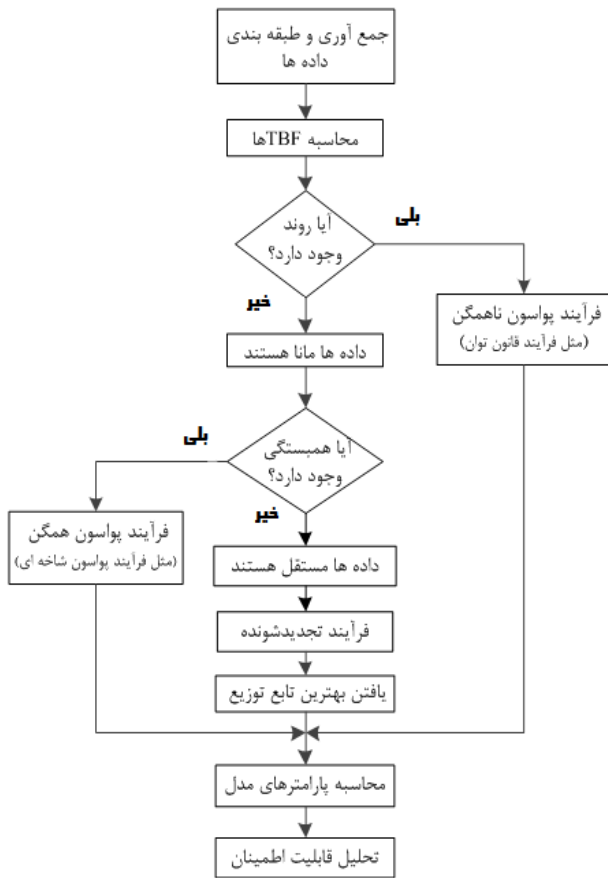
ناوزنجیری زرهی برای اولین بار در سال ۱۹۸۲ توسط والکر بررسی شد [۲]. قابلیت اطمینان تجهیزات جبهه کار طولانی توسط میسون در سال ۱۹۸۳ مطالعه شد [۳]. در سال ۱۹۹۶ مندل و بانیک میزان تولید از دست رفته (ریسک تولید) و نیز قابلیت دسترسی کارگاه های استخراج و نیز ماشین آلات موجود (شیرر، ناو زنجیری، بارگیر مرحله ای، نوارنقاله ها، شرایط زمین شناسی و نیز نگهداری قدرتی به عنوان زیرسیستم های اصلی کارگاه های استخراج در نظر گرفته شدند). در شش کارگاه واقع در چهار معدن جبهه کار طولانی کشور هند را مطالعه کردند [۴]. در سال ۲۰۰۶ گوپتا و همکاران قابلیت اطمینان ماشین شیرر را به کمک روش درخت خطا به دست آوردند [۵]. قابلیت اطمینان سیستم نوار نقاله توسط گوپتا و همکاران در سال ۲۰۰۷ مطالعه شد [۶]. بینگ یوان و همکاران در سال ۲۰۰۹ سیستم تولید را از لحاظ مهندسی قابلیت اطمینان بررسی کردند [۷]. قابلیت اطمینان ماشین درام شیرر توسط حسینی و همکاران در سال ۲۰۱۲ با در نظر گرفتن شش زیرسیستم برق، آب، هیدرولیک، حرکت، بازوهای برش و کابل بررسی شد [۸، ۹].

در مقاله حاضر تلاش شده است تا قابلیت اطمینان دستگاه ناوزنجیری زرهی در معدن زغال سنگ مکانیزه به صورت سیستماتیک بررسی و مدل سازی شود. برای این منظور تنها دستگاه موجود از این نوع در کشور که در معدن زغال سنگ مکانیزه طبس در حال کار است، بررسی شده است. هدف اصلی این تحقیق شناسایی رفتار خرابی ناوزنجیری زرهی در معدن طبس به منظور حفظ پیوستگی تولید و بهبود شرایط اقتصادی معدن است.

۲- ماشین ناوزنجیری زرهی

ناوزنجیری زغال کنده شده توسط دستگاه شیرر را در طول جبهه کار تا راهرو اصلی منتقل کرده و آنرا را به بارگیر مرحله ای تحویل می دهد. ناو بصورت قطعات به هم پیوسته ساخته می شود تا با حرکت نگهدارنده های قدرتی هماهنگ باشد. هنگامی که زغال کنده می شود ناو به سمت جبهه کار حرکت کرده (حرکت مار شکل) و دوباره پشت دستگاه شیرر قرار می گیرد. مواد کنده شده روی آن توسط نیرو ایجاد شده دو موتور موجود در ابتدای جبهه کار و انتهای جبهه کار جابجا می شوند. موتورهای حرکت باید قادر به جابجایی مواد زمانی که ناو کاملاً بارگیری شده است، باشند. سرعت ناو باید بیشتر از نرخ برش شیرر باشد تا زغال کنده شده برای حرکت بعدی شیرر از مسیر پاک شده باشد. اجزاء اصلی ناو شامل واحد

کلاسیک استفاده می‌شود [۱۵-۱۳]. در شکل ۴ فرآیند تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داده شده است.



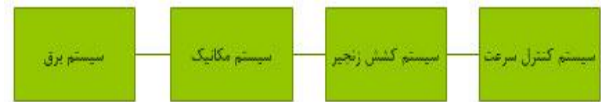
شکل ۴: فرآیند تجزیه و تحلیل داده‌ها [۱۵]

محرک اصلی، ناوها و واحد زنجیر می‌باشد [۱۰، ۱۱]. شکل ۲ ماشین ناوزنجیری زرهی معدن طبس را نشان می‌دهد.



شکل ۲: ماشین ناوزنجیری زرهی در معدن طبس

با توجه به اینکه عملکرد کل دستگاه وابسته به عملکرد هر یک از اجزای آن بوده و در صورت خرابی هر بخش، دستگاه متوقف می‌شود، از نظر قابلیت اطمینان، ساختار این دستگاه سری است. مطالعه دفترچه‌های راهنمای این دستگاه نشان می‌دهد که چهار زیرسیستم عملیاتی برای بررسی قابلیت اطمینان این دستگاه قابل تعریف است. دیاگرام بلوکی زیرسیستمهای این دستگاه به صورت شکل ۳ است.



شکل ۳: دیاگرام بلوکی ناوزنجیری زرهی

۳-۱- آزمون‌های روند

به الگوی خرابی‌های یک دستگاه روند گفته می‌شود که می‌تواند یکنواخت یا غیریکنواخت باشد. اگر فاصله زمانی خرابی‌ها رو به افزایش باشد، شرایط دستگاه رو به بهبود و اگر رو به کاهش باشد، شرایط دستگاه رو به زوال خوانده می‌شود. در صورتی که تغییرات چندانی در زمان بین خرابی‌ها رخ ندهد، دستگاه را پایدارمی‌نامند [۸]. برای کنترل وجود یا عدم وجود روند به طور کلی دو گروه آزمون‌های تحلیلی و گرافیکی استفاده می‌شود. در میان روش‌های تحلیلی آزمون نظامی روشی پر کاربرد است که بهترین و قابل اعتمادترین نتیجه را ارائه می‌دهد. در آزمون نظامی، ارزیابی وجود روند در داده‌ها با استفاده از محاسبه یک شاخص آماری U انجام می‌شود [۱۴، ۸، ۷].

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

۳-۲ تحلیل قابلیت اطمینان

به منظور تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان ماشین ناوزنجیری زرهی، از بین روش‌های متداول، روش تحلیل آماری به دلیل جامعیت و قابلیت‌های بالا انتخاب شد [۱۲]. در این روش زمان‌های بین خرابی‌ها به عنوان متغیرهای تصادفی استفاده می‌شود. برای تشخیص نوع داده‌ها دو مرحله آزمون روی داده‌ها انجام می‌گیرد. در مرحله اول داده‌ها برای وجود یا عدم وجود روند مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. در صورت وجود روند در داده‌ها، از فرآیند پواسون ناهمگن (قانون توان) استفاده می‌شود. اگر عدم وجود روند در داده‌ها اثبات شود، داده‌ها برای بررسی وجود یا عدم وجود همبستگی سری آزمایش می‌شوند. در صورت وجود همبستگی در داده‌ها، از روش‌های زیرمجموعه فرآیند پواسون همگن (پواسون شاخه‌ای) استفاده می‌شود. در صورت عدم وجود روند و همبستگی، داده‌ها از نظر آماری "مستقل و مانا" نامیده می‌شوند و برای مدل‌سازی این نوع داده‌ها از فرآیند تجدیدشونده و آمار

۴- مطالعه موردی: معدن زغال سنگ پروده طبس

نواحی زغال‌دار طبس در شمال استان یزد، جنوب و جنوب غربی شهر طبس واقع شده‌اند. وسعت این نواحی حدود ۳۰ هزار کیلومتر مربع است. تولید در مناطق پروده در سال ۱۳۸۶ آغاز شده است. ناحیه پروده با وسعتی حدود ۱۲۰۰ کیلومتر مربع در ۷۰ کیلومتری شهرستان طبس واقع شده است. میزان ذخیره زغال سنگ این ناحیه بیشترین ذخائر زغال‌سنگ کشور بوده و ۱/۱ میلیارد تن برآورد شده است. معدن شماره یک، فعال‌ترین و بزرگترین معدن منطقه بوده و به روش جبهه‌کار طولانی مکانیزه استخراج می‌شود. در حال حاضر این معدن با ظرفیت اسمی سالانه ۷۵۰ هزار تن کنسانتره زغال‌سنگ فعالیت می‌کند. برای تجهیز و بهره‌برداری از این مجموعه ۲۶۰ میلیارد تومان سرمایه‌گذاری شده و زمینه اشتغال ۱۲۰۰ نفر فراهم آمده است. به‌منظور بررسی قابلیت اطمینان ماشین ناوزنجیری زرهی در این معدن، داده‌های خرابی مربوط به دو سال کارکرد این ماشین در کارگاه شماره یک معدن استفاده شده است.

۵- تحلیل داده‌ها

در این مقاله به منظور بررسی نوع داده‌ها و تحلیل آن‌ها، از آزمون نظامی استفاده شده است. نتایج این تحلیل در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین برای ارزیابی وجود همبستگی از روش گرافیکی استفاده شده است. نمودار پارتو بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده نسبت تعداد خرابی هر زیر سیستم به تعداد کل خرابی دستگاه را در شکل ۵ نشان می‌دهد. چنانکه مشاهده می‌شود، زیرسیستم برق با فراوانی ۶۵/۳۵ درصد، بحرانی‌ترین زیرسیستم و زیرسیستم سرعت با ۹/۴۵ درصد کل خرابی‌ها، بهترین شرایط را دارد. بنابراین، در تمامی مسائل مدیریتی مربوط به تعمیر و نگهداری این دستگاه، زیرسیستم برق باید بیش از سایر زیرسیستم‌ها مورد توجه قرار گیرد و بازرسی دوره‌ای و مرتب این زیر سیستم باید مد نظر باشد [۱۵، ۱۷، ۱۸].

که در آن، n تعداد خرابی، T_n زمان آخرین خرابی و T_i زمان خرابی نام می‌باشد. در این روش، فرض صفر این است که داده‌ها از فرآیند پواسون ناهمگن تبعیت نمی‌کنند. بر مبنای این فرض، شاخص U دارای توزیع مربع کای (χ^2) با درجه آزادی $2(n-1)$ است. برای کنترل صحت فرض صفر، پس از محاسبه U برای داده‌ها، از جدول استاندارد توزیع مربع کای استفاده می‌شود. در صورتی که فرض موجود در سطح اعتماد بالای ۹۵٪ پذیرفته شود، آنگاه مشخص می‌شود که داده‌ها دارای روند نیستند. در صورت رد این فرض، داده‌ها دارای روند تشخیص داده می‌شوند. در روش گرافیکی وجود حالت تحذب، تقعر و یا به طور کلی انحنا در نحوه قرارگیری نقاط، نشان دهنده روند در داده‌ها است [۱۴].

۳-۲- آزمون همبستگی سری

هدف از این آزمون ارزیابی استقلال یا همبستگی داده‌ها است. برای بررسی همبستگی داده‌های خرابی یک دستگاه از روش گرافیکی استفاده می‌شود. اگر نقاط موجود دارای نظم و ترتیب خاصی نباشد، نشان دهنده آن است که داده‌های متوالی دارای همبستگی نیستند. در غیر این صورت داده‌ها غیرمستقل خوانده می‌شود [۱۶].

۳-۳- فرآیند تجدید شونده

برای یافتن توزیع مناسب در فرآیند تجدید شونده از روش‌های آمار کلاسیک استفاده می‌شود. برای این منظور، توابع توزیع مختلف روی داده‌ها امتحان می‌شوند تا بهترین توزیع انتخاب شود. برای انتخاب بهترین تابع چگالی احتمال خرابی از آزمون آماری کلموگروف-اسمیرنوف استفاده می‌شود [۱۴، ۱۵].

۳-۴- پواسون ناهمگن (قانون توان)

فرآیند قانون توان یکی از شناخته‌شده‌ترین روش‌های مطالعه قابلیت اطمینان دستگاه‌های تعمیرپذیر به شمار می‌آید. تابع نرخ خرابی و قابلیت اطمینان آن به ترتیب به صورت زیر می‌باشند:

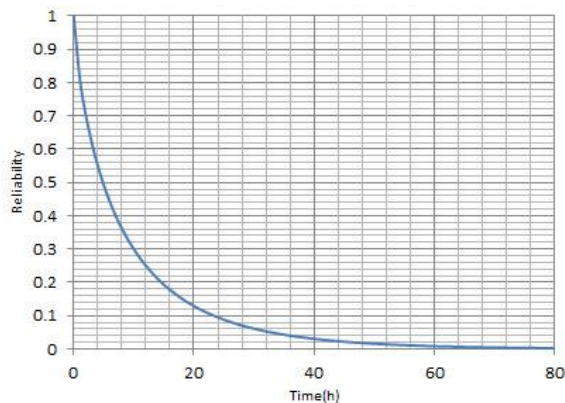
$$\lambda(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t}{\beta} \right)^{\alpha-1} \quad (2)$$

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{\beta} \right)^{\alpha} \right] \quad (3)$$

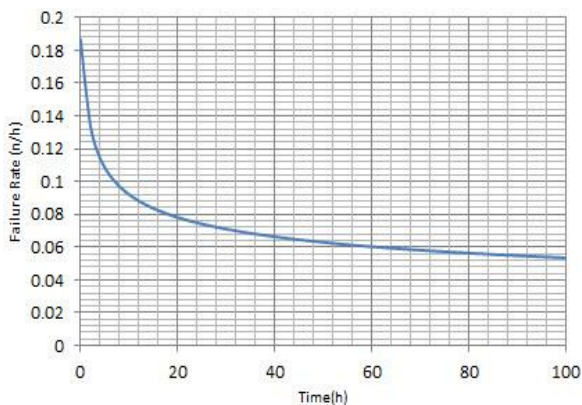
که در آن β پارامتر مقیاس، α پارامتر شکل است.

نمودار قابلیت اطمینان (شکل ۶) و نرخ خرابی آن رسم شد (شکل ۷).

چنانچه از شکل ۶ برمی آید قابلیت اطمینان زیرسیستم برق پس از ۷۰ ساعت عملیات پیوسته به نزدیکی صفر می رسد و عملکرد آن متوقف خواهد شد. همچنین منحنی نشان می دهد که پس از طی حدود ۱۴ ساعت، احتمال خرابی سیستم تنظیم و تراز به بیش از ۸۰٪ می رسد که رقم قابل توجهی است.



شکل ۶: نمودار قابلیت اطمینان زیرسیستم برق



شکل ۷: نمودار نرخ خرابی زیرسیستم برق

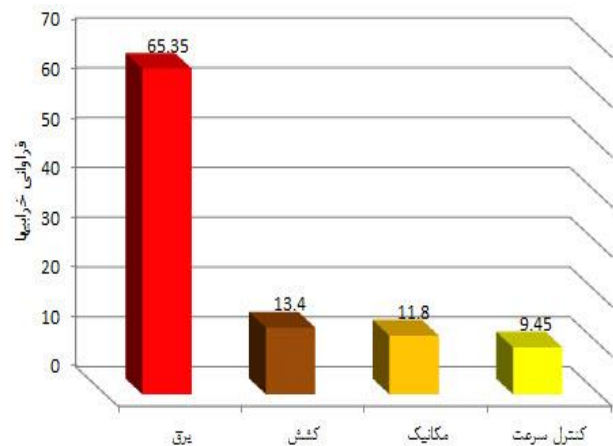
شکل ۷ منحنی نرخ خرابی زیر سیستم برق را نشان می دهد. پرواضح است که این زیرسیستم دارای رفتار خرابی رو به بهبود و نرخ خرابی کاهشی می باشد. نرخ خرابی در زمان شروع کار برابر با ۰/۱۹ خرابی در ساعت بوده و با نزول سریع پس از ۱۰ ساعت، به ۰/۰۹ می رسد. از این زمان به بعد نرخ خرابی با یک روند کاهنده ملایم، در زمان ۱۰۰ ساعت به مقدار ۰/۰۵ می رسد.

۵-۲- قابلیت اطمینان زیر سیستم مکانیک

با توجه به نتایج تحلیل داده ها، تابع آ گاما سه پارامتری به عنوان تابع توزیع قابلیت اطمینان زیرسیستم مکانیک دستگاه انتخاب شد.

جدول ۱: نتایج آزمون روند (روش نظامی) روی داده ها

زیرسیستم	تعداد خرابی	درجه آزادی	U محاسبه شده	رد فرض صفر در سطح اعتماد ۰/۹۵	روش مدلسازی
برق	۸۳	۱۶۴	۱۰۸/۶۲	$U < ۱۳۵/۷۵$	پواسون ناهمگن (قانون توان)
مکانیک	۱۵	۲۸	۳۶/۵۴	$U > ۱۶/۹۳$	فرآیند تجدید شونده
کشش زنجیر	۱۷	۳۲	۱۷/۱	$U < ۲۰/۰۷$	پواسون ناهمگن (قانون توان)
کنترل سرعت	۱۲	۲۰	۲۴/۱۲	$U > ۱۰/۸۵$	فرآیند تجدید شونده



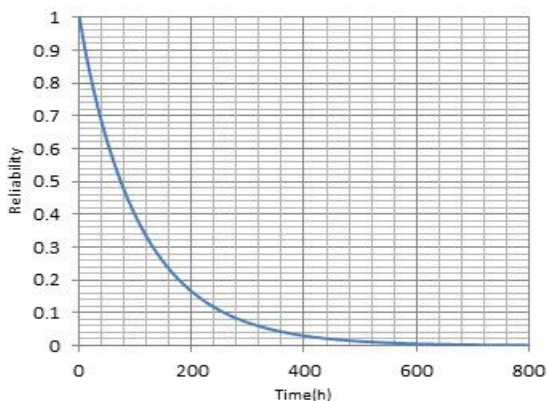
شکل ۵: نمودار پارتو خرابی های ناورنجیری زرهی معدن طبس

زمان های بین خرابی ها به عنوان داده های اصلی وارد نرم افزار Easyfit5.5 شدند. سپس، تحلیل آماری داده ها انجام شد. بهترین تابع توزیع با توجه به تطابق ظاهری تابع توزیع چگالی احتمال با هیستوگرام داده ها و نیز کمینه بودن نتیجه آزمون تطابق کلموگروف-اسمیرنوف و میانگین زمان بین خرابی ها انتخاب می گردد. که جزئیات نتایج هر زیر سیستم در بخش مربوط به آن ارائه خواهد شد.

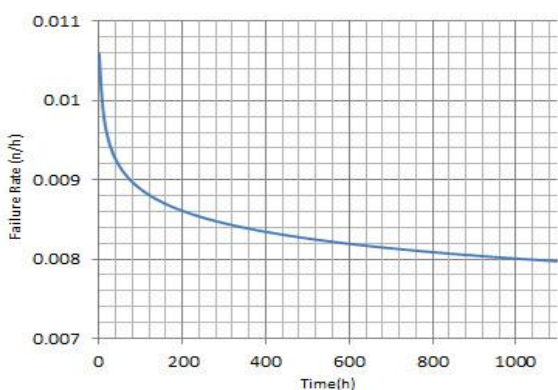
۵-۱- قابلیت اطمینان زیرسیستم برق

بعلت وجود روند در داده ها از فرآیند پواسون ناهمگن (قانون توان) برای تعیین تابع توزیع احتمال استفاده شد و

نمودار قابلیت اطمینان (شکل ۱۰) و نرخ خرابی آن رسم گردیده است (شکل ۱۱).
 شکل ۱۱ بیانگر این است که قابلیت اطمینان زیرسیستم کشتش پس از ۷۰۰ ساعت عملیات پیوسته به نزدیکی صفر می‌رسد و عملکرد آن متوقف خواهد شد.



شکل ۱۰: نمودار قابلیت اطمینان زیرسیستم کشتش



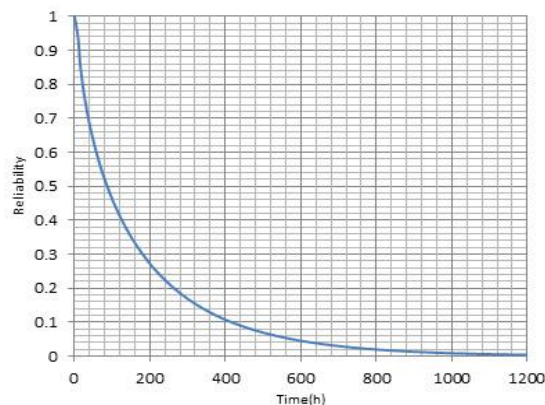
شکل ۱۱: نمودار نرخ خرابی زیرسیستم کشتش

شکل ۱۰ نشان می‌دهد که زیرسیستم کشتش دارای رفتار خرابی رو به بهبود و نرخ خرابی کاهشی می‌باشد. نرخ خرابی در زمان شروع کار برابر با ۰/۰۱۰۶ خرابی در ساعت بوده و با نزول سریع پس از ۲۰۰ ساعت، به ۰/۰۸۶ می‌رسد. از این زمان به بعد نرخ خرابی با یک روند کاهنده ملایم، در زمان ۱۰۰۰ ساعت به مقدار ۰/۰۰۸ میرسد.

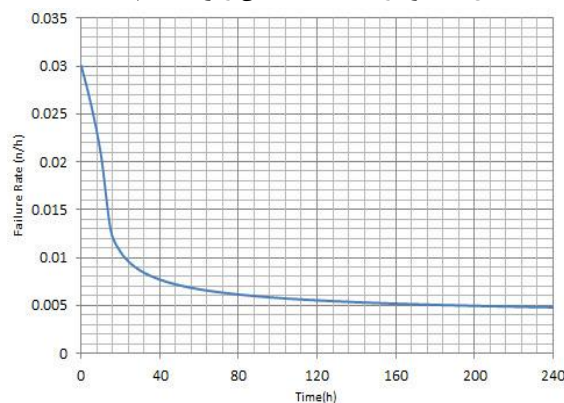
۴-۵- قابلیت اطمینان زیر سیستم کنترل سرعت

با توجه به نتایج تحلیل‌ها و مانا مستقل بودن داده‌ها، تابع آماری گاما عمودی چهار پارامتری به عنوان تابع توزیع قابلیت اطمینان انتخاب شد.

با دقت در شکل ۸، مشخص می‌شود که قابلیت اطمینان زیرسیستم مکانیک پس از ۱۱۰۰ ساعت عملیات پیوسته به نزدیکی صفر می‌رسد و عملکرد آن متوقف خواهد شد. همچنین منحنی نشان می‌دهد که پس از طی حدود ۲۰۰ ساعت، احتمال خرابی این سیستم به بیش از ۷۰٪ می‌رسد.



شکل ۸: نمودار قابلیت اطمینان زیرسیستم مکانیک



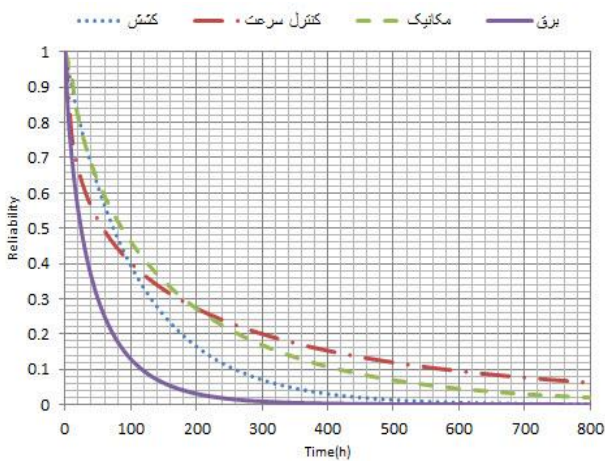
شکل ۹: نمودار نرخ خرابی زیرسیستم مکانیک

شکل ۹ نشان می‌دهد که زیرسیستم مکانیک دارای رفتار خرابی رو به بهبود و نرخ خرابی کاهشی است. نرخ خرابی در زمان شروع کار برابر با ۰/۰۳ خرابی در ساعت بوده و با نزول سریع پس از ۲۴ ساعت، به ۰/۰۱ می‌رسد. از این زمان به بعد نرخ خرابی با یک روند کاهشی ملایم، در زمان ۱۲۰ ساعت به مقدار ۰/۰۰۵ می‌رسد. بر اساس این منحنی، زیرسیستم مکانیک در طی پهنه اول به دوره عمر مفید خود نرسیده و همچنان در دوره "شروع کار"، به کار خود پایان داده است. این منحنی نشان می‌دهد که اگر شرایط خاصی بر عملیات حاکم نباشد، این سیستم نیازی به تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه نداشته و تنها در زمان وقوع خرابی نیاز به تعمیرات اصلاحی پیدا می‌کند.

۳-۵- قابلیت اطمینان زیرسیستم کشتش

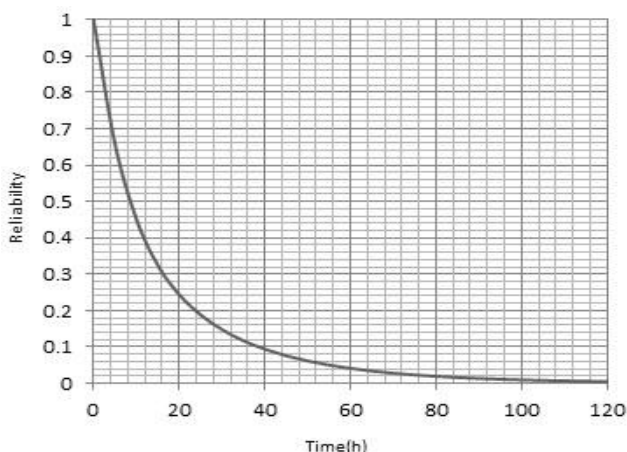
به‌علت وجود روند در داده‌ها از فرآیند پواسون ناهمگن (قانون توان) برای تعیین تابع توزیع احتمال استفاده شده و

دارای بیشترین قابلیت اطمینان نسبت به سایر زیرسیستم‌ها است. قابلیت اطمینان زیرسیستم کشش تا زمان ۱۰۰ ساعت، بالاتر از قابلیت اطمینان زیرسیستم سرعت قرار دارد اما، پس از این زمان، افت شدیدتری نسبت به این زیرسیستم دیگر داشته و تا آخر دوره قابلیت اطمینان دستگاه، در سطح پائین‌تری نسبت به آن قرار می‌گیرد. همچنین با توجه به شکل می‌توان فهمید اولین زیرسیستم که قابلیت اطمینان آن به صفر رسیده و موجب مختل شدن عملکرد کل سیستم می‌شود سیستم برق است. بنابراین زیرسیستم برق زیرسیستم بحرانی بوده و با توجه به میزان بالای پتانسیل خرابی، این زیرسیستم همواره به عنوان مهم‌ترین عامل بازدارنده و کاهنده قابلیت اطمینان دستگاه به شمار می‌رود و باید توجه بیشتری به این زیرسیستم شود.

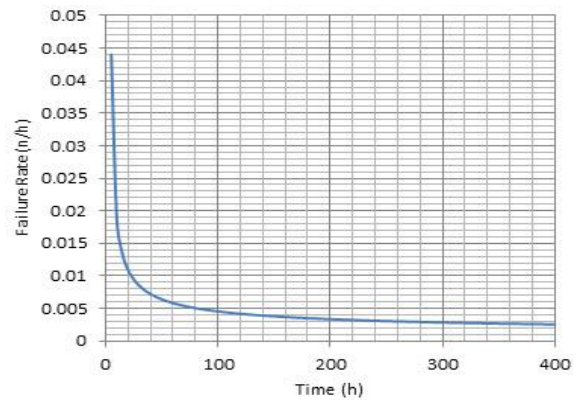


شکل ۱۴: نمودار قابلیت اطمینان زیرسیستم‌ها

چنانچه ذکر شد، دستگاه نوازنجیری زرهی دارای شبکه قابلیت اطمینان سری است و قابلیت اطمینان کل دستگاه از حاصل-ضرب قابلیت اطمینان زیرسیستم‌ها در هر زمان به دست می‌آید. به این ترتیب، منحنی قابلیت اطمینان کل دستگاه در شکل ۱۵ ارائه شده است.



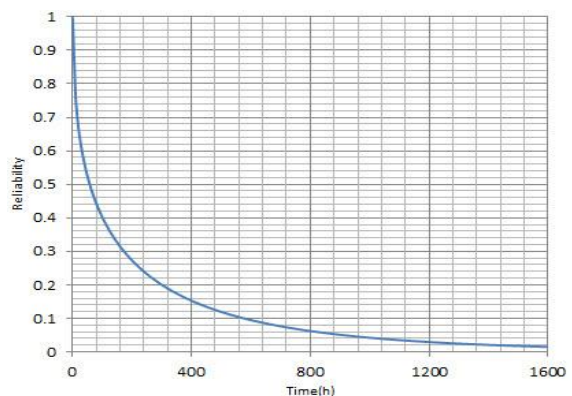
شکل ۱۵: نمودار قابلیت اطمینان نوازنجیری زرهی معدن پروده طبس



شکل ۱۲: نمودار نرخ خرابی زیرسیستم کنترل سرعت

شکل ۱۲ منحنی قابلیت اطمینان زیرسیستم کنترل سرعت را نشان می‌دهد و چنانچه مشاهده می‌شود قابلیت اطمینان زیرسیستم کنترل سرعت پس از ۱۷۰۰ ساعت عملیات پیوسته به نزدیکی صفر می‌رسد و عملکرد آن متوقف خواهد شد. همچنین منحنی نشان می‌دهد که پس از طی حدود ۳۲۰ ساعت، احتمال خرابی سیستم کنترل سرعت به بیش از ۸۰٪ می‌رسد.

از شکل ۱۳ برمی‌آید که زیرسیستم کنترل سرعت نیز دارای رفتار خرابی رو به بهبود و نرخ خرابی کاهنده می‌باشد. نرخ خرابی در زمان شروع کار برابر با ۰/۰۴۴ خرابی در ساعت بوده و با نزول سریع پس از ۲۰ ساعت، به ۰/۰۱ می‌رسد. از این زمان به بعد نرخ خرابی با یک روند کاهشی ملایم، در زمان ۳۰۰ ساعت به مقدار ۰/۰۰۲ می‌رسد.



شکل ۱۳: نمودار قابلیت اطمینان زیرسیستم کنترل سرعت

۵-۵- قابلیت اطمینان کل دستگاه

برای بررسی بیشتر و مطالعه ارتباط قابلیت اطمینان زیرسیستم‌های مختلف دستگاه، منحنی‌های قابلیت اطمینان زیرسیستم‌های مختلف نوازنجیری زرهی معدن طبس در شکل ۱۴ به صورت یکجا ارائه شده‌اند.

با دقت در شکل، مشاهده می‌شود که پیش از ۱۵۰ ساعت زیرسیستم مکانیک و پس از آن زیرسیستم کنترل سرعت

جدول ۲: دوره تعمیرات پیش‌گیرانه برای زیرسیستم‌های

ناوزنجیری زرهی

سطح قابلیت اطمینان			زیرسیستم	فاصله زمانی برای تعمیر و نگهداری
%۵۰	%۷۰	%۸۰		
۵	۲	۱	برق	پیش‌گیرانه بر اساس قابلیت اطمینان (ساعت)
۸۵	۳۵	۲۰	مکانیک	
۷۵	۳۵	۲۰	کشش زنجیر	
۵۵	۱۵	۱۰	کنترل سرعت	

۷- نتیجه گیری

در این مقاله، داده‌های خرابی ماشین ناوزنجیری زرهی معدن زغال سنگ طبس مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفتند. برای تعیین قابلیت اطمینان دستگاه، چهار زیرسیستم برای آن تعریف شد و تمامی نتایج کلی این تحقیق را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- نتایج تحلیل پارتو نشان داد که سیستم برق با $۶۵/۳۵\%$ بالاترین فراوانی خرابی در بین زیرسیستم‌ها را دارد.
- سیستم کنترل سرعت با $۹/۴۵\%$ دارای کمترین فراوانی خرابی است.
- نتایج تحلیل‌های آماری نشان داد که رفتار خرابی سیستم برق و کشش از مدل قانون توان، سیستم مکانیک از تابع گاما ۳ پارامتری و سیستم کنترل سرعت از تابع گامای عمودی ۴ پارامتری تبعیت می‌کنند.
- فاصله زمانی تعمیر و نگهداری پیش‌گیرانه بر اساس قابلیت اطمینان ۸۰ درصد برای زیرسیستم‌های ناوزنجیری محاسبه شد. توصیه می‌شود زیرسیستم‌های برق، مکانیک، کشش زنجیر و کنترل سرعت به ترتیب هر ۱، ۲۰، ۲۰ و ۱۰ ساعت کنترل و بررسی شوند.

مراجع

- [1] Ivko V. L., Ovchinnikova L. K., Plontnikova V., "A Method of Estimating the Operational Reliability of Kinematics Mechanized Support Systems", Soviet Mining Science, 9(3), (1973), PP. 333-335.
- [2] Walker A. J., "Engineering Reliability into AFCs", Mining Technology, 64(736), (1982), PP. 91-94.
- [3] Mason N. S., "Monitoring the Reliability of Coal face Equipment", The Mining Engineer, 143(Z64), (1983), PP. 105-112.
- [4] Mandal S. K., Banik P. K., "Evaluation of Reliability Index of Longwall Equipment Systems", Mining Technology, 78(897), (1996), PP. 138-140.
- [5] Gupta S., Ramkrishna N., Bhattacharya J., "Replacement and maintenance analysis of

چنان‌که در شکل ۱۵ دیده می‌شود، قابلیت اطمینان کل دستگاه ناوزنجیری زرهی پس از طی ۱۲۰ ساعت به نزدیکی صفر می‌رسد. قابلیت اطمینان دستگاه در طی ۸ ساعت اول، ۵۰ درصد کاهش می‌یابد و احتمال خرابی و کارکرد مناسب دستگاه برابر می‌شود. با دقت در منحنی قابلیت اطمینان دستگاه مشخص می‌شود که در ۴۰ ساعت کارکرد اولیه دستگاه ۹۰ درصد از قابلیت اطمینان دستگاه کاسته می‌شود که مقدار قابل توجهی است.

۶- برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری

تعمیر و نگهداری پیش‌گیرانه اغلب مبتنی بر زمان انجام می‌گیرد. هدف استفاده از تعمیر و نگهداری پیش‌گیرانه جلوگیری از به وقوع پیوستن خرابی در سیستم می‌باشد. از مزایای این نوع تعمیر و نگهداری می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۱۴]:

- پیش‌بینی و برنامه‌ریزی منابع ممکن است.
- زمانی که به درستی به کار برده شود، از اتفاق افتادن عمده خرابی‌های اصلی جلوگیری می‌کند و هزینه‌های تعمیر و نگهداری را کاهش می‌دهد.
- این اطمینان را به مدیران می‌دهد که تجهیزات تعمیر شده‌اند.
- به راحتی قابل فهم و توجیه است.
- یکی از بهترین راه‌ها برای برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری استفاده از رویکرد قابلیت اطمینان است. از منحنی قابلیت اطمینان دستگاه می‌توان برای پیش‌بینی فاصله تعمیر و نگهداری پیش‌گیرانه در جهت رسیدن به بازده و قابلیت اطمینان مطلوب استفاده کرد. در واقع میزان قابلیت اطمینان تعیین شده بیانگر اینست که به کمک برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری پیش‌گیرانه میزان قابلیت اطمینان دستگاه به مقداری پایین تر از حد مورد نظر کاهش پیدا نکند.
- برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری پیش‌گیرانه در سه سطح قابلیت اطمینان مختلف برای زیرسیستم‌های ناوزنجیری زرهی در جدول ۲ ارائه شده است. با در نظر گرفتن منحنی‌های قابلیت اطمینان ارائه شده برای زیرسیستم‌های مختلف و نیز امکانات اجرایی موجود در معدن پروده طبس و تخصص تعمیرکاران، قابلیت اطمینان ۸۰ درصد، به عنوان قابلیت اطمینان هدف و حداقل سطح قابلیت اطمینان عملیاتی زیرسیستم‌های ناوزنجیری زرهی تعیین شد. بنابراین توصیه می‌شود زیرسیستم‌های برق، مکانیک، کشش زنجیر و کنترل سرعت به ترتیب هر ۱، ۲۰، ۲۰ و ۱۰ ساعت کنترل و بررسی شوند.

- [13] Rahimdel, M.J; Ataie, M; Khalokakaei,R; Hoseinie, S.H, “*Reliability-based maintenance scheduling of hydraulic system of rotary drilling machines*”, International journal of mining science and technology, 23(5), Sep, pp. 771–775, 2008.
- [14] Hoseinie, S.H; Ataie, M; Khalookakaei, R; Kumar, U, “*Reliability modeling of hydraulic system of drum shearer machine*”, Journal of coal science & engineering, 17(4), Dec, pp. 450–456, 2011.
- [15] Barabady, J; Kumar, U, “*Reliability analysis of mining equipment: a case study of a crushing plant at Jajarm bauxite mine in Iran*”, Reliability engineering and safety, 93, Nov, pp. 647–653, 2007.
- [16] Kumar. U., “*Reliability analysis of load-haul-dump machines*”. PhD thesis, Lulea university of Technology, Lulea, Sweden, 1990.
- [17] Kumar, U; Klefsjo, B, “*Reliability analysis of hydraulic system of LHD machines using the power law process model*”, Reliability engineering and system safety, 35(3), Dec, pp. 217–224, 1992.
- [18] Hall, R.A; Daneshmand, K, “*Reliability modeling of surface mining equipment: data gathering and analysis methodologies*”, International journal of surface mining, reclamation and environment, 17(3), Aug, pp. 139–155, 2010.
- longwall shearer using fault tree technique”, Mining Technology, 115(2), (2006), PP.49-58.
- [6] Gupta S., Bhattacharya J., “Reliability Analysis of a Conveyor System using Hybrid Data”, Quality and Reliability Engineering International, 23, (2007), PP.867–882.
- [7] Bing-Yuan H., Gang S., Li-Xun K., “Reliability emulation of production system on longwall face”. Journal of Coal Science & Engineering, 15(1), (2009), PP. 76-80.
- [8] Hoseinie, S.H., “Modeling and Simulation of Drum Shearer Machine's Reliability at Mechanized Longwall Coal Mines- case study: Tabas Coal Mine”. PhD Thesis, Mining Engineering, Shahrood University of Technology, 2011.
- [9] Hoseinie, S.H., Ataie, M., Khalookakaei, R., Kumar., U., Ghodrati, B., “Reliability analysis of drum shearer machine at mechanized longwall mines ”. Journal of quality in maintenance engineering, 18(1), (2012), PP. 98-119.
- [10] Singh, R.D, “*Principles & practices of modern coal mining*”, New age,4835/24,Ansari road, Daryaganj, new delhi-110002, 2010.
- [11] Darling, P, “*SME mining engineering handbook*”, SME, 12999 E, Adam Aircraft Circle, Englewood, 2011.
- [12] Dhillon, B.S, “*Mining equipment reliability maintainability and safety*”, Springer, springer London, 2008.

¹ Armored Face Conveyor