تحلیل قابلیت اطمینان طراحی اولیه سیستم برق و کنترل دستگاه حفاری افقی

فرزین صالحپور اسکویی[۱]، محمد پورگل محمد[۲]، امین منیری مراد[۳] و کمال عباس‌پور[۴]

[۱] دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

[۲] **نویسنده مسئول** ، استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

[۳] دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

[۴] گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جلفا، جلفا، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۲/۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۴/۳)

چکیده: تحلیل قابلیت اطمینان و ارائه مدل مناسب برای بیان ارتباط بین اجزاء مختلف، از اهمیت فراوانی برخوردار است. بطوریکه با تعیین قابلیت اطمینان اجزاء، می‌توان قابلیت اطمینان کل سیستم را بیان کرد. هدف از انجام این پژوهش، تحلیل قابلیت اطمینان سیستم برق و کنترل یک دستگاه مکانیکی می‌باشد که در فاز طراحی بوده و داده‌های میدانی کافی در دسترس نمی‌باشند. در این روش ابتدا اجزاء مختلف سیستم شناسایی شده و نحوه عملکرد آنها و همچنین نحوه ارتباط آنها با یکدیگر بررسی می‌شوند. با بکارگیری داده‌های عمومی موجود در استانداردهای مختلف مانند MIL-HDBK-217F و EPRD، نرخ خرابی و میانگین زمان بین خرابی مربوط به هر جزء محاسبه می‌گردد. با استفاده از این اطلاعات، مدل قابلیت اطمینان سیستم توسعه یافته و نحوه ارتباط اجزاء از دیدگاه قابلیت اطمینان تبیین می‌گردد. جهت تحلیل کل سیستم از نقطه نظر قابلیت اطمینان از نرم‌افزارهای مرتبط در این زمینه استفاده می‌شود. در این روش می‌توان با استفاده از محاسبات اهمیت قابلیت اطمینان، اهمیت اجزاء مختلف سیستم از دیدگاه قابلیت اطمینان را تعیین کرد. همچنین می‌توان با استفاده از روش تخصیص قابلیت اطمینان، مقدار قابلیت اطمینان مورد نیاز هر یک از اجزاء اصلی سیستم برای دستیابی به قابلیت اطمینان هدف را تعیین کرد. در نهایت نیز با اضافه کردن داده‌های نگهداری و تعمیرات مربوط به هر یک از اجزاء، مقادیر قابلیت دسترسی و ویژگی‌های مربوط به آن محاسبه می‌شوند. این روش به عنوان نمونه بر روی سیستم برق و کنترل یک ماشین حفاری افقی در فاز طراحی اعمال شده و نتایج مربوط به آن ارائه گردیده است.

کلمات کلیدی: تحلیل قابلیت اطمینان - قابلیت دسترسی – فاز طراحی- سیستم برق و کنترل- ماشین حفاری افقی

۱- مقدمه

یک سیستم، حاوی مجموعه‌ای از اجزاء (مؤلفه، زیرسیستم، قطعات و ...) است که با قرارگیری مناسب در کنار یکدیگر می‌توانند سبب عملکرد بهینه سیستم شوند. تحلیل قابلیت اطمینان و ارائه مدل مناسب برای بیان ارتباط بین اجزاء مختلف، از اهمیت فراوانی برخوردار است. بطوریکه با تعیین قابلیت اطمینان اجزاء، می‌توان قابلیت اطمینان کل سیستم را بیان کرد. خرابی هر یک از اجزاء نیز بر روی کل سیستم تأثیرگذار است و باید در تحلیل‌های قابلیت اطمینان مورد توجه قرار گیرد [۱]. مطالعات قابلیت اطمینان بعنوان

[Downloaded from journals.sut.ac.ir on 2024-04-28]
[DOR: 20.1001.1.23223146.1392.1.2.1.9]

یک بخش قابل توجه در برنامه‌های مدیریت نت[1] در نظر گرفته می‌شود. این روش، در صنایع، به دلیل پیچیدگی تجهیزات از کارایی بالایی برخوردار است و سبب بهره‌وری بالاتر تجهیزات می‌شود. در واقع، تجزیه و تحلیل مبتنی بر قابلیت اطمینان تجهیزات برای شناسایی ویژگی‌های عملیاتی تجهیزات و برنامه‌ریزی‌های مناسب در آینده است [۲-۳]. در سال‌های اخیر، طراحی سیستم‌ها بر مبنای قابلیت اطمینان بصورت طراحی مفهومی[2]، مورد توجه بیشتر طراحان تجهیزات صنعتی و کشاورزی قرار گرفته است. Avontuur و همکارانش [۴] با اعمال تحلیل قابلیت اطمینان در شرایط مفهومی و در فاز طراحی و بکار بردن آنالیز درخت خرابی در این فاز بر روی یک سیستم رانش، به مقایسه تاثیر تحلیل قابلیت اطمینان یک سیستم در فاز طراحی با حالتی که این تحلیل پس از ساخت بر روی سیستم اعمال شود، پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش بیانگر افزایش قابلیت اطمینان و طول عمر سیستم در اثر اعمال تحلیل قابلیت اطمینان در فاز طراحی بوده است. در همین راستا Yuanfan [۵] با بررسی نحوه مدل‌سازی ریاضی-مکانیکی سیستم‌های مختلف، به تحلیل قابلیت اطمینان یاتاقان‌های بکار رفته در تجهیزات معدنی پرداخته است. در این پژوهش به کمک داده‌های تجربی و با استفاده از روابط ساده احتمالاتی، مقادیر قابلیت اطمینان یاتاقان‌ها برای دورهای مختلف تعیین شده است. Abo Al-kheer و همکارانش [۶] با مقایسه روش طراحی بر مبنای قابلیت اطمینان با روش طراحی کلاسیک، به توسعه مدلی جهت تعیین قابلیت اطمینان دستگاه‌های شخم‌زنی پرداخته‌اند. در پژوهش مذکور با بکارگیری آنالیز حساسیت، تغییرات نیروهای افقی و عمودی و نحوه تاثیر آن بر قابلیت اطمینان سیستم مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به مطالب ارائه شده، مشخص می‌گردد که در پژوهش‌های گذشته، همواره از داده‌های تجربی برای تحلیل قابلیت اطمینان استفاده شده و در مورد سیستم‌هایی که اطلاعاتی در مورد خرابی اجزاء آنها در دسترس نیست، روش منسجمی ارائه نشده است. همچنین در بیشتر پژوهش-های انجام گرفته، سیستم های الکتریکی یا مکانیکی بطور جداگانه مورد بررسی قرار گرفته و حالت ترکیبی آنها مورد مطالعه قرار نگرفته است. در پژوهش حاضر، به توسعه روشی جهت تحلیل قابلیت اطمینان سیستم‌هایی که در فاز طراحی بوده و اطلاعاتی در مورد خرابی اجزاء مختلف آنها وجود ندارد، پرداخته می‌شود. با توجه به عدم دسترسی به داده‌های میدانی، از داده‌های عمومی[3] بهبود یافته توسط نظرات کارشناسی[4] جهت استخراج اطلاعات خرابی اجزاء مختلف سیستم استفاده شده است. همچنین در روش ارائه شده، علاوه بر قابلیت اطمینان و قابلیت دسترسی سیستم، اهمیت اجزاء مختلف از نقطه نظر قابلیت اطمینان مورد بررسی قرار گرفته است. با انجام تخصیص قابلیت اطمینان نیز پیشنهاداتی در مورد ویژگی قابلیت اطمینان قطعات مختلف بکار رفته در سیستم و نحوه انتخاب آنها ارائه شده است. ویژگی دیگر پژوهش حاضر، توانایی آن در تحلیل سیستم‌های ترکیبی الکترومکانیکی می‌باشد.

بدین ترتیب، در بخش دوم به بررسی روش مذکور و تبیین مراحل مختلف آن پرداخته شده است. در این بخش اجزاء مختلف شناسایی شده و داده‌های خرابی مربوط به آنها استخراج گردیده است. همچنین سیستم از نظر قابلیت اطمینان مدل‌سازی شده و قابلیت اطمینان و قابلیت دسترسی کل سیستم محاسبه شده است. کلیه مراحل روش مذکور در فلوچارت شکل ۱ به ترتیب نشان داده شده است. در بخش سوم، کاربرد این روش بر روی سیستم برق و کنترل دستگاه حفاری مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصل از آن در بخش چهارم بیان شده است. در انتها نیز نتایج نهایی مقاله در بخش پنجم ارائه شده است.

[1] نگهداری و تعمیرات
[2] Conceptual design
[3] Generic data
[4] Expert judgment

[Downloaded from journals.sut.ac.ir on 2024-04-28]
[DOR: 20.1001.1.23223146.1392.1.2.1.9]

شکل ۱: روند تحلیل قابلیت اطمینان سیستم

۲- روش شناسی

در این بخش روشی مناسب برای تحلیل قابلیت اطمینان یک سیستم با ویژگی‌های خاص (در فاز طراحی بودن سیستم و عدم دسترسی کامل به داده‌های خرابی اجزا مختلف آن) ارائه می‌گردد.

۲-۱- شناخت اجزاء سیستم و استخراج داده های خرابی

در گام نخست انتظارات مورد نیاز کارفرما برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم مورد بررسی قرار می‌گیرد. تعیین هدف[1] در تحلیل-های قابلیت اطمینان از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. همچنین در این مرحله معیارهای خرابی و نیز قیود[2] موجود در طراحی سیستم از جمله ملاحظات فنی، ملاحظات اقتصادی و ... مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در پایان این مرحله، کلیه قطعات و اجزاء سیستم شناخته شده و ساختار سیستم و عملکرد آنها مشخص می‌گردند.

در گام بعدی میانگین زمان بین خرابی‌های هر یک از اجزاء محاسبه می‌شود. گردآوری داده‌های خرابی به اشکال گوناگونی امکان‌پذیر است. از آن جمله می‌توان به داده‌های میدانی و داده‌های عمومی اشاره کرد. جهت استخراج داده‌های خرابی عمومی مربوط به یک سیستم، از داده‌های خرابی سیستم‌های مشابه استفاده می‌شود. با در نظر گرفتن شرایط محیطی، نحوه عملکرد و وظایف مربوط به هر یک از قطعات و همچنین با توجه به نرخ خرابی حاصل از آزمایشات انجام گرفته بر روی نمونه‌های مشابه (نرخ خرابی پایه)، نرخ خرابی قطعه مورد نظر تخمین زده می‌شود. داده‌های استخراج شده توسط مراجع و استانداردهای معتبر مانند OREDA (داده‌های قابلیت اطمینان مربوط به اجزاء مختلف تأسیسات دریایی) [۷]، EPRD95 [۸] و NPRD95 [۹]

[1] Mission
[2] Constraints

[Downloaded from journals.sut.ac.ir on 2024-04-28]
[DOR: 20.1001.1.23223146.1392.1.2.1.9]

و MIL_HDBK-217F (برای پیش‌بینی قابلیت اطمینان تجهیزات الکترونیکی) [۱۰] از جمله این داده‌ها می‌باشند. هدف از کاربرد این استانداردها، بکارگیری یک روش ساختاریافته جهت تخمین قابلیت اطمینان ذاتی قطعات (قابلیت اطمینان قطعات در مرحله طراحی) به کمک ترکیب نظرات کارشناسی و داده‌های آماری می‌باشد. رابطه ۱ نحوه تعیین نرخ خرابی قطعه را با استفاده از داده‌های عمومی نشان می‌دهد.

$$\lambda = \pi_E \pi_{CYC} \pi_L \lambda_b \qquad (۱)$$

π_E ضریب شرایط محیطی، π_{CYC} ضریب چرخه عملکرد و π_L ضریب بار می‌باشند. هر یک از ضرایب مذکور، بصورت یک ضریب تصحیح بر روی نرخ خرابی پایه λ_b که با توجه به اطلاعات مربوط به سیستم‌های مشابه استخراج گردیده است، اثر می‌کند و نرخ خرابی قطعه مورد نظر با دقت مناسبی حاصل می‌گردد. نحوه محاسبه ضرایب و نرخ خرابی پایه در [۱۰] به تفصیل بیان شده است.

۲-۲- مدلسازی سیستم از دیدگاه قابلیت اطمینان

پس از بدست آوردن اطلاعات مربوط به خرابی هر یک از اجزاء، در گام بعدی به مدلسازی سیستم از دیدگاه قابلیت اطمینان پرداخته می‌شود [۱۱]. نحوه ارتباط اجزاء و زیرسیستم‌های مختلف با توجه به مفهوم ساختار سیستم در مبحث قابلیت اطمینان، در این گام مشخص می‌گردد. پس از مدلسازی سیستم، می‌توان با استفاده از روش های محاسباتی معین، قابلیت اطمینان کل سیستم را با توجه به قابلیت اطمینان زیرسیستم‌های آن، تعیین نمود.

انجام محاسبات قابلیت اطمینان، منوط به محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم می‌باشد. یکی از شاخص‌های بسیار رایج قابلیت اطمینان، زمان متوسط تا اولین خرابی (MTTF) می‌باشد [۱۴-۱۵]. هرچه زمان متوسط تا اولین خرابی بیشتر باشد، قابلیت اطمینان سیستم بالاتر خواهد بود. پارامتر MTTF بصورت رابطه ۲ و غالبا در واحد ساعت تعریف می‌شود.

$$MTTF = \int_0^\infty R(t)dt \qquad (۲)$$

R(t) قابلیت اطمینان سیستم بوده و جهت محاسبه آن لازم است تا ابتدا تابع توزیع احتمال خرابی مربوط به سیستم تعیین گردد. این توزیع معمولاً با استفاده از داده‌های تجربی مربوط به هر سیستم تعیین می‌گردد. در مورد سیستم‌هایی که در مورد آنها داده‌های میدانی در دسترس نیست، استفاده از نظرات کارشناسان مناسب‌ترین روش می‌باشد. به عنوان مثال تابع توزیع احتمالاتی وایبل دو پارامتری[1] در رابطه ۳ ارائه شده است.

$$f(t) = \frac{\beta(t)^{\beta-1}}{\alpha^\beta} \exp\left[-(\frac{t}{\alpha})^\beta\right] \qquad \alpha, \beta > 0,\ t > 0 \qquad (۳)$$

که در آن α و β به ترتیب بیانگر پارامتر مقیاس و پارامتر شکل می‌باشند [۱]. قابلیت اطمینان توزیع وایبل بصورت رابطه ۴ محاسبه می‌شود

$$R(t) = e^{-(\frac{t}{\alpha})^\beta} \qquad (۴)$$

$$MTTF = \alpha \times \Gamma(\frac{1}{\beta} + 1) \qquad (۵)$$

[1] Two-parameter Weibull probability distribution

[Downloaded from journals.sut.ac.ir on 2024-04-28]
[DOR: 20.1001.1.23223146.1392.1.2.1.9]

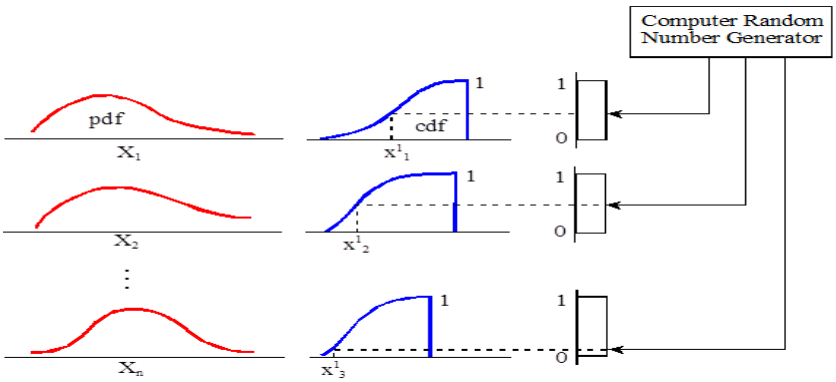
در رابطه فوق منظور از Γ همان تابع گاما می‌باشد. با استفاده از رابطه ۴ و ۵ و نیز با بکارگیری یک روش شبیه‌سازی مناسب می‌توان قابلیت اطمینان سیستمی را که متشکل از اجزاء مختلف می‌باشد، تخمین زد.

۳- روش شبیه‌سازی مونت کارلو[1]

روش مونت-کارلو یک الگوریتم محاسباتی است که از نمونه‌گیری تصادفی برای محاسبه نتایج استفاده می‌کند [۱۲]. روش مونت کارلو در مورد تحلیل قابلیت اطمینان سیستم‌هایی که از اجزاء مختلف با ترکیب‌بندی‌های متنوع تشکیل شده‌اند و محاسبه پاسخ دقیق با کمک الگوریتم‌های قطعی ناممکن یا ناموجه باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین در شبیه‌سازی سیستم‌هایی همچون سیستم مورد مطالعه در پژوهش حاضر که عدم قطعیت زیادی در ورودی‌های آنها وجود دارد میتوان از این روش استفاده نمود. به همین منظور با توجه به دقت مورد نیاز، قابلیت اطمینان و قابلیت دسترسی هر یک از اجزاء بر مبنای محاسبات تکرار شونده تصادفی، برای یک گام زمانی محاسبه می‌شود. محاسبات تکرار شونده در هر گام زمانی تا جایی ادامه پیدا می‌کند که نتایج به یک مقدار مشخصی همگرا شوند. سپس اطلاعات بدست آمده در هر گام زمانی، به عنوان ورودی برای گام بعدی در نظر گرفته می‌شوند. در نهایت کل سیستم برای مدت زمان معین شبیه‌سازی شده و نتایج آن استخراج می‌گردند. به عنوان مثال در مورد تابع توزیع احتمال وایبل، مقداری مانند U که بیانگر قابلیت اطمینان سیستم بوده و به صورت تصادفی از بین اعداد ۰ تا ۱ که بصورت یکنواخت توزیع شده‌اند، انتخاب می‌گردد. به ازای هر یک از این مقادیر تصادفی، زمان خرابی (Time-to-Failure) با استفاده از رابطه ۶ استخراج می‌گردد.

$$t = -(\ln(U))^{1/\beta} \times \alpha \qquad (۶)$$

روند تعیین مقادیر تصادفی و استخراج زمان خرابی در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: نحوه انتخاب مقادیر تصادفی در فرآیند شبیه‌سازی مونت‌کارلو

این کار برای تمامی اجزاء سیستم در هر گام انجام گرفته و نهایتاً قابلیت اطمینان کل سیستم در آن گام تعیین می‌گردد. بدین ترتیب کل سیستم برای مدت زمان معینی شبیه‌سازی شده و نتایج مربوط به قابلیت اطمینان آن استخراج می‌گردد. همچنین در مورد قابلیت دسترسی سیستم نیز مراحل مشابه انجام گرفته و نتایج مورد نظر حاصل می‌شود.

[1] Monte Carlo

[Downloaded from journals.sut.ac.ir on 2024-04-28]
[DOR: 20.1001.1.23223146.1392.1.2.1.9]

٤- اهمیت قابلیت اطمینان[1]

اندازه‌گیری اهمیت قابلیت اطمینان روشی برای شناسایی اهمیت نسبی هر مؤلفه با توجه به قابلیت اطمینان کلی سیستم است. اهمیت قابلیت اطمینان، هم به ویژگی‌های خرابی اجزاء و هم به موقعیت اجزاء در سیستم وابسته است. برای تعیین مقدار عددی اهمیت قابلیت اطمینان، باید نسبت تغییرات قابلیت اطمینان سیستم را بر تغییرات قابلیت اطمینان اجزاء آن محاسبه کرد. مقدار اهمیت قابلیت اطمینان $I_R(t)$ برای مؤلفه iاُم در یک سیستم با n مؤلفه، بصورت معادله ۷ محاسبه می‌شود:

$$I_{R_i}(t) = \frac{\partial R_s(t)}{\partial R_i(t)} \qquad (۷)$$

که R_s قابلیت اطمینان سیستم، R_i قابلیت اطمینان مؤلفه iاُم است [۹].

٥- تخصیص قابلیت اطمینان[2]

طراح در فاز طراحی یک سیستم، ویژگی‌های قابلیت اطمینان مورد نظر را تعیین کرده و طراحی خود را بر مبنای رسیدن به آن هدف توسعه می‌دهد. روش تخصیص قابلیت اطمینان وزنی، با در نظر گرفتن اهمیت هر یک از اجزاء سیستم در تعیین قابلیت اطمینان کل آن، قابلیت اطمینان مورد نیاز برای تک تک اجزاء را در راستای رسیدن به هدف مورد نظر تعیین می‌کند. در پژوهش حاضر اهمیت هر یک از اجزاء بر مبنای آنالیز اهمیت قابلیت اطمینان که در بخش ۵ به آن اشاره شد، تعیین می‌گردد و بر اساس این داده‌ها، مقادیر مورد نیاز برای قابلیت اطمینان تمامی اجزاء محاسبه می‌شود.

٦- ارزیابی قابلیت دسترسی سیستم

در یک سیستم قابل تعمیر، به دلیل اعمال فرآیند نوسازی[3] [۱۶]، بر روی اجزاء، مقدار قابلیت اطمینان، به تنهایی مفهومی ندارد. از این رو، در تحلیل سیستم‌های مذکور از مفهوم دیگری تحت عنوان قابلیت دسترسی استفاده می‌شود. این کمیت بطور همزمان، قابلیت اطمینان سیستم و میزان از کار افتادگی سیستم را انعکاس می‌دهد [۱۷]. رابطه ۸ نحوه محاسبه قابلیت دسترسی یک سیستم قابل تعمیر را بیان می‌کند

$$A(t) = R(t) + \int_0^t R(t-u)m(u)du \qquad 0 < u < t \qquad (۸)$$

در رابطه ۸ u زمان آخرین تعمیر بوده و $m(u)$ تابع چگالی نوسازی[4] می‌باشد.

کاربرد تحلیل قابلیت اطمینان برای یک سیستم حفاری افقی در فاز طراحی

کاربرد ماشین‌های حفاری و به خصوص نوع افقی آنها، بدلیل گسترش فعالیت‌های حفاری و چالزنی، روند رو به رشدی داشته است. سیستم برق و کنترل بعنوان یکی از اجزاء مهم در ماشین‌های حفار بشمار می‌رود بطوریکه برای فعال‌سازی اجزاء مختلف ماشین حفار از زمان آغاز به کار دستگاه تا مراحل پایدار سازی و اجرای عملیات حفاری مورد استفاده قرار گرفته و با سیستم

[1] Reliability Importance
[2] Reliability Allocation
[3] Renewal process
[4] Renewal density function

[Downloaded from journals.sut.ac.ir on 2024-04-28]
[DOR: 20.1001.1.23223146.1392.1.2.1.9]

مکانیکی دستگاه در ارتباط می‌باشد. از این رو تحلیل قابلیت اطمینان این سیستم در طراحی‌های اولیه آن از اهمیت فراوانی برخوردار است. در ادامه به بررسی نحوه اعمال روش ارائه شده در این پژوهش بر روی سیستم مذکور پرداخته می‌شود.

۷- تحلیل قابلیت اطمینان سیستم برق و کنترل ماشین حفاری

سیستم برق و کنترل بعنوان یکی از اجزاء مهم در ماشین‌های مکانیکی بشمار می‌رود. بطوریکه رخ دادن خرابی در سیستم می‌تواند سبب توقف عملیات گردد. علت اصلی انتخاب سیستم برق و کنترل، پیچیدگی این سیستم مخصوصاً تعداد بسیار زیاد حالت‌های ممکن (تعداد زیاد اجزاء) و متنوع بودن مودهای خرابی آن می‌باشد که ارزیابی جامع سیستم را با چالش های زیادی مواجه می-کند.کلیه اجزاء سیستم برق و کنترل دستگاه حفاری، با استفاده از طراحی معکوس شناسایی شده و مشخصات فنی هر یک از آنها تعیین شده است. در جدول ۱ نمونه‌ای از این اطلاعات نشان داده شده است. اطلاعات کامل کلیه قطعات در مرجع [۱۵]، ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات فنی تعدادی از اجزاء سیستم برق و کنترل دستگاه حفاری

شماره در نقشه	نام اجزاء	گروه	شرح وظیفه
4-4-11	SWITCH-SPDT 3 POSITION MOM	Cab Side-Right	چرخاندن کابین
4-8-2A	GAUGE - 7500 PSI - SPAN - JIC - LIGHT-12V lamp	Control Panel/Upper RH W	لامپ هشدار دهنده
4-8-4	SWITCH - PUSH BUTTON HYDRAULIC ENABLE-push button NO		کلید فعال کننده هیدرولیک
4-8-5	SWITCH-MOM BUTTON NO-push button NO		کلید حفاری خودکار
4-8-7A	LIGHT - REMOTE LOCKOUT-GREEN		لامپ نشانگر

در این پژوهش با بکارگیری استانداردهای MIL-HDBK 217F و NPRD، محاسبات مربوط به MTBF و نرخ خرابی هر یک از اجزاء تعیین می‌گردند. در جدول ۲ نمونه‌ای از نتایج این محاسبات ارائه شده است. محاسبات کامل در این زمینه در مرجع [۱۸] ارائه شده است.

[Downloaded from journals.sut.ac.ir on 2024-04-28]

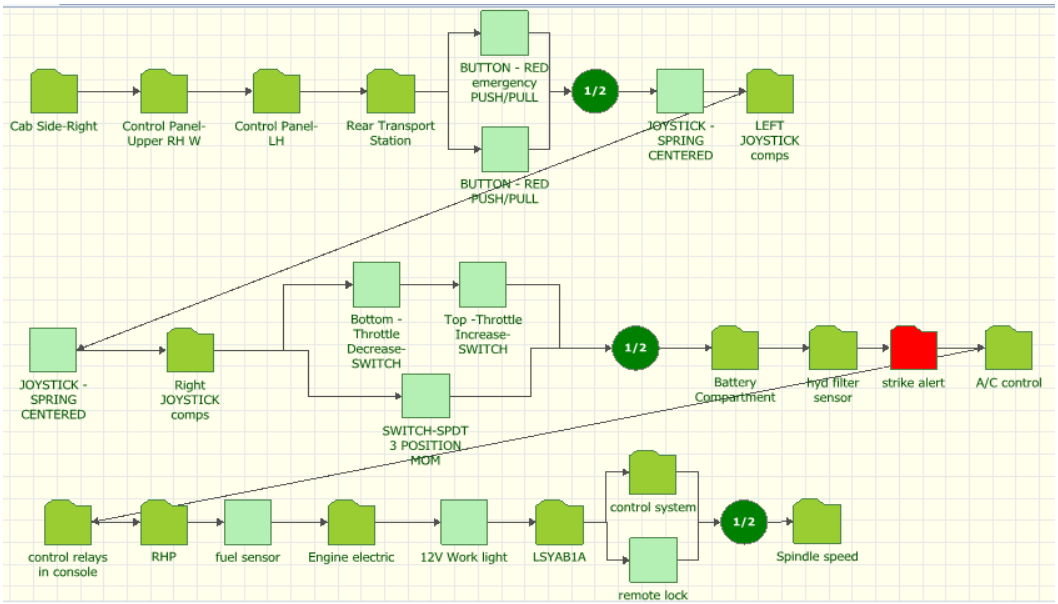
[DOR: 20.1001.1.23223146.1392.1.2.1.9]

جدول ۲: نمونه محاسبات مربوط به MTBF و نرخ خرابی اجزاء سیستم برق و کنترل دستگاه حفاری

Failure Rate Per 10^6 hours	MTBF(hours)	Component	Figure Number	Group
1.06	9.4E5	SWITCH-SPDT 3 POSITION MOM	4-4-11	Cab Side-Right
6.0241	1.66E5	GAUGE - 7500 PSI - SPAN - JIC - LIGHT-12V lamp	4-8-2A	Control Panel/Upper RH W
6.0241	1.66E5	GAUGE - 7500 PSI - SPAN - JIC - LIGHT-12V lamp	4-8-2B	
6.0241	1.66E5	GAUGE - 2000 PSI - SPAN - JIC - LIGHT-12V lamp	4-8-3	
4.62	2.1E5	SWITCH - PUSH BUTTON HYDRAULIC ENABLE-push button NO	4-8-4	

سیستم برق و کنترل ماشین حفاری مذکور از دو قسمت کلی تشکیل شده است. یک بخش شامل سیستم الکتریکی و اجزاء مربوط به آن بوده و بخش دیگر شامل سیستم هیدرولیکی و قسمت‌های مختلف آن می‌باشد. قسمت الکتریکی شامل اجزای مختلفی می-باشد که هر یک از آنها بطور مستقیم بر عملکرد ماشین تاثیرگذارند. با توجه به ویژگیهای ساختاری سیستم‌ها در تحلیل‌های قابلیت اطمینان، می‌توان این اجزاء را بصورت شکل ۳ مدلسازی نمود. شایان ذکر است که در این سیستم عملکرد تعدادی از اجزاء از دیدگاه قابلیت اطمینان بصورت موازی با سایر اجزاء می‌باشد. بعنوان مثال کلید اضطراری جهت قطع برق دستگاه و خاموش شدن ماشین در دو نقطه از آن (در قسمت کنترلی عقب و نیز قسمت کنترلی جلو) تعبیه شده است. لذا این دو کلید بصورت موازی با هم در ارتباط می‌باشند یعنی در صورت عمل نکردن یکی از آنها، دیگری می‌تواند وظیفه مورد نظر را انجام دهد.

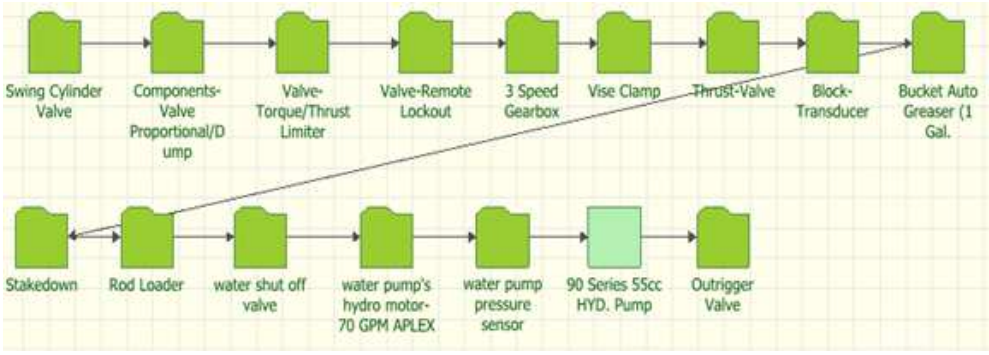
زیر سیستم هیدرولیکی نیز از اجزاء متعددی تشکیل شده است که عملکرد هر یک از آنها بر روی کنترل ماشین تاثیر گذار است.



شکل ۳: مدلسازی بلوکی قابلیت اطمینان زیر سیستم الکتریکی

[Downloaded from journals.sut.ac.ir on 2024-04-28]
[DOR: 20.1001.1.23223146.1392.1.2.1.9]

با توجه به ویژگی‌های ساختاری سیستم در تحلیل قابلیت اطمینان، نحوه ارتباط اجزاء مختلف در این زیرسیستم در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴: مدلسازی بلوکی قابلیت اطمینان زیرسیستم هیدرولیکی

قابلیت اطمینان و احتمال رخداد خرابی برای سیستم‌های الکتریکی و هیدرولیکی و همچنین قابلیت اطمینان کل سیستم در زمان‌های مختلف در جدول ۳ ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، در صورتیکه سیستم غیر قابل تعمیر باشد، بعد از ۲۰۰۰۰ ساعت کارکرد، قابلیت اطمینان آن مقدار بسیار ناچیز ۰/۰۰۰۵ % می‌باشد. به همین دلیل و با توجه به قابل تعمیر بودن سیستم برق و کنترل دستگاه حفاری، در ادامه اطلاعات مربوط به نگهداری و تعمیرات اجزاء سیستم نیز اعمال شده و نتایج آن ارائه می‌گردد.

جدول ۳: قابلیت اطمینان برای سیستم‌های الکتریکی و هیدرولیکی و کل سیستم

زمان (ساعت)	سیستم الکتریکی	سیستم هیدرولیکی	کل سیستم
0	1	1	1
500	0.83	0.88	0.73
1000	0.70	0.78	0.54
2000	0.48	0.61	0.30
4000	0.23	0.37	0.08
8000	0.055	0.14	0.007
20000	0.0007	0.007	0.000005

با مقایسه نتایج مربوط به قابلیت اطمینان زیر سیستم‌های الکتریکی و هیدرولیکی دستگاه حفاری افقی با نتایج مربوط به سایر تجهیزات معدنی که اطلاعات میدانی خرابی و تعمیر مربوط به آنها در دسترس می‌باشد، ملاحظه می‌گردد که روند نتایج بدست آمده تا حدود زیادی مطابق نتایج حاصل از سیستم‌های واقعی می‌باشد. به عنوان مثال در جدول ۴ اطلاعات مربوط به قابلیت اطمینان زیرسیستم‌های الکتریکی و هیدرولیکی دامپتراک‌ها (از دستگاه‌های حمل و نقل سنگین موجود در صنعت معدن) [۱۷] ارائه شده است.

[Downloaded from journals.sut.ac.ir on 2024-04-28]
[DOR: 20.1001.1.23223146.1392.1.2.1.9]

جدول ۴: نتایج مربوط به داده‌های واقعی مربوط به دامپتراک‌ها

زمان	قابلیت اطمینان سیستم هیدرولیکی	قابلیت اطمینان سیستم الکتریکی
۰	۱	۱
۵۰	۰/۸۷۱	۰/۹۱۹
۱۰۰	۰/۷۵۹	۰/۸۴۵
۲۰۰	۰/۵۷۵	۰/۷۱۳
۵۰۰	۰/۲۴۷	۰/۴۲۹
۱۰۰۰	۰/۰۵۸	۰/۱۸۳
۳۰۰۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۶

همانطور که ملاحظه می‌شود، روند تغییرات قابلیت اطمینان حاصل از این پژوهش با نتایج مربوط به داده‌های واقعی همخوانی دارد.

پس از بررسی سیستم‌های انتخاب شده برای ماشین حفاری و شناسایی کیفی اجزایی با حداقل قابلیت اطمینان، می‌توان مهمترین اجزاء سیستم را به صورت کمی محاسبه کرد. این فرآیند با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری اهمیت انجام می‌گیرد. در نتیجه اقدامات لازم برای بهبود سیستم طراحی و برنامه‌ریزی می‌شود. با توجه به اطلاعات ارائه شده در جداول این بخش، به بررسی اهمیت و تاثیر هر یک از بخش‌های سیستم در قابلیت اطمینان نهایی کل سیستم می‌پردازیم. نتایج مربوط به اندازه‌گیری اهمیت کل سیستم در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵: اندازه‌گیری اهمیت قابلیت اطمینان برای کل سیستم (کارکرد ۵۰۰۰ ساعت)

زیر سیستم	اندازه اهمیت
الکتریکی	/۲۹
هیدرولیکی	/۱۶

با توجه به داده‌های مربوط به قابلیت اطمینان هر یک از قطعات، می‌توان اهمیت هر یک را در زیر سیستم‌های مربوطه تعیین نمود. مدت زمان مورد نظر در این آنالیز، ۵۰۰۰ ساعت در نظر گرفته شده است. بر این اساس اهمیت قطعات موجود در زیر سیستم الکتریکی و هیدرولیکی در جدول ۶ ارائه شده است.

[Downloaded from journals.sut.ac.ir on 2024-04-28]
[DOR: 20.1001.1.23223146.1392.1.2.1.9]

جدول ۶: نمونه‌ای از اطلاعات مربوط به اهمیت اجزاء مختلف زیر سیستم های الکتریکی و هیدرولیکی از دید قابلیت اطمینان

زیر سیستم الکتریکی	مقدار اهمیت	زیر سیستم هیدرولیکی	مقدار اهمیت
Control Panel/Upper RHW	0.288	water pump pressure sensor	0.015
Fuel sensor	0.241	Stakedown	0.013
Battery Compartment	0.204	Components-Valve Proportional/Dump	0.012
Spindle speed	0.183	Vise Clamp	0.012
RIGHT JOYSTICK comps	0.182	Valve-Remote Lockout	0.011
LEFT JOYSTICK comps	0.181	Rod Loader	0.011
LSYAB1A	0.180	Block-Transducer	0.010
Control Panel-LH	0.174	90 Series 55cc HYD. Pump	0.009

اعداد بدست آمده در جدول ۶ میزان تاثیرپذیری قابلیت اطمینان کل سیستم را در اثر تغییر در قابلیت اطمینان هر زیر سیستم بصورت جداگانه بیان می‌کند. با توجه به نتایج بدست آمده مشخص است که اهمیت اجزاء الکتریکی از دیدگاه قابلیت اطمینان بیشتر از اجزاء هیدرولیکی می‌باشد. همچنین اهمیت زیر سیستم‌های هر یک از سیستم‌های الکتریکی و هیدرولیکی نیز قابل مشاهده است.

جهت تعیین قابلیت اطمینان هدف برای تخصیص قابلیت اطمینان، سیستم‌های مشابه مورد مطالعه قرار گرفته و با کمک گرفتن از نظرات کارشناسی و انتظار عملکردی از این نوع دستگاه‌ها، قابلیت اطمینان هدف[1] برای مدت زمان ۵۰۰۰ ساعت کارکرد، مقدار ۰/۹۵ در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که در تعیین این مقدار قابلیت اطمینان (۰/۹۵)، سطح اطمینان[2]، ۹۵٪ در نظرگرفته شده است. به این معنی که قابلیت اطمینان سیستم در مدت زمان ۵۰۰۰ ساعت کارکرد، با اطمینان ۹۵٪ محاسبه شده است. لازم به ذکر است که متوسط مدت زمان کارکرد یک ماشین حفاری، با توجه به اطلاعات موجود، ۸ ساعت در روز می‌باشد. همچنین یک ماشین حفاری بطور میانگین در یک ماه، ۲۵ روز و در یک سال، ۸ ماه در چرخه کاری خود قرار دارد. با توجه به این مطلب، مدت زمان ۵۰۰۰ ساعت که در این تحلیل فرض شده است، حدوداً معادل ۳ سال از عمر یک ماشین می‌باشد.در جدول ۷ نتایج حاصل از تخصیص قابلیت اطمینان با در نظر گرفتن هدف مذکور برای زیر سیستم‌های الکتریکی و هیدرولیکی ارائه شده است.

جدول ۷: مقادیر قابلیت اطمینان فعلی در زمان ۵۰۰۰ ساعت، که باید به قابلیت اطمینان هدف برسد

نام اجزاء	وزن	قابلیت اطمینان فعلی (۵۰۰۰ ساعت)	قابلیت اطمینان هدف (۵۰۰۰ ساعت)
زیرسیستم الکتریکی	0.291	0.164	0.967
زیرسیستم هیدرولیکی	0.164	0.291	0.981

[1] Target Reliability
[2] Confidence Level

[Downloaded from journals.sut.ac.ir on 2024-04-28]
[DOR: 20.1001.1.23223146.1392.1.2.1.9]

با توجه به اطلاعات ارائه شده در مورد برنامه‌های نگهداری و تعمیرات، در این پروژه فرض شده است که سیستم قابل تعمیر می-باشد ولی از آنجایی که قطعات الکترونیکی اغلب قابل تعمیر نبوده و تعویض می‌شوند، این مطلب نیز مد نظر قرار گرفته شده است و تعمیرات طوری طراحی می‌شوند که حالت قطعات بعد از تعمیر بصورت "مانند نو[1]" در نظر گرفته شود. برای تعیین زمان لازم برای تعویض قطعات نیز از نظرات کارشناسی استفاده شده است.

لازم به ذکر است که نحوه انتخاب توزیع مناسب و همچنین مدت زمان لازم برای تعویض و یا تعمیر قطعات، با استفاده از نظرات کارشناسی و همچنین اطلاعات میدانی موجود در مورد دامپتراک‌ها محاسبه شده است [۱۷]. جهت بدست آوردن نتایج منطقی، کیفیت قطعات، پایین‌تر از کیفیت قطعات نظامی[2] در نظر گرفته شده‌اند. این قطعات در استاندارد MIL- 217 تحت عنوان قطعات با کیفیت پایین‌تر[3] شناخته می‌شوند. نتایج حاصل از تحلیل مذکور در بخش بعدی ارائه می‌گردند.

۸- نتایج حاصل از شبیه‌سازی

در این بخش به ارائه نتایج حاصل از شبیه‌سازی سیستم برق و کنترل ماشین حفاری پرداخته می‌شود. شرایط و مفروضات مربوط به سیستم در بخش‌های قبلی ارائه شده است. با در اختیار داشتن اطلاعات مربوط به توزیع خرابی و توزیع زمان تعمیر یا تعویض اجزاء سیستم و با اعمال روش مونت کارلو[4]، سیستم برای مدت زمان ۱۰۰۰۰ ساعت شبیه سازی شده و نتیجه مربوط به زیر سیستم‌های الکتریکی، هیدرولیکی و همچنین کل سیستم (الکتریکی و هیدرولیکی) در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول۸: ویژگی‌های مربوط به زیر سیستم الکتریکی، هیدرولیکی و کل سیستم در زمان ۱۰۰۰۰ ساعت کارکرد

ویژگی‌های عمومی	زیرسیستم الکتریکی	زیرسیستم هیدرولیکی	کل سیستم
متوسط قابلیت دسترسی (تمامی رویدادها)	٪۹۷/۴۸	٪۹۴/۶۹	٪۹۲
انحراف معیار (متوسط قابلیت دسترسی)	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۸
قابلیت دسترسی نقطه‌ای (تمامی رویدادها) در ۱۰۰۰۰ ساعت	٪۹۵/۱۶	٪۸۹/۱۲	٪۸۴/۲۸
قابلیت اطمینان (۱۰۰۰۰ ساعت)	۰/۰۲۸۴	۰/۰۸۲۲	۰/۰۰۲۴
متوسط زمان تا رخداد اولین خرابی (ساعت)	۲۷۶۰	۴۰۰۳	۱۶۱۸

این نتایج شامل قابلیت دسترسی میانگین، انحراف معیار، قابلیت دسترسی نقطه‌ای، قابلیت اطمینان و متوسط زمان تا اولین خرابی می‌باشد.

[1] As good as new
[2] MIL SPEC
[3] Lower Quality
[4] Monte Carlo Method

[Downloaded from journals.sut.ac.ir on 2024-04-28]
[DOR: 20.1001.1.23223146.1392.1.2.1.9]

۹- بررسی نتایج

با توجه به مطالب مذکور، متوسط قابلیت دسترسی کل سیستم برای مدت زمان ۱۰۰۰۰ ساعت، برابر با ۹۲٪ شده است. همچنین قابلیت اطمینان کل سیستم، در مدت زمان ۱۰۰۰۰ ساعت، برابر با ۰/۰۰۲۴ شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، قابلیت اطمینان سیستم به سمت صفر میل می‌کند.

با توجه به محاسبه اهمیت قابلیت اطمینان زیرسیستم‌ها، مشخص گردید که در تعیین قابلیت اطمینان کل، زیرسیستم الکتریکی، نسبت به زیرسیستم هیدرولیکی، نقش مهم‌تری دارد. بنابراین، بهبود کیفیت و قابلیت اطمینان اجزاء زیرسیستم الکتریکی تأثیر بیشتری بر روی قابلیت اطمینان کل سیستم خواهد داشت. لذا، برای بهبود عملکرد سیستم تمرکز بر روی افزایش کیفیت اجزاء زیرسیستم الکتریکی توصیه می‌شود.

برای بهبود قابلیت اطمینان کل سیستم، از روش تخصیص قابلیت اطمینان استفاده شده است. بر این اساس، قابلیت اطمینان هدف، برای مدت زمان ۵۰۰۰ ساعت، ۰/۹۵ در نظر گرفته شده است. با توجه به محاسبات مربوطه، برای دستیابی به هدف مذکور، باید قابلیت اطمینان هر یک از زیرسیستم‌های الکتریکی و هیدرولیکی مطابق با جدول ۶ تغییر یابند.

۱۰- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر روشی جهت تحلیل قابلیت اطمینان سیستم‌هایی که در فاز طراحی بوده و دسترسی به اطلاعات لازم در مورد نرخ خرابی اجزاء آنها امکان پذیر نیست، ارائه گردید. با استفاده از این روش می‌توان قابلیت اطمینان سیستم‌هایی را که اطلاعاتی در مورد روند طراحی و ساخت آنها در دسترس نبوده و تنها به کمک مهندسی معکوس، اطلاعات مربوط به اجزای آن شناسایی می‌شوند، تعیین نمود. نتایج حاصل از مطالعه موردی ارائه شده در این پژوهش بیانگر مناسب بودن روش ارائه شده برای این قبیل مسائل می‌باشد. با استفاده از این روش همچنین اجزاء مختلف سیستم از دیدگاه قابلیت اطمینان اولویت بندی می‌شوند. بدین ترتیب می‌توان با استفاده از نتایج این اولویت بندی، روند طراحی اجزاء مختلف سیستم را تعیین نمود. همچنین در این روش می‌توان قابلیت اطمینان اجزاء مختلف را جهت رسیدن به مقدار قابلیت اطمینان هدف برای کل سیستم، تعیین نمود. در نتیجه اجزاء مختلف سیستم با توجه به تاثیر آنها بر روی قابلیت اطمینان کل سیستم، انتخاب می‌شوند.

به عنوان پیشنهاد جهت ادامه کار در این زمینه، می‌توان با به کارگیری روش تحلیل مودهای خرابی و اثرات آن (FMEA)، تحلیل درخت خرابی (FTA) و روش‌های مشابه بصورت مکمل با روش ارائه شده در این پژوهش، نتایج کامل و جامع‌تری از قابلیت اطمینان و قابلیت دسترسی سیستم مورد نظر استخراج نمود.

مراجع

[۱] Modarres M, Kaminskiy M, Krivtsov V. Reliability engineering and risk analysis: a practical guide, CRC; 1999.

[۲] Barabady J. Improvement of system availability using reliability and maintainability analysis, Luleå University of Technology; 2005.

[۳] Vagenas N, Kumar U, Rönnkvist E. "Analysis of truck maintenance characteristics in a Swedish open pit mine", International Journal of Surface Mining and Reclamation. 1994,8,65-71.

[Downloaded from journals.sut.ac.ir on 2024-04-28]
[DOR: 20.1001.1.23223146.1392.1.2.1.9]

[۴] Avontuur G. C, Van der Werff K, "An implementation of reliability analysis in conceptual design phase of drive trains", Reliability Engineering and System Safety journal,2010,3,155-165.

[۵] Yuanfan Yang, "The Study on Mechanical Reliability Design Method and Its Application", 2012 International Conference on Future Electrical Power and Energy Systems, 2012, 17, 467-472.

[۶] A. Abo Al-kheer , A. El-Hami, M.G. Kharmanda, A.M. Mouazen, "Reliability-based design for soil tillage machines", Journal of Terramechanics, 2011, 48, 57-64.

[۷] Participants O. OREDA Offshore Reliability Data Handbook. 4th ed: DNV, PO Box.

[۸] Center RIA. Electronic parts reliability data (EPRD97). 1997.

[۹] Center RIA. Nonelectronic parts reliability data (NPRD95). 1995.

[۱۰] Handbook MIL-HDBK 217F,"Reliability prediction of electronic equipment," Revision F. 1991.

[۱۱] Lewis EE. Introduction to reliability engineering, Wiley New York et al.; 1987.

[۱۲] ReliaSoft Corporation. BlockSim 8 User's Guide; www.reliasoft.com. 2012.

[۱۳] ReliaSoft Corporation. Weibull++ 8 User's Guide; www.reliasoft.com. 2012.

[۱۴] Crespo Marquez A. The Maintenance Management Framework: Models and Methods for Complex Systems Maintenance, Springer Series in Reliability Engineering. 2007:3-76.

[۱۵] Dhillon BS. Maintainability,Maintenance,and Reliability for Engineers. Taylor & Francis Group, LLC. 2006.

[۱۶] Modarres M. Risk analysis in engineering: techniques, tools, and trends, CRC, 2006.

[۱۷] منیری مراد ا. تهیه سیستم جامع مدیریت اطلاعات نگهداری و تعمیرات ماشین آلات در معدن مس سونگون: پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی سهند، دانشکده معدن; ۱۳۹۱.

[۱۸] پورگل محمد،محمد. ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم برق و کنترل دستگاه حفاری افقی Vermeer D36x50. پژوهشگاه فضایی ایران، پژوهشکده رانشگرهای فضایی۱۳۹۱.

[Downloaded from journals.sut.ac.ir on 2024-04-28]

[DOR: 20.1001.1.23223146.1392.1.2.1.9]