





دانشکده مهندسی معدن، ژئوفیزیک و نفت

گروه مهندسی استخراج معدن

مدلسازی و شبیه‌سازی قابلیت اطمینان
درام شیرر در معادن جبهه‌کار طولانی
مکانیزه
مطالعه موردی: معدن زغال‌سنگ طبس

دانشجو: سید هادی حسینی

اساتید راهنما:

پروفسور محمد عطائی
پروفسور رضا خالوکاکایی

استاد مشاور:

Prof. Uday Kumar

رساله جهت اخذ درجه دکتری مهندسی استخراج معدن

آذر 1390

تعهد نامه

اینجانب **سید هادی حسینی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد / دکتری رشته معدن مهندسی استخراج
معدن، نفت
دانشکده ژئوفیزیکی، دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه / رساله مدلسازی و شبیه‌سازی قابلیت اطمینان
درام شیرر در معدن جبهه کار طولانی مکانیزه، تحت راهنمایی پروفیسور محمد
مطالعه موردی: معدن زغال سنگ طمس رضا خالوکا کایی

- تحقیقات در این پایان نامه / رساله توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه / رساله 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 می باشد 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 پایان نامه / رساله تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه / رساله رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه / رساله ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه / رساله ، 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 : 90/9/24

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه / رساله وجود داشته باشد .

تقدیم به

پدر و مادر دلسوزم

که اولین معلمان زندگیم بودند

و

همسر عزیزم

که این دفتر را مدیون عشق، صبر و تشویق ایشان هستم

و تقدیم به

کارگران سختکوش معادن زغالسنگ ایران

تشکر و قدردانی

سپاس یزدان پاک را که زمین به گرد خورشید و ماه به دور زمین، به قدرت او میچرخند و قلم به خواست او مینویسد دفتر پاک عشق را. سپاس او را که بزرگیاش را در اعماق زمین و در گرمای زغالسنگ یافتیم.

این دفتر قطرهای از دریای علمی است که توأم با عشق و معرفت از اساتیدم آموختم. از زحمات استاد مهربان و فرزانهام جناب آقای دکتر عطایی که عاشقانه راهنما، مشوق و مایه دلگرمی بنده در این پروژه بودند و بسیار مدیون محبتهای بیدریغ و حمایتهای همه جانبه ایشان هستم، صمیمانه سپاسگزارم و برای ایشان آرزوی سلامتی و بهروزی دارم. از استاد عزیز و بزرگوaram جناب آقای دکتر کاکایی که در طی پروژه پیوسته راهنما و مشوقم بودند کمال امتنان و تشکر را دارم و برای ایشان سلامتی و طول عمر آرزومندم. از استاد ارجمند جناب آقای پروفیسور کومار که به عنوان مشاور و میزبان فرصت مطالعاتی اینجانب در کشور سوئد، در این تحقیق مرا یاری نمودند سپاسگزار و متشکرم.

از کلیه کارگران سختکوش و مسئولین محترم مجتمع زغالسنگ طبس به ویژه آقایان مهندس کزیتی (مدیرعامل محترم)، مهندس جلالی (مدیر محترم آموزش)، مهندس حسینی، مهندس سجادی، مهندس روئینتن، مهندس شجاع و مهندس فتوت که با محبت و بزرگواری خویش بنده را یاری نمودند و مهماندوستی و پاکی مردم کویر و بویژه شهر زیبای طبس را در خاطرمدان جاودانه کردند، کمال تشکر را دارم. امیدوارم با به پایان رساندن این تحقیق، اندکی از دین خویش را به وطن عزیزم و مردمان مهربانش ادا کرده باشم.

از آقایان دکتر بهزاد قدرتی و دکتر علیرضا احمدی (اساتید ایرانی بخش مهندسی تعمیر و نگهداری دانشگاه صنعتی لولئو- سوئد) و خانواده محترمشان، به خاطر لطف و محبت بیدریغ و کمکهای علمی بسیار ارزندهشان و از جناب آقای دکتر جواد برآبادی، به خاطر راهنماییهای سودمندشان کمال امتنان و تشکر را دارم.

از مسئولین محترم دانشگاه صنعتی همدان که با اعطای بورسیه تحصیلی، اینجانب را در طی دوره دکتری و فرصت مطالعاتی خارج از کشور مورد حمایت مالی قرار دادند سپاسگزار و متشکرم.

در پایان، از پدر و مادر مهربان و بزرگوaram که از کودکی همواره با دعای خیر و تشویقشان در زندگی راهنمایی و یاریمان نمودند کمال تشکر و سپاس را دارم. از همسر عزیزم که در طی دوران کارشناسیاش و دکتری، تمامی سختیهای زندگی را با گشادهرویی تحمل نمودند و بنده تمامی پیشرفتهای تحصیلیام را مدیون صبر و تشویقهای ایشان هستم، کمال سپاسگزاری، تشکر و امتنان را دارم. از پدر و مادر همسرم به خاطر درک بالا و تشویقهای گرمشان سپاسگزار و متشکرم. برای تمامی عزیزانم، از درگاه الهی سلامتی و طول عمر خواستارم.

چکیده

قابلیت اطمینان، به عنوان یک شاخص مهندسی، از کاربردهای بسیار زیادی در کنترل عملیات و راندمان تولید ماشینآلات سنگین برخوردار است. با توجه به حجم بالای عملیات در معادن، حفظ توان تولید و مدیریت ماشینآلات از جمله مواردی هستند که میتوانند به طور جدی شرایط اقتصادی و عملیاتی معدن را تحت تأثیر قرار دهند. قابلیت اطمینان تولید هر معدن به طور مستقیم به قابلیت اطمینان ماشینآلات فعال در آن معدن وابسته است.

با توجه به اهمیت پیوستگی تولید در معادن جبهه‌کار طولانی، هزینه‌های سنگین توقف‌های ناشی از خرابی و نقش حیاتی دستگاه درام شیرر در توان تولید معدن، در این رساله، قابلیت اطمینان درام شیرر مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای این منظور، با استفاده از اطلاعات فنی و دستگاه‌های درام شیرر موجود در بازار، ساختار کلی دستگاه مورد مطالعه قرار گرفته و زیرسیستم‌های آن پیشنهاد و معرفی شدند. در مجموع شش زیرسیستم شامل: سیستم آب، سیستم حرکت، سیستم هیدرولیک، سیستم برق، سیستم کابل و بازوهای برش برای دستگاه در نظر گرفته شده است.

در ادامه طی مطالعه موردی در معدن زغالسنگ مکانیزه طبس، داده‌های خرابی شیرر و توقفات تولید ناشی از آن در طی پهنه اول این معدن برای مدلسازی و شبیه‌سازی قابلیت اطمینان دستگاه مورد استفاده قرار گرفتند. پس از جمع‌آوری و طبقه‌بندی داده‌ها، محاسبات مربوط به تحلیل داده بر روی آنها انجام گردید. نتایج تحلیلهای آماری نشان داد که رفتار خرابی سیستم آب از تابع گاما، سیستم‌های حرکت و هیدرولیک از تابع وایبول سه پارامتری، سیستم برق از تابع لاگنرمال و دو سیستم کابل و بازوهای برش از مدل قانون توان تبعیت میکنند.

در مرحله بعد، با استفاده از نتایج تحلیل داده و در نظر گرفتن ساختار سری برای زیرسیستم‌های دستگاه، قابلیت اطمینان کل دستگاه محاسبه گردید. نتایج محاسبات نشان داد که قابلیت اطمینان درام شیرر طبس پس از طی 100 ساعت عملیات برش به صفر میرسد. همچنین با استفاده از روش مونت کارلو کامات و رابلی (K-R)، قابلیت اطمینان درام شیرر شبیه‌سازی گردید. برای اجرای الگوریتم شبیه‌سازی، یک برنامه کامپیوتری در محیط نرم‌افزار Matlab توسعه داده شد. با استفاده از این برنامه، منحنی قابلیت اطمینان شبیه‌سازی شده دستگاه رسم گردیده و با منحنی حاصل از مدلسازی مقایسه گردید. نتایج این مقایسه نشان داد که منحنی‌های قابلیت اطمینان حاصل از هر دو روش بسیار به هم شبیه میباشند. اما منحنی حاصل از روش شبیه‌سازی نرم‌تر و یکنواختتر بوده و توانایی بیشتری برای پیشبینی قابلیت اطمینان دستگاه دارد. در پایان، با استفاده از نتایج حاصل از تحلیل قابلیت اطمینان، برنامه تعمیر و نگهداری پیشگیرانه برای بهبود عملکرد و قابلیت اطمینان درام شیرر معدن طبس پیشنهاد شد.

کلمات کلیدی: زغالسنگ، جبهه‌کار طولانی، درام شیرر، قابلیت اطمینان، تعمیر و نگهداری، طبس

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

- 1-1- مقدمه 2
- 2-1- معدن زغالسنگ پروده طبس 5
- 3-1- بیان مسأله و سؤالهای اصلی تحقیق 8
- 4-1- ضرورت انجام تحقیق 9
- 5-1- اهداف تحقیق 9
- 6-1- ساختار رساله 10

فصل دوم: قابلیت اطمینان؛ مفاهیم، مدلسازی و شبیهسازی

- 1-2- مقدمه 13
- 2-2- تعاریف اصطلاحات رایج در مهندسی قابلیت اطمینان 13
- 3-2- تعاریف ریاضی کمیتهای موجود در مهندسی قابلیت اطمینان 15
- 1-3-2 - تابع چگالی توزیع احتمال ($f(t)$) 15
- 2-3-2 - تابع توزیع تجمعی ($F(t)$) 15
- 3-3-2 - تابع قابلیت اطمینان ($R(t)$) 16
- 4-3-2 - امید ریاضی ($E(t)$) 16
- 5-3-2 - تابع نرخ خرابی ($\lambda(t)$) 17
- 4-2- شبکههای قابلیت اطمینان 19
- 5-2- روشهای متداول در تحلیل قابلیت اطمینان 19
- 1-5-2 - روش تحلیل انواع خرابیها و تأثیرات آنها (FMEA) 19
- 2-5-2 - روش مارکوف 21
- 3-5-2 - روش تحلیل درخت خطا (FTA) 23
- 4-5-2 - روش تحلیل آماری 25
- 6-2- تحلیل آماری و مدلسازی قابلیت اطمینان 25
- 1-6-2 - آزمونهای مستقل و مانا بودن دادهها 28
- 1-1-6-2 - آزمونهای روند 28
- 2-1-6-2 - آزمون همبستگی سری 31
- 2-6-2 - فرآیند تجدیدشونده 31
- 3-6-2 - فرآیند پواسون 33
- 4-6-2 - فرآیند قانون توان 34
- 7-2- شبیهسازی قابلیت اطمینان 36
- 1-7-2 - شبیهسازی مونته کارلو 37
- 2-7-2 - انواع الگوریتمهای مونته کارلو برای شبیهسازی قابلیت اطمینان 40
- 3-7-2 - روش شبیهسازی قابلیت اطمینان مونته کارلو K-R 43
- 8-2- نتیجهگیری 45

فصل سوم: بررسی سابقه علمی موضوع

- 3-1- مقدمه 46
- 3-2- تحقیقات قابلیت اطمینان در حوزه مهندسی معدن 46
- 3-3- مطالعات پیشین در مورد قابلیت اطمینان درام شیر 64
- 3-4- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی 67

فصل چهارم: تعیین زیرسیستم‌های درام شیر

- 4-1- مقدمه 71
- 4-2- مشخصات درام شیر معدن طبس 71
- 4-3- ساختار کلی و زیرسیستم‌های درام شیر 72
- 4-3-1- سیستم آب 76
- 4-3-2- سیستم حرکت 80
- 4-3-3- سیستم هیدرولیک 82
- 4-3-4- سیستم برق 85
- 4-3-5- بازوهای برش 86
- 4-3-6- سیستم کابل 89
- 4-4- نتیجه‌گیری 91

فصل پنجم: مدل‌سازی و شبیه‌سازی قابلیت اطمینان شیر

- 5-1- مقدمه 94
- 5-2- جمع‌آوری و طبقه‌بندی داده‌های خرابیها 94
- 5-3- تحلیل پارتو 97
- 5-4- روش کلی تحلیل خرابیها و مدل‌سازی قابلیت اطمینان هر زیرسیستم 98
- 5-5- مدل‌سازی قابلیت اطمینان زیرسیستمها 100
- 5-5-1- مدل‌سازی قابلیت اطمینان سیستم آب 100
- 5-5-2- مدل‌سازی قابلیت اطمینان سیستم حرکت 106
- 5-5-3- مدل‌سازی قابلیت اطمینان سیستم هیدرولیک 112
- 5-5-4- مدل‌سازی قابلیت اطمینان سیستم برق 117
- 5-5-5- مدل‌سازی قابلیت اطمینان سیستم کابل 123
- 5-5-6- مدل‌سازی قابلیت اطمینان بازوهای برش 128
- 5-6- مدل‌سازی قابلیت اطمینان کل دستگاه درام شیر 132
- 5-7- شبیه‌سازی قابلیت اطمینان درام شیر 134
- 5-8- مقایسه نتایج مدل‌سازی و شبیه‌سازی قابلیت اطمینان درام شیر معدن طبس 140
- 5-9- نتیجه‌گیری 142
- فصل ششم: تعمیر و نگهداری شیر معدن طبس
- 6-1- مقدمه 145
- 6-2- اهمیت تعمیر و نگهداری ماشینآلات معدنی 145

.....146	3-6- تعمیر و نگهداری
.....147	4-6- انواع استراتژیهای تعمیر و نگهداری
.....148	1-4-6- تعمیر و نگهداری پیشگیرانه
.....149	1-1-4-6- تعمیر و نگهداری پیشگیرانه مبتنی بر پایش وضعیت (C.B.M)
.....150	2-1-4-6- تعمیر و نگهداری پیشگیرانه مبتنی بر زمان (T.B.M)
.....152	2-4-6- تعمیر و نگهداری اصلاحی
.....153	5-6- انتخاب استراتژی تعمیر و نگهداری
.....154	6-6- تأثیرات تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بر شرایط عملیاتی دستگاه
.....156	7-6- انتخاب استراتژی تعمیر و نگهداری برای شیرر طبس
.....163	8-6- تأثیرات تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بر قابلیت اطمینان شیرر
.....167	9-6- جزئیات عملیات تعمیر و نگهداری پیشگیرانه زیرسیستمها
.....168	1-9-6- جزئیات عملیات تعمیر و نگهداری پیشگیرانه در سیستم آب
.....168	2-9-6- جزئیات عملیات تعمیر و نگهداری پیشگیرانه در سیستم حرکت
.....169	3-9-6- جزئیات عملیات تعمیر و نگهداری پیشگیرانه در سیستم هیدرولیک
.....170	4-9-6- جزئیات عملیات تعمیر و نگهداری پیشگیرانه در سیستم برق
.....171	5-9-6- جزئیات عملیات تعمیر و نگهداری پیشگیرانه در سیستم کابل
.....172	6-9-6- جزئیات عملیات تعمیر و نگهداری پیشگیرانه در بازوهای برش
.....173	10-6- نتیجهگیری

فصل هفتم: نتیجهگیری و پیشنهادات

.....175	1-7- نتیجهگیری
.....182	2-7- پیشنهادات
.....185	منابع و مراجع

فهرست جدولها

جدول 1-2- انواع آرایشها و شبکهها س قابلیت اطمینان و محاسبات مربوطه	20
جدول 2-2- روشهای شبیهسازی قابلیت اطمینان مونت کارلو مورد استفاده در سیستمهای غیرقابل تعمیر	41
جدول 2-3- نتایج شبیهسازی قابلیت اطمینان با استفاده از روش K-R برای یک مثال مفروض	46
جدول 1-3- لیست تحقیقات انجام شده در زمینه قابلیت اطمینان در حوزه مهندسی معدن	47
جدول 2-3- روشهای مختلف به کار رفته برای مطالعه قابلیت اطمینان ماشینآلات معدنی	68
جدول 1-4- مشخصات فنی درام شیرر معدن زغالسنگ طبس	72
جدول 1-5- دادههای خرابی مربوط به سیستم آب	101
جدول 2-5- نتایج آزمون تحلیلی روند بر روی دادههای خرابی سیستم آب	102
جدول 3-5- دادههای خرابی مربوط به سیستم حرکت	107

جدول 4-5- نتایج آزمون تحلیلی روند بر روی داده‌های خرابی	
سیستم حرکت	108
جدول 5-5- داده‌های خرابی مربوط به سیستم هیدرولیک	112
جدول 6-5- نتایج آزمون تحلیلی روند بر روی داده‌های خرابی	
سیستم هیدرولیک	114
جدول 7-5- داده‌های خرابی مربوط به سیستم برق	118
جدول 8-5- نتایج آزمون تحلیلی روند بر روی داده‌های خرابی	
سیستم برق	120
جدول 9-5- داده‌های خرابی مربوط به سیستم کابل	124
جدول 10-5- نتایج آزمون تحلیلی روند بر روی داده‌های خرابی	
سیستم برق	126
جدول 11-5- داده‌های خرابی مربوط به بازوهای برش	129
جدول 12-5- نتایج آزمون تحلیلی روند بر روی داده‌های خرابی	
بازوهای برش	130

حد بالا و پائین قابلیت اطمینان شیر 1345

جدول 1-6- زمان رسیدن به قابلیت اطمینان 90% و دوره تعمیرات	
پیشگیرانه برای زیرسیستم‌های شیرر طبس	159
جدول 2-6- دوره‌های تعمیرات پیشگیرانه بهبود یافته برای	
زیرسیستم‌های شیرر طبس	161
جدول 3-6- تغییرات قابلیت اطمینان دستگاه شیرر در اثر انجام	
عملیات تعمیر و نگهداری پیشگیرانه	165

فهرست شکلها

شکل 1-1- گستردگی و میزان ذخایر سوخته‌های فسیلی جهان بر حسب	
میلیارد تن در سال 2010	2
شکل 1-2- طرح نهایی و جانمایی کارگاه‌های استخراج معدن شماره یک	
طبس	7
شکل 1-2- منحنی وان شکل میزان نرخ خرابی در طول مدت عمر یک	
دستگاه (Dhillon, 2008)	16

- شکل 2-2- مدل شماتیک یک کارگاه استخراج از دیدگاه روش مارکوف (Dhillon, 2008) 20
- شکل 2-3- یک نمونه درخت خطا (Dhillon, 2008) 24
- شکل 2-4- روندنمای مربوط به انتخاب روش مناسب برای مدل‌سازی قابلیت اطمینان 26
- شکل 2-5- آزمون گرافیکی جهت تعیین نوع داده‌ها (Ridgon & Basu, 2000) 29
- شکل 2-6- آزمون همبستگی سری 30
- شکل 2-7- مشخصات توابع توزیع متغیرهای تصادفی پیوسته 31
- شکل 2-8- شبیه‌سازی ضریب ایمنی شیروانی‌های معادن با استفاده از روش مونت کارلو (Khalokakaie, 1999) 38
- شکل 2-9- شبکه قابلیت اطمینان سیستم مفروض 44

طریق‌های اطمینان در حوزه مهندسی معدن 148

- شکل 2-3- نمودار درخت خطا جهت تحلیل قابلیت اطمینان راه‌های فرار معدن (Goodman, 1988) 51
- شکل 3-3- نمودار درخت خطا برای تعیین احتمال ایجاد ولتاژ خطرناک در ماشین شاتل 52
- شکل 3-4- منحنی قابلیت اطمینان LHD (Kumar, 1990) 53
- شکل 3-5- ساختار کلی سیستم تولید در معدن کایرونا و زیرسیستم‌های مربوطه (Kumar & Huang, 1993) 54
- شکل 3-6- درخت خطای تشکیل شده برای دستگاه شاول (Samanta et al., 2001) 56
- شکل 3-7- نمودارهای قابلیت اطمینان برای پنج شاول هیدرولیکی مختلف مورد مطالعه 58
- شکل 3-8- نمودارهای قابلیت اطمینان کامیون زیرزمینی (Hall & Daneshmend, 2003b) 59
- شکل 3-9- زیرسیستم‌های تولید یک معدن زیرزمینی (Vagenas et al., 2003) 59
- شکل 3-10- منحنی قابلیت اطمینان AFC (Gupta & Bhattacharya, 2007) 61
- شکل 3-11- درخت خطای AFC (Gupta & Bhattacharya, 2007) 61
- شکل 3-12- تغییرات شاخص اهمیت قابلیت اطمینان زیرسیستم‌های کارخانه فرآوری بوکسیت جاجرم 62
- شکل 3-13- قابلیت دسترسی اجزای سیستم تولید در معادن جبهه‌کار طولانی (Bing-yuan et al., 2009) 63
- شکل 3-14- درخت خطای پیشنهادی برای درام شیرر (Gupta et al., 2006) 65
- شکل 3-15- منحنی قابلیت اطمینان درام شیرر (Gupta & Bhattacharya, 2006) 66
- شکل 4-1- دستگاه درام شیرر در حال کار در معدن طبس 73
- شکل 4-2- بخش‌های کلی تشکیل‌دهنده درام شیرر (در معدن زغالسنگ طبس) 75
- شکل 4-3- دیاگرام بلوکی درام شیرر 76

- شکل 4-4- نقشه شماتیک سیستم آب درام شیرر (در معدن زغالسنگ طبس) 79
- شکل 4-5- محل قرارگیری سیستم حرکت و اجزای اصلی آن (در معدن زغالسنگ طبس) 81
- شکل 4-6- ساختار کلی و اجزای اصلی زیرسیستم هیدرولیک درام شیرر (شیرر زغالسنگ طبس) 83
- شکل 4-7- ساختار کلی و اجزای اصلی زیرسیستم برق درام شیرر (شیرر زغالسنگ طبس) 86
- شکل 4-8- بازوی برش سمت راست درام شیرر (معدن زغالسنگ طبس) 88
- شکل 4-9- نمای کلی درام 89
- شکل 4-10- ساختار کلی و اجزای اصلی تشکیل دهنده سیستم کابل شیررها (Stefanko, 1983) 90
- شکل 4-11- ترتیب حرکت و حالتهای قرارگیری سیستم کابل شیرر در حین عملیات برش (Stefanko, 1983) 91
- شکل 4-12- ساختار کلی درام شیررها 92
- شکل 5-1- فرآیند و مراحل جمع‌آوری و آماده‌سازی داده‌های خرابی شکل 5-2- مثالی از نحوه محاسبه زمان بین خرابیها (در سیستم آب) 96
- شکل 5-3- نمودار پارتو خرابیهای زیرسیستمهای درام شیرر معدن طبس 97
- شکل 5-4- مراحل مدلسازی قابلیت اطمینان و تحلیل نرخ خرابی هر زیرسیستم 97
- شکل 5-5- فراوانی مهمترین دلایل خرابی سیستم آب شیرر 100
- شکل 5-6- نتایج آزمونهای مستقل و مانا بودن داده‌های خرابی سیستم آب 102
- شکل 5-7- نتایج تحلیل داده‌های خرابی سیستم آب شیرر 104
- شکل 5-9- نمودار نرخ خرابی سیستم آب شیرر معدن طبس 106
- شکل 5-10- فراوانی مهمترین دلایل خرابی سیستم حرکت شیرر 107
- شکل 5-11- نتایج آزمونهای مستقل و مانا بودن داده‌های خرابی سیستم حرکت 108
- شکل 5-12- نتایج تحلیل داده‌های خرابی سیستم حرکت شیرر 109
- شکل 5-13- نمودار قابلیت اطمینان سیستم حرکت درام شیرر معدن طبس 110
- شکل 5-14- نمودار نرخ خرابی سیستم حرکت درام شیرر معدن طبس 111
- شکل 5-15- فراوانی مهمترین دلایل خرابی سیستم هیدرولیک شیرر 113

- شکل 5-16- نتایج آزمونهای مستقل و مانا بودن دادههای خرابی
سیستم هیدرولیک 114
- شکل 5-17- نتایج تحلیل دادههای خرابی سیستم هیدرولیک شیرر . 115
- شکل 5-18- نمودار قابلیت اطمینان سیستم هیدرولیک درام شیرر
معدن طبس 116
- شکل 5-19- نمودار نرخ خرابی سیستم هیدرولیک درام شیرر معدن
طبس 117
- شکل 5-20- مهمترین دلایل خرابی سیستم برق شیرر 119
- شکل 5-21- نتایج آزمونهای مستقل و مانا بودن دادههای خرابی
سیستم برق 119
- شکل 5-22- نتایج تحلیل دادههای خرابی سیستم برق شیرر 121
- شکل 5-23- نمودار قابلیت اطمینان سیستم برق درام شیرر معدن
طبس 122
- شکل 5-24- نمودار نرخ خرابی سیستم آب درام شیرر معدن طبس .. 122
- شکل 5-25- فراوانی مهمترین دلایل خرابی سیستم کابل شیرر 125
- شکل 5-26- نتایج آزمون گرافیکی روند بر روی دادههای خرابی
سیستم کابل 125
- شکل 5-27- آزمون گرافیکی تطابق دادههای خرابی سیستم کابل با
مدل قانون توان 126
- شکل 5-28- نمودار قابلیت اطمینان سیستم کابل درام شیرر معدن
طبس 127
- شکل 5-29- نمودار نرخ خرابی سیستم کابل درام شیرر معدن طبس 127
- شکل 5-30- فراوانی مهمترین دلایل خرابی بازوهای برش شیرر ... 129
- شکل 5-31- نتایج آزمون گرافیکی روند بر روی دادههای خرابی
بازوهای برش 130
- شکل 5-32- آزمون گرافیکی تطابق دادههای خرابی بازوهای برش با
مدل قانون توان 130
- شکل 5-33- نمودار قابلیت اطمینان سیستم کابل درام شیرر معدن
طبس 131
- شکل 5-34- نمودار نرخ خرابی بازوهای برش درام شیرر معدن طبس 132
- شکل 5-35- منحنیهای قابلیت اطمینان زیرسیستمهای مختلف درام
شیرر 133
- شکل 5-36- منحنی قابلیت اطمینان درام شیرر 134
- شکل 5-37- روندنمای شبیهسازی انجام شده بر روی درام شیرر معدن
طبس 137
- شکل 5-38- توابع توزیع احتمال خرابی تجمعی زیرسیستمهای ششگانه
دستگاه شیرر معدن طبس 138

- شکل 5-39- تأثیر دور تکرار بر قابلیت اطمینان شبیهسازی شده
 138 دستگاه در زمان $t=10$
 شکل 3-40- منحنی قابلیت اطمینان شبیهسازی شده درام شیرر معدن
 140 طبس
 شکل 5-41- منحنی قابلیت اطمینان مدلسازی و شبیهسازی شده درام
 142 شیرر معدن طبس
 شکل 6-1- انواع استراتژیهای تعمیر و نگهداری (IEC-60300-3-14, 2004;
 148 (Ahmadi, 2010)
 شکل 6-2- تأثیر تعمیر و نگهداری پیشگیرانه بر نرخ خرابی و عمر
 مفید دستگاه (Ghodrati, 2010) 151
 شکل 6-3- الگوریتم انتخاب استراتژی مناسب تعمیر و نگهداری ()
 153 (Barabady & Kumar, 2007)
 شکل 6-4- تأثیر تعمیر و نگهداری پیشگیرانه در بازههای زمانی
 155 T_{PM} بر قابلیت اطمینان دستگاه
 شکل 6-5- هیستوگرام فراوانی سرعت برش زغال توسط شیرر در معدن
 157 طبس

برای زیرسیستمهای شیرر طبس 6-159

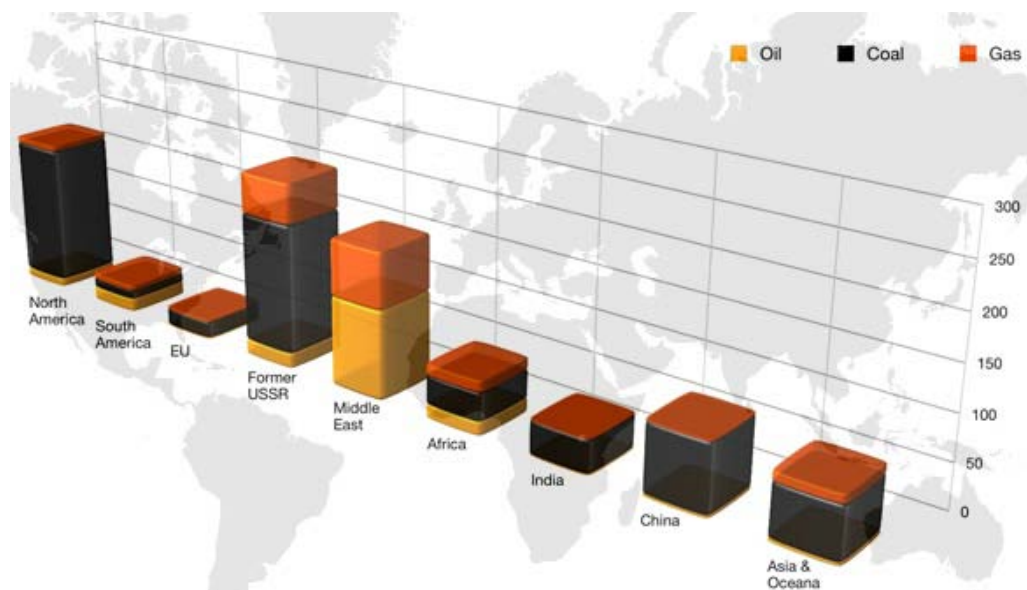
- شکل 6-7- طرح بهبود یافته و بسته عملیات تعمیر و نگهداری
 161 پیشگیرانه برای زیرسیستمهای شیرر طبس
 8-162
 شکل 6-9- منحنی قابلیت اطمینان پس از اعمال تعمیرات پیشگیرانه
 166 و بدون تعمیرات پیشگیرانه

مقدمه

1-1- مقدمه

بی‌شک در قرن حاضر بشر برای دستیابی به پیشرفت صنعتی و رفاه بیشتر به طور قابل توجهی به انواع حامل‌های انرژی شامل نفت، گاز و زغالسنگ نیاز دارد. در اقتصاد انرژی سه عامل ذخیره، میزان تولید و قیمت به عنوان پارامترهای مهم مطرح می‌باشند. در قرن گذشته با توجه به کشف نفت و توسعه کاربردهای صنعتی و تولید مشتقات مختلف از آن، تولید و مصرف این ماده حیاتی و با ارزش به صورت فزاینده‌ای افزایش یافت و امروزه عواقب این پدیده به اشکال مختلف جامعه بشری را درگیر خود کرده است. مصرف بالای نفت و گاز در قرن گذشته و ذخایر محدود آن‌ها، جهان را به تکاپوی

جدی برای یافتن انرژی‌های نو و بهینه‌سازی مصرف سوخت‌های موجود واداشته است. از جمله انرژی‌های نو می‌توان به انرژی زمینگرمایی و انرژی هسته‌ای اشاره نمود. همچنین در توجه به بهینه‌سازی سوخت‌های قدیمی، زغالسنگ به عنوان قدیمی‌ترین حامل انرژی جهان مدرن، مجدداً مورد توجه قرار گرفته است. یکی از مهمترین دلایل این امر را می‌توان فراوانی و گستردگی بسیار خوب ذخایر زغالسنگ در جهان دانست. چنانکه در شکل 1-1 نشان داده شده است، زغالسنگ تنها سوخت فسیلی است که در تمامی مناطق جهان یافت شده و قابل استخراج میباشد.



شکل 1-1- گستردگی و میزان ذخایر سوخت‌های فسیلی جهان بر حسب میلیارد تن

در سال 2010 (World Coal Association, 2010)

طبق آمار موجود، ذخایر جهانی اثبات شده زغالسنگ 847 میلیارد تن است. این آمار بیانگر آن است که با میزان تولید کنونی، ذخایر زغالسنگ 119 سال دیگر جوابگوی تقاضای جهانی برای این ماده با ارزش معدنی خواهند بود. این عدد برای نفت و گاز به ترتیب 46 و 63 سال میباشد (World Coal Association, 2011).

با توجه به آمار، در سالهای آینده زغالسنگ به عنوان فراوان‌ترین و مطمئن‌ترین سوخت فسیلی جهان مطرح بوده و درخواست جهانی برای زغالسنگ به شدت افزایش خواهد یافت. البته نمونه‌هایی از این تقاضا امروزه نیز در برخی کشورهای فاقد نفت و گاز به وضوح قابل رویت است. طبق آمار

آژانس بینالمللی انرژی، در سال 2006، 41٪ از انرژی برق جهان توسط نیروگاههای زغالی تأمین گردیده و پیشبینی میشود این میزان به 44٪ در سال 2030 برسد (IEA, 2010).

صنعت فولادسازی امروزه بازار جهانی و اقتصاد زغالسنگ را داغ و پررونق ساخته است. طبق گزارش انجمن جهانی زغالسنگ، 70٪ فولاد جهان با استفاده از زغالسنگ تولید میشود. جهان صنعتی امروز که به صورت سرسام‌آوری نیازمند فولاد می‌باشد، به طور غیرمستقیم به زغالسنگ نیز وابستگی قطعی دارد. با توجه به اینکه یکی از شاخص‌های توسعه یافتگی کشورها میزان مصرف سرانه فولاد آنها است، لذا می‌توان میزان مصرف سرانه زغالسنگ را نیز به طور غیرمستقیم شاخص توسعه یافتگی کشورها در نظر گرفت. شاهد این ادعا مصرف 82٪ زغالسنگ جهان توسط پنج کشور چین، آمریکا، هندوستان، ژاپن و آفریقای جنوبی است که چهار مورد اول چهار کشور قدرتمند اقتصادی جهان به شمار می‌آیند (World Coal Association, 2010).

با توجه به موارد اشاره شده فوق، میزان تولید بالا و ارزان، دو هدف عمده معدنکاری زغالسنگ در قرن حاضر به شمار می‌آیند. درصد بالایی از استخراج زغالسنگ در جهان از معادن زیرزمینی انجام می‌شود. معادن زیرزمینی زغالسنگ معمولاً به دو روش جبهه‌کار طولانی و اتاق و پایه استخراج می‌شوند. در این میان با توجه به اینکه روش جبهه‌کار طولانی با طبیعت لایه‌های زغالسنگ اقصی نقاط جهان تطابق بسیار خوبی دارد، به طور گسترده‌ای در کشورهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش به دلیل همخوانی با ضخامت‌های مختلف لایه‌های زغالسنگ، در معادن شامل لایه‌های کم ضخامت تا لایه‌های ضخیم کاربرد داشته و لذا سهم بالایی از استخراج زغالسنگ را نسبت به روش اتاق و پایه به خود اختصاص داده است.

روش جبهه‌کار طولانی خود به دو روش سنتی و مکانیزه انجام می‌شود. با توجه به نیاز بالا و درخواست جهانی برای زغالسنگ -در حال و آینده- و نیز مسأله قیمت تمام شده، پایداری تولید و ایمنی، روش مکانیزه از اقبال بیشتری برای استفاده در کشورهای مختلف برخوردار است. این در حالی است که نمی‌توان از سهم روش سنتی در استخراج زغالسنگ در برخی کشورها و نیز در لایه‌های با

شرایط زمین‌شناسی خاص صرف نظر نمود. امروزه روش جبهه‌کار طولانی مکانیزه به عنوان یک روش توانمند و با نرخ تولید بالا در میان متخصصان معدنکاری به صورت سمبل پیشرفت و تکنولوژی روز معدنکاری شناخته می‌شود.

در روش جبهه‌کار طولانی مکانیزه تمامی عملیات استخراج و کندن زغالسنگ از لایه برجا توسط دستگاه شیرر یا رنده انجام می‌گیرد. گرچه آمار دقیقی از درصد استفاده از هر یک از دستگاه‌های فوق در معادن زغالسنگ مکانیزه جهان وجود ندارد، اما، استفاده از شیرر به مراتب بیشتر از رنده می‌باشد تا جایی که امروزه معمولاً روش جبهه‌کار طولانی با این دستگاه شناخته می‌شود. با توجه به پیوستگی تولید، توان تولید بالا و نیز حجم سرمایه‌گذاری در این روش، ضرورت عملیات صحیح و دسترسپذیری شیرر در حین عملیات به خوبی آشکار است. هرگونه خرابی دستگاه شیرر و توقف برش زغال، باعث توقف سایر دستگاه‌های مرتبط با تولید و در نهایت توقف عملیات در کارگاه استخراج می‌شود. این امر در نهایت باعث اتلاف سرمایه و بروز خسارت‌های مالی به معدن می‌شود. به منظور جلوگیری از توقف‌های ناخواسته و افزایش عملکرد شیرر، اطلاع از شرایط کاری دستگاه و کنترل آماری دقیق آن یکی از رهیافت‌های عملی به شمار می‌آید. یکی از تکنیک‌های توانمند برای پیش‌بینی خرابی‌ها و عملکرد مناسب دستگاه در یک زمان مشخص، ارزیابی "قابلیت اطمینان"¹ دستگاه می‌باشد. با استفاده از این کمیّت می‌توان احتمال عدم خرابی و عملکرد مطلوب دستگاه در یک بازه زمانی را تخمین زد. این کمیّت امروزه در اکثر صنایع به عنوان یک عامل فنی و مدیریتی کمک شایانی به حفظ پیوستگی تولید و بهبود وضعیت مالی بنگاه‌های اقتصادی می‌کند. در این رساله، قابلیت اطمینان درام شیرر با استفاده از دو رهیافت مدلسازی و شبیهسازی مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج این دو روش مقایسه خواهند شد. مطالعه موردی این تحقیق در معدن زغالسنگ طبس می‌باشد.

1-2- معدن زغالسنگ پروده طبس

¹. Reliability

نواحی زغالدار طبس در شمال استان یزد، جنوب و جنوب غربی شهر طبس واقع شده‌اند. وسعت نواحی مذکور حدود 30 هزار کیلومتر مربع می‌باشد. مطالعات اکتشافی در این منطقه از سال 1346 آغاز ولی به دنبال وقوع زلزله طبس، فعالیت‌های مذکور متوقف شدند. پس از پیروزی انقلاب اسلامی، در اواسط سال 1359 واحد اکتشافی طبس تأسیس و تا ابتدای 1369 بخش اعظم اکتشافات مقدماتی در یکی از بزرگترین و غنیترین ذخایر کشور به نام مناطق پروده به پایان رسید. با انجام مراحل آماده‌سازی، خرید ماشینآلات و تجهیز معدن، تولید از معدن در سال 1386 آغاز گردید. ناحیه پروده با وسعتی حدود 1200 کیلومتر مربع در 70 کیلومتری جنوب شهرستان طبس واقع است. میزان ذخیره زغالسنگ ککشو این ناحیه بیشترین ذخائر زغالسنگ کشور بوده و 1/1 میلیارد تن برآورد شده است. با توجه به کیفیت و کمیّت ذخایر ناحیه پروده، بیشترین فعالیت‌های اکتشافی و طرح‌های بهره‌برداری در طبس به این مناطق اختصاص یافته است. ارتفاع متوسط ناحیه زغالدار پروده از سطح دریا 850 متر می‌باشد.

در این ناحیه 29 لایه زغالی شناسایی شده که به طور کلی به گروه‌های A, B, C, D, E و F تقسیم‌بندی شده‌اند. مهم‌ترین لایه‌های زغالی با ضخامت قابل استخراج (بیش از 0/4 متر) عبارتند از: C₁, C₂, B₁, B₂ و E و D که از بین آنها لایه C₁ دارای تداوم و گستردگی بیشتری در منطقه بوده و از قابلیت معدنکاری بالایی برخوردار است.

میزان خاکستر لایه‌ها تا حد زیادی به ضخامت آنها بستگی دارد، به طوری که در معادن پروده 1 و 2 که ضخامت لایه‌ها بیشتر است، خاکستر زغال نیز زیادتر است. خاکستر لایه‌های زغالسنگ به‌طور کلی بیشتر از 30 درصد است. یکی از مشکلات اصلی در قابلیت فرآوری و استفاده از زغالسنگ کانسار پروده، بالا بودن میزان گوگرد است که میانگین آن به بیش از 1 درصد میرسد. میزان مواد فرّار، کم تا متوسط است و از جنوب‌شرقی به طرف شمال‌غربی افزایش می‌یابد. متوسط آن 23 تا 25 درصد می‌باشد. بیشینه گاز متان در لایه‌های B₁ و C₁ در عمق 650 متری، حدود 24 مترمکعب در هر تن زغالسنگ استخراجی است. درجه حرارت با عمیق شدن لایه‌ها افزایش یافته و در عمق 650