

ای که با نامت بجان

آغاز گشته

دقتت ما هم به نامت باز

گشته

۱۳۸۲ / ۲ / ۲۷



دانشگاه تربیت مدرس  
دانشکده فنی و مهندسی

کتابخانه اطلاعات مدرک علمی ایران  
شماره ثبت مدرک

پایان نامه جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد  
مهندسی معدن - استخراج معدن

عنوان:

**بهینه سازی سیستم بارگیری و حمل  
(دیسپاچینگ)  
معدن مس سونگون**

تهیه و تنظیم:

**بهاره عاصی**

استاد راهنما:

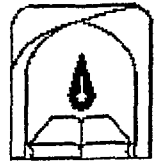
**دکتر کاظم اورعی**

استاد مشاور:

**دکتر مرتضی احمدی**

زمستان ۱۳۸۲

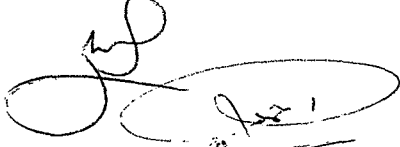
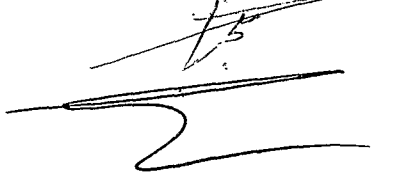
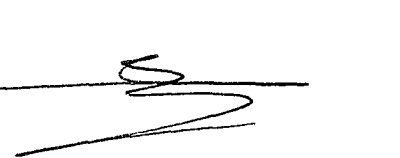
۷۲۱۴۰



دانشگاه تربیت مدرس


## تاییدیه هیات داوران

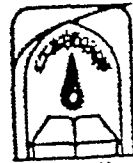
خانم بهاره عاصی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان: بهینه سازی سیستم بارگیری و حمل معدن مس سونگون در تاریخ ۸۲/۱۲/۱۷ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن - استخراج پیشنهاد می کنند.

امضاء	نام و نام خانوادگی	اعضای هیات داوران
	جناب آقای دکتر اورعی	۱- استاد راهنما:
	جناب آقای دکتر احمدی	۲- استاد مشاور:
	جناب آقای دکتر منجزی	۳- استاد ناظر:
	جناب آقای دکتر اصائلو	۴- استاد ناظر
		۵- مدیر گروه:
	جناب آقای دکتر گشتاسبی	(یا نماینده گروه تخصصی)

مدرسه اطلاعات تهران علمی زبان  
تعمیرات مدرسه آران

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه / رساله مورد تایید است.  
امضای استاد راهنما:





بسمه تعالی

## آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیت های علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲ در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:  
و کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد / رساله دکتری نگارنده در رشته **مهندسی معدن** است که در سال ۱۳۸۲ در دانشکده **فنی و مهندسی** دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم / جناب آقای دکتر **کاظم لورعی**، مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر **هرتضی اصولی** و مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر \_\_\_\_\_ از آن دفاع شده است.

ماده ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴ در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأديه کند.


ماده ۵ دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

ماده ۶ اینجانب **بهاره عاصی** دانشجوی رشته **مهندسی معدن** مقطع **کارشناسی ارشد** تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: **بهاره عاصی**

تاریخ و امضا:

  
۱۳۸۲، ۱۲، ۱۷

۷۲۱۶  


هزینه‌های مربوط به بخش بارگیری و حمل بیش از ۵۰ درصد هزینه‌های یک معدن را به خود اختصاص می‌دهند. بنابراین کاهش درصد کمی از این هزینه‌ها، تأثیر قابل توجهی در قیمت تمام شده محصول نهایی خواهد داشت. به این منظور سیستم‌های مدیریت حمل و نقل معادن توسعه یافتند.

در این پایان‌نامه، مدلی جامع برای بهینه‌سازی حمل و نقل معادن روباز ارائه شده که می‌تواند برای برنامه‌ریزی حمل و نقل در محیط‌های فازی بکار گرفته شود. این مدل ریاضی، با تأمین دو هدف بیشینه‌سازی تولید معدن و کنترل کیفیت سنگ ارسالی به کارخانه فرآوری، تخصیص انعطاف‌پذیر سیستم بارگیری و حمل را انجام می‌دهد.

از آنجا که تولید روزانه شاول متغیر است، این پارامتر بصورت فازی در نظر گرفته شده و برای تبدیل این مدل به مدل قطعی از روش آلفا کات استفاده شده است. از ویژگی‌های دیگر مدل، قابلیت تخصیص کامیون‌ها با ظرفیت‌های متفاوت است.

نگرش ویژه این تحقیق بر روی یکی از غنی‌ترین معادن مس دنیا یعنی معدن مس سونگون می‌باشد. ابتدا تعداد ماشین‌آلات سیستم ترابری موردنیاز این معدن برای سال‌های مختلف عمر پروژه به تفکیک محاسبه شده است. سپس مدل یاد شده بر روی این معدن مورد آزمایش قرار گرفته و از آنجا که معدن هنوز به بهره‌برداری نرسیده، امکان مقایسه دقیق مدل با شرایط واقعی وجود ندارد. بنابراین تولید حاصل از مدل فوق با طرح برنامه‌ریزی تولید معدن در سال اول بهره‌برداری مقایسه و مشخص شد که استفاده از این مدل باعث افزایش تولید به میزان ۱۵ درصد خواهد شد. از طرف دیگر با اجرای مدل بهینه‌سازی سیستم ترابری، بهترین عیار موردنیاز کارخانه فرآوری (۰/۷۳ درصد مس) بدست خواهد آمد. همچنین نتایج حاصل از اجرای مدل بهینه‌سازی سیستم ترابری در معدن مس سرچشمه نشان داد که علاوه بر تأمین عیار موردنیاز کارخانه فرآوری (۰/۹ درصد مس)، تولید معدن نیز معادل ۱۶ درصد افزایش خواهد یافت.

با انجام آنالیز حساسیت بر هر دو معدن مس سونگون و سرچشمه مشخص شد که ساعات مفید کاری در شیفت، نوسان ظرفیت باربری، تعداد و زمان سفر کامیون‌ها از پارامترهای حساس بر تولید معدن می‌باشند. همچنین دو عامل تعداد کامیون‌های فعال و میزان خطا در تخمین عیار جبهه‌کارها بیشترین تأثیر را بر عیار سنگ ارسالی به سنگ‌شکن خواهند داشت.

واژه‌های کلیدی: تخصیص کامیون، برنامه‌ریزی آرمانی، تحقیق در عملیات، مجموعه‌های فازی، معادن روباز

موسسه تحقیقات معدن و صنایع معدنی  
گروه تحقیقات سیستم‌های حمل و نقل

## فهرست مطالب

۱	مقدمه
۴	فصل اول- معدن مس سونگون
۵	۱-۱- نهشته‌های مس پورفیری
۵	۲-۱- تاریخچه ذخایر مس پورفیری
۶	۳-۱- موقعیت جغرافیایی کانسار مس سونگون
۸	۴-۱- شرایط اقلیمی کانسار مس سونگون
۹	۵-۱- تاریخچه معدن مس سونگون و عملیات اکتشافی
۱۲	۶-۱- زمین‌شناسی عمومی ناحیه اهر
۱۲	۷-۱- ارزیابی عناصر فرعی در کانسار مس سونگون
۱۲	۸-۱- برآورد ذخایر کانسار مس سونگون
۱۳	۹-۱- بهینه‌سازی و طراحی معدن مس سونگون
۱۳	۱-۹-۱- مبانی بهینه‌سازی معدن مس سونگون
۱۳	۲-۹-۱- مدل بلوکی کانسار مس سونگون
۱۴	۳-۹-۱- مدل توپوگرافی محدوده معدن
۱۴	۴-۹-۱- وزن مخصوص
۱۵	۵-۹-۱- درصد بازیابی مس
۱۶	۶-۹-۱- تعیین فازهای استخراجی
۱۷	۱۰-۱- برنامه‌ریزی استخراج معدن
۱۷	۱-۱۰-۱- مبانی طراحی
۱۹	۲-۱۰-۱- برنامه زمان‌بندی استخراج در دوران بهره‌برداری معدن سونگون
۲۲	۱۱-۱- طراحی دامپ‌های باطله، ذخایر اکسید و کم‌عیار
۲۳	۱۲-۱- انتخاب محل سنگ‌شکن‌های اولیه معدن
۲۳	۱۳-۱- تسهیلات پشتیبانی معدن
۲۴	۱۴-۱- عملیات و مدیریت در معدن مس سونگون
۲۴	۱-۱۴-۱- برآورد الگوی آتشیاری معدن مس سونگون
۲۵	۲-۱۴-۱- ماشین‌آلات و تجهیزات اصلی و پشتیبانی معدن
۲۶	۱۵-۱- تعمیر و نگهداری در معدن مس سونگون

۲۸	فصل دوم - بارگیری و حمل در معادن روباز
۲۹	مقدمه
۲۹	۱-۲- سیستم حمل و نقل در معادن
۳۰	۲-۲- عوامل مؤثر در انتخاب نوع و تعداد ماشین آلات
۳۲	۳-۲- سیستم بارگیری
۳۳	۱-۳-۲- ماشین آلات بارگیری
۳۴	۲-۳-۲- عوامل مؤثر در انتخاب نوع تجهیزات بارگیری
۳۷	۳-۳-۲- عوامل مؤثر در ظرفیت تولید شاول
۴۱	۴-۳-۲- روش های محاسبه تعداد شاول های مورد نیاز
۴۳	۴-۲- سیستم باربری
۴۴	۱-۴-۲- عوامل مؤثر در انتخاب ظرفیت کامیون ها
۴۷	۲-۴-۲- عملکرد و عوامل مؤثر در حرکت کامیون
۴۹	۳-۴-۲- عوامل مؤثر در محاسبه تعداد کامیون مورد نیاز
۵۱	۴-۴-۲- روش های محاسبه تعداد ماشین آلات باربری
۵۸	۵-۴-۲- محاسبه تعداد کامیون رزرو
۵۸	۶-۴-۲- احتمال دسترسی به کامیون
۵۹	۵-۲- تعادل بین تجهیزات بارگیری، باربری و حفاری
۶۰	۶-۲- مدل های انتخاب ماشین آلات معادن روباز
۶۱	۱-۶-۲- مدل های تجربی
۶۲	۲-۶-۲- مدل تصمیم گیری سیستماتیک
۶۴	۳-۶-۲- مدل های الگوریتم ژنتیک
۶۵	۴-۶-۲- مدل های فازی
۶۷	فصل سوم - بهینه سازی و انواع روش های آن در سیستم ترابری
۶۸	۱-۳- مفهوم بهینه سازی
۷۰	۲-۳- کاربرد بهینه سازی در مهندسی
۷۰	۳-۳- اهداف بهینه سازی سیستم ترابری
۷۱	۱-۳-۳- بیشینه کردن بهره وری کامیون ها
۷۲	۲-۳-۳- بیشینه کردن بهره وری بارکننده ها

۷۲	۳-۳-۳- کمینه کردن درجه اشباع
۷۲	۳-۳-۴- معیار اولویت
۷۳	۳-۴- انواع روش های بهینه سازی سیستم ترابری
۷۳	۳-۴-۱- روش های تخصیص ثابت
۸۳	۳-۴-۲- روش های تخصیص انعطاف پذیر
۱۱۵	فصل چهارم - انتخاب تعداد ماشین آلات بارگیری و حمل معدن سونگون
۱۱۶	مقدمه
۱۱۶	۴-۱- انتخاب ظرفیت ماشین آلات
۱۱۸	۴-۲- محاسبه تعداد شاول های مورد نیاز
۱۲۳	۴-۳- محاسبه تعداد کامیون های مورد نیاز
۱۲۹	۴-۴- ماشین آلات بارگیری و باربری معدن مس سونگون
۱۳۱	فصل پنجم - ارائه مدل تخصیص کامیون در معادن رویاز
۱۳۲	مقدمه
۱۳۲	۵-۱- تحقیق در عملیات
۱۳۳	۵-۲- فرآیند تصمیم گیری
۱۳۳	۵-۳- مدل و مراحل مدل سازی
۱۳۴	۵-۴- ضرورت استفاده از مدل
۱۳۴	۵-۵- طبقه بندی مدل
۱۳۵	۵-۵-۱- مدل های شمایی
۱۳۵	۵-۵-۲- مدل های قیاسی
۱۳۵	۵-۵-۳- مدل های ریاضی
۱۳۵	۵-۶- مفاهیم مدل
۱۳۷	۵-۷- اصول مورد استفاده در مدل
۱۳۸	۵-۷-۱- تصمیم گیری چند هدفه
۱۴۰	۵-۷-۲- مدل های برنامه ریزی آرمانی
۱۴۶	۵-۷-۳- عدم قطعیت فازی



۱۵۳	۸-۵- مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی بهینه‌سازی سیستم حمل‌ونقل معادن روباز
۱۵۵	۱-۸-۵- معرفی متغیرها و پارامترهای مدل بهینه‌سازی سیستم حمل‌ونقل
۱۵۷	۲-۸-۵- آرمان تولید فازی
۱۵۹	۳-۸-۵- آرمان کیفیت ماده معدنی
۱۶۰	۴-۸-۵- محدودیت‌ها
۱۶۱	۵-۸-۵- تابع هدف
۱۶۳	فصل ششم - بهینه‌سازی سیستم ترابری معدن سونگون
۱۶۴	مقدمه
۱۶۴	۱-۶- بهینه‌سازی سیستم بارگیری و حمل معدن مس سونگون
۱۶۴	۱-۱-۶- جمع‌آوری داده‌ها
۱۷۴	۲-۱-۶- حل مدل
۱۷۴	۳-۱-۶- تحلیل خروجی‌های لینگو
۱۸۳	۴-۱-۶- مسیرهای ترابری معدن مس سونگون
۱۸۶	۵-۱-۶- تعیین اعتبار مدل در معدن مس سونگون
۱۸۷	۶-۱-۶- تحلیل پارامترهای فازی تولید شاول
۱۸۸	۷-۱-۶- تحلیل حساسیت
۱۹۹	۸-۱-۶- تعیین پارامترهای حساس بر سیستم بارگیری و حمل معدن سونگون
۲۰۰	۲-۶- بهینه‌سازی سیستم بارگیری و حمل معدن مس سرچشمه
۲۰۱	۱-۲-۶- جمع‌آوری داده‌ها
۲۰۴	۲-۲-۶- حل مدل معدن مس سرچشمه
۲۰۵	۳-۲-۶- مسیرهای ترابری ممکن معدن مس سرچشمه
۲۰۷	۴-۲-۶- نتایج مدل بهینه‌سازی معدن مس سرچشمه
۲۰۸	۵-۲-۶- آنالیز حساسیت معدن مس سرچشمه
۲۰۹	۶-۲-۶- تأثیر ترکیب‌های مختلف ناوگان باربری بر تولید معدن مس سرچشمه
۲۱۰	۳-۶- بررسی پارامترهای حساس بر مدل
۲۱۲	فصل هفتم - نتیجه‌گیری
۲۱۶	راهکارهایی برای ادامه تحقیق

۲۱۸

فهرست منابع

۲۲۳

واژه‌نامه

۲۲۴

واژه نامه انگلیسی به فارسی

۲۲۷

واژه نامه فارسی به انگلیسی

- جدول ۱-۱- ملاحظاتی در مورد تعدلی از مهم‌ترین کلسرهای مس پورفیری جهان ..... ۶
- جدول ۱-۲- میزان ذخایر کانسار مس سونگون ..... ۱۳
- جدول ۱-۳- وزن مخصوص زون‌های مختلف کانسار مس سونگون ..... ۱۵
- جدول ۱-۴- درصد بازیابی در مراحل مختلف ..... ۱۵
- جدول ۱-۵- مشخصات کلی فازهای استخراجی معدن مس سونگون ..... ۱۷
- جدول ۱-۶- برنامه‌ریزی استخراج بهینه سالانه در دوران بهره‌برداری از معدن مس سونگون ..... ۲۱
- جدول ۱-۷- الگوی حفاری معدن مس سونگون ..... ۲۴
- جدول ۱-۸- الگوی خرج‌گذاری معدن مس سونگون ..... ۲۵
- جدول ۲-۱- طبقه‌بندی ماشین‌های بارگیری بر مبنای سهولت حفر ..... ۳۵
- جدول ۲-۲- مقادیر متوسط فاکتور پرشوندگی جام ..... ۳۹
- جدول ۲-۳- ضریب چسبش بری شاول ..... ۳۹
- جدول ۲-۴- زمان سیکل کاری شاول ..... ۴۰
- جدول ۲-۵- طبقه‌بندی روش‌ها و تجهیزات باربری و بالابری در معادن سطحی ..... ۴۳
- جدول ۲-۶- فاکتور پرشوندگی برحسب شرایط کاری ..... ۴۶
- جدول ۲-۷- تعیین ضریب چسبندگی برای مواد مختلف ..... ۴۷
- جدول ۲-۸- ضریب سرعت ( $k_{zL}$ ) مسیر رفت کامیون ..... ۵۵
- جدول ۲-۹- ضریب سرعت ( $k_{zE}$ ) در مسیر برگشت کامیون ..... ۵۵
- جدول ۳-۱- روش‌های مختلف تحقیق در عملیات ..... ۶۹
- جدول ۳-۲- طبقه‌بندی مدل‌ها برحسب احتمالی یا غیراحتمالی بودن ..... ۶۹
- جدول ۴-۱- برنامه ریزی ساعات کاری سالانه معدن ..... ۱۱۹
- جدول ۴-۲- پارامترهای موردنیاز روش محاسبه تعداد شاول ..... ۱۲۰
- جدول ۴-۳- تعیین تعداد شاول موردنیاز معدن مس سونگون ..... ۱۲۲
- جدول ۴-۴- سرعت کامیون‌ها در مسیرهای مختلف ..... ۱۲۴
- جدول ۴-۵- محاسبه زمان حرکت کامیون‌ها در شرایط مختلف ..... ۱۲۴
- جدول ۴-۶- محاسبه زمان و مسافت طی شده در سال اول ..... ۱۲۶

- جدول ۴-۷- پارامترهای موردنیاز برای محاسبه تعداد کامیون..... ۱۲۷
- جدول ۴-۸- محاسبه تعداد کامیون موردنیاز در سال اول ..... ۱۲۸
- جدول ۴-۹- تعداد ماشین‌آلات موردنیاز معدن مس سونگون ..... ۱۳۰
- جدول ۵-۱- مراحل مدل‌سازی ..... ۱۳۳
- جدول ۶-۱- ماشین‌آلات موردنیاز معدن مس سونگون در سال اول ..... ۱۶۵
- جدول ۶-۲- میانگین زمان سفر از شاول I به محل تخلیه J توسط کامیون h ..... ۱۶۶
- جدول ۶-۳- میانگین زمان سفر از محل تخلیه J به شاول I توسط کامیون h ..... ۱۶۶
- جدول ۶-۴- مقادیر ترجیحات برای مقایسه زوجی ..... ۱۶۸
- جدول ۶-۵- ماتریس مقایسه زوجی آرمان‌ها نسبت به نظر فرد خبره A ..... ۱۶۹
- جدول ۶-۶- بدست آوردن جمع هر ستون ..... ۱۶۹
- جدول ۶-۷- نرمالیزه کردن ستون‌ها ..... ۱۶۹
- جدول ۶-۸- محاسبه میانگین هر سر ..... ۱۶۹
- جدول ۶-۹- ماتریس مقایسه زوجی آرمان‌ها نسبت به نظر فرد خبره B ..... ۱۷۰
- جدول ۶-۱۰- ماتریس مقایسه زوجی آرمان‌ها نسبت به نظر فرد خبره C ..... ۱۷۰
- جدول ۶-۱۱- ماتریس مقایسه زوجی آرمان‌ها نسبت به نظر فرد خبره D ..... ۱۷۰
- جدول ۶-۱۲- ماتریس مقایسه زوجی آرمان‌ها نسبت به نظر فرد خبره E ..... ۱۷۰
- جدول ۶-۱۳- ماتریس مقایسه زوجی آرمان‌ها نسبت به نظر فرد خبره F ..... ۱۷۰
- جدول ۶-۱۴- ماتریس مقایسه زوجی آرمان‌ها نسبت به نظر فرد خبره G ..... ۱۷۱
- جدول ۶-۱۵- وزن آرمان‌های مدل براساس نظر افراد خبره ..... ۱۷۱
- جدول ۶-۱۶- ماتریس زوجی مقایسه افراد خبره ..... ۱۷۱
- جدول ۶-۱۷- میزان اهمیت نظر افراد خبره ..... ۱۷۲
- جدول ۶-۱۸- داده‌های موردنیاز برای بهینه‌سازی سیستم حمل‌ونقل معدن مس سونگون ..... ۱۷۳
- جدول ۶-۱۹- گزینش پارامترها و متغیرهای مدل بهینه‌سازی معدن مس سونگون ..... ۱۷۵
- جدول ۶-۲۰- منابع مازاد معدن مس سونگون ..... ۱۷۸
- جدول ۶-۲۱- میزان مصرف هر یک از منابع معدن مس سونگون ..... ۱۷۹

- جدول ۶-۲۲- برای قیمت‌های سایه حاصل از حل مدل بهینه‌سازی معدن سونگون ..... ۱۸۰
- جدول ۶-۲۳- گزارش دامنه تغییرات منابع معدن مس سونگون ..... ۱۸۱
- جدول ۶-۲۴- نرخ کامیون در مسیرهای مختلف معدن مس سونگون ..... ۱۸۵
- جدول ۶-۲۵- مقایسه نتایج حاصل از مدل بهینه‌سازی تخصیص کامیون‌ها یا برنامه‌ریزی  
دستی ..... ۱۸۶
- جدول ۶-۲۶- ماشین‌آلات فعال در معدن مس سونگون ..... ۲۰۰
- جدول ۶-۲۷- حد بالا، پایین و میانگین تولید شاول در معدن مس سرچشمه ..... ۲۰۱
- جدول ۶-۲۸- زمان رفت کامیون‌های ۱۱۰ تی (A) و ۹۰ تی (B) ..... ۲۰۲
- جدول ۶-۲۹- زمان برگشت کامیون‌های ۱۱۰ تی (A) و ۹۰ تی (B) ..... ۲۰۲
- جدول ۶-۳۰- زمان بلرگیری و زمان انتظار بلرگیری ..... ۲۰۲
- جدول ۶-۳۱- زمان تخلیه و زمان انتظار برای تخلیه ..... ۲۰۳
- جدول ۶-۳۲- پارامترهای موردنیاز برای بهینه‌سازی ..... ۲۰۳
- جدول ۶-۳۳- نرخ کامیون در مسیرهای مختلف معدن مس سرچشمه ..... ۲۰۷
- جدول ۶-۳۴- مقایسه تولید واقعی معدن مس سرچشمه با مدل بهینه‌سازی تخصیص  
کامیون‌ها ..... ۲۰۸

- شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی معدن مس سونگون ..... ۷
- شکل ۲-۱- موقعیت معدن مس سونگون ..... ۸
- شکل ۳-۱- شبکه حفاری و موقعیت محدوده اکتشاف تفصیلی در معدن مس سونگون ۱۱۰
- شکل ۱-۲- تغییرات ظرفیت جام شاول نسبت به ارتفاع تخلیه و ارتفاع برش ..... ۳۷
- شکل ۲-۲- روش‌های مختلف حمل مواد در معادن مس و آهن ..... ۴۴
- شکل ۳-۲- ظرفیت باربری بر حسب فاصله حمل به ازای ظرفیت‌های مختلف کامیون ۴۵
- شکل ۴-۲- توزیع بکارگیری کامیون‌ها در دنیا بر حسب ظرفیت ..... ۴۶
- شکل ۵-۲- نمودار نیروی کشش، سرعت و شیب‌پذیری ..... ۵۴
- شکل ۶-۲- هزینه‌های عملیاتی و تعمیرات کامیون در ساعت ..... ۵۷
- شکل ۷-۲- هزینه‌های عملیاتی و تعمیرات شاول در ساعت ..... ۵۷
- شکل ۸-۲- هزینه‌های بارگیری و حمل بازای تعداد کامیون برای یک شاول ..... ۵۸
- شکل ۹-۲- ارتباط بین ماشین‌آلات بارگیری، حفاری و باربری ..... ۵۹
- شکل ۱۰-۲- مراحل انتخاب بهینه ماشین‌آلات در معادن روباز ..... ۶۰
- شکل ۱-۳- کمینه  $f(x)$  همان بیشینه  $-f(x)$  می‌باشد ..... ۶۸
- شکل ۲-۳- مدل صف چهارمرحله‌ای عملیات بارگیری و حمل ..... ۷۵
- شکل ۳-۳- مدل صف یک مرحله‌ای عملیات بارگیری و حمل ..... ۷۶
- شکل ۴-۳- فلوچارت برنامه‌ریزی ابتکاری برای تخصیص کامیون‌ها ..... ۸۳
- شکل ۵-۳- مسیرهای ممکن بین محل ۵ شاول و ۳ دامپ در معدن مس سرچشمه ..... ۹۶
- شکل ۶-۳- مسیرهای بهینه برای رفت و برگشت کامیون‌ها در معدن مس سرچشمه ..... ۹۶
- شکل ۷-۳- مسیرهای ممکن سیستم ترابری برای دیسپاچینگ ..... ۱۰۳
- شکل ۸-۳- مسیرهای بهینه بدست آمده از مدل برنامه‌ریزی آرمانی ..... ۱۰۳
- شکل ۱-۴- مقایسه اقتصادی ترکیب‌های مختلف ناوگان حمل و نقل معدن سونگون در  
 ۶ سال اول استخراج ..... ۱۱۷
- شکل ۲-۴- مقایسه اقتصادی ترکیب‌های مختلف ناوگان حمل و نقل معدن سونگون از  
 ۷ سال هفتم به بعد ..... ۱۱۸

- شکل ۳-۴- تعداد شاول‌های موردنیاز معدن مس سونگون ..... ۱۲۳
- شکل ۴-۴- مسیر رفت و برگشت کامیون از پله ۲۱۶۲/۵ به سنگ‌شکن (تراز ۱۹۸۷) ..... ۱۲۴
- شکل ۵-۴- تعداد کامیون‌های موردنیاز معدن مس سونگون ..... ۱۲۹
- شکل ۱-۵- روش‌های ارزیابی از یک تصمیم‌گیری چند هدفه ..... ۱۳۹
- شکل ۲-۵- عدد ذوزنقه‌ای فازی ..... ۱۵۰
- شکل ۳-۵- روش برش آلفا ..... ۱۵۱
- شکل ۴-۵- پارامتر تولید هر شاول بصورت عدد فازی مثلثی با برش آلفا ..... ۱۵۸
- شکل ۱-۶- سلسله مراتبی انتخاب وزن آرمان‌ها ..... ۱۶۷
- شکل ۲-۶- مسیرهای ممکن باربری در معدن مس سونگون ..... ۱۸۳
- شکل ۳-۶- مسیرهای بهینه باربری معدن مس سونگون حاصل از اجرای مدل ..... ۱۸۴
- شکل ۴-۶- تعداد کامیون‌ها فعال در هر مسیر بسته معدن مس سونگون ..... ۱۸۵
- شکل ۵-۶- مقایسه میزان تولید برنامه‌ریزی شده معدن مس سونگون با مدل بهینه‌سازی ..... ۱۸۶
- شکل ۶-۶- تغییرات تولید معدن با ضرایب وزنی مختلف به ازای تغییر آلفا ..... ۱۸۸
- شکل ۷-۶- تأثیر تغییر تولید شاول بر تولید معدن ..... ۱۸۹
- شکل ۸-۶- تأثیر تغییر تولید شاول بر عیار سنگ ارسالی به سنگ‌شکن ..... ۱۹۰
- شکل ۹-۶- تأثیر تغییر تعداد کامیون‌های فعال در معدن برای تولید کل ..... ۱۹۱
- شکل ۱۰-۶- تأثیر تغییر تعداد کامیون‌های فعال در معدن بر عیار سنگ ارسالی به سنگ‌شکن ..... ۱۹۱
- شکل ۱۱-۶- تأثیر نوسان مقدار بار داخل کامیون‌ها بر تولید معدن ..... ۱۹۲
- شکل ۱۲-۶- تأثیر نوسان بار داخل کامیون‌ها بر عیار سنگ ارسالی به سنگ‌شکن ..... ۱۹۲
- شکل ۱۳-۶- تأثیر تغییرات ساعات مفید کاری در شیفت بر تولید معدن ..... ۱۹۳
- شکل ۱۴-۶- تأثیر تغییرات ساعات مفید کاری در عیار سنگ ارسالی به سنگ‌شکن ..... ۱۹۳
- شکل ۱۵-۶- تأثیر زمان سفر کامیون‌ها بر تولید معدن ..... ۱۹۴
- شکل ۱۶-۶- تأثیر زمان سفر کامیون‌ها بر عیار سنگ ارسالی به سنگ‌شکن ..... ۱۹۴
- شکل ۱۷-۶- تأثیر زمان انتظار برای بارگیری بر تولید معدن ..... ۱۹۵
- شکل ۱۸-۶- تأثیر زمان انتظار برای بارگیری بر عیار سنگ ارسالی به سنگ‌شکن ..... ۱۹۵