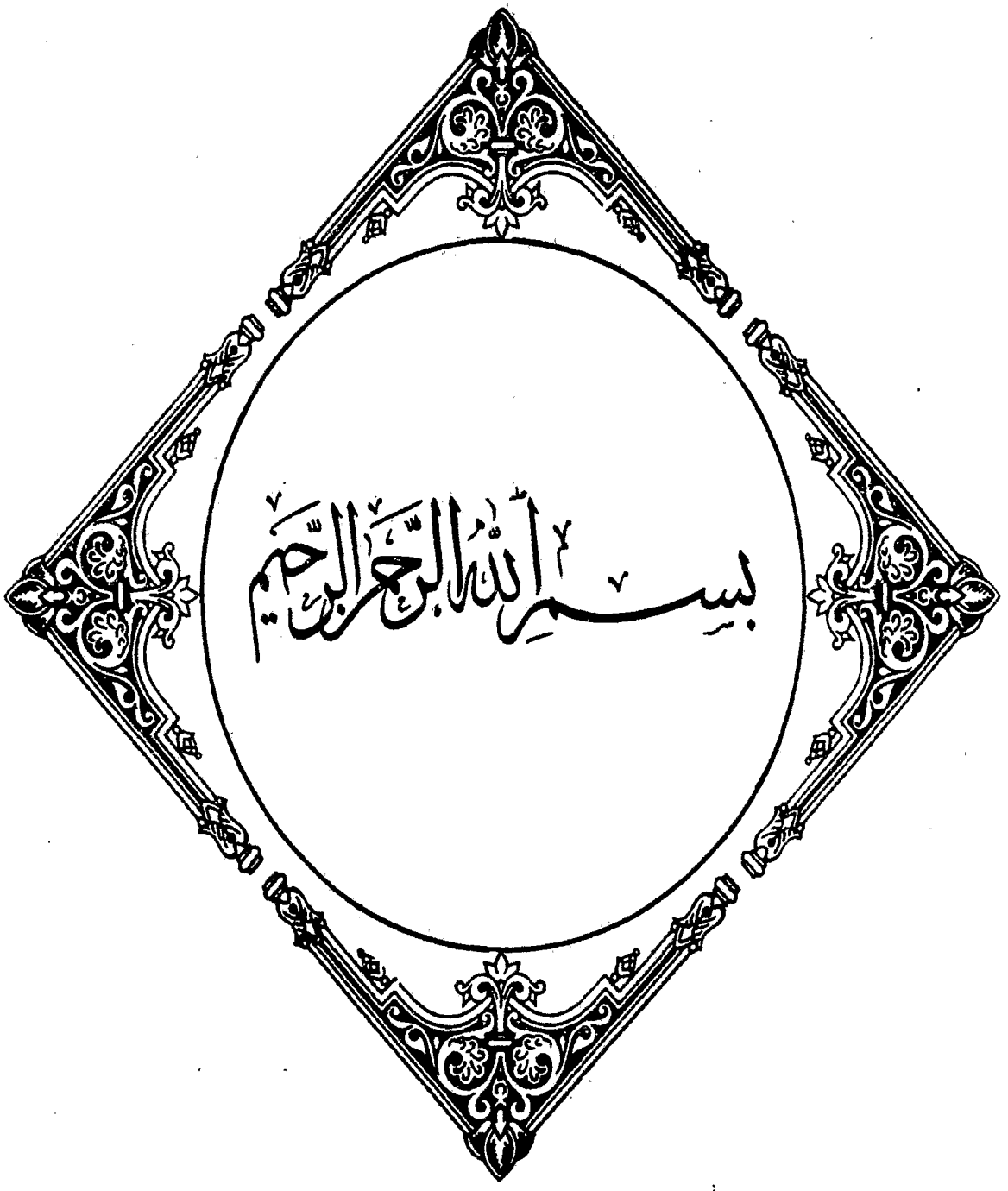
٤٤٧٨



١٠٩٩٤٩

۸۷/۱/۱۰ ۸۷۲۳
۸۸ ـ د

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی استخراج معدن

طراحی الگوی آتشباری معدن سنگ آهن گل گهر با استفاده از سیستم‌های فازی

محمد رضائی

استاد راهنما:
دکتر مسعود منجزی

استاد مشاور:
دکتر علی یزدیان ورجانی

۱۳۸۸ /۱/ ۱۸

دی ۱۳۸۷

۱۰۹۹۴۹

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای محمد رضائی پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان طراحی الگوی آتشباری معدن سنگ آهن گل گهر با استفاده از سیستم های فازی** در تاریخ ۱۳۸۷/۱۰/۲۸ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی معدن - استخراج پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر مسعود منجزی	استادیار	
استاد مشاور	دکتر علی یزدیان ورجانی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر سیدرحمان ترابی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر محمد فاروق حسینی	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر سیدرحمان ترابی	دانشیار	

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

نام و نام خانوادگی

امضاء

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

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

ماده 1: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده 2: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته است که در سال در دانشکده دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر از آن دفاع شده است.»

ماده 3: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده 4: در صورت عدم رعایت ماده 3، 50٪ بهای شمارگان چاپ شدهٔ را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده 5: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده 4 را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده 6: اینجانب کمر رضایی دانشجوی رشته مهندسی معدن مقطع دکتری تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: کمر رضایی

تاریخ و امضا: ۸۷/۱۱/۱۳

تقدیم به:

پدر بزرگ عزیز و مادر بزرگ مهربانم که با مهرشان در طول زندگی، وجودم را گرما بخشیدند. امیدوارم که عمرشان همچنان مستدام باد.

پدر بزگوار و مادر عزیزم که همیشه یار و حامی ام بودند و با ایثار هستی خویش خوشبختی ما را طلبیدند. آرزو دارم که همواره در پناه ایزد یکتا سربلند، پیروز و سلامت باشند.

خواهران و برادرانم که صفای وجودشان وصف ناشدنی است و بودنشان مایه دلگرمی. امیدوارم که همیشه موفق و مؤید باشند.

ستایش مخصوص خدایی است که علومش را کرانی نیست.

من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق.

حال که به یاری خداوند متعال این پایان‌نامه به اتمام رسیده است وظیفه خود می‌دانم از جناب آقای دکتر مسعود منجزی که با زحمات و راهنمایی‌های گرانبهای خود مرا از فیض و دانش خویش بهره‌مند ساخته و در انجام این تحقیق بی‌وقفه یاری رسانده‌اند، تقدیر و تشکر نمایم.

همچنین از زحمات و مشاوره‌های بی‌دریغ جناب آقای دکتر علی یزدیان ورجانی که اینجانب را در انجام این تحقیق یاری نموده‌اند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

لازم می‌دانم از زحمات اساتید بزرگوار آقایان دکتر سید رحمان ترابی، دکتر احمدرضا صیادی، دکتر کامران گشتاسبی، دکتر عبدالهادی قزوینیان و دکتر مرتضی احمدی که در طول دوره کارشناسی ارشد از علومشان بهره برده‌ام تشکر و قدردانی کنم.

همچنین از اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر سید محمد فاروق حسینی و جناب آقای دکتر سید رحمان ترابی که زحمت داوری پایان نامه را بر عهده گرفتند صمیمانه سپاسگزارم.

در نهایت از تمام دوستانی که به‌نحوی مرا در انجام این پایان نامه یاری رسانده‌اند تقدیر و تشکر می‌کنم.

محمد رضائی ۱۳۸۷

چکیده:

انفجار از مراحل اصلی در عملیات استخراج معدن است. از موارد اساسی جهت بهینه‌سازی عملیات انفجار پیش‌بینی دقیق خردایش سنگ می‌باشد که باعث تنظیم عملیات بعدی مانند بارگیری، باربری، سنگ‌شکنی و آسیا کردن و جلوگیری از صرف هزینه‌های ثانویه در این زمینه می‌شود. پارامترهای متعددی مانند خصوصیات توده‌سنگ، خصوصیات ماده منفجره و مشخصات هندسی شبکه انفجار در طراحی الگوی آتشباری و نتایج حاصل از آن تاثیرگذار هستند. برای رسیدن به خردایش بهینه و مینیمم کردن اثرات سوء حاصل از انفجار (عقب‌زدگی، پرتاب سنگ و ...)، ابتدا باید این عوامل تاثیرگذار تعیین و سپس الگوی آتشباری بهینه بر مبنای این عوامل طراحی شود. در دو دهه گذشته پیشرفت خوبی در توسعه تکنیک‌های جدید در زمینه طراحی الگوی آتشباری و پیش‌بینی عملکرد آن صورت گرفته است. این تکنیک‌ها بیشتر شامل مدل‌های کامپیوتری خبره می‌باشند که علاوه بر دقت لازم در طراحی، از سرعت بالا و سهولت کاربرد نیز برخوردار هستند.

سیستم فازی جزء سیستم‌های هوشمند می‌باشد که خروجی را با روش‌های مبتنی بر اصول منطق فازی از ورودی‌های خاص پیش‌بینی می‌کند. در این سیستم‌ها امکان در نظر گرفتن تاثیر هر کدام از پارامترها بر خروجی وجود دارد. در این تحقیق ابتدا مدل‌سازی انفجار معدن سنگ آهن شماره یک گل گهر جهت تعیین الگوی آتشباری مناسب با هدف پیش‌بینی خردایش سنگ با استفاده از سیستم فازی و روش رگرسیون چند متغیره انجام گرفته است. متغیرهای ورودی جهت مدل‌سازی انفجار شامل ۸ پارامتر تاثیر گذار بر عملیات آتشباری می‌باشد. پس از انجام مدل‌سازی، نتایج حاصله با داده‌های واقعی (فیلد) مقایسه شد. سپس عملکرد دو مدل فازی و رگرسیون با استفاده از شاخص‌های عملکرد ضریب تصمیم‌گیری (R^2) و جذر متوسط مربعات خطا (RMSE) ارزیابی و مقایسه گردید. در نهایت، آنالیز حساسیت مدل فازی با استفاده از روش میدان کسینوسی (CAM) انجام و میزان تأثیر هر کدام از پارامترهای ورودی بر خروجی (خردایش) مشخص شد. همچنین، مدل‌سازی انفجار معدن جهت تعیین الگوی آتشباری مناسب با هدف پیش‌بینی عقب‌زدگی و پرتاب سنگ نیز با استفاده از سیستم فازی و رگرسیون چند متغیره انجام گرفته است. در مدل‌سازی عقب‌زدگی و پرتاب سنگ هم همانند مدل‌سازی خردایش موارد مربوط به مقایسه نتایج مدل‌ها با مقادیر واقعی، کنترل عملکرد مدل‌ها و آنالیز حساسیت صورت گرفته است. در هر سه مدل، نتایج حاصل از سیستم فازی همبستگی بالایی را با نتایج واقعی به‌دست آمده از انفجار معدن نشان می‌دهد. همچنین، همبستگی بالاتر و خطای کمتر مدل فازی نسبت به مدل رگرسیون نشان دهنده قابلیت بهتر آن در طراحی الگوی آتشباری و پیش‌بینی نتایج حاصل از آن می‌باشد.

کلمات کلیدی: الگوی آتشباری، معدن سنگ آهن گل گهر، سیستم فازی، رگرسیون چند متغیره

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول – مقدمه	۱
فصل دوم – آشنایی با ناحیه معدنی گل‌گهر	۶
۲–۱– مقدمه	۷
۲–۲– موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی معدن	۷
۲–۳– وضعیت آب و هوایی	۹
۲–۴– توپوگرافی عمومی منطقه	۹
۲–۵– جایگاه ناحیه معدنی گل گهر در زمین ساخت ایران	۱۰
۲–۶– زمین شناسی ناحیه معدنی گل گهر و نواحی اطراف	۱۰
۲–۶–۱– زمین ساخت ناحیه گل گهر	۱۱
۲–۷– کانی شناسی کانسار گل گهر	۱۱
۲–۷–۱– کانی‌های فلزی	۱۱
۲–۷–۲– کانی‌های غیر فلزی	۱۱
۲–۸– حفاری‌های اکتشافی	۱۲
۲–۹– مشخصات معدن شماره یک گل گهر	۱۲
۲–۹–۱– شکل و طبیعت ماده معدنی	۱۲
۲–۹–۲– میزان ذخیره	۱۳
۲–۹–۳– روش استخراج	۱۳
۲–۹–۴– طراحی معدن	۱۳
۲–۹–۵– برنامه‌ریزی تولید	۱۳
۲–۹–۶– حفاری و انفجار	۱۴
۲–۹–۷– مشخصات پیت نهایی	۱۵
۲–۹–۸– تولید معدن	۱۵
فصل سوم – عوامل و پارامترهای تأثیرگذار بر انفجار	۱۶
۳–۱– مقدمه	۱۷
۳–۲– مکانیزم خردایش حاصل از انفجار سنگ	۱۷
۳–۲–۱– انفجار	۱۸
۳–۲–۲– انتشار موج ضربه	۱۸
۳–۲–۳– انبساط گاز	۱۸
۳–۲–۴– جابجایی توده‌سنگ	۱۹
۳–۳– پارامترهای قابل کنترل	۱۹

۳-۳-۱- قطر چال (D) ۲۰
۳-۳-۲- ارتفاع پله (K) ۲۲
۳-۳-۳- بار سنگ (B) و فاصله ردیفی چال‌ها (S) ۲۳
۳-۳-۴- اضافه حفاری (U) ۲۵
۳-۳-۵-گل‌گذاری (ST) ۲۵
۳-۳-۶- شیب چال (α) ۲۶
۳-۳-۷- خرج ته چال ۲۸
۳-۳-۸- خرج میان چال ۲۹
۳-۳-۹- خرج ویژه (pf) ۲۹
۳-۳-۱۰- حفاری ویژه (Ps) ۳۱
۳-۳-۱۱- تأخیرهای زمانی ۳۲
۳-۴- پارامترهای غیر قابل کنترل ۳۲
۳-۴-۱- پارامترهای مقاومتی سنگ ۳۲
۳-۴-۲- چگالی سنگ ۳۳
۳-۴-۳- تخلخل ۳۳
۳-۴-۴- سنگ شناختی ۳۴
۳-۴-۵- ناپیوستگی‌ها و شکستگی‌های مختلف سنگ ۳۴
فصل چهارم- منطق فازی و سیستم‌های فازی ۳۵
۴-۱- تاریخچه فازی ۳۶
۴-۲- مقدمه ۳۷
۴-۳- تعریف مجموعه فازی ۳۹
۴-۴- متغیر کلامی ۴۰
۴-۵- تابع عضویت ۴۰
۴-۵-۱- تابع عضویت مثلثی ۴۱
۴-۵-۲- تابع عضویت ذوزنقه‌ای یا π شکل ۴۲
۴-۵-۳- تابع عضویت نوع S , Z ۴۲
۴-۵-۴- تابع عضویت زنگوله‌ای شکل ۴۳
۴-۶- گزاره‌های فازی ۴۳
۴-۷- قواعد اگر ـ آنگاه فازی ۴۴
۴-۸- عملیات ریاضی تئوری فازی ۴۴
۴-۹- سیستم‌های فازی ۴۵
۴-۱۰- انواع سیستم‌های فازی ۴۶
۴-۱۱- طراحی سیستم فازی ۴۷

۴-۱۱-۱- فازی‌سازی ۴۸
۴-۱۱-۲- پایگاه قواعد فازی ۴۸
۴-۱۱-۳- موتور استنتاج فازی ۴۸
۴-۱۱-۳-۱- مدل فازی ممدانی ۴۹
۴-۱۱-۳-۱-۱- روش حداقل ممدانی یا روش Min- Max ۵۰
۴-۱۱-۴- غیرفازی‌سازی ۵۰
۴-۱۱-۴-۱- غیرفازی‌ساز مرکز ثقل ۵۱
۴-۱۱-۴-۲- غیرفازی‌ساز میانگین مراکز ۵۱
۴-۱۱-۴-۳- غیرفازی‌ساز ماکزیمم ۵۲
۴-۱۲- اجرای سیستم‌های فازی ۵۲
۴-۱۳- کاربردهای منطق فازی در مهندسی معدن ۵۳
فصل پنجم - مدل‌سازی انفجار ۵۴
۵-۱- مقدمه ۵۵
۵-۲- مراحل مدل‌سازی با استفاده از سیستم‌های فازی ۵۶
۵-۳- مدل‌سازی انفجار با هدف پیش‌بینی خردایش سنگ ۵۹
۵-۳-۱- پیش‌بینی خردایش با استفاده از سیستم فازی ۶۳
۵-۳-۲- پیش‌بینی خردایش با استفاده از روش آماری ۷۰
۵-۳-۳- ارزیابی عملکرد مدل‌های استفاده شده ۷۱
۵-۳-۴- آنالیز حساسیت مدل‌سازی خردایش ۷۲
۵-۴- مدل‌سازی انفجار با هدف پیش‌بینی عقب‌زدگی ۷۲
۵-۴-۱- پیش‌بینی عقب‌زدگی با استفاده از سیستم فازی ۷۴
۵-۴-۲- پیش‌بینی عقب‌زدگی با استفاده از روش آماری ۷۸
۵-۴-۳- ارزیابی عملکرد مدل‌های استفاده شده ۷۸
۵-۴-۴- آنالیز حساسیت مدل‌سازی عقب‌زدگی ۷۹
۵-۵- مدل‌سازی انفجار با هدف پیش‌بینی پرتاب سنگ ۸۰
۵-۵-۱- پیش‌بینی پرتاب سنگ با استفاده از سیستم فازی ۸۲
۵-۵-۲- پیش‌بینی پرتاب سنگ با استفاده از روش آماری ۸۶
۵-۵-۳- ارزیابی عملکرد مدل‌های استفاده شده ۸۶
۵-۵-۴- آنالیز حساسیت مدل‌سازی پرتاب سنگ ۸۷
فصل ششم - نتایج و پیشنهادات ۸۹
نتایج ۹۰
پیشنهادات ۹۳
فهرست منابع ۹۴

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۲-۱- طول مسیر راه آهن در مسیرهای مختلف	۸
جدول ۲-۲- حفاری‌های انجام شده در ذخیره شماره یک	۱۲
جدول ۲-۳- ماشین آلات موجود در معدن شماره یک گل گهر	۱۴
جدول ۳-۱- ارتباط مقاومت فشاری و میزان تولید با قطر چال	۲۲
جدول ۳-۲- ارتباط قطر چال با نوع وسیله بارگیری و ارتفاع پله	۲۲
جدول ۳-۳- ارتباط قطر چال با ارتفاع پله طبق نظر Gustaffson	۲۳
جدول ۳-۴- رابطه طول چال با شیب چال	۲۷
جدول ۳-۵- ارتباط خرج ویژه و نوع سنگ	۳۰
جدول ۴-۱- عملیات ریاضی معمول در تئوری فازی	۴۴
جدول ۵-۱- پارامترهای ورودی در مدل‌سازی	۵۶
جدول ۵-۲- پارامترهای خروجی در مدل‌سازی	۵۶
جدول ۵-۳- نمونه‌ای از قواعد اگر- آنگاه پایگاه قواعد در مدل خردایش	۶۸
جدول ۵-۴- شاخص‌های عملکرد مدل فازی و رگرسیون چند متغیره در مدل‌سازی خردایش	۷۱
جدول ۵-۵- میزان تأثیر هر کدام از پارامترهای ورودی بر خردایش	۷۲
جدول ۵-۶- نمونه‌ای از قواعد اگر- آنگاه پایگاه قواعد در مدل عقب‌زدگی	۷۵
جدول ۵-۷- شاخص‌های عملکرد مدل فازی و رگرسیون چند متغیره در مدل‌سازی عقب‌زدگی	۷۹
جدول ۵-۸- میزان تأثیر هر کدام از پارامترهای ورودی بر عقب‌زدگی	۸۰
جدول ۵-۹- نمونه‌ای از قواعد اگر- آنگاه پایگاه قواعد در مدل پرتاب سنگ	۸۴
جدول ۵-۱۰- شاخص‌های عملکرد مدل فازی و رگرسیون چند متغیره در مدل‌سازی پرتاب سنگ	۸۷
جدول ۵-۱۱- میزان تأثیر هر کدام از پارامترهای ورودی بر پرتاب سنگ	۸۸

فهرست نمودارها، عکس‌ها و نقشه‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۲-۱- موقعیت جغرافیایی معدن سنگ آهن گل گهر و سایر معادن آهن ایران	۸
شکل ۲-۲- راه دسترسی به ذخایر سنگ آهن گل گهر	۸
شکل ۲-۳- موقعیت نسبی ذخایر شش گانه ناحیه گل گهر	۱۱
شکل ۲-۴- نحوه قرارگیری و شکل تقریبی ذخیره شماره یک	۱۳
شکل ۲-۵- میزان سنگ آهن استخراجی و باقیمانده	۱۵
شکل ۳-۱- وضعیت شکسته شدن توده‌سنگ اطراف چال هنگام انفجار	۱۹
شکل ۳-۲- پارامترهای هندسی طراحی انفجار	۲۰
شکل ۳-۳- زون خرد شده اطراف چال در حالتی که S کم باشد	۲۴
شکل ۳-۴- زون خرد شده اطراف چال در حالتی که S زیاد باشد	۲۴
شکل ۳-۵- رابطه شیب چال و اضافه حفر چال	۲۵
شکل ۳-۶- گل‌گذاری با ارتفاع زیاد که موجب عقب‌زدگی می‌شود	۲۶
شکل ۳-۷- گل‌گذاری با ارتفاع مناسب	۲۶
شکل ۳-۸ موقعیت قرارگیری چال و بار سنگ در دو حالت عمود و مایل	۲۷
شکل ۳-۹- نمایش خرج ته چال و میان چال	۲۸
شکل ۳-۱۰- رابطه بین خرج ویژه و هزینه کل	۳۰
شکل ۳-۱۱- ارتباط بین قطر چال و حفاری ویژه برای سنگ‌های مختلف	۳۱
شکل ۴-۱- نمودار تابع عضویت مثلثی	۴۱
شکل ۴-۲ مجموعه فازی حدوداً ۶	۴۲
شکل ۴-۳- نمودار تابع عضویت ذوزنقه‌ای	۴۲
شکل ۴-۴- نمودار تابع عضویت نوع S , Z	۴۳
شکل ۴-۵- نمودار تابع عضویت زنگوله‌ای	۴۳
شکل ۴-۶- ساختار اصلی سیستم‌های فازی خالص	۴۶
شکل ۴-۷- ساختار اصلی سیستم فازی TSK	۴۷
شکل ۴-۸- ساختار اصلی سیستم‌های فازی با فازی‌ساز و غیرفازی‌سازی	۴۷
شکل ۴-۹- روش استنتاج حداقل ممدانی	۵۰
شکل ۴-۱۰- نمایش گرافیکی غیرفازی‌ساز مرکز ثقل	۵۱
شکل ۴-۱۱- نمایش گرافیکی غیرفازی‌ساز میانگین مراکز	۵۱
شکل ۴-۱۲- یک نمایش گرافیکی برای غیرفازی‌سازهای ماکزیمم	۵۲
شکل ۵-۱- تاثیر درجه خردایش بر هزینه عملیات مختلف معدنکاری و هزینه کلی	۶۰
شکل ۵-۲- ساختار مدل فازی جهت پیش‌بینی خردایش	۶۴

شکل ۵-۳- تابع عضویت بار سنگ ۶۴
شکل ۵-۴- تابع عضویت فاصله ردیفی چال‌ها ۶۵
شکل ۵-۵- تابع عضویت عمق چال ۶۵
شکل ۵-۶- تابع عضویت حفاری ویژه ۶۵
شکل ۵-۷- تابع عضویت گل‌گذاری ۶۶
شکل ۵-۸- تابع عضویت خرج بر تأخیر ۶۶
شکل ۵-۹- تابع عضویت چگالی سنگ ۶۶
شکل ۵-۱۰- تابع عضویت خرج ویژه ۶۷
شکل ۵-۱۱- تابع عضویت خردایش سنگ ۶۷
شکل ۵-۱۲- مکانیسم استنتاج فازی در پیش‌بینی خردایش ۶۹
شکل ۵-۱۳- ارتباط بین خردایش حاصل از مدل فازی و مقادیر واقعی ۶۹
شکل ۵-۱۴- ارتباط بین خردایش حاصل از رگرسیون چند متغیره و مقادیر واقعی ۷۰
شکل ۵-۱۵- مقایسه خروجی حاصل از دو مدل فازی و رگرسیون چند متغیره با خردایش واقعی ۷۱
شکل ۵-۱۶- آنالیز حساسیت پارامترهای ورودی بر تابع هدف (خردایش) ۷۲
شکل ۵-۱۷- پدیده عقب‌زدگی در معدن روباز ۷۳
شکل ۵-۱۸- ساختار مدل فازی جهت پیش‌بینی عقب‌زدگی ۷۴
شکل ۵-۱۹- تابع عضویت خروجی عقب‌زدگی ۷۵
شکل ۵-۲۰- مکانیسم استنتاج فازی در پیش‌بینی عقب‌زدگی ۷۷
شکل ۵-۲۱- ارتباط بین عقب‌زدگی حاصل از مدل فازی و مقادیر واقعی ۷۷
شکل ۵-۲۲- ارتباط بین عقب‌زدگی حاصل از رگرسیون چند متغیره و مقادیر واقعی ۷۸
شکل ۵-۲۳- مقایسه خروجی حاصل از دو مدل فازی و رگرسیون چند متغیره با عقب‌زدگی واقعی ۷۹
شکل ۵-۲۴- آنالیز حساسیت پارامترهای ورودی بر تابع هدف (عقب‌زدگی) ۸۰
شکل ۵-۲۵- پدیده پرتاب سنگ در فرآیند انفجار ۸۰
شکل ۵-۲۶- حوادث ناشی از آتشباری معادن سطحی زغال سنگ ایالات متحده امریکا(۲۰۰۱-۱۹۷۸) ۸۱
شکل ۵-۲۷- ساختار مدل فازی جهت پیش‌بینی پرتاب سنگ ۸۳
شکل ۵-۲۸- تابع عضویت پرتاب سنگ ۸۳
شکل ۵-۲۹- مکانیسم استنتاج فازی در پیش‌بینی پرتاب سنگ ۸۵
شکل ۵-۳۰- ارتباط بین پرتاب سنگ حاصل از مدل فازی و مقادیر واقعی ۸۵
شکل ۵-۳۱- ارتباط بین پرتاب سنگ حاصل از رگرسیون چند متغیره و مقادیر واقعی ۸۶
شکل ۵-۳۲- مقایسه خروجی حاصل از دو مدل فازی و رگرسیون چند متغیره با پرتاب سنگ واقعی ۸۷
شکل ۵-۳۳- آنالیز حساسیت پارامترهای ورودی بر تابع هدف (پرتاب سنگ) ۸۸

فصل اول

مقدمه

به‌طور کلی هدف اصلی از عملیات حفاری و انفجار در معادن روباز خردایش[1] سنگ می‌باشد که خود اولین مرحله در فرآیند استخراج است. اگر این مرحله خوب طراحی شود مواد با دانه‌بندی مناسب فراهم شده که برای بارگیری و حمل و نقل مطلوب خواهد بود. لذا طراحی مناسب سیستم حفاری و انفجار جهت موفقیت آمیز بودن عملیات معدن لازم و ضروری است. طراحی بهینه الگوی آتشباری علاوه بر به حداقل رساندن هزینه‌های چال‌زنی و انفجار باعث افزایش بازدهی مراحل بعدی فرآیند تولید نظیر بارگیری، باربری و سنگ‌شکنی، افزایش ایمنی معدن و در نتیجه ماکزیمم کردن ارزش تولید نهایی می‌شود. جهت رسیدن به خردایش بهینه و ماکزیمم سوددهی، توسعه روشی سیستماتیک برای بهینه‌سازی پروسه حفاری و انفجار لازم خواهد بود[۱و۲].

فرآیند شکستن سنگ به‌وسیله انفجار یک پدیده پیچیده می‌باشد که به‌وسیله متغیرها و پارامترهای زیادی کنترل می‌شود. به‌طور کلی پارامترهای تاثیر گذار در طراحی الگوی آتشباری به دو گروه عمده شامل پارامترهای قابل کنترل (پارامترهای هندسی انفجار، خواص مواد منفجره و تأخیرهای زمانی) و پارامترهای غیر قابل کنترل (خصوصیات ژئومکانیکی توده‌سنگ و تأثیرات جوی) تقسیم‌بندی می‌شوند[۳]. طراحی الگوی آتشباری مهمترین مرحله در تامین خردایش مطلوب می‌باشد. جهت تأمین خردایش مطلوب، محدودیت‌های اجرایی مانند عقب‌زدگی[2] ناشی از انفجار، پرتاب سنگ[3]، محدودیت شرایط زمین شناسی و... وجود دارد. از بین این محدودیت‌ها، عقب‌زدگی و پرتاب سنگ از بزرگترین و مهم‌ترین معضلات عملیات آتشباری در معادن روباز هستند.

1. Fragmentation
2. Back break
3. Flyrock

عقب‌زدگی یکی از پدیده‌های منفی در انفجار معدن روباز است که تأثیر مهمی روی پایداری شیب دارد. در صورت عدم کنترل این مشکل، کاهش در شیب نهایی معدن لازم بوده و در نتیجه کاهش بازیابی کانه و افزایش نسبت باطله‌برداری را در پی خواهد داشت. این پدیده علاوه بر ایجاد خطراتی نظیر ریزش پله و یا بالا بردن احتمال سقوط ماشین‌آلات، باعث بروز مشکلاتی در سیکل بعدی آتشباری به‌دلیل فرار گازها از ترک‌های ایجاد شده و تولید قطعات بزرگ[1] می‌گردد[۴]. از دیگر پیامدهای خطرناک و نامطلوب عملیات انفجار معدن، پرتاب سنگ می‌باشد. وقتی که قطعات سنگ بدون هیچ محدودیتی پرتاب شوند باعث کشتته و زخمی شدن افراد و خسارت به ساختمان‌ها خواهد شد. جابجایی سنگ خرد شده بستگی به پارامترهای طراحی، .شرایط زمین شناسی و محدودیت‌های معدنکاری دارد. وظیفه آتشبار تعیین مرزهای محدوده انفجار و تطبیق آن با قوانین ایمنی می‌باشد[۵]. با طراحی یک الگوی حفاری و آتشباری بهینه، می‌توان علاوه بر دانه‌بندی مناسب سنگ، کمترین عقب‌زدگی و پرتاب سنگ ناشی از انفجار را داشته باشیم.

معمولا از روش‌های تجربی جهت طراحی الگوی آتشباری و پیش‌بینی نتایج حاصل از آن استفاده می‌شود که با توجه به شرایط پیچیده حاکم بر عملیات آتشباری، نتایج حاصله چندان مطلوب نبوده است. این روش‌ها بر اساس اطلاعات به‌دست آمده از انواع خاصی از سنگ‌ها و شرایط خاص آتشباری می‌باشند. اشکال روش‌های تجربی این است که قابل تعمیم برای شرایط مختلف زمین و انواع الگوهای مختلف آتشباری نیستند[۶].

اجرای هر روش آتشباری علاوه بر هزینه‌هایی که از نظر زمانی و مالی به معدن تحمیل می‌کند، ممکن است به نتایج رضایت بخشی منجر نشود. به‌همین دلیل دستیابی به یک الگوی معقول حفاری و آتشباری اولیه، گام بزرگی در جهت رسیدن به چگونگی آرایش نهایی چال‌های انفجار است. در همین راستا، طرح اولیه باید نزدیک‌ترین طرح ممکن به طرح بهینه پیشنهادی باشد به‌طوری که با تحلیل نتایج بتوان به‌نحو مطلوب به طرح بهینه رسید. همچنین با تغییر شرایط محیطی، اجرایی و یا

1.Boulder

اقتصادی، لازم است که طراحی بر مبنای نتایج موجود انجام شود. برای بررسی حالت‌های مختلف طراحی، مقایسه نتایج، کنترل آن‌ها و همچنین افزایش دقت و سرعت، استفاده از رایانه امری ضروری است.

در چند سال گذشته، پیشرفت خوبی در توسعه تکنیک‌های جدید در زمینه آتشباری صورت گرفته است. این تکنیک‌ها بیشتر شامل مدل‌های کامپیوتری خبره برای طراحی الگوی آتشباری و پیش‌بینی عملکرد آن هستند[۷]. اخیرا، روش‌های جدیدی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی[1]، سیستم‌های فازی[2] و ... به‌منظور مدل‌سازی محیط‌های ناهمگون و پیچیده، گسترش زیادی پیدا کرده است. سیستم‌های فازی روشی مناسب برای نگاشت یک فضای ورودی به یک فضای خروجی می‌باشند. در مواقعی که با غیرخطی بودن و غیردقیق بودن سر و کار داریم، منطق فازی[3]، ابزار قدرتمندی خواهد بود. جنبه مهم تئوری سیستم‌های فازی این است که یک فرآیند سیستماتیک برای تبدیل یک پایگاه دانش به یک نگاشت غیرخطی فراهم می‌سازد. به‌همین دلیل ما قادر خواهیم بود که از سیستم‌های فازی در کاربردهای مهندسی استفاده نماییم[۸].

تئوری فازی در فرآیند طراحی مهندسی نقش عمده‌ای بازی می‌کند و برای خودکار نمودن این فرآیند بسیار مناسب است. در این زمینه، تعریف و توصیف پارامترهای ورودی طراحی با مجموعه‌های فازی مناسب برای محاسبه مشخصات پارامترهای خروجی به‌کار می‌رود. خروجی حاصل با معیارهای کارایی[4] سنجیده شده و اطلاعات حاصل از این مقایسه برای تعیین مقادیر مناسب پارامترهای ورودی به‌کار برده می‌شود[۹]. لذا می‌توان از این تکنیک به‌منظور طراحی الگوی حفاری و آتشباری متناسب با خصوصیات توده سنگ در برگیرنده و تشخیص طرح بهینه کمک گرفت. با به کار بردن این تکنیک و با تغییر پارامترهای ورودی تأثیرگذار جهت رسیدن به هدف مورد نظر، طرح بهینه تعیین می‌شود. با

1. Artificial Neural Network
2. Fuzzy System
3. Fuzzy Logic
4. Performance Index

تعیین الگوی بهینه قبل از شروع به کار می‌توان تعریف دقیق‌تری از تجهیزات، مواد منفجره، ماشین‌آلات، نیروی کار و ... داشت که باعث جلوگیری از دوباره کاری، توقف غیرضروری نیروی کار و ماشین‌آلات می‌شود. این موارد به‌شدت در کاهش مدت زمان و هزینه‌های اجرایی تاثیرگذار هستند. بنابراین ضرورت تعیین روشی که بتواند الگوی متناسب با ساختار زمین را تعیین کند، در تمامی پروژه‌های اجرایی احساس می‌شود.

پروژه حاضر به‌منظور مدل‌سازی و طراحی الگوی انفجار مناسب توسط سیستم‌های فازی با در نظر گرفتن خردایش مطلوب، حداقل عقب‌زدگی و پرتاب سنگ در معدن شماره یک سنگ آهن گل گهر انجام گرفته است. جهت تعیین الگوی آتشباری مناسب و پیش‌بینی نتایج انفجار، برداشت‌های حاصل از الگوهای مختلف آتشباری معدن شماره یک در چند سال اخیر مد نظر قرار گرفته است. نتایج کار شامل مدل‌سازی انفجار به‌منظور پیش‌بینی خردایش سنگ، عقب‌زدگی و پرتاب سنگ ناشی از انفجار برای معدن شماره یک گل‌گهر با استفاده از سیستم فازی و روش آماری[1] (رگرسیون چند متغیره[2]) می‌باشد.

این پژوهش مشتمل بر ۶ فصل است:

فصل ۱- مقدمه‌ای بر کارهای انجام شده و اهداف تحقیق را بیان می‌کند.

فصل ۲- شامل آشنایی با ناحیه معدنی گل‌گهر و مشخصات معدن شماره یک می‌باشد.

فصل ۳- به بررسی پارامترهای تأثیر گذار در طراحی الگوی آتشباری می‌پردازد.

فصل ۴- در این فصل بررسی تئوری مجموعه‌های فازی و قابلیت‌های آن مد نظر قرار گرفته است.

فصل ۵- به مدل‌سازی انفجار و پیش‌بینی نتایج حاصل از انفجار می‌پردازد.

فصل ۶- نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهاداتی در ارتباط با پروژه مذکور را شامل می‌شود.

1. Statistical method
2. Multiple regression

فصل دوم

آشنایی با ناحیه معدنی گل‌گهر