بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته معدن

گرایش: استخراج

بهینه سازی الگوی آتشباری معدن سنگ آهن سنگان با استفاده از روش ترکیبی عصبی– فازی

سید محمد هاشمی ریزی

استاد راهنما :

دکتر مسعود منجزی

بهمن ۱۳۸۹

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته معدن

گرایش: استخراج

بهینه سازی الگوی آتشباری معدن سنگ آهن سنگان با استفاده از روش ترکیبی عصبی– فازی

سید محمد هاشمی ریزی

استاد راهنما :

دکتر مسعود منجزی

استاد مشاور :

دکتر وحید جوهری مجد

بهمن ۱۳۸۹

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای سید محمد هاشمی ریزی پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان بهیه سازی الگوی آتشباری معدن سنگ آهن سنگان با استفاده از روش ترکیبی عصبی- فازی** در تاریخ ۱۳۸۹/۱۱/۱۲ 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	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر وحید جوهری مجد	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر احمد رضا صیادی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر سیدحسن خوشرو	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر احمد رضا صیادی	استادیار	

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

ماده ۲: 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 **مهندسی معدن-استخراج** است که در سال **۱۳۸۹** در **دانشکده فنی و مهندسی** دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی ~~سرکار خانم~~/جناب آقای دکتر **مسعود منجزی** ، مشاوره ~~سرکار خانم~~/جناب آقای دکتر **وحید جوهری مجد** و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر ــــــــــــــــــــــــــ از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: 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 ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت 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 ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب **سید محمد هاشمی ریزی** دانشجوی رشته **مهندسی معدن- استخراج** مقطع **کارشناسی ارشد** تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی : **سید محمد هاشمی ریزی**

تاریخ و امضا : **۱۳۸۹/۱۱/۱۵**

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 : **سید محمد هاشمی ریزی**

امضاء

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی،

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است،

به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید،

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند،

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم.

چکیده

یکی از مهمترین فعالیت‌های مرتبط با استخراج مواد معدنی، عملیات حفاری و انفجار است. در این راستا خردایش مناسب سنگ و کاهش عوارض جانبی پس از انفجار از اهمیت بالایی برخوردار است. عدم طراحی دقیق و حتی اجرای نامناسب الگو، موجب عدم دسترسی به اهداف مورد نظر می‌گردد. بنابراین در طراحی یک الگوی انفجار مطلوب، هر دو گروه عوامل قابل کنترل و غیرقابل کنترل باید تواماً مورد توجه قرار گیرند. شرایط زمین‌شناسی منطقه، کیفیت توده سنگ (مقاومت، شرایط درزه‌داری و ...)، هندسه الگو، نوع تجهیزات بارگیری و حمل، نوع سیستم انتقال انفجار و ... از جمله مواردی هستند که باید مورد توجه طراح باشد. طراحی الگوها براساس روش‌های تجربی صورت می‌گیرد. در این روش‌ها معمولاً سعی بر آن بوده با ساده-سازی، فقط تعداد محدودی از پارامترهای موثر در نظر گرفته شود که این امر باعث ضعف نسبی این روش‌ها شده است. البته در سال‌های اخیر روش‌های هوش مصنوعی بطور گسترده‌ای در علوم مختلف برای حل مسائلی که در آن‌ها تعداد پارامترهای موثر زیاد می‌باشند استفاده شده است. در این تحقیق، پس از بررسی نتایج انفجارهای متعدد در معدن سنگ آهن سنگان، مشکلات و نواقص موجود شناسایی و پس از بررسی دلایل احتمالی بروز آن‌ها، پیشنهاداتی جهت بهبود وضع موجود ارائه شده است. اما از آنجایی که درنظر گرفتن همزمان کلیه پارامترهای موثر در بررسی نتایج یک الگوی انفجار جهت بهینه‌سازی کاری دشوار است، از روش‌های آماری و هوش مصنوعی جهت پیش‌بینی خردایش سنگ و عقب‌زدگی استفاده شد. شبکه‌های عصبی مصنوعی، منطق فازی و روش عصبی- فازی ANFIS ، روش‌های هوشمندی هستند که جهت مدلسازی مورد استفاده قرار گرفت. از بین روش‌های فوق، مدل عصبی- فازی ANFIS با کمترین خطا و بیشترین دقت (R^2=0.98 ، RMSE=0.35) در مدل خردایش و R^2=0.92 ، RMSE=0.43 در مدل عقب-زدگی) بعنوان بهترین روش شبیه‌سازی خردایش و عقب‌زدگی در نظر گرفته شد. در ادامه با بررسی تاثیر هر یک از متغیرهای ورودی روی توابع هدف، مشخص شد که مقادیر خرج‌ویژه (PF)، فاکتور سنگ (RF)، تاخیر به ازای هرمتر بارسنگ (DEL/B) و حفاری ویژه (SD) از بیشترین اهمیت در مدل‌های پیش‌بینی برخوردارند. بنابراین با توجه به بررسی‌های انجام شده در این تحقیق، می‌توان گفت در کنار رعایت اصول فنی در طراحی و اجرای دقیق الگوهای حفاری و انفجار، مدل‌های پیش‌بینی ارائه شده، ابزاری مناسب در جهت کنترل و کاهش اثرات نامطلوب انفجارها خواهد بود.

کلمات کلیدی : تحلیل انفجار، عقب‌زدگی، خردایش، هوش مصنوعی، عصبی-فازی، پیش‌بینی.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول- مقدمه

۱-۱- مقدمه..... ۱

فصل دوم- اصول طراحی الگوی‌های حفاری- انفجار و ارزیابی نتایج پس از اجرا

۲-۱- مقدمه..... ۶

۲-۲- اصول طراحی الگوی انفجار..... ۷

۲-۲-۱- پارامترهای قابل کنترل..... ۷

۲-۲-۱-۱- بارسنگ (B) و فاصله ردیفی (S) چال‌ها..... ۱۰

۲-۲-۱-۲- آرایش حفاری چال‌ها..... ۱۳

۲-۲-۱-۳- طول گل‌گذاری..... ۱۴

۲-۲-۱-۴- اضافه حفاری..... ۱۶

۲-۲-۱-۵- نوع سیستم انتقال انفجار..... ۱۸

۲-۲-۱-۶- نوع ماده منفجره..... ۱۹

۲-۲-۱-۷- اهمیت تاخیر و نحوه بستن مدار..... ۲۰

۲-۲-۱-۸- دقت در اجرای الگوی انفجار..... ۲۳

۲-۲-۲- پارامترهای غیرقابل کنترل..... ۲۵

۲-۲-۲-۱- چگالی..... ۲۵

۲-۲-۲-۲- تخلخل..... ۲۶

۲-۲-۲-۳- خصوصیات مقاومتی سنگ..... ۲۶

۲-۲-۲-۴- ناپیوستگی‌های ساختاری توده سنگ..... ۲۷

۲-۲-۲-۵- آب‌های زیرزمینی و رطوبت داخل چال..... ۲۹

۲-۲-۲-۶- قابلیت انفجار توده سنگ..... ۲۹
۲-۲-۲-۶-۱- ارزیابی قابلیت انفجار توده سنگ به روش لایلی(۱۹۸۶)..... ۳۱
۲-۳- ارزیابی نتایج پس از انفجار..... ۳۲
۲-۳-۱- شکل هندسی، ارتفاع و میزان جابجایی دپو..... ۳۲
۲-۳-۲- کیفیت خردایش..... ۳۴
۲-۳-۳- وجود بولدر یا قطعاتی که نیاز به خردایش ثانویه دارند..... ۳۵
۲-۳-۴- وضعیت توده سنگ بجا مانده و کف پله..... ۳۶
۲-۳-۵- اثرات جانبی پس از انفجار..... ۳۶

فصل سوم- هوش مصنوعی؛ تکنیک‌ها، کاربردها، مزایا و معایب

۳-۱- مقدمه..... ۳۸
۳-۲- شبکه‌های عصبی مصنوعی..... ۳۹
۳-۳- منطق فازی..... ۴۰
۳-۴- مزایا و معایب شبکه‌های عصبی و منطق فازی در مدلسازی..... ۴۲
۳-۴-۱- مزایای شبکه‌های عصبی..... ۴۲
۳-۴-۲- معایب شبکه‌های عصبی..... ۴۳
۳-۴-۳- مزایای منطق فازی..... ۴۴
۳- ۴-۴- معایب منطق فازی..... ۴۴
۳-۵- سیستم‌های هوشمند ترکیبی (هیبریدی)..... ۴۵
۳-۵-۱- شبکه‌های عصبی- فازی..... ۴۵
۳-۵-۲- ساختار یک سیستم عصبی- فازی..... ۴۶
۳-۵-۳- سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی..... ۴۶
۳-۶- اثر کیفیت داده‌ها در مدلسازی به کمک هوش مصنوعی..... ۴۹

۳-۷- همخطی بین متغیرهای ورودی و تاثیر آن روی نتایج مدلسازی..... ۵۰
۳-۷-۱- مشکل ناشی از وجود همخطی..... ۵۰
۳-۷-۲- کشف رابطه همخطی..... ۵۱
۳-۷-۳- کاهش اثر همخطی..... ۵۱

فصل چهارم- معرفی معدن سنگ آهن سنگان

۴-۱- مقدمه..... ۵۴
۴-۲- پیشینه طرح توسعه معادن سنگ آهن سنگان..... ۵۵
۴-۳- موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی..... ۵۶
۴-۴- شرایط آب و هوایی منطقه..... ۵۷
۴-۵- مشخصات کلی مجموعه معادن سنگ آهن سنگان..... ۵۸
۴-۵-۱- آنومالی‌های B و C شمالی(CN)..... ۵۹
۴-۵-۱-۱- مشخصات کیفی آنومالی‌های B و CN..... ۶۰
۴-۵-۱-۲- مشخصات هندسی پیت طراحی شده..... ۶۰
۴-۵-۲- معدن باغک..... ۶۱
۴-۵-۳- معدن تپه قرمز..... ۶۲
۴-۵-۴- معدن دردوی..... ۶۴
۴-۶- حفاری، انفجار، بارگیری و باربری در معادن سنگ آهن سنگان..... ۶۵
۴-۷- خردایش و دانه‌بندی سنگ آهن..... ۶۵
۴-۷- ۱- کارگاه سنگ‌شکنی دردوی (شماره ۱)..... ۶۶
۴-۷- ۲- کارگاه سنگ‌شکنی سایت (شماره ۲)..... ۶۶
۴-۸- کارخانه کنسانتره..... ۶۶

فصل پنجم- بهینه سازی الگوهای حفاری و انفجار در معدن سنگ آهن سنگان

۵-۱- مقدمه..... ۶۷

۵-۲- ارزیابی و بررسی انفجارها در معدن سنگان..... ۶۸

۵-۲-۱- مشکلات مشاهده شده در معدن..... ۶۸

۵-۲-۱-۱- تولید بولدر در نتیجه اکثر انفجارها..... ۶۸

۵-۲-۱-۲- ریزش زیاد چال‌ها..... ۷۱

۵-۲-۱-۳- آبدار بودن چال‌ها..... ۷۱

۵-۲-۱-۴- عقب‌زدگی..... ۷۲

۵-۲-۱-۵- بالازدگی سطح پله پس از انفجار..... ۷۵

۵-۲-۲- نتایج بدست آمده از مشاهدات و ارزیابی انفجارهای انجام شده..... ۷۵

۵-۲-۲-۱- ناکافی بودن زمان های تاخیر اعمال شده..... ۷۶

۵-۲-۲-۲- عدم تناسب نوع فتیله‌های انفجاری با قطر چال..... ۷۷

۵-۲-۲-۳- دقت پائین در اجرای الگوهای حفاری و انفجار..... ۷۹

۵-۲-۲-۴-کیفیت پائین مواد منفجره مصرفی..... ۸۰

۵-۲-۲-۵- در نظر نگرفتن اهمیت بارسنگ یکنواخت، خصوصاً بارسنگ ردیف اول..... ۸۲

۵-۳- جمع‌آوری اطلاعات انفجارها و انتخاب متغیرهای ورودی جهت مدلسازی..... ۸۵

۵-۳-۱- پارامتری جهت در نظر گرفتن تاثیر تاخیر در انفجار..... ۸۶

۵-۳-۲- در نظر گرفتن تاثیر کیفیت توده سنگ بر نتایج انفجار..... ۸۷

۵-۳-۳- درصد بولدر بعنوان پارامتری جهت ارزیابی نسبی کیفیت خردایش..... ۸۷

۵-۴- مدل پیش‌بینی خردایش و عقب‌زدگی با روش‌های آماری و هوش مصنوعی..... ۸۹

۵-۴-۱- مدل پیش‌بینی کیفیت خردایش سنگ..... ۸۹

۵-۴-۱-۱- پیش‌بینی خردایش با استفاده از روش‌های آماری..... ۹۰

۵-۴-۱-۲- پیش‌بینی خردایش با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی.....۹۴
۵-۴-۱-۳- پیش‌بینی خردایش با استفاده از روش عصبی- فازی ANFIS.....۹۶
۵-۴-۱-۴- پیش بینی خردایش با استفاده از منطق فازی ۹۸
۵-۴-۱-۵- ارزیابی عملکرد مدل‌های ساخته شده بمنظور پیش‌بینی خردایش.....۱۰۰
۵-۴-۱-۶- آنالیز حساسیت در مدل خردایش.....۱۰۱
۵-۴-۲- مدل‌های پیش‌بینی عقب‌زدگی.....۱۰۲
۵-۴-۲-۱- پیش‌بینی عقب‌زدگی با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره.....۱۰۲
۵-۴-۲-۲- پیش‌بینی عقب‌زدگی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی.....۱۰۳
۵-۴-۲-۳- پیش‌بینی عقب‌زدگی با استفاده از روش عصبی- فازی ANFIS.....۱۰۵
۵-۴-۲-۴- پیش‌بینی عقب‌زدگی با استفاده از منطق فازی.....۱۰۵
۵-۴-۲-۵- ارزیابی عملکرد مدل‌های ساخته شده جهت پیش‌بینی عقب‌زدگی.....۱۰۶
۵-۴-۲-۶- آنالیز حساسیت در مدل پیش‌بینی عقب‌زدگی.....۱۰۷

فصل ششم- نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱- کلیات.....۱۰۸
۶-۲- نتایج بررسی انفجارهای انجام شده.....۱۰۹
۶-۳- پیشنهاداتی در زمینه طراحی و اجرای الگوهای‌های انفجاری.....۱۱۰
۶-۴- نتایج مدلسازی.....۱۱۵
۶-۵- پیشنهاداتی در زمینه مدلسازی.....۱۱۶

فهرست مراجع.....۱۱۷

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱. درصد همپوشانی انرژی در الگوهای حفاری مختلف..... ۱۳

جدول ۴-۱. تخمین ذخایر سنگ آهن در کشور..... ۵۴

جدول ۴-۲. مشخصات راه های دسترسی به توده های معدنی B و C شمالی..... ۵۹

جدول ۴-۳. ذخایر برآورد شده آنومالی‌های B و C شمالی..... ۶۰

جدول ۴-۴. تجهیزات پیش‌بینی شده جهت استخراج آنومالی‌های Bو CN..... ۶۵

جدول ۵-۱. فتیله متناسب با قطر چال..... ۷۷

جدول ۵-۲. مقادیر فاکتور سنگ (RF) در معادن فرعی معدن سنگ آهن سنگان..... ۸۷

جدول ۵-۳. متغیرهای ورودی و خروجی جهت مدلسازی خردایش و عقب‌زدگی..... ۸۹

جدول ۵-۴. ضرایب مدل رگرسیون خطی چند متغیره قبل (الف) و بعد از رفع همخطی (ب)..... ۹۱

جدول۵-۵.همبستگی بین متغیرها در مدل رگرسیون خطی قبل (الف) و بعد از رفع همخطی(ب).۹۲

جدول ۵-۶. نتایج شبکه‌های با ساختار متفاوت جهت پیش‌بینی خردایش..... ۹۴

جدول ۵-۷. نتایج نهایی مدل‌های متفاوت جهت پیش‌بینی خردایش..... ۱۰۱

جدول ۵-۸. نتایج شبکه‌های عصبی با ساختار متفاوت جهت پیش‌بینی عقب‌زدگی..... ۱۰۳

جدول ۵-۹. نتایج نهایی مدل‌های ساخته شده جهت پیش‌بینی عقب‌زدگی..... ۱۰۶

فهرست تصاویر، نمودارها و نقشه‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱. اصول منطقی، پارامترهای قابل کنترل و غیر قابل کنترل در طراحی الگوی انفجار.....۸

شکل ۲-۲. چرخه بهینه سازی در طراحی الگوی انفجار.....۹

شکل ۲-۳. پارامترهای قابل کنترل در طراحی الگوی انفجار.....۹

شکل۲-۴. تغییر مقدار Be و Se با تغییر آرایش تاخیری انفجار ۱۱

شکل ۲-۵ . نتایج ناشی از کم یا زیاد بودن بارسنگ و فاصله ردیفی چال‌ها نسبت به حد مطلوب ۱۲

شکل ۲-۶. نتایج ناشی از کم یا زیاد بودن طول گل گذاری.....۱۴

شکل ۲-۷. ایجاد فاصله هوایی داخل چال بمنظور بهبود نتایج انفجار.....۱۵

شکل ۲-۸. حالت‌های مختلف ایجاد فضای خالی در ستون خرج چال.....۱۶

شکل ۲-۹. ایجاد شکستگی و ناهمواری در سطح پله.....۱۷

شکل ۲-۱۰. حرکت سنگ خردشده ردیف جلو به اندازه یک سوم طول بارسنگ.....۲۱

شکل ۲-۱۱. الگوی‌های انفجاری مختلف با توجه به شکل ظاهری پله.....۲۲

شکل ۲-۱۲. حالت‌های مختلف آرایش V.....۲۳

شکل ۲-۱۳. روش سنتی و جدید در تعیین میزان بارسنگ واقعی چال‌های ردیف اول.....۲۴

شکل۲-۱۴. تصویر تهیه شده از سطح توده سنگ و شناسایی درزه ها توسط نرم افزار.....۲۸

شکل۲-۱۵. زون بندی محدوده معدن از نظر قابلیت انفجار و الگوی حفاری- انفجار مناسب.....۳۰

شکل ۲-۱۶. شناساییِ حجم و تورم دپو با لیزر اسکنرهای ۳بعدی، پس از انفجار.....۳۳

شکل۲-۱۷. موقعیت‌های مختلف مشاهده قطعات درشت سنگ در دپو.....۳۶

شکل ۳-۱. ساختار یک سیستم استنتاج فازی.....۴۱

شکل ۳-۲. توابع عضویت: الف) قبل از تنظیم. ب) بعد از تنظیم.....۴۶

شکل ۳-۳. ساختار یک سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی (ANFIS).....۴۷

شکل ۴-۱. موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به معادن سنگ آهن سنگان.....۵۶
شکل ۴-۲. نمایی از شدت وزش باد در سطح آبگیر مجاور معدن دردوی.....۵۷
شکل ۴-۳. جانمایی آنومالی‌های مختلف معادن سنگ آهن سنگان(بدون مقیاس).....۵۸
شکل ۴-۴. مقطع عرضی جاده‌ای دسترسی به سنگ شکن اصلی از توده‌های B و C شمالی.....۵۹
شکل ۴-۵. شیب دیواره و محدوده نهایی پیت در آنومالی‌های B و C شمالی.....۶۱
شکل ۴-۶. موقعیت معادن فرعی و آنومالی‌های اصلی در معادن سنگ آهن سنگان.....۶۳
شکل ۵-۱. بولدرهایی که جهت خردایش ثانویه در مجاورت دپو جمع‌آوری شده‌اند.....۶۸
شکل ۵-۲. بولدرهای حاصل از انفجار. الف) پشت دپو. ب) جلوی دپو (شکسته شدن کمر چال).....۶۹
شکل ۵-۳. مسدود شدن چال بدلیل ریزش دیواره آن.....۶۹
شکل ۵-۴. زون خردشده در امتداد چال و امکان تولید بولدر در قسمت بالایی آن.....۷۰
شکل ۵-۵. سطح گسل در دیواره یکی از پله های معدن دردوی.....۷۲
شکل ۵-۶. آبکشی چال‌ها با استفاده از هوای فشرده.....۷۳
شکل ۵-۷. ترک‌های کششی سطح پله ناشی از عقب‌زدگی.....۷۳
شکل ۵-۸. خردشدگی نامنظم در دیواره پله بعداز انفجار.....۷۴
شکل ۵-۹. گیرکردن راد حفاری داخل چال و خروج گردوغبار حفاری از سینه کار.....۷۴
شکل ۵-۱۰. بالازدگی (Up Lift) سطح پله پس از انفجار.....۷۵
شکل ۵-۱۱. درصد اتلاف انرژی آنفو در اثر عبور فتیله‌های انفجاری مختلف از داخل چال.....۷۸
شکل ۵-۱۲. عدم دقت در اجرای الگوهای حفاری و خرجگذاری.....۸۰
شکل ۵-۱۳. ته‌نشینی سریع آنفو داخل آب (وزن مخصوص بالای۱گرم بر سانتیمتر مکعب).....۸۱
شکل ۵-۱۴. ته‌نشینی آنفو داخل آب و جدا شدن ستون آنفو از کف، پس از حدود یک ساعت.....۸۲
شکل ۵-۱۵. حفر چال‌های آزادسازی بارسنگ در ردیف اول.....۸۳
شکل ۵-۱۶. نتایج چند مرحله انفجار در تراز ۱۶۳۰ معدن باغک.....۸۴

ادامه شکل ۵-۱۶. نتایج چند مرحله انفجار در تراز ۱۶۳۰ معدن باغک.....۸۵
شکل ۵-۱۷. ابعاد بولدر براساس حداکثر طول، عرض و ارتفاع.....۸۸
شکل ۵-۱۸. نتایج پیش‌بینی مدل رگرسیون خطی.....۹۳
شکل ۵-۱۹. نتایج پیش‌بینی خردایش توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی.....۹۵
شکل ۵-۲۰. نمونه‌ای از توابع عضویت ساخته شده توسط GENFIS2 در ANFIS.....۹۶
شکل ۵-۲۱. بخشی از قوانین پیشنهادی الگوریتم GENFIS2 در ANFIS.....۹۷
شکل ۵-۲۲. نتایج پیش‌بینی خردایش توسط روش عصبی- فازی ANFIS ۹۷
شکل ۵-۲۳. نمونه‌ای از توابع عضویت ساخته شده قبل و بعد از تنظیم ۹۸
شکل ۵-۲۴. نمونه‌ای از قوانین تئوین شده در سیستم استنتاج فازی.....۹۹
شکل ۵-۲۵. نتایج حاصل از پیش‌بینی خردایش توسط مدل فازی.....۹۹
شکل ۵-۲۶. شدت تاثیر متغیرهای ورودی در مدل پیش‌بینی خردایش.....۱۰۱
شکل ۵-۲۷. نتایج پیش‌بینی مدل رگرسیون خطی روی داده‌های آزمون.....۱۰۳
شکل ۵-۲۸. نتایج پیش‌بینی عقب‌زدگی توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی.....۱۰۴
شکل ۵-۲۹. نتایج پیش‌بینی عقب‌زدگی توسط مدل ANFIS.....۱۰۵
شکل ۵-۳۰. نتایج پیش‌بینی عقب‌زدگی در مدل فازی.....۱۰۶
شکل ۵-۳۱. شدت تاثیر متغیرهای ورودی در مدل پیش‌بینی عقب‌زدگی.....۱۰۷

فصل اول

۱

مقدمه

۱-۱-مقدمه

منظور از بهینه سازی یک سیستم، کمینه یا بیشینه کردن تابعی است که این تابع معیاری از عملکرد سیستم محسوب می‌شود. این عمل در نهایت به بهبود کارایی سیستم می‌انجامد. بطور کلی می‌توان از سه مرحله مهم برای بهینه‌سازی یک سیستم نام برد. مرحله اول، درک سیستم و متغیرهای مختلفی است که بر روی آن تاثیر می‌گذارند. مرحله دوم، انتخاب تابعی به عنوان معیار عملکرد سیستم است. این معیار به متغیرهای سیستم وابسته است و تاثیر زیادی روی کارآیی سیستم دارد. مرحله سوم، انتخاب مقدار متغیرهای سیستم است و این انتخاب بگونه‌ای است که می‌تواند منجر به بهینه‌سازی سیستم گردد. در علم معدنکاری، سیستم، تابع عملکرد و متغیرهای موثر، بترتیب می‌تواند الگوهای حفاری و انفجار، عوارض جانبی و پارامترهای قابل کنترل در طراحی باشد.

بمنظور طراحی الگوی انفجار مطلوب در یک معدن، عوامل متعددی باید در نظر گرفته شود که بطور عمده به دو گروه اصلی، عوامل قابل کنترل و عوامل غیر قابل کنترل تقسیم می‌شوند. از جمله مهمترین عوامل گروه اول می‌توان به وضعیت زمین شناسی منطقه، مقاومت سنگ‌ها، شرایط هوازدگی، وضعیت درزه‌داری و از گروه دوم می‌توان به هندسه الگو، ظرفیت تولید معدن، نوع تجهیزات حفاری، نوع تجهیزات بارگیری و حمل، نوع مواد منفجره و روش انتقال انفجار اشاره نمود. در طراحی هر الگوی انفجار، بایستی کلیه عوامل موثر بطور دقیق مورد بررسی قرار گرفته و متناسب با شرایط موجود، الگوی مناسب انتخاب گردد.

عدم استفاده از الگوی مناسب، موجب عدم دست‌یابی به خردایش مطلوب سنگ در عملیات انفجار می‌گردد. علاوه براین بروز پدیده‌هایی نظیر لرزش زمین، پرتاب سنگ، دپوشدگی نامناسب، تولید قطعات بزرگ سنگ[1] (بولدر)، عقب‌زدگی و انفجار هوا نیز می‌تواند از عوارض استفاده از الگوی نامناسب باشد. کلیه موارد مذکور می‌تواند بطور چشمگیری هزینه‌های عملیات معدنکاری را افزایش دهد. بطور مثال، خردایش نامناسب و تولید قطعات بزرگ سنگ، علاوه بر کاهش کارائی واحد سنگ شکنی، می تواند باعث افزایش زمان سیکل بارگیری و افزایش هزینه‌های مربوط به خردایش ثانویه (انفجار مجدد یا استفاده از چکش هیدرولیکی) گردد، یا پرتاب سنگ می‌تواند برای افراد و تجهیزات مخاطراتی را بهمراه داشته باشد.

بنابراین در حالت کلی می‌توان گفت هدف از بهینه‌سازی درانفجارهای تولیدی، دستیابی به حد مشخصی از خردایش است بنحوی که کلیه عوارض جانبی ناشی از انفجار و کلیه هزینه‌های عملیاتی مرتبط با آن حداقل باشد. در حدود ۴۴ سال قبل، مکنزی[2] ، منحنی‌های مربوط به هزینه عملیات‌های واحد معدنی را براساس درجه خردایش ارائه کرد. براین اساس با تلفیق منحنی‌های هزینه- درجه خردایش مربوط به عملیات‌های واحد معدنی در یک منحنی، می‌توان به این نتیجه رسید که در هر معدن، قادر خواهیم بود با حداقل هزینه، به محدوده مشخصی از خردایش دست یابیم [۱]. اما باید به این نکته توجه داشت که همیشه افزایش میزان خردایش با کاهش هزینه‌ها همراه نیست. از آنجا که افزایش درجه خردایش مستلزم افزایش خرج ویژه است، هزینه‌های انفجار بدلیل مصرف بیشتر مواد یا استفاده از مواد منفجره قویتر افزایش خواهد داشت اما نرخ تغییر هزینه‌های حفاری در این میان متغیر خواهد بود.

مکنزی، وابستگی هزینه‌های حفاری به خردایش را چنین بیان می کند : "معمولاً برای یک نوع ماده منفجره و الگوی حفاری مشخص، هزینه حفاری به ازای واحد حجم یا هزینه به ازای هر تن، با

[1] Boulder
[2] Mackenzie