وزارت علوم تحقیقات و فناوری

دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی معدن و نفت

پایان نامه کارشناسی ارشد در مهندسی معدن

ارائه مدلی رایانه ای برای بهینه سازی فرایند چالزنی و آتشکاری در معادن روباز از دیدگاه پارامترهای فنی و ایمنی

(با نگرشی به معدن گل گهر)

اساتید راهنما:

دکتر محمدعلی عقیقی

دکتر علی فضلوی

استاد مشاور:

دکتر بیژن ملکی

نگارنده:

علیرضا چوپانکاره

بهار ۸۹

بسمه تعالی

دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)

معاونت آموزشی دانشگاه- مدیریت تحصیلات تکمیلی

(فرم شماره ۲۶)

تعهد نامه اصالت پایان نامه

اینجانب علیرضا چوپانکاره دانشجوی رشته مهندسی معدن مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد بدین وسیله اصالت کلیه مطالب موجود در مباحث مطروحه در پایان نامه / ~~تز تحصیلی~~ خود، با عنوان ارائه مدل رایانه ای برای بهینه سازی فرایند حفاری و آتشکاری در... را تأیید کرده، اعلام می نمایم که تمامی محتوی آن حاصل مطالعه ، پژوهش و تدوین خودم بوده و به هیچ وجه رونویسی از پایان نامه و یا هیچ اثر یا منبع دیگری، اعم از داخلی، خارجی و یا بین المللی ، نبوده و تعهد می نمایم در صورت اثبات عدم اصالت آن و یا احراز عدم صحت مفاد و یا لوازم این تعهد نامه در هر مرحله از مراحل منتهی به فارغ التحصیلی و یا پس از آن و یا تحصیل در مقاطع دیگر و یا اشتغال و ... دانشگاه حق دارد ضمن رد پایان نامه نسبت به لغو و ابطال مدرک تحصیلی مربوطه اقدام نماید. مضافاً اینکه کلیه مسئولیت ها و پیامدهای قانونی و یا خسارت وارده از هر حیث متوجه اینجانب می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو علیرضا چوپانکاره

امضاء و تاریخ

۱۳۸۹/۳/۱۶

دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)

معاونت آموزشی – مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم تأییدیه‌ی هیأت داوران جلسه‌ی دفاع از پایان‌نامه/رساله

بدین وسیله گواهی میشود جلسه دفاعیه از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای علیرضا چوپانکاره دانشجوی رشته مهندسی معدن گرایش استخراج تحت عنوان ارائه مدلی رایانه ای برای بهینه سازی فرایند چالزنی و آتشکاری در معادن روباز از دیدگاه پارامترهای فنی و ایمنی (با نگرش به معدن گل گهر) در تاریخ ۱۳۸۹/۳/۱۲ در دانشگاه برگزار گردید و این پایان نامه با نمره ۱۸/۵ و درجه عالی مورد تایید هیئت داوران قرار گرفت.

ردیف	سمت	نام و نام خانوادگی	مرتبه‌ی دانشگاهی	دانشگاه یا مؤسسه	امضا
۱	استاد راهنما	دکتر محمدعلی عقیقی	استادیار	بین المللی امام خمینی (ره)	
۲	استاد راهنما	دکتر علی فضلوی	استادیار	〃	
۳	استاد مشاور	دکتر بیژن ملکی	〃	〃	
۴	داور خارج	مهندس مهدی یاوری	مربی	تهران-فنی	
۵	داور داخل	دکتر مهدی حسینی	استادیار	بین المللی امام خمینی (ره)	
۶	نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر حسن نوروزی بیرجندی	〃	〃	

چکیده:

چالزنی و آتشکاری یکی از مهم ترین و اساسی ترین عملیات واحد در زنجیره معدنکاری کانسارهای سطحی است. اصلی ترین هدف کاربرد مواد منفجره در معادن خرد کردن توده سنگ تا ابعاد مطلوب با کم ترین هزینه است و همواره درجه خاصی از خردایش سنگ توسط کارخانه فرآوری از مسئول آتشکاری معدن طلب می شود از سوی دیگر در اکثر معادن روباز ملاحظات ایمنی خاصی وجود دارد که بایستی در طراحی آتشکاری لحاظ گردد. لرزش زمین، پرتاب سنگ و ضربه هوا سه مورد از جدی ترین اثرات جانبی انفجارهای معدنی هستند که به صورت بالقوه می توانند منشاء خطرات جانی و خسارات مالی شدید باشند.

اگرچه مطالعات بسیاری در زمینه های مختلف آتشکاری مثل طراحی انفجار، پیش بینی خردایش و شدت اثرات جانبی صورت پذیرفته است و روابط متعددی پیشنهاد شده است اما تاکنون مدل جامعی که دربرگیرنده طراحی بهینه آتشکاری با دیدگاه دستیابی به خردایش مطلوب و در عین حال با حداقل نگه داشتن شدت اثرات جانبی باشد ارائه نشده است. پژوهشی که پیش روی شماست تلاشی در این زمینه است که روابط و مدل های جدیدی جهت طراحی آتشکاری معادن روباز با هدف دستیابی به درجه خردایش مطلوب و محدود کردن شدت اثرات جانبی در آن ارائه شده است. در راستای این تحقیق و بر اساس روابط پیشنهاد شده یک نرم افزار رایانه ای برای طراحی انفجارهای معادن روباز معرفی شده است که توانایی های آن عبارت اند از: الف- طراحی آتشکاری به روش مرسوم بر اساس قطر چال از

پیش معین ب- کنترل طرح آتشکاری پ- طراحی آتشکاری جهت دستیابی به خردایش مشخص ت- طراحی آتشکاری با هدف محدود نمودن شدت لرزش زمین ث- طراحی آتشکاری با هدف محدود کردن شدت ضربه هوا ج- طراحی آتشکاری با رویکرد محدود کردن شعاع پرتاب سنگ ح- مدل کلی دربرگیرنده تعیین خردایش و پارامترهای ایمنی

در نهایت با استفاده از نرم افزار ارائه شده طرح آتشکاری فعلی استخراج سنگ آهن در معدن گل گهر سیرجان مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج آن به لحاظ خردایش و ایمنی تحلیل شده است. از سوی دیگر با توجه به مدل های ارائه شده طرح آتشکاری مناسب تری پیشنهاد شده است و با در نظر گرفتن خردایش متوسط مطلوب ۵۰ سانتی متر و محدودیت های ایمنی فرضی برای حداکثر مسافت پرتاب سنگ، شدت لرزش زمین و ضربه هوا در معدن وضعیت طراحی آتشکاری بهینه ارائه شده است.

واژگان کلیدی: **چالزنی و آتشکاری، معدنکاری روباز، نرم افزار، خردایش، لرزش زمین، ضربه هوا، پرتاب سنگ**

فهرست مطالب:

چکیده: i

فهرست جداول: viii

فهرست اشکال: x

۱-۱- سوال تحقیق ۱

۱-۲- پیشینه تحقیق ۲

۱-۳- اهداف تحقیق ۵

۱-۴- سازماندهی پایان نامه ۶

۲-۱- پارامترهای آتشکاری پله ای ۷

۲-۱-۱- مقدمه ۷

۲-۱-۲- قطر چال ها ۸

۲-۱-۳- ارتفاع پله ۹

۲-۱-۴- شیب چال ها ۹

۲-۱-۵- بارسنگ و فاصله جناحی ۱۰

۲-۱-۶- گل گذاری ۱۱

۲-۱-۷- اضافه حفاری ۱۲

۲-۱-۸- الگوهای چالزنی ۱۳

۲-۱-۹- نوع ماده منفجرهٔ مصرفی ۱۳

۲-۱-۱۰- مقیاس عملیات انفجار ۱۴

۲-۱-۱۱- شکل خرج گذاری ۱۵

۲-۱-۱۲- خرج ویژه ۱۶

۲-۱-۱۳- حفاری ویژه ۱۷

۲-۲- طراحی و محاسبات آتشکاری معادن روباز ۱۷

۲-۲-۱- معرفی ۱۷

۲-۲-۲- تعیین بارسنگ ۱۸
۲-۲-۳- رابطهٔ آش ۱۹
۲-۲-۴- پیشنهاد بهانداری و ووتوکوری ۲۰
۲-۲-۵- جداول پیشنهادی لوپز جیمنو ۲۱
۲-۲-۶- فرمول های کُنیا ۲۱
۲-۲-۷- مطالعهٔ روستَن ۲۲
۲-۲-۸- روابط تاتیا و العجمی ۲۲
۲-۲-۹- طراحی سایر پارامترهای آتشکاری ۲۳
۲-۳- خردایش حاصل از انفجار ۲۶
۲-۳-۱- معرفی ۲۶
۲-۳-۲- فرمول لارسن ۲۶
۲-۳-۳- رابطهٔ خردایش SVeDeFo ۲۷
۲-۳-۴- مدل خردایش کوز- رم ۲۸
۲-۳-۴-۱- معرفی ۲۸
۲-۳-۴-۲- رابطهٔ کوزنتسف ۲۸
۲-۳-۴-۳- معادلهٔ رزین رملر ۲۹
۲-۳-۴-۴- محاسبه شاخص همشکلی ۳۰
۲-۳-۴-۵- ملاحظات مدل کوز- رم ۳۱
۲-۴- مخاطرات ایمنی و زیست محیطی آتشکاری ۳۳
۲-۴-۱- لرزش زمین ۳۳
۲-۴-۱-۱- پارامترهای موثر بر لرزش زمین و هوا ۳۴
۲-۴-۱-۲- روابط ارائه شده برای لرزش زمین ۳۷
۲-۴-۱-۳- استانداردهای کنترل لرزش زمین ۳۹
۲-۴-۳- ضربه هوا ۴۳
۲-۴-۳-۱- محاسبهٔ شدت ضربهٔ هوا ۴۳

۲-۴-۴- پرتاب سنگ ۴۵
۲-۴-۴-۱- محاسبه پتانسیل پرتاب سنگ ۴۶
۳-۱- مقدمه ۴۹
۳-۲- طراحی آتشکاری پله ای بر اساس میزان خردایش مطلوب ۵۰
۳-۲-۱- معرفی ۵۰
۳-۲-۲- کاربرد مدل پیش بینی خردایش کوز- رم ۵۱
۳-۲-۳- کاربرد رابطهٔ پیش بینی خردایش SVeDeFo ۵۷
۳-۲-۴- طراحی انفجار با هدف دستیابی به خردایش ٪۸۰ عبوری معین ۵۹
۳-۲-۵- ارائه فرمولی ساده شده برای شاخص همشکلی ۵۹
۳-۳- طراحی آتشکاری از دیدگاه ملاحظات ایمنی و محیطی ۶۰
۳-۳-۱- مقدمه ۶۰
۳-۳-۲- طراحی آتشکاری بر اساس شدت لرزش های قابل تحمل ۶۱
۳-۳-۳- طراحی آتشکاری بر اساس شدت ضربهٔ هوای قابل تحمل ۶۴
۳-۳-۳-۱- روش اول (هوسترولید) ۶۴
۳-۳-۳-۲- روش دوم (بهانداری) ۶۷
۳-۳-۳-۳- بحث در مورد اختلاف نتایج دو روش ۶۸
۳-۳-۴- طراحی آتشکاری بر اساس فاصله مجاز پرتاب سنگ ۶۸
۴-۱- مقدمه ۷۱
۴-۲- پنجره اصلی (اولیه) نرم افزار ۷۲
۴-۳- پنجره طراحی آتشکاری به شیوه مرسوم ۷۴
۴-۴- پنجره کنترل طرح آتشکاری ۸۴
۴-۵- مدل طراحی آتشکاری بر اساس خردایش مطلوب ۹۰
۴-۶- پنجره طراحی آتشکاری با هدف محدودسازی شدت لرزش ۹۵
۴-۷- طراحی آتشکاری با رویکرد محدود سازی شدت ضربه هوا ۱۰۰

۴-۸- پنجره طراحی آتشکاری با رویکرد کاهش مسافت پرتاب سنگ ۱۰۵
۴-۹- مدل جامع و نهایی (در برگیرنده تعیین خردایش مطلوب و محدودسازی اثرات جانبی) ۱۱۱
۵-۱- مقدمه ۱۲۹
۵-۲- معدن آهن گل گهر ۱۲۹
۵-۲-۱-معرفی ۱۲۹
۵-۲-۲- چالزنی و آتشکاری در معدن گل گهر ۱۳۳
۵-۳- بررسی طرح آتشکاری فعلی معدن گل گهر ۱۳۷
۵-۴- طراحی آتشکاری برای معدن گل گهر ۱۴۰
۵-۴-۱- طرح آتشکاری پیشنهادی برای سنگ آهن مگنتیت بالایی ۱۴۱
۵-۴-۲- طرح آتشکاری پیشنهادی برای سنگ آهن مگنتیت پایینی ۱۴۴
۵-۴-۳- طرح آتشکاری پیشنهادی برای سنگ آهن اکسیده ۱۴۵
۵-۴-۴- مقایسه طرح آتشکاری فعلی و طرح پیشنهادی به لحاظ پیش بینی خردایش و پارامترهای ایمنی..... ۱۴۷
۵-۴-۵- بررسی مسافت پرتاب سنگ در طرح فعلی آتشکاری ۱۴۹
۵-۴-۶- بررسی طرح آتشکاری معدن گل گهر از دیدگاه شدت لرزش زمین و ضربه هوا ۱۵۰
۵-۵- طراحی آتشکاری بر اساس خردایش مطلوب سنگ شکنی ۱۵۲
۵-۶- طراحی آتشکاری با دیدگاه محدودیت شدت لرزش زمین ۱۵۵
۵-۷- طراحی آتشکاری با دیدگاه محدودیت شدت ضربه هوا ۱۵۹
۵-۸- طراحی آتشکاری با دیدگاه مسافت مجاز پرتاب سنگ ۱۶۴
۵-۹- طرح آتشکاری کلی با اعمال خردایش مطلوب و محدودسازی شدت اثرات جانبی ۱۶۶
۵-۹-۱- محدودیت پرتاب سنگ ۱۶۷
۵-۹-۲- محدودیت لرزش زمین ۱۷۰
۵-۹-۳- محدودیت ضربه هوا ۱۷۴
۵-۹-۴- وضعیت محدودیت کلیه پارامترهای ایمنی انفجار ۱۷۶
۶-۱- خلاصه نتایج ۱۷۹

۶-۲- کاربرد و تحلیل نتایج مدل ۱۸۲

۶-۳- پیشنهاد هایی برای کارهای آینده ۱۸۵

منابع و مراجع ۱۸۸

فهرست جداول:

فصل دوم

جدول ۲ - ۱- خرج ویژه متداول در معدنکاری روباز ۱۷
جدول ۲ - ۲- جدول پیشنهادی اش در مورد نسبت K_B ۲۰
جدول ۲ - ۳- آتشکاری با چال های کم قطر ۲۱
جدول ۲ - ۴- آتشکاری با چال های قطر بزرگ ۲۱
جدول ۲ - ۵- مقادیر ثابت های رابطهٔ تاتیا برای آنفو ۲۳
جدول ۲ - ۶- مقادیر نسبت طول اضافه حفاری به بارسنگ ۲۴
جدول ۲ - ۷- جدول تعیین ثابت قابلیت انفجار با توجه به وضعیت توده سنگ ۲۷
جدول ۲ - ۸- مقادیر تقریبی ضریب سنگ با توجه به مقاومت فشاری ۲۹
جدول ۲ - ۹- پارامترهای اثرگذار بر شدت لرزش زمین و ضربه هوا ۳۴
جدول ۲ - ۱۰- مقادیر ثابت kf در روابط برتا ۳۹
جدول ۲ - ۱۱- حدود مجاز لرزش زمین از دیدگاه OSMRE ۴۰
جدول ۲ - ۱۲- مقادیر استاندارد مجاز مقیاس فاصله ۴۱
جدول ۲ - ۱۳- مقادیر متناظر استاندارد آمریکا در مورد سرعت ذره ای و مقیاس فاصله ۴۲
جدول ۲ - ۱۴- مقادیر شاخص ضربه هوا ۴۴

فصل چهارم

جدول ۴- ۱- جدول انواع مواد منفجره پیش بینی شده در نرم افزار ۷۷
جدول ۴- ۲- انتخاب نسبت بارسنگ به قطر چال طبق تئوری آش ۷۸
جدول ۴- ۳- تعیین ضریب سنگ در مدل کوز- رم بر اساس مقاومت سنگ ۸۳
جدول ۴- ۴- جدول پیشنهادی برای ضریب سنگ، برای سنگ های مختلف ۸۷
جدول ۴- ۵- مقادیر پیشنهاد شده برای نسبت ارتفاع پله به طول بارسنگ ۱۱۴
جدول ۴- ۶- مقادیر پیشهاد شده برای نسبت فاصله جناحی به بارسنگ ۱۱۵
جدول ۴- ۷- مقادیر نسبت K_J در شرایط مختلف ۱۱۶
جدول ۴- ۸- مجموعه مقادیر توصیه شده برای نسبت طول گل گذاری به بارسنگ ۱۱۷
جدول ۴- ۹- حدود مجاز و استاندارد OSMRE برای لرزش های آتشکاری ۱۲۱
جدول ۴- ۱۰- مقایسه مقادیر مجاز سرعت ذره ای و مقیاس فاصله (در سیستم اوحاد انگلیسی) ۱۲۲
جدول ۴- ۱۱- مقایسه مقادیر مجاز سرعت ذره ای و مقیاس فاصله (با واحدهای SI) ۱۲۳

فصل پنجم

جدول ۵- ۱- ماشین آلات فعال در معدن شماره یک گل گهر ۱۳۴

جدول ۵- ۲- طرح های آتشکاری فعلی در مورد سه نوع سنگ آهن معدن گل گهر ۱۳۵
جدول ۵- ۳- تخمین مقاومت و ضریب سنگ آهن گل گهر بر اساس چگالی ۱۳۷
جدول ۵- ۴- طرح آتشکاری فعلی در معدن گل گهر سیرجان ۱۳۷
جدول ۵- ۵- نتایج روابط مختلف محاسبه بارسنگ در مورد کانسنگ مگنتیت بالایی گل گهر ۱۴۲
جدول ۵- ۶- مقایسه طرح آتشکاری فعلی و طرح پیشنهادی برای کانسنگ مگنتیت بالایی..... ۱۴۳
جدول ۵- ۷- نتایج روابط مختلف محاسبه بارسنگ در مورد کانسنگ مگنتیت پایینی گل گهر..... ۱۴۴
جدول ۵- ۸- مقایسه طرح فعلی و طرح پیشنهادی برای آتشکاری مگنتیت پایینی ۱۴۵
جدول ۵- ۹- مقادیر بارسنگ پیشنهاد شده توسط روابط مختلف در مورد کانسنگ اکسیده ۱۴۶
جدول ۵- ۱۰- مقایسه طرح آتشکاری فعلی و طرح پیشنهادی برای کانسنگ اکسیده گل گهر..... ۱۴۶
جدول ۵- ۱۱- جواب مدل در مورد آتشکاری کانسنگ مگنتیت بالایی ۱۴۷
جدول ۵- ۱۲- مقایسه نتایج فنی و ایمنی طرح فعلی و پیشنهادی برای کانسنگ مگنتیت بالایی..... ۱۴۸
جدول ۵- ۱۳- طرح پیشنهادی نرم افزار برای استخراج مگنتیت تحتانی و کانسنگ اکسیده گل گهر ۱۴۸
جدول ۵- ۱۴- مقایسه نتایج فنی و ایمنی طرح فعلی و طرح پیشنهادی..... ۱۴۹
جدول ۵- ۱۵- طراحی آتشکاری بر اساس خردایش ۵۰ سانتی متر ۱۵۵
جدول ۵- ۱۶- طراحی آتشکاری برای کانسنگ مگنتیت بالایی با فرض سازه حساس..... ۱۵۸
جدول ۵- ۱۷- حداکثر قطر چال عملی برای آتشکاری در فواصل مختلف سازه حساس به لرزش..... ۱۵۸
جدول ۵- ۱۸- مقایسه تاثیر کاربرد دو رویکرد متفاوت برای محاسبه شدت ضربه هوا..... ۱۶۲
جدول ۵- ۱۹- طراحی آتشکاری گل گهر بر اساس حداکثر پرتاب ۵۰۰ متر ۱۶۴
جدول ۵- ۲۰- قطر چال و بارسنگ مناسب برای محدودسازی پرتاب سنگ با ارتفاع پله ۱۵ متر ۱۶۵
جدول ۵- ۲۱- طراحی آتشکاری مناسب با هدف خردایش ۵۰ سانتی متر و محدودیت پرتاب..... ۱۶۹
جدول ۵- ۲۲- طراحی آتشکاری با هدف دستیابی به خردایش ۵۰ سانتی متر و محدود کردن لرزش... ۱۷۱
جدول ۵- ۲۳- طراحی آتشکاری بر اساس خردایش و ایمنی لرزش..... ۱۷۲
جدول ۵- ۲۴- بررسی اثر تعداد چال های انفجار همزمان بر شدت لرزش..... ۱۷۳
جدول ۵- ۲۵- بررسی اثر تعداد چال های انفجار همزمان بر تعادل شدت ضربه هوا و خردایش ۱۷۵
جدول ۵- ۲۶- طرح آتشکاری توصیه شده برای معدن گل گهر با محدودیت های فرضی ۱۷۸

فهرست اشکال:

فصل دوم

شکل ۲ – ۱ – پارامترهای هندسی آتشکاری در معادن روباز ۷

شکل ۲ – ۲ – وابستگی طول بارسنگ به قطر چال ها ۱۱

شکل ۲ – ۳ – تاثیر و زاویه عملکرد اضافه حفاری در ته چال ۱۲

شکل ۲ – ۴ – آتشکاری پله ای با یک سطح آزاد قائم ۱۴

شکل ۲ – ۵ – آتشکاری پله ای با دو سطح آزاد قائم ۱۴

شکل ۲ – ۶ – خرج گذاری منقطع و تاثیر بر کاهش خرج مصرفی ۱۵

شکل ۲ – ۷ – منحنی توزیع ابعادی خردایش انفجار ۳۰

شکل ۲ – ۸ – نمونه ای از وجود معادن و کواری ها در مجاورت مناطق مسکونی ۳۳

شکل ۲ – ۹ – سرعت ذره ای امواج لرزه ای به صورت تابعی از خرج ویژه و خطر پرتاب سنگ ۳۶

شکل ۲ – ۱۰ – منحنی تجربی نشان دهنده اثر تقویتی امواج لرزه برهمدیگر در تاخیرهای کم ۳۷

شکل ۲ – ۱۱ –نمودار log-log سرعت ذره ای بر حسب مقیاس فاصله ۴۳

شکل ۲ – ۱۲ – پرتاب سنگ در عملیات انفجار سطحی ۴۶

شکل ۲ – ۱۳ – رخداد پدیده انفجار قیفی به علت عدم کفایت بارسنگ در بالای پله ۴۷

شکل ۲ – ۱۴ – رخداد پدیده انفجار قیفی در سر چال های پشتی به علت تاخیربندی نادرست ۴۷

فصل چهارم

شکل ۴ – ۱ – پنجرهٔ اصلی نرم افزار BlastDesign ۷۳

شکل ۴ – ۲ – نمای پنجرهٔ طراحی آتشکاری به شیوهٔ مرسوم ۷۶

شکل ۴ – ۳ – انتخاب نوع ماده منفجره از لیست نرم افزار ۷۷

شکل ۴ – ۴ – تعیین مقادیر نسبت های آتشکاری و قطر چال ها ۷۹

شکل ۴ – ۵ – الگوریتم نرم افزار برای طراحی متداول آتشکاری ۸۱

شکل ۴ – ۶ – نتایج محاسبه در پنجره طراحی آتشکاری به شیوه مرسوم ۸۴

شکل ۴ – ۷ – پنجره کنترل طرح آتشکاری معین شده ۸۵

شکل ۴ – ۸ – الگوریتم نرم افزار برای کنترل طرح آتشکاری ۸۶

شکل ۴ – ۹ – تخمین ضریب سنگ A در نرم افزار بر اساس سختی آن ۸۷

شکل ۴ – ۱۰ – ورود ثابت های لرزش خاص منطقه معدن و فاصله حساس ۸۸

شکل ۴ – ۱۱ – تعیین رویکرد محاسبه ضربه هوا ۸۸

شکل ۴ – ۱۲ – تعیین رویکرد محاسبه پرتاب سنگ ۸۹

شکل ۴ – ۱۳ – انتخاب نوع ماده منفجره در نرم افزار ۸۹
شکل ۴ – ۱۴ – ورود قطر حفاری و نسبت های آتشکاری ۸۹
شکل ۴ – ۱۵ – نتایج پنجره کنترل ۹۰
شکل ۴ – ۱۶ –الگوریتم مدل طراحی آتشکاری بر اساس خردایش مطلوب ۹۱
شکل ۴ – ۱۷ – تصویر پنجره طراحی آتشکاری بر اساس هدف خردایش مطلوب ۹۲
شکل ۴ – ۱۸ – تعیین مقاومت سنگ و مشخصات ماده منفجره ۹۳
شکل ۴ – ۱۹ – بخش تعیین الگوی حفاری و نسبت های بین پارامترهای آتشکاری ۹۳
شکل ۴ – ۲۰ – تعیین میزان خردایش مطلوب توسط کاربر ۹۴
شکل ۴ – ۲۱ – بخش نتایج پنجره طراحی آتشکاری بر اساس میزان خردایش ۹۵
شکل ۴ – ۲۲ – طراحی آتشکاری با هدف کاهش شدت لرزش ها ۹۶
شکل ۴ – ۲۳ – تعیین پارامترهای آتشکاری بر اساس تئوری اَش توسط کاربر ۹۷
شکل ۴ – ۲۴ – اعمال محدودیت در شدت لرزش های ناشی از انفجار ۹۷
شکل ۴ – ۲۵ – الگوریتم برنامه برای طراحی آتشکاری با هدف کاهش لرزش ها ۹۹
شکل ۴ – ۲۶ – بخش نتایج مدل ۱۰۰
شکل ۴ – ۲۷ – پنجره طراحی آتشکاری با هدف اعمال محدودیت بر شدت ضربه هوا ۱۰۱
شکل ۴ – ۲۸ – ورود چگالی خرج، زاویه حفاری و نسبت های آتشکاری ۱۰۲
شکل ۴ – ۲۹ – نحوه اعمال محدودیت ضربه هوا، در نرم افزار ۱۰۳
شکل ۴ – ۳۰ – الگوریتم مدل کاهش شدت ضربه هوا ۱۰۴
شکل ۴ – ۳۱ –نتایج محاسبات نرم افزار شامل قطر چال، بارسنگ و ۱۰۵
شکل ۴ – ۳۲ – نمودار درصد علل حوادث در معادن زغال آمریکا ۱۰۶
شکل ۴ – ۳۳ – پنجره طراحی آتشکاری با محدودیت فاصله پرتاب سنگ ۱۰۷
شکل ۴ – ۳۴ – ورود چگالی خرج و پارامترهای آتشکاری طبق تئوری اَش ۱۰۸
شکل ۴ – ۳۵ – تعیین محدودیت مسافت پرتاب سنگ و شرایط انفجار در معدن ۱۰۸
شکل ۴ – ۳۶ – الگوریتم برنامه برای اعمال محدودیت در مسافت پرتاب ۱۰۹
شکل ۴ – ۳۷ – نمونه نتایج پنجره طراحی آتشکاری با محدودیت پرتاب سنگ ۱۱۰
شکل ۴ – ۳۸ – مدل جامع و نهایی ۱۱۲
شکل ۴ – ۳۹ –تصویر پنجره انتخاب نوع ماده منفجره و ضریب سنگ ۱۱۳
شکل ۴ – ۴۰ – معین کردن زاویه حفاری چال ها و تعیین نسبت بارسنگ و قطر چال ۱۱۴
شکل ۴ – ۴۱ – لیست انتخاب نسبت K_H در نرم افزار ۱۱۴
شکل ۴ – ۴۲ – انتخاب مقدار نسبت K_S از لیست نرم افزار ۱۱۵
شکل ۴ – ۴۳ – انتخاب نسبت طول اضافه حفاری در نرم افزار ۱۱۶
شکل ۴ – ۴۴ –تصویر نحوه انتخاب نسبت طول گل گذاری در نرم افزار ۱۱۷

شکل ۴ - ۴۵- پنجره تعیین خردایش مطلوب ۱۱۸
شکل ۴ - ۴۶- تعیین خردایش به صورت X_{80} و محاسبه ضریب همشکلی مواد ۱۱۹
شکل ۴ - ۴۷- پنجره اعمال محدودیت های معدن به لحاظ پارامترهای ایمنی ۱۲۰
شکل ۴ - ۴۸- گزینه بررسی شدت لرزش زمین و اعمال محدودیت بر آن ۱۲۱
شکل ۴ - ۴۹- نمودار و معادله مقادیر مجاز سرعت ذره ای اوج و مقیاس فاصله ۱۲۴
شکل ۴ - ۵۰- در نظر گرفتن شدیدترین حالت انتقال لرزش ۱۲۴
شکل ۴ - ۵۱- اعمال محدودیت بر شدت ضربه هوا در محل سازه حساس ۱۲۵
شکل ۴ - ۵۲- اعمال محدودیت بر حداکثر مسافت پرتاب سنگ ۱۲۵
شکل ۴ - ۵۳ - تعیین حداکثر تعداد چال های انفجار همزمان ۱۲۶
شکل ۴ - ۵۴ - پنجره نتایج مدل جامع شامل عوامل خطرساز ۱۲۷

فصل پنجم

شکل ۵- ۱- عکس ماهواره ای از معدن شماره یک گل گهر ۱۳۰
شکل ۵- ۲- نقشه شبکه ریلی کشور و خطوط مربوط به معادن آهن ۱۳۱
شکل ۵- ۳- کانسار آهن اکتشاف شده در منطقه گل گهر ۱۳۱
شکل ۵- ۴- تصویری از عملیات استخراج در معدن گل گهر ۱۳۳
شکل ۵- ۵- دکل حفاری خزنده در معدن گل گهر ۱۳۴
شکل ۵- ۶- تصویری از قطعات درشت سنگ ایجاد شده در گل گهر ۱۳۶
شکل ۵- ۷- تصویر پنجره کنترل نتایج طرح آتشکاری کانسنگ مگنتیت بالایی ۱۳۹
شکل ۵- ۸- تصویر پنجره مدل طراحی آتشکاری معدن گل گهر ۱۴۲
شکل ۵- ۹- نمودار مقایسه مسافت پرتاب سنگ بر حسب قطر چالزنی ۱۵۰
شکل ۵- ۱۰- نمودار شدت لرزش بر حسب فاصله ۱۵۱
شکل ۵- ۱۱- نمودار شدت ضربه هوا بر حسب فاصله اندازه گیری ۱۵۲
شکل ۵- ۱۲- تصویر پنجره طراحی آتشکاری با هدف دستیابی به خردایش معین ۱۵۴
شکل ۵- ۱۳- تصویری از تاسیسات معدنی در مجاورت پیت ۱۵۶
شکل ۵- ۱۴- نمایی شماتیک از پیت معدن گل گهر و تاسیسات نزدیک آن ۱۵۷
شکل ۵- ۱۵- نمودار حداکثر قطر چال عملی برای کنترل شدت لرزش ۱۵۹
شکل ۵- ۱۶- تصویر پنجره طراحی آتشکاری گل گهر با محدودیت ضربه هوا ۱۶۰
شکل ۵- ۱۷- نمودار حداکثر قطر چال عملی برای محدود کردن شدت ضربه هوا ۱۶۲
شکل ۵- ۱۸- نمودار تاثیر تعداد چال انفجار همزمان بر شدت ضربه هوا ۱۶۳
شکل ۵- ۱۹- نمودار حداکثر قطر چال عملی برای محدود کردن پرتاب سنگ ۱۶۵
شکل ۵- ۲۰- حداکثر قطر چال عملی برای محدودسازی پرتاب ۱۶۶

شکل ۵- ۲۱- تصویر پنجره نتایج مدل جامع با هدف محدود کردن پرتاب سنگ..... ۱۶۸
شکل ۵- ۲۲- نمودار نشان دهنده اثر تعداد چال ها بر تعادل شدت لرزش و خردایش ۱۷۴
شکل ۵- ۲۳- نمودار تعادل ضربه هوا و خردایش متوسط در مدل جامع ۱۷۶
شکل ۵- ۲۴- تصویر پنجره نتایج نرم افزار با فرض هر سه نوع محدودیت ایمنی..... ۱۷۷

فصل اول: مقدمه

۱-۱- سوال تحقیق

تاکنون طراحی آتشکاری معادن چه معادن سطحی و چه زیرزمینی بر اساس تئوری ها و قواعد تجربی که موفقیت نسبی کاربرد آن ها در عمل معلوم شده، انجام شده و می شود. برای نمونه بیش از ۲۰ فرمول و راهکار برای محاسبه طول بارسنگ بهینه در معادن روباز توسط محققین مختلف پیشنهاد شده است که در یکایک آن ها قطر حفاری چال ها به عنوان مهم ترین پارامتر تعیین کننده طول بهینه بارسنگ شناسایی شده است. سایر متغیرهای موثر مثل سختی سنگ، ارتفاع پله، قدرت ماده منفجره و ... هر یک به نوعی در برخی یا همه این فرمول ها به کار رفته اند. اما مسئله این جاست که کیفیت نتایج یک طرح آتشکاری خوب و مطلوب را پارامترهای دیگری معین می سازند. آشکار است که اصلی ترین هدف کاربرد مواد منفجره در معادن شکستن و خرد کردن توده سنگ به طور اقتصادی است تا علاوه بر این که کانسنگ قابل بارگیری و حمل و نقل می گردد برای مراحل بعدی عملیات مهندسی معدن (سنگ شکنی اولیه، آسیا، تغلیظ و ...) آماده شود. مشخص شده است که اگر کل عملیات معدنکاری اعم از چالزنی، آتشکاری، بارگیری و باربری، سنگ شکنی و آسیاکنی به صورت یک مجموعه واحد و یکپارچه نگریسته شود به لحاظ اقتصادی، بهتر است که حداکثر خردایش لازم از طریق چالزنی و انفجار صورت پذیرد (ایلورانتا، ۱۹۹۷). اما تاکنون هیچ یک از پارامترهایی که می توانند به شکلی بیانگر درجه خردایش مطلوب طراح باشند؛ در تئوری های طراحی هندسه آتشکاری در نظر گرفته نشده اند. البته از سوی دیگر مدل هایی برای پیش بینی درجه خردایش حاصل از کاربرد یک طرح آتشکاری در معدن ارائه شده اند اما ارتباط منطقی بین این دو برقرار نشده است. به جهت دیگر، هر عملیات انفجار در معادن دربرگیرنده تعدادی اثرات ناخوشایند جانبی است که در اکثر معادن روباز می توانند مسائل و محدودیت های جدی برای طراح آتشکاری معدن، ایجاد کنند. لرزش زمین، پرتاب سنگ و

ضربه هوا، سه مورد از عمده ترین اثرات جانبی هر عملیات آتشکاری هستند. روشن است که حتی بهترین و کامل ترین طرح آتشکاری به لحاظ فنی، اگر از جهت ایمنی نتایج مطلوبی به همراه نداشته باشد؛ قابل اجرا و کاربرد نیست چون هزینه های بسیار گزافی را برای جبران خسارات وارد شده به مدیریت معدن تحمیل می کند. از مجموع بحث های مطرح شده، می توان این طور نتیجه گرفت که اگرچه تحقیقات گسترده ای در هر یک از جنبه های فن آتشکاری در معادن روباز انجام شده است اما در بسیاری موارد، دیدی کل نگر و یکپارچه وجود نداشته است و اکثراً بر روی یک مبحث خاص متمرکز بوده است. در حالی که می دانیم هدف نهایی هر عملیات چالزنی و آتشکاری، خرد کردن توده سنگ تا حد معین و در شرایط ایمن و اقتصادی است بنابراین لازم است سعی شود مباحث مختلف موثر در نتیجه آتشکاری به صورت ترکیبی و با دید کلی نگریسته شود و مدل ها و الگوریتم هایی کل نگر، جهت در نظر گرفتن کلیه جوانب یک طرح آتشکاری مطلوب و ایمن در معادن روباز، ارائه گردد.

۱-۲- پیشینه تحقیق

در این بخش به برخی از مطالعاتی که تاکنون در زمینه کاربرد رایانه و ساخت مدل برای طراحی فرایند چالزنی و آتشکاری در معادن، صورت پذیرفته است اشاره می شود.

سون وی[1] (۱۹۸۷)، یک مدل رایانه ای برای طراحی و بهینه سازی آتشکاری معادن سطحی ارائه نموده است این برنامه بر اساس منطق هوش مصنوعی و با زبان برنامه نویسی LISP نوشته شده و از دو بخش مستقل تشکیل شده است: الف- بخش طراحی آتشکاری ب- یک سیستم خبره مشاوره ای[2] برای بررسی وضعیت لرزش زمین و ضربه هوا. بخش طراحی آتشکاری، وظیفه محاسبه پارامترهای هندسی طرح آتشکاری را بر اساس تئوری های متداول به خصوص فرمول های کُنیا انجام می دهد و در صورت بروز مسائل ایمنی از جمله لرزش

[1] Sun Wei
[2] Consultant Expert System

مخرب سطح و ضربه هوای شدید پس از کاربرد طرح آتشکاری پیشنهادی، سیستم خبره مشاوره ای به کاربر کمک می کند تا از طریق اصلاح طرح، راه حلی برای این موارد بیابد.

حدادی، یاوری، رستمی و عبدالله زاده (۱۳۷۹) مطالعه ای را در مورد ارزیابی امکان طراحی آتشکاری معادن روباز با استفاده از رایانه انجام داده است و نرم افزاری در این خصوص ارائه کرده است که آن را برای تحلیل و طراحی آتشکاری معادن سنگ آهن ایران مرکزی (چغارت، چادرملو) به کار برده است. این نرم افزار می‌تواند الگوی آتشکاری را با تقریباً تمامی مدل های ارائه شده (تا زمان انجام تحقیق)، طراحی کرده و با بررسی آماری، الگوی مناسب اولیه را برای شروع آتشکاری به دست دهد و در ضمن، عملیات آتشکاری را با استفاده از بازخورد نتایج، بهینه کند. خردایش، خرج ویژه، حفاری ویژه و تغییرات پارامترهای اجرایی دستگاه چالزن از جمله قطر، معیارهای قابل کنترل برای بهینه سازی الگو می باشند. این نرم افزار قادر به طراحی الگوی آتشکاری کنترل شده با مدل های موجود نیز می‌باشد. در پژوهش یاد شده، به مسائل ایمنی مطرح در آتشکاری از قبیل پرتاب سنگ، شدت لرزش ها و ... بررسی نشده است. در تحقیق انجام شده توسط حسینی و یاوری (۱۳۸۰) نرم افزاری برای انتخاب تجهیزات عملیات تولیدی در معادن روباز با هدف کمینه سازی هزینه های عملیاتی و سرمایه ای عملیات چالزنی، آتشکاری، بارگیری و باربری و سنگ شکنی توسعه داده شده است. این نرم افزار قادر است تجهیزات عملیات تولیدی در معادن روباز را ضمن طراحی الگوی آتشکاری به گونه ای انتخاب کند که با توجه به خردایش سنگ های آتشکاری شده و ضریب پرشوندگی صندوقه و دانه بندی خوراک ورودی به سنگ شکن مجموع هزینه های ذکر شده، کمینه شود. البته این تحقیق نیز به مباحث مربوط به مسائل ایمنی آتشکاری نپرداخته است.

خواجه نائینی (۱۳۸۲) نرم افزار PitBlast را جهت طراحی آتشکاری معادن روباز ارائه نموده است. این نرم افزار می تواند الگوی حفاری و آتشکاری را با استفاده از روشهای مختلف و به دفعات تعیین نماید. این نرم افزار در محیط Borland C++ Builder 6 نوشته شده است و تحت سیستم عامل ویندوز قابل اجراست. نرم افزار PitBlast دارای چهار قابلیت اصلی است که عبارت اند از: الف- محاسبه و ارائه الگوی حفاری و محاسبات خرج گذاری، در این بخش کاربر قادر است با استفاده از فرمولهای ارائه شده مقدار بار سنگ (با استفاده از ۲۰

روش) ، فاصله ردیفی چالها (با استفاده از ۵ فرمول) و تعداد چال، عمق چال، طول خرج ته چال و میان چال، طول گل گذاری و طول اضافه حفاری را محاسبه کند. ب- محاسبه الگوهای آتشباری کنترل شده در معادن روباز، در این بخش کاربر قادر خواهد بود تا با استفاده از ۶ روش ارائه شده به انتخاب روش مورد نظر خود بپردازد و به کمک آن آرایش مناسب چال های آتشباری کنترل شده را تعیین نماید. پ-محاسبه اقتصادی: در بخش محاسبات اقتصادی کاربر می تواند با وارد نمودن اطلاعات لازم، میزان خرج ویژه، حفاری ویژه، هزینه های عملیاتی و هزینه های سرمایه ای به ازای هر تن یا (متر مکعب) سنگ را محاسبه کند. ت- محاسبه خردایش: در بخش محاسبه خردایش کاربر می تواند بسته به مورد، با استفاده از یکی از۷ روش ارائه شده به محاسبه چگونگی خردایش حاصل از انفجار بپردازد و با استفاده از دو روش تابعی از توزیع ابعاد سنگ خرد شده را بدست آورد. اگرچه این پژوهش، اغلب جنبه های طراحی آتشکاری در معادن روباز را در بر می گیرد اما در آن نیز، هیچ اشاره ای به پارامترها و مسائل ایمنی ناشی از آتشکاری نگردیده است.

کارهای پژوهشی پرشماری نیز در زمینه کاربرد کامپیوتر و تهیه مدل ها و نرم افزارهای رایانه ای برای طراحی چالزنی و آتشکاری در معادن زیرزمینی و صنعت تونل سازی، صورت پذیرفته است. برای نمونه می توان به پژوهش افضلی و یاوری (۱۳۸۵) و زارع (۲۰۰۷) اشاره کرد اما چون این موارد در محدوده این تحقیق قرار نمی گیرد؛ از توضیح بیش تر صرفنظر می گردد.

اگرچه زمینه های مختلفی از فن آتشکاری معادن روباز از جمله طراحی هندسی، پیش بینی خردایش و آتشکاری کنترل شده با کاربرد کامپیوتر بررسی شده است اما به نظر می رسد که بحث کنترل پارامترهای ایمنی آتشکاری (لرزش زمین و هوا، پرتاب سنگ) مورد غفلت قرار گرفته است از سوی دیگر، در هیچ یک از مدل ها و نرم افزارهایی که بدان ها اشاره شد بحث بهینه سازی خردایش در فرایند طراحی آتشکاری مد نظر نبوده است. به طور کلی تاکنون چندان بدین مسئله که آیا می توان درجه خردایش تقریبی سنگ را قبل از اجرای طرح آتشکاری تعیین نمود؛ پرداخته نشده است و در هیچ یک از راهکارهای ارائه شده برای محاسبه بارسنگ و سایر پارامترهای هندسی آتشکاری، میزان خردشدگی مطلوب در نظر