بسم الله الرحمن الرحیم
الحمد لله رب العالمین الرحمن الرحیم مالک یوم الدین
اهدنا الصراط المستقیم صراط الذین
انعمت علیهم غیر المغضوب علیهم
ولا الضالین

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی معدن

پایان نامه برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی استخراج معدن

عنوان:

بررسی خردایش سنگ ناشی از انفجار در کارگاه‌های معدن سنگ آهک کارخانه سیمان ارومیه

استاد راهنما:

دکتر حسن مومیوند

مشاور صنعتی:

مهندس داوود تقی زاده

تنظیم و نگارش:

میرسینا امیرشنوا

شهریور ماه ۱۳۹۳

پایان نامه میرسینا امیرشنوا به شماره دانشجویی ۹۱۲۰۴۲۰۰۱ با عنوان: **"بررسی خـردایش سـنگ ناشی از انفجار در کارگاه‌های معدن سنگ آهک کارخانـه سـیمان ارومیـه"** بـه تـاریخ و شماره مورد پذیرش هیات محترم داوران با رتبه و نمره قرار گرفت.

۱ – استاد راهنما ورئیس هیات داوران: **دکتر حسن مومیوند**

۲ – داور خارجی: **دکتر فرنوش حاجی زاده**

۳ – داور داخلی: **دکتر جعفر عبداللهی شریف**

۴ – نماینده تحصیلات تکمیلی: **دکتر مهدی چهل امیرانی**

تعهد نامه پژوهشی

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه های تحصیلی دانشجویان دانشگاه ارومیه مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشجو میباشد که با استفاده از اعتبارات دانشگاه انجام می‌شود، برای آگاهی دانشجو و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان گرامی نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد میشوند:

۱. قبل از چاپ پایان نامه خود، مراتب را بطور کتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع و کسب اجازه نمایند.

۲. در انتشار نتایج پایان نامه در قالب مقاله، همایش، اختراع، اکتشاف و سایر موارد ذکر نام دانشگاه ارومیه الزامی است.

۳. انتشار نتایج پایان نامه باید با اطلاع و کسب اجازه از استاد راهنما صورت گیرد.

اینجانب **میرسینا امیرشنوا** دانشجوی گرایش **استخراج معدن** مقطع **کارشناسی ارشد** تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آنرا قبول کرده و به آن ملتزم میشوم.

تاریخ و امضا دانشجو

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم که دعای خیرشان در تمامی مراحل زندگی بدرقه راهم بوده است و هرگز توان جبران زحمات بی دریغشان را نخواهم داشت

تقدیر و تشکر

به سرانجام رسیدن این رساله مدیون یاری همراهانی بوده است که خود را موظف بـه تشـکر و قـدردانی از آن عزیزان می‌دانم و از خداوند متعال توفیق روز افزون برای ایشان آرزومندم:

- جناب آقای دکتر حسن مومیوند استاد راهنمـای پایـان‌نامـه، ایشـان بـا بردبـاری و متانـت خطاهـا و اشتباهات من را تذکر داده و با تسلط و اشراف کامل نظری و عملی به موضوعِ این تحقیق راهنمـایی‌هـا و ایده‌های ارزشمندی را در مراحل مختلف اجرای پروژه ارائه نمودند و مستمراً بر پیشـرفت کارهـا اهتمـام ورزیده‌اند.
- آقای مهندس داوود تقی زاده مسئول بخش ترانسپورت معدن کارخانه سـیمان ارومیـه کـه بزرگوارانـه مشکلات موجود در مسیر اجرای تحقیـق در معـدن را بـرایم همـوار نمودنـد و از راهنمـایی‌هـای ایشـان استفاده نمودم.
- آقای مهندس حسین افرا سرپرست بخش معدن کارخانه سیمان ارومیه که از تجربـه ایشـان در مـدت گذراندن پایان نامه استفاده نموده‌ام.
- مهندس مصطفی جهانی که از راهنمایی‌های ایشان برای آشنایی با نرم افزار Split Desktop اسـتفاده نمودم.
- برادر عزیزم که قفل سخت افزاری نرم‌افزار Split Desktop را برایم تهیه نمود، بهار عزیـزم کـه بـا در اختیار گذاشتن دوربین عکاسی‌اش نقش چشمگیری در انجام این پروژه داشت و در نهایت کلیه عزیزانـی که در به ثمر رسیدن این تحقیق به من یاری رساندند.

چکیده:

خردشدگی مناسب از ویژگی‌های یک انفجار خوب محسوب می‌شود. تعیین میزان خردایش سنگ پس از انفجار برای تعدیل خرج ویژه آتشباری اصلی به منظور کنترل میزان قله‌های سنگی که نیاز به خردایش ثانویه دارند، تأمین خوراک مناسب ماشین آلات بارگیری و سنگ شکنی موضوعی اساسی و مهم است. در این تحقیق، خردایش ماده معدنی پس از انفجار به روش آنالیز تصویری توسط نرم افزار Split Desktop، که جدیدترین و کارآمدترین نرم افزار قابل دسترس در ایران است، در زون‌های فعال معدن سنگ آهک کارخانه سیمان ارومیه به عنوان یکی از بزرگترین معادن استان آذربایجان غربی، مورد بررسی قرار گرفته است. منحنی دابندی و مقدار متوسط اندازه دانه‌های سنگ خرد شده (D_{50}) پس از انفجار در شش زون فعال معدن تعیین و با استفاده از نتایج بدست آمده، مقدار D_{50} روی نقشه زون بندی شده است. مقدار D_{50} از یک زون به زون دیگر در تغییر بوده، حداقل مقدار آن برابر ۱۱/۴۳ سانتیمتر در زون شماره ۵ و حداکثر مقدار آن برابر ۱۴/۲۷ سانتیمتر دز زون شماره ۳ حاصل شده است. مقدار D_{50} حاصل از روش آنالیز تصویری در زون‌های مختلف بیشتر از میزان پیش بینی خردایش حاصل از مدل کاز - رام نشان داده و بیشترین مقدار تفاوت در زون شماره ۳ و ۸ حاصل شده است؛ طوری که در زون‌های شماره ۳ و ۸ پس از انفجار قطعات بزرگ سنگ تولید می‌شود. این نشان می‌دهد که تعدیل بیشتری نسبت به افزایش خرج ویژه در زون‌های شماره ۳ و ۸ جهت کاهش درصد قله‌های نامطلوب به منظور کاهش هزینه‌های خردایش ثانویه، بارگیری و غیره نیاز است بعمل آید.

به علاوه بررسی خردایش سنگ آتشباری شده، با استفاده از آنالیز تصویری عکس‌های توده سنگ برجا به وسیله نرم افزار Split Desktop، متوسط اندازه بلوک‌های برجا (F_{50}) در برخی از زون‌های معدن نیز تعیین و مقدار نسبت F_{50} به D_{50} تحت عنوان نسبت کاهش ($\frac{F_{50}}{D_{50}}$) محاسبه شده است. رابطه جدیدی نیز بین D_{50} و سه پارامتر F_{50}، مقاومت فشاری یک محوری (σ_{ci}) و خرج ویژه (q) در برخی از زون‌های فعال معدن ارائه شده است، به طوری که با دقت بالایی مقدار D_{50} با استفاده از رابطه ارائه شده برآورد می‌شود.

واژه های کلیدی: خردایش سنگ، نرم افزار Split Desktop، آنالیز تصویری، مدل کاز-رام، بلوک‌های برجا.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه..... ۱

۱-۱- بیان مسئله و اهداف تحقیق..... ۲

۱-۲- روش انجام تحقیق..... ۳

۱-۳- ساختار پایان نامه..... ۴

فصل دوم: مروری بر پیشینه روش‌های برآورد و تعیین خردایش سنگ بر اثر انفجار..... ۵

۲-۱- مقدمه..... ۶

۲-۲- روش‌های پیش بینی میزان خردایش سنگ در آتشباری..... ۶

۲-۲-۱- مدل دنیس و گاما..... ۷

۲-۲-۲- مدل لارسون..... ۷

۲-۲-۳- مدل کاز – رام..... ۸

۲-۲-۴- مدل کاز – رام اصلاح شده..... ۱۳

۲-۲-۴-۱- مدل کاز – رام اصلاح شده (توسط غیبی و همکاران)..... ۱۴

۲-۲-۵- مدل بلاستفراگ..... ۱۵

۲-۲-۶- مدل سوئدیفو..... ۱۶

۲-۲-۷- مدل لوپز و همکاران..... ۱۶

۲-۲-۸- مدل روستن و کو..... ۱۷

۲-۳- روش‌های تعیین دانه‌بندی خردایش تَلِ سنگ پس از آتشباری..... ۱۸

۲-۳-۱- روش آنالیز سرندی..... ۱۸

۲-۳-۱-۱- مشکلات اجرایی روش آنالیز سرندی..... ۱۹

۲-۳-۱-۲- تناژ مورد نیاز..... ۱۹

۲-۳-۲- روش آنالیز مشاهده‌ای..... ۲۰

۲-۳-۳- روش آنالیز تصویری دیجیتال..... ۲۱

۲-۳-۴- روش عکس‌برداری سریع..... ۲۱

۲-۳-۵- شمارش دانه‌های بزرگ..... ۲۲

۲-۳-۶- میزان مصرف مواد منفجره در انفجار ثانویه ۲۲
۲-۳-۷- بررسی قابلیت تولید تجهیزات بارگیری ۲۳
۲-۳-۸- میزان به تأخیر افتادن سنگ شکن ۲۳
۲-۳-۹- روش‌های فرا ابتکاری ۲۳
۲-۴- جمع بندی ۲۴

فصل سوم: معرفی روش آنالیز تصویری و نرم‌افزارهای مربوط به آن ۲۶

۳-۱- مقدمه ۲۷
۳-۲- مراحل توسعه آنالیز تصویری ۲۷
۳-۳- اصول کار در روش آنالیز تصویری ۲۸
۳-۴- مراحل انجام آنالیز تصویری ۲۸
۳-۴-۱-نمونه گیری ۲۸
۳-۴-۲-تصویر برداری ۲۹
۳-۴-۳-آنالیز تصویری ۳۲
۳-۵- خطاهای موجود در روش آنالیز تصویری ۳۳
۳-۵-۱-خطاهای ذاتی روش آنالیز تصویری ۳۳
۳-۵-۱-۱- خطای تحلیل دو بعدی ۳۳
۳-۵-۱-۲- خطاهای جدا انگاشتن و ادغام شدگی ۳۴
۳-۵-۱-۳- خطای هم پوشانی خرده سنگ‌ها ۳۴
۳-۵-۱-۴- خطای پنهان شدن خرده سنگ‌های ریز در لابلای خرده سنگ‌های درشت ۳۵
۳-۵-۲- خطاهای عکس برداری ۳۵
۳-۵-۲-۱- وضوح تصویر ۳۶
۳-۵-۲-۲- نورپردازی در هنگام تصویر برداری ۳۶
۳-۵-۲-۳- خطای پرسپکتیو ۳۸
۳-۶- مزایا و معایب روش آنالیز تصویری ۳۸
۳-۷- معرفی نرم‌افزارهای مختلف در روش آنالیز تصویری ۳۹
۳-۷-۱- نرم‌افزار WipFrag ۳۹
۳-۷-۲- نرم‌افزار FragScan ۴۰

۳-۷-۳- نرم افزار TUCIPS ۴۰
۳-۷-۴- نرم افزار GoldSize ۴۱
۳-۷-۵- نرم‌افزار Split Desktop ۴۳
۳-۷-۶- نرم‌افزار Split Online ۴۶
۳-۸- جمع بندی ۴۷

فصل چهارم: بررسی میزان خردایش سنگ در زون‌های فعال معدن سنگ آهک کارخانه سیمان ارومیه ۴۸

۴-۱- مقدمه ۴۹
۴-۲- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی معدن ۴۹
۴-۳- زون‌های مورد تحقیق معدن سنگ آهک کارخانه سیمان ارومیه ۵۰
۴-۴- تعیین خردایش ماده معدنی در زون‌های فعال معدن سنگ آهک کارخانه سیمان ارومیه به روش آنالیز تصویری با استفاده از نرم‌افزار Split Desktop ۵۲
۴-۴-۱-تهیه عکس‌ها از کپه سنگ خرد شده ۵۲
۴-۴-۲-تحلیل تصاویر ۵۳
۴-۴-۲-۱- تغییر وضوح تصویر ۵۳
۴-۴-۲-۲- مقیاس‌گذاری تصویر ۵۴
۴-۴-۲-۳- مرزیابی قطعات سنگ در تصویر ۵۴
۴-۴-۲-۴- تخمین میزان نرمه موجود در تصویر ۵۶
۴-۴-۲-۵- برآود نتیجه کار ۵۷
۴-۴-۳-ترکیب نتایج حاصل از آنالیز تمامی عکس‌ها در هر زون ۵۷
۴-۴-۴-نتایج حاصل از آنالیز تصاویر در زون‌های فعال معدن سنگ آهک کارخانه سیمان ارومیه ۵۸
۴-۵- پش‌بینی میزان خردایش ماده معدنی مبتنی بر شاخص قابلیت انفجار و الگوی چال‌ها و خرج ویژه اجرا شده در زون‌های مختلف معدن ۶۹
۴-۶- مقایسه نتایج حاصل از میزان خردایش اندازه گیری و پیش‌بینی شده ۷۱
۴-۷- جمع بندی ۷۶

فصل پنجم: آنالیز تصویری عکس‌های حاصل از توده سنگ برجا در برخی از زون‌های معدن سنگ آهک کارخانه سیمان ارومیه..... ۷۷

۵-۱- مقدمه..... ۷۸

۵-۲- تعریف تنظیمات لازم در نرم‌افزار Split Desktop به منظور آنالیز عکس‌های حاصل از توده سنگ برجا..... ۷۸

۵-۳- تعیین اندازه متوسط بلوک‌های برجا در برخی از زون‌های معدن سنگ آهک کارخانه سیمان ارومیه به روش آنالیز تصویری با استفاده از نرم‌افزار Split Desktop..... ۸۰

۵-۴- محاسبه نسبت کاهش در برخی از زون‌های معدن سنگ آهک کارخانه سیمان ارومیه..... ۸۸

۵-۴-۱-تعریف مفهوم نسبت کاهش در انفجار..... ۸۸

۵-۴-۲-تعیین مقدار نسبت کاهش (RR_{50}) در برخی از زون های معدن سنگ آهک کارخانه سیمان ارومیه..... ۸۹

۵-۵- بررسی رابطه بین اندازه سنگ خرد شده ناشی از انفجار (D_{50}) و متوسط اندازه بلوک‌های برجا (F_{50})، مقاومت فشاری یک محوری (σ_{ci}) و خرج ویژه (q)..... ۹۲

۵-۶- جمع بندی..... ۹۶

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۹۸

۶-۱- نتیجه گیری..... ۹۹

۶-۲- پیشنهادات..... ۱۰۱

فهرست منابع..... ۱۰۲

پیوست الف..... ۱۰۷

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱ : ثابت قابلیت انفجار پذیری برای سنگ‌های مختلف..... ۸

جدول ۲-۲ : مقادیر فاکتور سنگ با توجه به ساختار توده سنگ..... ۹

جدول ۲-۳: تأثیر پارامترهای مختلف انفجار بر n..... ۱۳

جدول ۲-۴: پارامترهای شاخص قابلیت انفجار و امتیاز آن‌ها..... ۱۴

جدول ۲-۵: وزن نمونه مورد نیاز با مقادیر مختلف خطای اندازه‌گیری..... ۲۰

جدول ۴-۱: تعداد عکس‌های مورد آنالیز هر زون و نتایج به دست آمده از آنالیز تصویری عکس‌های حاصل از زون‌های فعال معدن..... ۶۵

جدول ۴-۲: مقدار متوسط شاخص قابلیت انفجار اندازه‌گیری شده در زون‌های فعال معدن سنگ آهک کارخانه سیمان ارومیه..... ۶۹

جدول ۴-۳: پارامترهای فعلی و عملیاتی چال‌های انفجار در سینه‌کارهای معدن سنگ آهک رشکان..... ۷۰

جدول ۴-۴: نتایج مربوط به پیش‌بینی متوسط ابعاد قطعات خرد شده..... ۷۱

جدول ۴-۵: مقایسه نتایج مدل کاز-رام با نتایج حاصل از آنالیز تصویری..... ۷۲

جدول ۵-۱: تعداد عکس‌های مورد آنالیز در هر زون و نتیجه نهایی آنالیز تصویری عکس‌های حاصل از توده سنگ برجا در زون‌های مورد تحقیق..... ۸۶

جدول ۵-۲: مقادیر نهایی متوسط اندازه بلوک‌های برجا (F_{50}) و متوسط اندازه سنگ خرد شده ناشی از انفجار (D_{50}) و نسبت کاهش(RR_{50}) در زون‌های ۳، ۵ و ۸ معدن سنگ آهک کارخانه سیمان ارومیه..... ۹۱

جدول ۵-۳: مقادیر نهایی متوسط اندازه سنگ خرد شده ناشی از انفجار (D_{50})، متوسط اندازه بلوک‌های برجا (F_{50})، متوسط مقاومت فشاری یک محوری (σ_{ci}) و خرج ویژه (q) در زون های ۳، ۵ و ۸ معدن..... ۹۳

جدول ۵-۴: نسبت متوسط اندازه سنگ خرد شده ناشی از انفجار به متوسط اندازه بلوک‌های برجا($\frac{D_{50}}{F_{50}}$) و نسبت مقاومت فشاری یک محوری به خرج ویژه ($\frac{\sigma_{ci}}{q}$) در زون های ۳، ۵ و ۸ معدن رشکان.....۹۳

جدول ۵-۵: نتایج آنالیز رابطه بین نسبت متوسط اندازه سنگ خرد شده ناشی از انفجار به متوسط اندازه بلوک‌های برجا ($\frac{D_{50}}{F_{50}}$) و نسبت مقاومت فشاری یک محوری به خرج ویژه ($\frac{\sigma_{ci}}{q}$) در زون‌های ۳، ۵ و۸.....۹۴

جدول ۵-۶: مقایسه نتایج حاصل از آنالیز تصویری سنگ خرد شده، مقدار متوسط خردایش سنگ برآورد شده توسط رابطه جدید ارائه شده و متوسط اندازه قطعات سنگ پیش‌بینی شده توسط مدل اصلاح شده کاز – رام..... ۹۶

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: منحنی دانه بندی مواد به صورت درصد باقی مانده روی سرند به ازای اندازه چشمه سرند ... ۱۱

شکل ۲-۲: پارامترهای الگوی انفجاری در یک پله آتشباری ۱۲

شکل ۲-۳: نمونه‌ای از قطعات بزرگ حاصل از انفجار در معدن سنگ آهک کارخانه سیمان ارومیه ۲۲

شکل ۳-۱: نمونه‌ای از تصویر برداشت شده از مواد دانه درشت ۳۱

شکل ۳-۲: نمونه‌ای از تصویر برداشت شده از مواد با ابعاد متوسط ۳۱

شکل ۳-۳: نمونه‌ای از تصویر برداشت شده از مواد با ابعاد ریز ۳۲

شکل ۳-۴: خطای جدا انگاشتن ۳۴

شکل ۳-۵: نمونه‌ای از هم پوشانی خرده سنگ‌ها ۳۵

شکل ۳-۶: نمونه‌ای از تصویر برداشت شده که به دلیل نورپردازی نامناسب جهت آنالیز تصویری مناسب نمی‌باشد ۳۷

شکل ۳-۷: محیط کاری نرم‌افزار WipFrag ۴۰

شکل ۳-۸: محیط کاری نرم‌افزار GpldSize ۴۱

شکل ۳-۹: ترسیم محیط قطعات در نرم‌افزار GoldSize ۴۲

شکل ۳-۱۰: منحنی دانه‌بندی حاصل از آنالیز عکس در نرم‌افزار GoldSize ۴۲

شکل ۳-۱۱: محیط کاری نرم‌افزار Split Desktop ۴۴

شکل ۳-۱۲: عکس مناسب جهت آنالیز در نرم‌افزار Split Desktop ۴۵

شکل ۳-۱۳: تصویر شماتیک مراحل آنالیز تصویری توسط نرم افزار Split Online ۴۶

شکل ۳-۱۴: تصویر برداری به صورت اتوماتیک از نوار نقاله ۴۷

شکل ۴-۱: نمایش زون‌های مورد تحقیق روی تصویر ماهواره‌ای از معدن سنگ آهک رشکان.....۵۱

شکل ۴-۲: نمونه‌ای از تصاویر تهیه شده از کپه سنگ خرد شده.....۵۲

شکل ۴-۳: عکس آنالیز شده در نرم افزار Spit Desktop با وضوح بالای تصویر.....۵۳

شکل ۴-۴: منوی مربوط به تغییر وضوح تصویر.....۵۳

شکل ۴-۵: نمونه‌ای از تصویر مقیاس‌گذاری شده به روش اتوماتیک.....۵۴

شکل ۴-۶: نمونه‌ای از عکس آنالیز شده به روش اتوماتیک.....۵۵

شکل۴-۷: نمونه‌ای از عکس آنالیز شده به روش دستی.....۵۶

شکل ۴-۸: منوی مربوط به تنظیمات درصد نرمه موجود در تصویر.....۵۷

شکل ۴-۹: نتیجه حاصل از آنالیز یکی از تصاویر برداشت شده.....۵۸

شکل ۴-۱۰: نمونه‌ای از تصویر برداشت شده از زون شماره ۱، قبل و پس از آنالیز به همراه نمودار توزیع دانه‌بندی.....۵۹

شکل ۴-۱۱: نمونه‌ای از تصویر برداشت شده از زون شماره ۳، قبل و پس از آنالیز به همراه نمودار توزیع دانه‌بندی.....۶۰

شکل ۴-۱۲: نمونه‌ای از تصویر برداشت شده از زون شماره ۵، قبل و پس از آنالیز به همراه نمودار توزیع دانه‌بندی.....۶۱

شکل ۴-۱۳: نمونه‌ای از تصویر برداشت شده از زون شماره ۶، قبل و پس از آنالیز به همراه نمودار توزیع دانه‌بندی.....۶۲

شکل ۴-۱۴: نمونه‌ای از تصویر برداشت شده از زون شماره ۷، قبل و پس از آنالیز به همراه نمودار توزیع دانه‌بندی.....۶۳

شکل ۴-۱۵: نمونه‌ای از تصویر برداشت شده از زون شماره ۸، قبل و پس از آنالیز به همراه نمودار توزیع دانه‌بندی.....۶۴

شکل ۴-۱۶: نمودار نهایی توزیع دانه بندی حاصل از خردایش در زون شماره ۱.....۶۶

شکل ۴-۱۷: نمودار نهایی توزیع دانه بندی حاصل از خردایش در زون شماره ۳.....۶۶

شکل ۴-۱۸: نمودار نهایی توزیع دانه بندی حاصل از خردایش در زون شماره ۵.....۶۷

شکل ۴-۱۹: نمودار نهایی توزیع دانه بندی حاصل از خردایش در زون شماره ۶.....۶۷

شکل ۴-۲۰: نمودار نهایی توزیع دانه بندی حاصل از خردایش در زون شماره ۷.....۶۸

شکل ۴-۲۱: نمودار نهایی توزیع دانه بندی حاصل از خردایش در زون شماره ۸.....۶۸

شکل ۴-۲۲: مقدار متوسط شاخص قابلیت انفجار(BI) ، مقدار متوسط اندازه سنگ خرد شده پیش‌بینی شده(X_{50}) و متوسط اندازه خردایش سنگ حاصل از روش آنالیزتصویری (d_{50}) در زون‌های فعال، بر روی تصویر ماهواره‌ای معدن.....۷۲

شکل ۴-۲۳: قطعات بزرگ سنگ حاصل از انفجار در زون ۳.....۷۴

شکل ۴-۲۴: قطعات بزرگ سنگ حاصل از انفجار در زون ۸.....۷۴

شکل ۴-۲۵: چکش هیدرولیکی در حین انجام عمل خردایش ثانویه قطعات بزرگ سنگ در زون شماره ۳.....۷۵

شکل ۵-۱: منوی مربوط به تنظیمات عکس در نرم افزار Split Desktop.....۷۹

شکل ۵-۲: نمونه‌ای از عکس برداشت شده از توده سنگ برجا.....۸۱

شکل ۵-۳: عکس توده سنگ برجا که به روش اتوماتیک آنالیز شده است.....۸۲

شکل ۵-۴: نمونه‌ای از تصویر توده سنگ برجا در زون شماره ۳، قبل و پس از آنالیز به همراه نمودار توزیع دانه بندی.....۸۳

شکل ۵-۵: نمونه‌ای از تصویر توده سنگ برجا در زون شماره ۵، قبل و پس از آنالیز به همراه نمودار توزیع دانه بندی.....۸۴

شکل ۵-۶: نمونه‌ای از تصویر توده سنگ برجا در زون شماره ۸، قبل و پس از آنالیز به همراه نمودار توزیع دانه بندی.....۸۵

شکل ۵-۷: نمودار توزیع دانه بندی حاصل از آنالیز تصاویر توده سنگ برجا در زون شماره ۳.....۸۷

شکل ۵-۸: نمودار توزیع دانه بندی حاصل از آنالیز تصاویر توده سنگ برجا در زون شماره ۵.....۸۷

شکل ۵-۹: نمودار توزیع دانه بندی حاصل از آنالیز تصاویر توده سنگ برجا در زون شماره ۸.....۸۸

شکل ۵-۱۰: نمایش شماتیک نسبت کاهش در سنگ شکن..... ۸۹

شکل ۵-۱۱: منحنی های ترکیب نهایی توزیع اندازه بلوک‌های برجا و انـدازه سـنگ خـرد شـده ناشـی از انفجار در زون شماره ۳..... ۹۰

شکل ۵-۱۲: منحنی های ترکیب نهایی توزیع اندازه بلوک‌های برجا و انـدازه سـنگ خـرد شـده ناشـی از انفجار در زون شماره ۵..... ۹۰

شکل ۵-۱۳: منحنی های ترکیب نهایی توزیع اندازه بلوک‌های برجا و انـدازه سـنگ خـرد شـده ناشـی از انفجار در زون شماره ۸..... ۹۱

شکل ۵-۱۴: نمودار رابطه لگاریتمی به دست آمده بین $\frac{d_{50}}{F_{50}}$ و $\frac{UCS}{q}$..... ۹۵

[فصل اول]

مقدمه

۱-۱- بیان مسئله و اهداف تحقیق

خردایش را می‌توان به جرأت یکی از مهم‌ترین و حساس‌ترین نتایج هر انفجار نام برد. مشحص نمودن میزان خردایش سنگ پس از انفجار برای تعدیل خرج ویژه آتشباری اصلی به منظور کنترل میزان قله‌های سنگی که نیاز به خردایش ثانویه دارند، تأمین خوراک مورد نیاز ماشین آلات بارگیری و سنگ شکنی موضوعی اساسی و مهم است. خردشدگی مناسب سنگ‌ها در اثر آتشباری باعث نیاز کمتر به آتشکاری پر هزینه تر ثانویه، سهولت در عملیات بارگیری و حمل، کاهش مصرف انرژی در مرحله سنگ شکنی اولیه، و در نهایت کاهش هزینه های تولید خواهد شد.

هزینه‌های حفاری و انفجار حدود ۳۰ درصد از کل هزینه مستقیم تولید را شامل می‌شوند، که با افزایش قطعات بزرگ و نیاز به آتشباری ثانویه می‌تواند تا ۴۰ درصد نیز افزایش یابد (مومیوند، ۱۳۸۷). هزینه‌های چالزنی و آتشباری با افزایش درجه خردایش سنگ افزایش و هزینه‌های بارگیری، باربری و سنگ شکنی که در مرحله بعد از انفجار ثانویه هستند، با افزایش درجه خردایش سنگ کاهش می‌یابند (Nielson, 1983). اما به علت سهولت عملیات بارگیری و باربری، کاهش مصرف انرژی در مرحله سنگ‌شکنی اولیه و عدم نیاز به آتشباری ثانویه نه تنها افزایش مزبور جبران خواهد شد، بلکه افزایش معینی در خردشدگی سنگ سبب کاهش هزینه‌ها نیز می‌گردد. بنابراین عامل اساسی برای موفقیت انفجار در یک جبهه‌کار، خردشدگی مناسب است که در به حداقل رساندن هزینه‌های معدنکاری نقشی اساسی ایفا می‌کند.

برای پیش بینی ابعاد توده سنگ خرد شده حاصل از انفجار اصلی، مدل‌های ریاضی متعددی مانند مدل دنیس و گاما، لارسون، سوئدیفو، کاز - رام و کاز - رام اصلاح شده ارائه شده است. نتایج تحقیقات اخیر (اصانلو و امنیه بخشنده،۱۳۸۷، عطایی و زیاری،۱۳۸۴) نشان می‌دهد که از بین مدل‌های ارائه شده، مدل کاز-رام اصلاح شده (Cunningham, 1987) به دلیل بکارگیری پارامتر های بیشتر ویژگی‌های توده سنگ حاصل از شاخص قابلیت انفجار[1] (BI) ارائه شده توسط لیلی (Lily,1986, 1992) نسبت به روش‌های دیگر از کارآیی بالاتری برخوردار است.

همچنین روش‌های متعددی نیز جهت تعیین میزان خردایش سنگ خرد شده پس از انفجار ارائه شده است که بهترین روش برای آگاهی از وضعیت خردایش یک انفجار معدنی، استفاده از آنالیز سرندی می‌باشد. اما با توجه به هزینه بالا و همچنین زمان بر بودن این روش، استفاده از آن برای حجم وسیع از مواد خرد شده مناسب نمی باشد. از این رو، برای بر طرف کردن این مشکل روش‌های متعددی مانند: آنالیز مشاهده‌ای، آنالیز تصویری دیجیتال، عکس برداری سریع، شمارش دانه‌های بزرگ، میزان مصرف مواد منفجره در انفجار ثانویه، بررسی قابلیت تولید تجهیزات بارگیری و میزان به تاخیر افتادن سنگ شکن ارائه شده است (Siddiqui et al, 2009). روش آنالیز تصویری یکی از روش‌های نوین، جامع و متداول در تعیین خردشدگی سنگ است (Franklin,Katsabain, 1996). نرم‌افزارهای متعددی برای بررسی میزان خردایش به روش آنالیز تصویری در سطح جهان به علت اهمیت چنین موضوعی ارائه شده

[1] Blastabiliy index

است (Elevi et al, 2012). با توجه به اینکه نرم افزار Split Desktop جدیدترین و کارآمدترین نرم افزار قابل دسترس در ایران است، برای بررسی میزان خردایش سنگ پس از انفجار به روش آنالیز تصویری در این تحقیق از نرم افزار Split Desktop استفاده شده است.

توده‌های سنگِ برجا همگن نبوده در یک قسمت نسبت به قسمت دیگر شاخص قابلیت انفجار آن‌ها می‌تواند تغییر نماید. نتیجه خردایش متأثر از شاخص قابلیت انفجار (BI) و خرج ویژه برای یک نوع ماده منفجره است. شاخص قابلیت انفجار در یک معدن جزو ویژگی‌های برجایی است که با اندازه گیری تعیین می‌شود. تعیین میزان خردایش در سینه کارهای معدن که دارای شاخص قابلیت انفجار مختلف می باشند، برای کنترل انفجار اصلی و خردایش ثانویه، بارگیری و خوراک سنگ شکنی و همچنین هزینه‌های مربوطه، نیاز مبرم و یکی از ارکان اساسی برنامه ریزی انفجار است. گرچه تعیین میزان خردایش سنگ در سال‌های اخیر در برخی از معادن کشور مورد بررسی قرار گرفته است. اما پرداختن به این موضوع در هر یک از زون‌های فعال یک معدن به صورت سیستماتیک کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از جمله تا کنون میزان خردایش سنگ پس از انفجار در معدن سنگ آهک کارخانه سیمان ارومیه که یکی از بزرگترین معادن استان آذربایجان غربی است، مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا انجام چنین تحقیقی یکی از نیازهای حاد و اساسی این معدن است.

در این تحقیق، سعی بر آن است تا با تعیین خردایش ماده معدنی پس از انفجار در زون‌های فعال معدن سنگ آهک کارخانه سیمان ارومیه به روش آنالیز تصویری توسط نرم افزار Split Desktop، وضعیت خردشدگی سنگ‌ها در زون‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته و سپس مقایسه‌ای بین مقادیر اندازه‌گیری شده به روش آنالیز تصویری با مقادیر پیش بینی شده توسط مدل اصلاح شده کاز – رام در زون‌های فعال معدن انجام گیرد. با استفاده از نتایج زون بندی میزان خردایش سنگ، اطلاعات مفیدی به منظور برنامه ریزی آتشباری در این معدن ارائه گردد.

همچنین به علاوه بررسی خردایش سنگ پس از انفجار، با استفاده از آنالیز تصویری عکس‌های توده سنگ برجا توسط نرم افزار Split Desktop، متوسط اندازه بلوک‌های برجا (F_{50}) در برخی از زون‌های معدن سنگ آهک کارخانه سیمان ارومیه تعیین و مقدار نسبت اندازه متوسط ابعاد بلوک‌های برجا (F_{50}) به اندازه متوسط دانه‌های سنگ محصول پس از آتشباری (نسبت کاهش) در این زون‌ها محاسبه شده است. رابطه بین متوسط اندازه سنگ خرد شده ناشی از انفجار (D_{50}) به عنوان تابعی از سه عامل مهم شامل: اندازه متوسط ابعاد بلوک‌های برجا (F_{50})، مقاومت فشاری یک محوری (σ_{ci}) و خرج ویژه (q) به شیوه‌ای نو نیز مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت روش جدیدی نیز برای برآورد متوسط اندازه سنگ خرد شده ناشی از انفجار (D_{50}) به عنوان تابعی از پارامتر های ذکر شده در زون‌های این معدن ارائه گردیده است.

۱-۲- روش انجام تحقیق

مراحل طی شده به منظور انجام این تحقیق به شرح یر می‌باشد:

۱) انجام مطالعات کتابخانه‌ای شامل پایان نامه‌ها و مقاله‌های مرتبط با موضوع پژوهش.