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

دانشگاه ارومیه

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی معدن

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

عنوان:

زون بندی خرج ویژه مبتنی بر ویژگی‌های توده سنگ برجا در کارگاه‌های فعال معدن سنگ آهک کارخانه سیمان ارومیه

استاد راهنما:

دکتر حسن مومیوند

مشاور صنعتی:

مهندس شادعلی عباسی

تنظیم و نگارش:

داوود تقی زاده

بهمن ماه ۱۳۹۱

پایان نامه به شماره دانشجویی با عنوان: زون‌بندی خرج‌ویژه مبتنی بر ویژگی‌های توده‌سنگ برجا در کارگاه‌های فعال معدن سنگ آهک کارخانه سیمان ارومیه به تاریخ وشماره
مورد پذیرش هیات محترم داوران با رتبه : عالی و نمره ۱۹ - نوزده قرار گرفت.

۱ – استاد راهنما ورئیس هیات داوران: دکتر حسن مومیوند

۲ – داور خارجی: دکتر فرنوش حاجی زاده

۳ – داور داخلی: دکتر جعفر عبدالهی شریف

۴ – نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر رسول شعبانی

تقدیم به همسرم

به پاس دلگرمی‌ها و مهربانی‌های بی‌دریغش.

تقدیر و تشکر

برخود لازم می‌دانم از زحمات بی‌دریغ و راهنمایی‌های ارزشمند استاد گرامی آقای دکتر حسن مومیوند در راستای انجام پروژه تشکر و قدردانی نمایم. از زحمات آقای مهندس شادعلی عباسی مدیر معادن کارخانه سیمان ارومیه که بزرگوارانه مشکلات موجود در مسیر اجرای تحقیق در کارخانه و معدن را برایم هموار ساختند، نهایت سپاس‌گزاری را دارم. همچنین از همکاری آقای مهندس حسین افرا سرپرست بخش معدن کارخانه سیمان کمال تشکر را دارم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده .....

فصل اول: مقدمه ۱

فصل دوم: مروری بر پیشینه روش‌های برآورد خرج ویژه و انواع روش‌های پیش بینی و تعیین دانه بنـدی خردایش ۳

۲-۱- مقدمه ۳

۲-۲- انواع روش‌های برآورد خرج ویژه ۴

۲-۲-۱- برآورد خرج ویژه با استفاده از جداول تجربی برای بعضی از سنگ‌ها ۴

۲-۲-۲- برآورد خرج ویژه با استفاده از فرمول‌های انتقال انرژی از ماده منفجره به سنگ و مقدار انرژی جهت خردایش سنگ ۸

۲-۲-۳- بر آورد نسبت $\frac{B}{\phi_h}$ (الگوی چال‌های انفجار) با استفاده از فرمول‌های تجربی ۱۲

۲-۲-۴- برآورد خرج ویژه با استفاده از روش‌های مبتنی بر ویژگی‌های توده سنگ ۱۴

۲-۲-۴-۱- ناپیوستگی‌ها و شرح توده سنگ ۱۵

۲-۲-۴-۱-۱- فاصله ناپیوستگی‌ها ۱۵

۲-۲-۴-۱-۲- اندازه دهانه و مواد پرکننده ۱۵

۲-۲-۴-۱-۳- جهت یافتگی ناپیوستگی‌ها ۱۷

۲-۲-۴-۱-۴- شرح توده سنگ ۱۷

۲-۲-۴-۲- مقاومت فشاری یک محوری سنگ سالم ۱۸

۲-۲-۴-۳- حفرات و قطعات سنگ موجود در محیط نرم و سست ۱۸

۲-۲-۴-۴- آب ۱۹

۲-۲-۴-۵- طبقه بندی‌های توده سنگ به منظور چالزنی و آتشباری ۲۰

۲-۲-۵- برآورد خرج ویژه و الگوی چال‌های انفجار به صورت تجربی طی انجام عملیات چالزنی و آتشباری با حداقل نمودن قیمت تمام شده ۲۲

۲-۲-۵-۱- برآورد قیمت تمام شده انفجار اصلی و انفجار ثانویه و مقایسه هزینه‌ها ۲۲

۲-۳- روش‌های پیش بینی میزان خردایش سنگ ۲۳

۲-۳-۱- مدل دنیس و گاما ۲۳

۲-۳-۲- مدل لارسون ۲۴
۲-۳-۳- مدل کاز – رام ۲۵
۲-۳-۴- مدل کاز – رام اصلاح شده ۲۸
۲-۳-۵- مدل بلاستفراگ ۲۸
۲-۳-۶- مدل سوئدیفو ۲۹
۲-۳-۷- مدل روستن ۳۰
۲-۴- روش‌های تعیین دانه بندی خردایش سنگ آتشباری شده پس از انفجار ۳۰
۲-۴-۱- روش آنالیز سرندی ۳۰
۲-۴-۱-۱- مشکلات اجرایی روش سرندی ۳۱
۲-۴-۱-۲- تناژ نمونه مورد نیاز ۳۱
۲-۴-۲- روش آنالیز مشاهده‌ای ۳۲
۲-۴-۳- روش آنالیز تصویری ۳۲
۲-۴-۴- روش فتوگرامتری یا عکس برداری سریع ۳۴
۲-۴-۵- روش شمارش قطعه‌های بزرگ ۳۵
۲-۴-۶- روش مصرف مواد منفجره در انفجار ثانویه ۳۵
۲-۴-۷- روش سرعت بارگیری شاول ۳۵
۲-۴-۸- روش میزان به تاخیر افتادن سنگ شکن ۳۵
۲-۵- بحث و نتیجه گیری فصل ۳۶
فصل سوم: زون بندی خرج ویژه مبتنی بر ویژگی‌های بر جای توده سنگ در زون‌های متعدد سنگ آهک کارخانه سیمان ارومیه ۳۷
۳-۱- موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی معدن ۳۷
۳-۲- زون‌های مورد تحقیق معدن سنگ آهک کارخانه سیمان ارومیه ۳۸
۳-۳ اندازه‌گیری‌های برجا و آزمایشگاهی توده‌های سنگ در محل‌های متعدد زون‌های مختلف معدن سنگ آهک کارخانه سیمان ارومیه ۴۰
۳-۳-۱- اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی ۴۰
۳-۳-۱-۱- تعیین مقاومت فشاری یک محوری ۴۰
۳-۳-۱-۲- تعیین وزن مخصوص آهک ۴۲
۳-۳-۲- اندازه‌گیری‌های برجا ۴۴

۳-۴- برآورد شاخص قابلیت انفجار در محل‌های متعدد زون‌های مورد تحقیق معدن سنگ آهک کارخانه سیمان ارومیه ۵۱
۳-۵- برآورد خرج ویژه با استفاده از شاخص قابلیت انفجار سنگ بدون در نظر گرفتن خردایش در محل‌های متعدد زون‌های معدن سنگ آهک کارخانه سیمان ارومیه ۶۹
۳-۶- پیش‌بینی میزان خردایش توده‌سنگ با استفاده از مدل اصلاح شده کاز – رام در محل‌های متعدد زون‌های معدن سنگ آهک کارخانه سیمان ارومیه ۷۱
۳-۷- پیش‌بینی میزان خرج ویژه و الگوی چال‌های انفجار برای خردایش معین با استفاده از مدل اصلاح شده کاز – رام در محل‌های متعدد زون‌های معدن سنگ آهک کارخانه سیمان ارومیه ۷۶
فصل چهارم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۵
۴-۱- نتیجه‌گیری ۸۵
۴-۲- پیشنهادات ۸۷
مراجع ۸۹

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول (۲-۱): خرج ویژه بعضی از سنگ‌ها بامشخصات ذکر شده ۵
جدول (۲-۲): راهنمای خرج ویژه برای بعضی سنگ‌ها دارای مقاومت‌های مختلف ۵
جدول (۲-۳): خرج ویژه برای معدنکاری سطحی زغال سنگ ۶
جدول(۲-۴): خرج ویژه برای معدنکاری سطحی فلزات ۶
جدول (۲-۵): خرج ویژه توصیه شده توسط CMRI درکانسارهای سنگی مختلف ۷
جدول (۲-۶): وزن مخصوص،امپدانس و انرژی برخی از مواد منفجره صنعتی رایج در ایتالیا ۱۰
جدول (۲-۷): برخی از مشخصات انفجاری سنگ‌ها و مواد ۱۱
جدول (۲-۸): پارامترهای شاخص قابلیت انفجار و امتیاز آن‌ها ۲۱
جدول (۲-۹): ثابت قابلیت انفجارپذیری برای سنگ‌های مختلف ۲۴
جدول (۲-۱۰): مقادیر فاکتور سنگ با توجه به ساختار توده‌سنگ ۲۵
جدول (۲-۱۱): وزن نمونه مورد نیاز با مقادیر مختلف خطای اندازه‌گیری ۳۲
جدول (۳-۱): نتایج آزمایش مقاومت فشاری یک محوری نمونه‌های سنگ آهک براساس استاندارد ۴۱
جدول(۳-۲): نتایج آزمایش وزن مخصوص نمونه‌های سنگ آهک براساس استاندارد ۴۳
جدول (۳-۳): نتایج اندازه‌گیری‌های بر جای توده‌سنگ درمحل‌های متعدد زون‌های معدن سنگ آهک رشکان ۴۵
جدول (۳-۴): نتایج برداشت فاصله ناپیوستگی‌ها درمحل‌های متعدد زون‌های معدن سنگ آهک رشکان ۵۰
جدول (۳-۵): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۱ سینه‌کار ۱-۱ ۵۲
جدول(۳-۶): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۱ سینه‌کار ۱-۲ ۵۳
جدول (۳-۷): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۱ سینه‌کار ۱-۳ ۵۳
جدول(۳-۸): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۱ سینه‌کار ۱-۴ ۵۴
جدول(۳-۹): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۱ سینه‌کار ۱-۵ ۵۴
جدول (۳-۱۰): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۱ سینه‌کار ۱-۶ ۵۵
جدول (۳-۱۱): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۳ سینه‌کار ۳-۱ ۵۵
جدول (۳-۱۲): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۳ سینه‌کار ۳-۲ ۵۶
جدول (۳-۱۳): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۳ سینه‌کار ۳-۳ ۵۶
جدول (۳-۱۴): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۳ سینه‌کار ۳-۴ ۵۷
جدول (۳-۱۵): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۳ سینه‌کار ۳-۵ ۵۷
جدول (۳-۱۶): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۵ سینه‌کار ۵-۱ ۵۸
جدول (۳-۱۷): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۵ سینه‌کار ۵-۲ ۵۸

جدول (۳-۱۸): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۵ سینه‌کار ۵-۳.....۵۹
جدول (۳-۱۹): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۵ سینه‌کار ۵-۴.....۵۹
جدول (۳-۲۰): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۵ سینه‌کار ۵-۵.....۶۰
جدول (۳-۲۱): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۶ سینه‌کار ۶-۱.....۶۰
جدول (۳-۲۲): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۶ سینه‌کار ۶-۲.....۶۱
جدول(۳-۲۳): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۶ سینه‌کار ۶-۳.....۶۱
جدول (۳-۲۴): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۶ سینه‌کار ۶-۴.....۶۲
جدول (۳-۲۵): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۶ سینه‌کار ۶-۵.....۶۲
جدول (۳-۲۶): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۷ سینه‌کار ۷-۱.....۶۳
جدول (۳-۲۷): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۷ سینه‌کار ۷-۲.....۶۳
جدول (۳-۲۸): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۷ سینه‌کار ۷-۳.....۶۴
جدول (۳-۲۹): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۷ سینه‌کار۷-۴.....۶۴
جدول (۳-۳۰): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۷ سینه‌کار ۷-۵.....۶۵
جدول (۳-۳۱): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۸ سینه‌کار ۸-۱.....۶۵
جدول (۳-۳۲): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۸ سینه‌کار ۸-۲.....۶۶
جدول (۳-۳۳): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۸ سینه‌کار۸-۳..... ۶۶
جدول (۳-۳۴): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۸ سینه‌کار۸-۴.....۶۷
جدول (۳-۳۵): برآورد شاخص قابلیت انفجار با استفاده از ویژگی‌های توده‌سنگ برجا زون شماره ۸ سینه‌کار ۸-۵..... ۶۷
جدول (۳-۳۶): مقادیر خرج ویژه حاصل از شاخص قابلیت انفجار (BI) و خرج ویژه فعلی به کار گرفته شده در محل‌های مختلف زون‌های معدن رشکان..... ۷۰
جدول (۳-۳۷): پارامترهای فعلی و عملیاتی چال‌های انفجار در سینه‌کارهای معدن آهک رشکان..... ۷۳
جدول (۳-۳۸): نتایج مربوط به پیش بینی متوسط ابعاد قطعات خرد شده ($\overline{X}$) با به کارگیری مدل اصلاح شده کاز-رام ضمن استفاده از شاخص قابلیت انفجار و الگوی چال‌های انفجار مورد استفاده فعلی در محل‌های متعدد زون‌های شش‌گانه معدن سنگ آهک رشکان..... ۷۴
جدول (۳-۳۹): نتایج مربوط به پیش بینی الگوی چال‌های انفجار و خرج‌ویژه با به کارگیری مدل اصلاح شده کاز-رام ضمن استفاده از شاخص قابلیت انفجار در محل‌های متعدد زون‌های شش‌گانه معدن آهک رشکان..... ۷۷
جدول (۳-۴۰): مشخصات پارامترهای چال انفجار و رابطه بین آن‌ها در سینه‌کارهای زون ۱..... ۷۹
جدول (۳-۴۱): مشخصات پارامترهای چال انفجار و رابطه بین آن‌ها در سینه‌کارهای زون ۳..... ۸۰
جدول (۳-۴۲): مشخصات پارامترهای چال انفجار و رابطه بین آن‌ها در سینه‌کارهای زون ۵..... ۸۱
جدول (۳-۴۳): مشخصات پارامترهای چال انفجار و رابطه بین آن‌ها در سینه‌کارهای زون ۶..... ۸۲

جدول (۳-۴۴): مشخصات پارامترهای چال انفجار و رابطه بین آن‌ها در سینه‌کارهای زون ۷.....۸۳
جدول (۳-۴۵): مشخصات پارامترهای چال انفجار و رابطه بین آن‌ها در سینه‌کارهای زون ۸.....۸۴

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل (۲-۱): منحنی دانه‌بندی مواد به صورت درصد باقی مانده روی سرند به ازای اندازه چشمه سرند..... ۲۷
شکل (۲-۲): پارامترهای الگوی انفجار در یک پله آتشباری..... ۲۸
شکل(۲-۳): تصویر مناسب در روش آنالیز تصویری..... ۳۴
شکل(۳-۱): نمایش زون‌های مورد تحقیق روی تصویر ماهواره‌ای از معدن سنگ آهک رشکان..... ۳۹
شکل (۳-۲): تصویری برای نمایش وضعیت زون شماره یک..... ۴۵
شکل (۳-۳): تصویری برای نمایش وضعیت زون شماره سه..... ۴۶
شکل (۳-۴): تصویری برای نمایش وضعیت زون شماره پنج..... ۴۶
شکل (۳-۵): تصویری برای نمایش وضعیت زون شماره شش..... ۴۷
شکل (۳-۶): تصویری برای نمایش وضعیت زون شماره هفت..... ۴۷
شکل (۳-۷): تصویری برای نمایش وضعیت زون شماره هشت..... ۴۸
شکل (۳-۸): مقدار شاخص قابلیت انفجار (BI) در ۳۱ محل مختلف زون‌های شش‌گانه در روی تصویر ماهواره ای معدن سنگ آهک رشکان..... ۶۸
شکل (۳-۹): مقایسه شاخص قابلیت انفجار در شش زون مورد مطالعه..... ۶۹
شکل (۳-۱۰): مقادیر پیش‌بینی شده متوسط ابعاد قطعات خرد شده سنگ ($\overline{X}$) با استفاده از شاخص قابلیت انفجار و الگوی چال‌های انفجار مورد استفاده فعلی در محل‌های متعدد زون‌های شش‌گانه معدن سنگ آهک رشکان..... ۷۵
شکل (۳-۱۱): مقادیر خرج ویژه پیش‌بینی شده با به کارگیری مدل اصلاح شده کاز-رام برای متوسط ابعاد قطعات خرد شده ($\overline{X}$) برابر ۱۵ سانتیمتر و خرج ویژه مورد استفاده فعلی معدن در محل‌های مختلف زون‌های شش‌گانه معدن سنگ آهک رشکان..... ۷۸

چکیده

ویژگی‌های مؤثر توده‌های سنگ برجا بر شاخص قابلیت انفجار (BI) از یک زون به زون دیگر در یک معدن می‌تواند متغیر باشد و به تبع آن خرج ویژه و الگوی چال‌های انفجار و میزان خردایش نیز متغیر است. در شاخص قابلیت انفجار به صورت یک طبقه‌بندی توده‌سنگ، تعداد قابل ملاحظه‌ای از ویژگی‌های توده سنگِ مؤثر بر خرج ویژه درنظر گرفته شده است و مدل اصلاح شده کاز – رام میزان خردایش ناشی از انفجار مبتنی بر BI و الگوی چال‌های انفجار را پیش‌بینی می‌نماید. در این تحقیق خرج ویژه و الگوی چال‌های انفجار مبتنی بر ویژگی‌های توده سنگ برجا و خردایش حاصل از به کارگیری مدل اصلاح شده کاز–رام در محل‌های مختلف زون‌های معدن سنگ آهک کارخانه سیمان ارومیه مورد بررسی قرار گرفته شده است. پارامترهای توده‌سنگ در شاخص قابلیت انفجار شامل: شرح توده‌سنگ، فاصله ناپیوستگی‌ها، جهت یافتگی ناپیوستگی‌ها، وزن مخصوص و مقاومت فشاری یک محوری به صورت برجا و آزمایشگاهی در محل‌های مختلف هر یک از زون‌های معدن اندازه‌گیری شده و براین اساس شاخص قابلیت انفجار در معدن زون‌بندی شده است. نتایج نشان می دهد که شاخص قابلیت انفجار از ۳۷/۱ تا ۶۳/۲ متغیر است. همچنین خرج ویژه بر اساس BI در محل‌های مختلف زون‌های معدن برآورد شده که مقدار آن از ۰/۳۸۶ کیلوگرم بر متر مکعب تا ۰/۶۵۲ کیلوگرم بر متر مکعب در زون‌های مختلف تغییر می‌نماید. اما عملاً در حال حاضر تنها یک مقدار خرج ویژه ثابت و برابر ۰/۵۰۴ کیلوگرم بر مترمکعب برای تمامی سینه‌کارها در هریک از زون‌های مختلف توسط پیمانکار استفاده می‌شود. مقدار متوسط ابعاد قطعات سنگ خرد شده ($\overline{X}$) با استفاده از زون بندی شاخص قابلیت انفجار و الگوی چال‌های موجود مورد استفاده در معدن و با به کارگیری مدل اصلاح شده کاز–رام در محل‌های مختلف هر یک از زون‌های معدن پیش بینی شده است. مقدار متوسط ابعاد قطعات سنگ خرد شده ($\overline{X}$) با توجه به تغییرات شاخص قابلیت انفجار دارای تغییرات قابل توجهی است. همچنین خرج ویژه و الگوی چال های انفجار برای مقدار متوسط ابعاد قطعات سنگ خرد شده ($\overline{X}$) برابر ۱۵ سانتیمتر در محل‌های مختلف زون‌های معدن نیز پیش بینی شده است که دارای تغییرات قابل توجهی است.

واژه‌های کلیدی: ویژگی‌های توده سنگ، شاخص قابلیت انفجار، خرج ویژه، مدل اصلاح شده کاز-رام.

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

در طراحی حفر و انفجار، مهندس آتشبار در ابتدا لازم است بداند که با چه محیطی سر و کار دارد. ویژگی های توده سنگی تأثیر مهمی در عملکرد چالزنی و آتشباری دارند. روش‌های مختلفی جهت طراحی الگوی چال‌های انفجار از دهه‌های پیش ارائه شده است. برخی از راه‌کارهای ارائه شده مثل کونیا (۱۹۸۳) و اش (۱۹۶۳) و غیره از بین ویژگی‌های توده سنگ تنها به یک ویژگی اکتفا نموده و مبین تأثیر ویژگی‌های متعدد توده سنگ در عملکرد انفجار نیستند. تعداد طبقه بندی‌هایی که ویژگی‌های متعدد و مهم توده سنگ به منظور چالزنی و آتشباری در آن‌ها ملاحظه شده زیاد نیستند. مهم‌ترین و مرسوم‌ترین روش مبتنی بر ویژگی‌های توده سنگ به علت در نظر گرفتن پارامترهای بیشتر، طبقه بندی لیلی (۱۹۸۶) تحت عنوان شاخص قابلیت انفجار می‌باشد. خردایش توده سنگ آتشباری شده، بعنوان یکی ازمهمترین نتایج انفجار، تأثیر بسزایی در هزینه‌های عملیات حفاری، انفجار، بارگیری، باربری و سنگ شکنی دارد. افزایش خردشدگی توده سنگ توسط انفجار سبب بالا رفتن هزینه‌های حفاری و انفجار می‌گردد. اما باعث سهولت عملیات بارگیری و باربری، کاهش مصرف انرژی در مرحله سنگ شکنی اولیه و عدم نیاز به آتشباری ثانویه می‌شود. بنابراین عامل اساسی برای موفقیت انفجار در یک جبهه‌کار، خرد شدگی مناسب است که در به حداقل رساندن هزینه‌های معدنکاری نقشی اساسی ایفا می‌کند.

با توجه به این که توده سنگ جسم جامد ناهمگن و ناهمسانگرد می‌باشد و دارای انواع ناپیوستگی‌هاست استفاده از روش‌های مبتنی بر ویژگی‌های بر جای توده سنگ بیشتر می‌توانند مبین واقعیت باشند. در سال های اخیر به ندرت در بعضی از معادن چنین روش‌هایی در کشور به کار گرفته شده است. طراحی آتشباری و تداوم اجرای صحیح و علمی عملیات آتشباری در خصوص خرج ویژه مبتنی بر ویژگی‌های بر جای توده سنگ یک نیاز حاد و بسیار مهم در معادن است. حتی در یک معدن ویژگی‌های بر جای توده سنگ مؤثر بر آتشباری از یک محل به محل دیگر می‌تواند تغییر نماید. بنابراین نیاز است که ابتدا ویژگی‌های برجای توده سنگ با استفاده از روش‌های جامعی همچون روش قابلیت انفجار که به صورت یک طبقه بندی توده سنگ ارائه شده در زون‌های مختلف یک معدن تعیین شود. تا در مراحل بعدی بتوان فرآیند حفر و انفجار و خردایش را به صورت اصولی و مبتنی بر طبیعت توده سنگ اجرا نمود.

معدن سنگ آهک کارخانه سیمان ارومیه یکی از بزرگترین معادن استان آذربایجان غربی است. تغییرات قابل توجهی در ویژگی‌های مؤثر توده‌های سنگ بر جا در حفر و انفجار در این معدن مورد انتظار است. در پله‌های

فصل اول : مقدمه

متعدد معدن زون‌های متنوع توده‌های سنگ برجا دارای تغییرات وسیع از سست‌ترین تا سخت‌ترین وضعیت وجود دارند. با توجه به ناهمگونی وسیع در ویژگی‌های توده‌های سنگ برجا، هنوز تحقیقی در جهت زون بندی شاخص قابلیت انفجار، خرج ویژه و الگوی چال‌های انفجار در این معدن به عمل نیامده است. انجام چنین تحقیقی یکی از نیازهای حاد و اساسی این معدن می تواند باشد.

در این تحقیق ابتدا ویژگی‌های مؤثر توده‌های سنگ برجا مورد نیاز در طبقه بندی شاخص قابلیت انفجار[۱] (BI) (لیلی،۱۹۸۶) در زون‌های مختلف اندازه‌گیری می‌شود. با مشخص شدن شاخص قابلیت انفجار، خرج ویژه به عنوان تابعی از ویژگی‌های برجای توده‌ها برآورد می‌شود. زون بندی شاخص قابلیت انفجار در معدن خود پایه‌ای برای انجام عملیات بعدی است. کونینگهام[۲](۱۹۸۷)، مدل کاز - رام بر گرفته از نام‌های کازنتسوف[۳] و رزین – راملر[۴] را با استفاده از طبقه بندی شاخص قابلیت انفجار (BI) اصلاح نمود. این مدل که در حال حاضر جامع‌ترین مدل برای پیش بینی میزان خردایش سنگ است بر اساس سه عامل شاخص قابلیت انفجار (BI)، خرج ویژه یا الگوی چال‌ها و اندازه قطعات سنگ خرد شده است. پس از این که در زون-های مختلف شاخص قابلیت انفجار تعیین شد، در مدل کاز رام پیش بینی خردایش به خرج ویژه بستگی دارد. با تغییر خرج ویژه، اندازه‌های مختلف قطعات سنگ حاصل از انفجار را می‌توان در زون‌های مختلف پیش بینی نمود. همچنین برای داشتن میزان خردایش قطعات سنگ حاصل از انفجار، خرج ویژه را می‌توان در زون‌های مختلف پیش‌بینی نمود.

این پایان نامه شامل چهار فصل است. فصل اول مقدمه حاضر است. مروری بر پیشینه موضوع در فصل دوم ارائه شده است. در این فصل بیشتر روش‌های برآورد خرج ویژه مرور و شرح داده شده است و تمرکز اساسی روی برآورد خرج ویژه مبتنی بر ویژگی‌های برجای توده‌سنگ به عمل آمده است و ویژگی‌های مؤثر توده سنگ در آتشباری به صورت مبسوط آورده شده است. زون‌بندی خرج ویژه مبتنی بر ویژگی‌های بر جای توده سنگ در معدن سنگ آهک کارخانه سیمان ارومیه در فصل سوم ارائه شده است و دست‌آوردهای پایان نامه و پیشنهادات در فصل چهارم تحت عنوان نتیجه‌گیری و پیشنهادات آمده است.

---

[۱] - Blastability Index

[۲]- Cunningham

[۳]- Kuznetsov

[۴]- Rosin and Rammler

فصل دوم

مروری بر پیشینه روش‌های برآورد خرج ویژه و انواع روش‌های پیش بینی و تعیین دانه‌بندی خردایش

۲-۱ مقدمه

خرج ویژه عبارت است از مقدار خرج ماده منفجره تقسیم بر حجم سنگی که در یک چال به دست می‌آید و به کیلوگرم بر مترمکعب یا کیلوگرم بر تن تعیین می شود. خرج ویژه متأثر از ویژگی‌های توده سنگ، نوع ماده منفجره، سطح آزاد و میزان خردایش مورد نظر سنگ است. به علت اینکه قیمت واحد وزن خرج آنفو ۱۲ درصد خرج دینامیت است (مومیوند، ۱۳۸۷)، طی دهه‌های گذشته استفاده از خرج آنفو به ویژه در شرایط خشک نسبت به سایر مواد منفجره افزایش قابل توجهی داشته و مزایای متعددی برای آن ذکر شده است. خرج اصلی مورد استفاده در معادن معمولاً آنفو می‌باشد و از دینامیت بعنوان پرایمر در ته چال استفاده می‌شود. با داشتن خرج ویژه (q)، می‌توان مقدار پارامتر های اساسی همچون بار سنگ (B) را بعنوان تابعی از قطر چال (ϕ_h) بدست آورد. هرچه خرج ویژه کاهش یابد، نسبت بارسنگ به قطر چال افزایش می‌یابد. دو پارامتر خرج ویژه و نسبت بارسنگ به قطر چال، دو عامل مهم در طراحی چال‌های انفجار هستند. این دو پارامتر روی همدیگر نیز تأثیر مستقیم داشته یا به عبارتی دیگر گویای یک واقعیت هستند. خرج ویژه و نسبت $\frac{B}{\phi_h}$ (الگوی چال‌های انفجار) را به طرق مختلف بشرح زیر می‌توان برآورد نمود:

۱- برآورد خرج ویژه با استفاده از جداول تجربی برای بعضی از سنگ‌ها

۲- برآورد خرج ویژه با استفاده از فرمول‌های انتقال انرژی از ماده منفجره به سنگ و مقدار انرژی جهت خردایش سنگ

۳- برآورد نسبت $\frac{B}{\phi_h}$ با استفاده ازفرمول‌های تجربی

۴- استفاده از روش‌های مبتنی بر ویژگی توده سنگ همچون روش شاخص قابلیت انفجار[1] (BI) (لیلی،۱۹۸۶) و شاخص خردایش سنگ[2] (RFI) (مومیوند، ۱۳۸۶).

۵- برآورد خرج ویژه و الگوی چال‌های انفجار به صورت تجربی طی انجام عملیات چالزنی و آتشباری با حداقل نمودن قیمت تمام شده.

ارزیابی توزیع خردایش ابزار اولیه بهینه سازی انفجار است، چرا که هنگام بررسی تاثیر پارامترهای انفجاری، تنها وسیله مقایسه طرح‌های انفجاری مختلف خردایش حاصله است. خردایش سنگ در مراحل بعدی

[1] - Blastability Index
[2] - Rock fragmentation Index

عملیات معدنکاری مانند سنگ شکنی و آسیا تاثیرگذار بوده و حصول قطعات با ابعاد مناسب تاثیر قابل توجهی در کاهش هزینه‌های آن‌ها دارد. در طی دهه‌های اخیر روش‌های مختلفی برای ارزیابی خردایش توده سنگ بر اساس تجارب و تحلیل‌ها حاصل گردیده است که به طور کلی می توان به صورت زیر دسته بندی کرد:

۱- روش‌های پیش بینی میزان خردایش سنگ انفجار
۲- روش‌های تعیین میزان خردایش سنگ پس از انفجار

در این فصل مروری بر روش‌های برآورد خرج ویژه، روش‌های پیش بینی میزان خردایش سنگ و روش‌های تعیین میزان خردایش سنگ پس از انفجار (درصد وزنی اندازه قطعات سنگ حاصل از آتشباری) شرح داده می‌شوند.

۲-۲ انواع روش‌های برآورد خرج ویژه

۲-۲-۱ برآورد خرج ویژه با استفاده از جداول تجربی برای بعضی از سنگ‌ها

جداول خرج ویژه بر اساس نوع سنگ یا مقاومت فشاری یک محوری (جداول ۲-۱ تا ۲-۵) برای راهنمایی و مقایسه و در ابتدای کار ممکن است استفاده شوند. مقدار خرج ویژه استفاده شده از طریق این جداول بسیار دور از واقعیت بوده، حتی در مراحل اولیه آتشباری می‌تواند باعث خسارت مالی گردد. یکی از مزیت‌های وجود چنین جداولی، آگاهی مهندس آتشبار از دامنه تغییرات خرج ویژه است.

جدول ۲-۱ خرج ویژه بعضی از سنگ‌ها با مشخصات ذکر شده (استوار،۱۳۷۷)

کیفیت سنگ	خرج ویژه به کیلوگرم بر مترمکعب
کم مقاومت در برابر شکسته شدن	۰/۲۵-۰/۱۵
سنگ با مقاومت متوسط در برابر شکسته شدن	۰/۴۵-۰/۲۵
سنگ با مقاومت زیاد در برابر شکسته شدن	۰/۷۵-۰/۴۵
سنگ با مقاومت خیلی زیاد در برابر شکسته شدن	۱/۵-۰/۷۵
سنگ خیلی ترک خورده	۰/۶۰
سنگ ترک دار	۰/۵۵
سنگ معمولی با ترک‌های موئی	۰/۵۰
سنگ نسبتا همگن	۰/۴۵
سنگ همگن	۰/۴۰

جدول۲-۲ راهنمای خرج ویژه برای بعضی از سنگ‌ها با مقاومت‌های مختلف (سن،۱۹۹۳)

کاتاگوری عمومی مقاومت فشاری یک محوری به MPa	نوع سنگ	خرج ویژه (kg/m^3) فقط به عنوان راهنما	ضریب سنگ کاز-رام *(A)
سخت(۲۰۰<)	آندزیت دولومیت گرانیت سنگ آهن Silcrete	۰/۷	۱۲ -۱۴
متوسط(۲۰۰-۱۰۰)	دولومیت هورنفلس کوارتزیت سرپانتینیت شیست	۰/۴۵	۱۰ -۱۱
نرم(۱۰۰-۵۰)	ماسه سنگ Calcrete آهک شیل	۰/۳۰	۸ -۹
خیلی نرم(۵۰<)	زغال سنگ	۰/۱۵ -۰/۲۵	۶

* ضریب A در مدل کاز-رام که بعداً در قسمت روش‌های مبتنی بر ویژگی‌های توده سنگ شرح داده خواهد شد.

جدول ۲-۳ خرج ویژه برای معدنکاری سطحی زغال سنگ(بهانداری،۱۹۹۷)

تجهیزات اصلی برداشت	واحد زمین شناسی خرد شده	خرج ویژه(Kg/m^3)	ارتفاع پله (m)
دراگ لاین بزرگ	شیل	۰/۳۰	۱۵
	شیل	۰/۳۵ -۰/۴۰	۲۰ -۳۰
	ماسه سنگ	۰/۳۵	۱۸
دراگ لاین کوچک	شیل	۰/۲۰	۶
	شیل	۰/۵۰	۷/۵
	شیل	۰/۳۵	۱۸
	ماسه سنگ	۰/۶۵	۲۶
لودر خاک بر سر	شیل	۰/۳۵	۹
	ماسه سنگ	۰/۶۵	۱۶
	ماسه سنگ	۰/۴ -۰/۵	۲۰

جدول ۲-۴ خرج ویژه برای معدنکاری سطحی فلزات(بهانداری،۱۹۹۷)

نوع سنگ	خرج ویژه (Kg/m^3)
سنگ آهک هوازده	۰/۳۰
پورفیری هوازده	۰/۳۵
ریولیت برشی	۰/۴۵
مونزونیت پورفیری	۰/۶۰
کوارتز سریسیتی پورفیری	۰/۶۰
سنگ آهک بدون هوازدگی	۰/۶۰
ژاسپر توده‌ای	۰/۷۵

جدول ۲-۵ خرج ویژه توصیه شده توسط CMRI در کانسارهای سنگی مختلف (CMRI،۲۰۰۲)

نوع توده سنگ	خرج ویژه (Kg/m^3)
۱- ماسه سنگ- آبرفت	۰/۴۰-۰/۵۵
۲- دولومیت و سنگ آهک دگررسوبی	۰/۴۰
۳- رگه‌های بزرگ شیل ماسه ای سخت و ماسه سنگ درشت دانه	۰/۵۰-۰/۶۵
۴- کانسارهای لاتریتی،کانسارهای آهن لیمونیتی،کانسارهای لایه‌ای	۰/۷۰-۰/۷۵
۵- گنایس و شیست وانواع آن‌ها	۰/۲۵-۰/۳۰
۶- ماسه سنگ توده‌ای با میان لایه‌های شیل ماسه‌ای یا لایه‌های	۰/۳۰-۰/۳۵
شیل	۰/۶۰
۷- لاتریت‌های آهن‌دار توده‌ای	۰/۳۰
۸- ماسه سنگ هوازده توده‌ای	۰/۳۵
۹- ماسه سنگ لایه‌ای متراکم	۰/۳۳-۰/۳۵
۱۰- سنگ آهک لایه‌ای ضخیم،سخت و متراکم	۰/۴۰-۰/۴۴
۱۱- ماسه سنگ متراکم سخت متاثر از انفجار	۰/۳۵-۰/۴۰
۱۲- سنگ آهک بلوکی رسوبی	۰/۴۴
۱۳- کانسار آهن الف) سنگ نرم	۰/۶۵
ب) گرد و غبار آبی سرمته کوچک شکننده وسخت	۰/۷۱
ج) ترکیب سرمته کوچک نرم وسخت	۰/۷۵
د) کانه سخت	۰/۲۵
۱۴- پوشش لاتریتی بسیار شکسته شده درزه‌دار و هوازده	۰/۴۰-۰/۴۵
۱۵- دولومیت کلسیتی شکاف‌دار و درزه‌دار	۰/۳۰-۰/۳۵
۱۶- ماسه سنگ‌های فلدسپاتی رسی درشت تا قلوه‌سنگی	