

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک
گروه استخراج معدن

بهینه‌سازی خرج ویژه توده‌های B و C شمالی معدن سنگ آهن سنگان

دانشجو : حسین علی اکبری بیدختی

اساتید راهنما :

دکتر محمد عطایی

دکتر فرهنگ سرشکی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۹۲

۹۳،۱۲،۱۲
۹۳،۱۲،۱۲

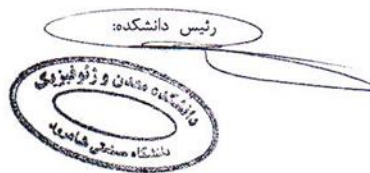
فرم شماره ۶: صورتجلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای حسین علی اکبری بیدختی، رشته مهندسی معدن گرایش استخراج معدن تحت بهینه سازی خرج ویژه توده های B و C شمالی معدن سنگ آهن سنگان که در تاریخ ۱۳۹۲/۱۱/۲۸ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه : خوب امتیاز: ۱۷/۷۵) امتیاز دفاع مجدد مردود

- ۱- عالی (۲۰-۱۹)
۲- بسیار خوب (۱۸-۱۸/۹۹)
۳- خوب (۱۶-۱۷/۹۹)
۴- قابل قبول (۱۴-۱۵/۹۹)
۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استاد	دکتر محمد عطایی	۱- استاداراهتمای اول
	دانشیار	دکتر فرهنگ سرشکی	۲- استاداراهتمای دوم
			۳- استاد مشاور
	استاد	دکتر سید رحمان ترابی	۴- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی
	استاد	دکتر رضا خالوکاکابی	۵- استاد ممتحن اول
	استادیار	دکتر شکرالله زارع	۶- استاد ممتحن دوم



تقدیم بہ:

ہمار

درمستان عجیبی کہ تمام سروہاںج بست

و تلاش ہا اکید شد

.....

شکر و قدردانی

”سپاس خدای را که خرد را در خداوندانی یقین داد و درود بر پیامبر مهربانی و خاندان پاک و بهاری اش.“

بیچ کس از پیش خود چیزی نشد
بیچ آهن نخر تیزی نشد

بر خود لازم می دانم به حکم ادب از استادان راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر عطایی و دکتر سرشکی که با حسن خلق در تمامی مراحل پایان نامه از شما گرد
گزیزهای شان دستگیری کردند، پاسکزاری کنم.

از داوران کراتقدر جناب آقای دکتر خالوکا کاپی و دکتر زارع که زحمت داوری پایان نامه را قبل فرمودند و جناب آقای دکتر ترابی ناینده محترم تحصیلات
تکمیلی قدردانی می کنم.

از مدیران و کارکنان مجتمع سنگ آهن سخنان و شرکت های کانی کاوان شرق، کانسگران و طوس مسیر و از مهرورزان جوان آقای مهندس داوود علیپور، حامد
طاهری، محمد قدیری، محمد مهدی غنچوار، سجاد محمدی و امیر صفاری برای بھاری در طول انجام این تحقیق تشکر می کنم.

عزت و صحت بھگان را از خداوند بھجان خواهیم؛ چشم شان به صبح روشنائی روشن، انشا... ..

تعهد نامه

اینجانب حسین علی اکبری بیدختی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی استخراج معدن دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بهینه سازی خرج ویژه توده های C شمالی و B معدن سنگ آهن سنگان تحت راهنمایی دکتر محمد عطایی و دکتر فرهنگ سرشکی متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.

- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ: ۹۲/۱۱/۲۸



امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

یکی از مهمترین فعالیت های مرتبط با استخراج مواد معدنی، عملیات انفجار می باشد. در این راستا خردایش و جابجایی مناسب سنگ و کاهش اثرات جانبی پس از انفجار از اهمیت بالایی برخوردار است. از طرفی ابعاد خرد شده توده سنگ توسط عملیات انفجار بر مراحل بعدی و هزینه های کلی تولید تأثیرگذار است. خرج ویژه به عنوان ابزار عمده کنترل خردایش، تأثیر مستقیم بر میزان خرد شدگی دارد؛ علاوه بر ابعاد سنگ های خرد شده، در ایجاد لرزش زمین، پرتاب سنگ و

انفجار هوا مؤثر است. برای طراحی صحیح الگوی آتشباری و بهینه‌سازی خرج ویژه، هر دو گروه عوامل قابل کنترل و غیرقابل کنترل باید همزمان مورد توجه قرار گیرند. شرایط زمین شناسی منطقه، کیفیت توده سنگ، هندسه الگو، نوع تجهیزات بارگیری و حمل و... از جمله مواردی هستند که باید مورد توجه طراح باشند. اغلب، طراحی الگوها بر اساس روش‌های تجربی صورت می‌گیرد. در این روش‌ها معمولاً فقط تعداد محدودی از پارامترهای مؤثر در نظر گرفته می‌شود که این امر باعث کاهش کارایی آن‌ها شده است. اما روش‌هایی نیز وجود دارد که مبتنی بر مشخصات توده سنگ بوده و اساس طراحی در آن‌ها توجه به خصوصیات ماده و توده سنگ به ویژه خصوصیات مربوط به شرایط درزه‌داری می‌باشد.

در این تحقیق ابتدا منابع علمی موجود در زمینه انفجار، پارامترهای مؤثر در طراحی الگوی آتشکاری و تعیین خرج ویژه، روش‌ها و به طور عمده روش‌های مبتنی بر مشخصات توده سنگ مورد مطالعه قرار گرفته است. در ادامه پس از بررسی نتایج انفجارهای انجام شده در معدن سنگ آهن سنگان، مشکلات و نواقص موجود شناسایی و پس از بررسی دلایل احتمالی بروز آنها، پیشنهاداتی برای بهبود وضع موجود ارائه شده است.

در ادامه به عنوان مطالعه موردی برای انجام مطالعات صحرایی و جمع‌آوری داده‌ها، در نقاط مختلف توده‌های B و C شمالی معدن سنگ آهن سنگان، مشخصات مهندسی توده سنگ مورد نیاز در تعیین شاخص‌های قابلیت انفجار (BI) و خردایش سنگ (RFI) مورد مطالعه و برداشت صحرایی قرار گرفته است. از هر یک از نقاط فوق نمونه‌هایی از ماده سنگ جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شده و بر روی آنها آزمایش‌های مقاومت بار نقطه‌ای، چگالی و سختی انجام شده است. پس از تعیین خواص مکانیکی ماده سنگ و مشخصات ژئومکانیکی توده سنگ، شاخص‌های قابلیت انفجار و خردایش سنگ برای توده سنگ‌های موجود در محل‌های مورد مطالعه تعیین شده است. سپس با استفاده از شاخص‌های مذکور محدوده استخراجی مورد نظر زون‌بندی و خرج ویژه متناظر با هر زون تعیین شده است. در پایان نتایج طراحی توسط روش‌های مبتنی بر توده سنگ و الگوهای اجرا شده در معدن با

یکدیگر مقایسه و مشخص شد در نقاطی که مشخصات الگوهای اجرایی نزدیک به الگوهای طراحی

شده با شاخص قابلیت انفجار (BI) بوده، نتایج بهتری نسبت به سایر انفجارها داشته است.

کلمات کلیدی: ارزیابی انفجار، شاخص قابلیت انفجار، شاخص خردایش سنگ

فهرست مطالب

فصل اول - تئوری و کلیات

مقدمه.....	۲	۱-۱
معرفی منطقه مورد مطالعه (معدن سنگ آهن سنگان).....	۳	۲-۱
تعریف مساله.....	۵	۳-۱
ضرورت انجام تحقیق.....	۶	۴-۱
اهداف.....	۶	۵-۱

۶ ساختار پایان نامه	۶-۱
---	-------------------------	-----

فصل دوم - عوامل مؤثر بر پدیده آتشباری طراحی الگوی آتشباری در معادن روباز

۱۰	..... مقدمه	۱-۲
۱۱	..... تأثیر ویژگی های توده سنگ بر فرآیند آتشباری	۲-۲
۱۳	..... تأثیرات ناپیوستگی های توده سنگ	۱-۲-۲
۱۴	..... فاصله داری درزه ها	۱-۱-۲-۲
۱۴	..... جهت یافتگی درزه ها	۲-۱-۲-۲
۱۵	..... اندازه دهانه و پرکننده ها	۳-۱-۲-۲
۱۶	..... تأثیر مشخصات ماده سنگ	۲-۲-۲
۱۶	..... مقاومت فشاری	۱-۲-۲-۲
۱۸	..... چگالی	۲-۲-۲-۲
۱۸	..... هندسه الگوی آتشباری	۳-۲
۲۱	..... نتیجه گیری	۴-۲

فصل سوم - روش های برآورد خرج ویژه در آتشباری معادن روباز

۲۴	..... مقدمه	۱-۳
۲۵	..... روش های برآورد خرج ویژه در آتشباری معادن روباز	۲-۳
۲۶	..... استفاده از جداول تجربی خرج ویژه	۱-۲-۳
۲۷	..... استفاده از روابط انتقال انرژی	۲-۲-۳
۲۸	..... اشبی	۳-۲-۳
۲۹	..... جمینو لویز	۴-۲-۳
۳۰	..... لیلی	۵-۲-۳
۳۲	..... مومیوند	۶-۲-۳
۳۴	..... پارامترهای مهم در برآورد خرج ویژه	۳-۳
۳۵	..... نقد و بررسی مطالعات انجام شده	۴-۳

فصل چهارم - ارزیابی نتایج انفجارهای انجام شده در معدن سنگ آهن سخالین

مقدمه.....	۳۸	۱-۴
ارزیابی نتایج پس از انفجار.....	۳۸	۲-۴
شکل هندسی، ارتفاع و میزان جابجایی.....	۳۸	۱-۲-۴
کیفیت خردایش.....	۳۹	۲-۲-۴
اثرات زیست محیطی پس از انفجار.....	۴۰	۳-۲-۴
ارزیابی و بررسی انفجارهای ثبت شده در معدن سنگان.....	۴۱	۳-۴
مشکلات مشاهده شده در معدن.....	۴۳	۱-۳-۴
ارزیابی کمی انفجارهای انجام شده.....	۴۵	۴-۴
شکل هندسی، ارتفاع و میزان جابجایی کپه حاصل از انفجار.....	۴۵	۱-۴-۴
کیفیت خردایش.....	۴۹	۲-۴-۴
وضعیت عقب‌زدگی.....	۵۷	۳-۴-۴
پرتاب سنگ.....	۵۹	۴-۴-۴
نتیجه‌گیری.....	۶۱	۵-۴

فصل پنجم - زون بندی معدن سنگ آهن سخالین بر اساس قابلیت انفجار

مقدمه.....	۶۴	۱-۵
مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی.....	۶۵	۲-۵
مقاومت فشاری تک محوری.....	۶۶	۱-۲-۵
وزن مخصوص و سختی موهس.....	۶۸	۲-۲-۵
مطالعات صحرایی.....	۶۸	۳-۲-۵
شاخص قابلیت انفجار.....	۶۹	۳-۵
شاخص خردایش سنگ.....	۷۰	۴-۵

برآورد خرج ویژه زون بندی نهایی معدن	۷۱	۵-۵
بررسی خرج ویژه محاسبه شده توسط روش های مبتنی بر توده سنگ	۷۳	۶-۵
پیشنهاد الگوی مناسب	۷۵	۷-۵
فصل ششم- تجزیه و تحلیل		
خلاصه	۷۸	۱-۶
نتایج بررسی انفجارهای انجام شده	۷۹	۲-۶
پیشنهاداتی در زمینه طراحی و اجرای الگوهای انفجاری	۷۹	۳-۶
نتایج روش های طراحی مبتنی بر توده سنگ و زون بندی معدن	۸۰	۴-۶
پیشنهادهایی در زمینه استفاده از نتایج طراحی مبتنی بر توده سنگ ..	۸۱	۵-۶
منابع	۸۲	منابع

فهرست شکل ها

شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی کانسارهای سنگ آهن سنگان	۴
شکل ۲-۱: روندنمای ساختار پایان نامه	۷
شکل ۱-۲: اصول منطقی، پارامترهای قابل کنترل و غیر قابل کنترل در طراحی الگوی انفجار	۱۱
شکل ۲-۲: چرخه بهینه سازی در طراحی الگوی انفجار	۱۱
شکل ۳-۲: شکل سه بعدی اجزای یک بلوک انفجاری	۱۹
شکل ۱-۳: نمودار تجربی ارتباط بین خرج ویژه، فراوانی و مقاومت برشی درزه ها	۲۹
شکل ۲-۳: رابطه بین شاخص حفاری Ip و خرج ویژه	۳۰

- شکل ۴-۱: موقعیت بلوک‌های انفجارهای ثبت شده در توده B..... ۴۲
- شکل ۴-۲: موقعیت بلوک‌های انفجارهای ثبت شده در توده C_n ۴۲
- شکل ۴-۳: قطعات درشت تولید شده در برخی از انفجارهای انجام شده..... ۴۴
- شکل ۴-۴: عقب‌زدگی در انفجارهای انجام شده..... ۴۵
- شکل ۴-۵: مشخصات بیل معدن ۴۷
- شکل ۴-۶: فراوانی نمای ارتفاع کپه‌ها پس از انفجار (درصد) ۴۸
- شکل ۴-۷: فراوانی نمای جابجایی کپه‌ها پس از انفجار (درصد) ۴۹
- شکل ۴-۸: نمودار درصد فراوانی رده‌بندی شکل کپه پس از انفجار..... ۴۹
- شکل ۴-۹: روندنمای روش آنالیز تصویری با استفاده از نرم افزار Gold Size 2 ۵۰
- شکل ۴-۱۰: قرار دادن توپ به عنوان مقیاس بر روی دیپوی انفجار C_n-30 در عکس‌برداری..... ۵۱
- شکل ۴-۱۱: مرزیابی قطعات سنگ در تصاویر دیپوی انفجار C_n-30 ۵۲
- شکل ۴-۱۲: توزیع ابعادی تجمعی قطعات سنگ حاصل از انفجار C_n-30 در نرم افزار Gold Size ۵۳
- شکل ۴-۱۳: فراوانی نمای اندازه ذرات d_{75} (%)..... ۵۴
- شکل ۴-۱۴: فراوانی نمای اندازه ذرات d_{150} (%)..... ۵۴
- شکل ۴-۱۵: فراوانی نمای اندازه ذرات d_{300} (%)..... ۵۵
- شکل ۴-۱۶: فراوانی نمای بازدهی خردشدگی ۵۶
- شکل ۴-۱۷: فراوانی نمای کلاس بازدهی خردشدگی ۵۷
- شکل ۴-۱۸: فراوانی نمای عقب‌زدگی ۵۸
- شکل ۴-۱۹: نمودار درصد فراوانی کلاس‌های رده‌بندی عقب‌زدگی..... ۵۹
- شکل ۴-۲۰: فراوانی نمای پرتاب سنگ (درصد)..... ۶۱
- شکل ۴-۲۱: نمودار درصد فراوانی کلاس‌های رده‌بندی پرتاب سنگ..... ۶۱
- شکل ۵-۱: مراحل انجام مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی..... ۶۵
- شکل ۵-۲: دستگاه آزمایش بار نقطه‌ای..... ۶۷
- شکل ۵-۳: میزان خرج ویژه محاسبه شده توسط روش‌های مبتنی بر توده‌سنگ..... ۷۳

شکل ۴-۵: مقایسه خرج ویژه اجرایی و طراحی شده با روش BI و RFI..... ۷۴

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۲: پارامترهای چالزنی و آتشباری در معادن روباز..... ۱۹

جدول ۱-۳: انواع روش‌های برآورد خرج ویژه..... ۲۵

جدول ۲-۳: راهنمای خرج ویژه برای انواع سنگ‌های دارای مقاومت مختلف..... ۲۶

جدول ۳-۳: خرج ویژه بعضی سنگ‌ها با مشخصات ذکر شده..... ۲۶

جدول ۴-۳: مشخصات برخی از مواد منفجره پرمصرف..... ۲۷

جدول ۵-۳: امتیاز پارامترهای روش لیلی..... ۳۱

جدول ۶-۳: پارامترهای موثر در تعیین شاخص خردایش سنگ و امتیازهای آنان..... ۳۳

- جدول ۳-۷: مهم‌ترین پارامترهای مطالعه شده در برآورد خرج ویژه..... ۳۴
- جدول ۴-۱: مشخصات الگوهای انفجاری ثبت شده..... ۴۲
- جدول ۴-۲: رده‌بندی وضعیت کپه سنگ خرد شده..... ۴۶
- جدول ۴-۳: پارامترهای برداشت شده شکل کپه انفجارهای ثبت شده..... ۴۸
- جدول ۴-۴: رده‌بندی وضعیت خردشدگی..... ۵۵
- جدول ۴-۵: اندازه مشخصه انفجارهای ثبت شده..... ۵۶
- جدول ۴-۶: مقدار عقب‌زدگی انفجارهای ثبت شده..... ۵۸
- جدول ۴-۷: رده‌بندی شرایط شکستگی‌های ناخواسته..... ۵۸
- جدول ۴-۸: مقدار پرتاب سنگ انفجارهای انجام شده..... ۶۰
- جدول ۴-۹: ملاحظات زیست محیطی عملیات انفجار بر اساس تأثیرات زیست محیطی..... ۶۰
- جدول ۴-۱۰: نتایج نامطلوب ارزیابی انفجارهای ثبت شده..... ۶۲
- جدول ۵-۱: ارتباط شاخص بار نقطه ای با مقاومت فشاری تک محوره سنگ بر اساس RMR..... ۶۷
- جدول ۵-۲: مقادیر عدد اشمیت، بار نقطه ای و مقاومت فشاری..... ۶۷
- جدول ۵-۳: مقادیر مربوط به وزن مخصوص و سختی موهس..... ۶۸
- جدول ۵-۴: ناپیوستگی‌ها و شرح توده سنگ..... ۶۸
- جدول ۵-۵: نمونه فرم برداشت تعیین قابلیت انفجار..... ۶۹
- جدول ۵-۶: طبقه‌بندی قابلیت انفجار..... ۷۰
- جدول ۵-۷: امتیاز پارامترهای شاخص قابلیت انفجار..... ۷۰
- جدول ۵-۸: طبقه‌بندی شاخص خردایش سنگ..... ۷۱
- جدول ۵-۹: امتیاز پارامترهای شاخص خردایش سنگ..... ۷۱
- جدول ۵-۱۰: میزان خرج ویژه محاسبه شده توسط روش‌های مبتنی بر توده‌سنگ..... ۷۲
- جدول ۵-۱۱: مقادیر بارسنگ اجرایی و طراحی زون‌ها..... ۷۶
- جدول ۵-۱۲: مقادیر طراحی فاصله ردیفی چال‌ها، اضافه حفر چال و گل‌گذاری زون‌ها..... ۷۶

فصل اول - مقدمه و کلیات

۱-۱ مقدمه

آتشباری به عنوان یکی از مهم‌ترین مراحل استخراج معادن روباز نقش اساسی در راندمان تولید، برنامه‌ریزی تولید بلند مدت و کوتاه مدت، هزینه‌های استخراج و نیز مسائل زیست محیطی دارد. عموماً عملیات آتشباری در معادن به دو بخش کلی تقسیم می‌شود:

الف) طراحی الگوی انفجار

ب) پیاده سازی طرح و انجام عملیات آتشباری

طراحی الگوی آتشباری اولین قدم در چرخه عملیات معدن‌کاری روباز به شمار می‌رود. روشن است که انجام درست مرحله دوم به طور کامل وابسته به طراحی مناسب و با رعایت اصول مهندسی است.

ارتباط میزان خردایش مطلوب با الگوی آتشباری، نزدیک و دوطرفه است. میزان خردایش تعیین‌کننده این موضوع می‌باشد که چال‌های با عمق مشخص چگونه آرایش و خرج گذاری شوند تا خردشدگی توده سنگ مناسب باشد.

بارگیری و حمل ماده معدنی و باطله نیز به نتایج آتشباری وابسته است (Jimeno, 1995). میزان خردایش حاصل، ضریب تورم توده سنگ، میزان یکنواختی و شکل توده سنگ خرد شده از

جمله مهم‌ترین عوامل ناشی از آتشباری است که به طور چشمگیری راندمان و پارامترهای عملیاتی ترابری مثل ضریب پرشدگی جام لودر و شاول، سرعت بارگیری و استهلاک ماشین‌آلات را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین هر گونه تغییر در طراحی الگوی انفجار، کلیه پارامترهای بالا و در نهایت توان تولید معدن را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

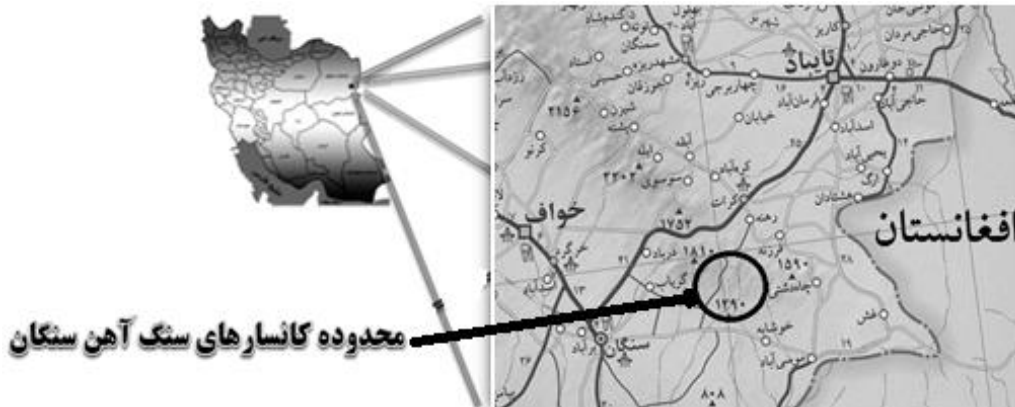
سنگ‌شکنی به عنوان آخرین مرحله از عملیات استخراج نیز به میزان قابل توجهی متأثر از نتایج آتشباری می‌باشد. میزان خردایش سنگ‌های تولیدی معدن به عنوان ورودی خط سنگ‌شکنی و کارخانه فرآوری از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. از نظر فنی ابعاد سنگ تولید شده در معدن نباید از ۸۰٪ دهانه سنگ‌شکن بزرگ‌تر بوده و از خروجی سنگ‌شکن نیز کوچک‌تر نباشد. خروج از این بازه باعث افزایش هزینه‌های تولید و کاهش راندمان عملیات سنگ‌شکن می‌شود. همچنین در معادنی که در فرآیند فرآوری آن‌ها از فلوتاسیون استفاده می‌شود، کنترل ذرات بسیار ریز حاصل از آتشباری بسیار حیاتی است؛ لذا چنانچه شرح داده شد طراحی الگوهای آتشباری به عنوان گام اول عملیات معدن‌کاری روباز از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است (سرشکی و همکاران، ۱۳۸۷). در مجموع طراحی و اجرای درست الگوی آتشباری باعث بهبود شرایط استخراج و وضعیت فنی و اقتصادی معدن می‌شود.

۲-۱ معرفی منطقه مورد مطالعه (معدن سنگ آهن سنگان)

ناحیه معدنی سنگ آهن سنگان در جنوب شرقی استان خراسان رضوی واقع شده و نزدیک‌ترین شهرستان به محل این کانسار، خواف است (شکل ۱-۱). راه ارتباطی از مشهد به محل کانسار از دو مسیر آسفالتی به شرح زیر قابل دسترسی است (www.simp.ir):

- مشهد، تربت حیدریه، خواف، سنگان، معدن

- مشهد، فریمان، تربت جام، تایباد، سنگان، معدن



شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی کانسارهای سنگ آهن سنگان (www.simp.ir)

کانسار سنگ آهن سنگان از لحاظ ساختاری در ایران مرکزی واقع شده و کانی‌سازی آن، از نوع اسکارن است. ابعاد تقریبی این کانسار در حدود 26×8 کیلومتر مربع بوده و از سه ناحیه معدنی شرقی، مرکزی و غربی تشکیل شده است و ذخیره زمین‌شناسی آن در حدود $1/2$ میلیارد تن تخمین زده می‌شود. آنچه که در حال حاضر به نام معادن اصلی سنگان معروف شده است در حقیقت محدوده غربی این کانسار می‌باشد که با مساحت تقریبی ۷ کیلومتر مربع بخش کوچکی از این کانسار را شامل می‌شود. در این محدوده نیز فقط توده‌های B و C شمالی مورد مطالعات تکمیلی قرار گرفته و بخش عمده ذخایر هنوز به طور کامل ارزیابی نشده‌اند (www.simp.ir).

توده B با ذخیره ۱۲۸ میلیون تن و عیار متوسط ۴۷ درصد، بزرگ‌ترین ذخیره آهن کانسار سنگان است. در این توده ضخامت زون کانی‌سازی ۳۰۰-۱۳۰ متر است که با شیب تند تا عمق بیشتر از ۵۰۰ متر ادامه دارد.

توده C_n با ذخیره ۸۶ میلیون تن و عیار متوسط ۵۴/۹ درصد، دارای بالاترین عیار در بین ذخایر کانسار سنگان است. در این توده ضخامت کانی‌سازی آهن ۲۰۰-۱۷۰ متر است که در اثر عملکرد گسل، کانی‌سازی به دو بخش مگنتیت بالایی و پایینی تقسیم می‌شود. طراحی معدن برای قسمت بالایی انجام شده و بخش پایینی که دارای کیفیت خوبی نیز هست، در محدوده استخراج روباز قرار نمی‌گیرد (BHP, 1992؛ کریم پور و ملک زاده، ۱۳۸۵).

در توده‌های B و C_n، چال‌های انفجاری با قطر ۲۰۰ میلی‌متر و عمق متوسط ۱۱ متر حفاری می‌شوند. شبکه‌های حفاری با توجه به نوع سنگ‌ها از ۴×۴ تا ۵/۵×۶/۵ متر متغیر می‌باشد. خرج اصلی در چال‌های خشک، آنفو و در چال‌های آبدار امولایت است (کانی‌کاوان، ۱۳۹۱).

۳-۱ تعریف مساله

یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های مرتبط با استخراج مواد معدنی، عملیات آتشباری می‌باشد. در این راستا خردایش و جابجایی مناسب سنگ و کاهش اثرات جانبی پس از انفجار (عقب‌زدگی، پرتاب سنگ، لرزش زمین...) از اهمیت بالایی برخوردار است. از طرفی نتایج این عملیات بر مراحل بعدی (بارگیری، باربری، سنگ شکنی و فرآوری) و هزینه‌های کلی تولید تاثیر گذار است.

خرج ویژه یکی از پارامترهای مهم برای دستیابی به انفجار مناسب است و به عنوان ابزار عمده کنترل خردایش، تاثیر مستقیم بر میزان خردشدگی دارد به طوری که اگر زیاد باشد خردشدگی کوچک‌تر از اندازه مورد نیاز و اگر کم باشد قطعه سنگ‌های درشت تولید می‌شود که نیاز به انفجار ثانویه دارد. اغلب رسیدن به خردایش مناسب به وسیله افزایش خرج ویژه، موجب افزایش خردشدگی و کاهش هزینه‌های کلی می‌شود (غضنفرنیا و همکاران، ۱۳۸۵). خرج ویژه علاوه بر ابعاد سنگ‌های خرد شده، در ایجاد پرتاب سنگ، لرزش زمین و انفجار هوا مؤثر است.

برای طراحی صحیح الگوی آتشباری و بهینه‌سازی خرج ویژه، هر دو گروه عوامل قابل کنترل و غیرقابل کنترل باید همزمان مورد توجه قرار گیرند. شرایط زمین شناسی منطقه، کیفیت توده سنگ، هندسه الگو، نوع تجهیزات بارگیری و حمل و... از جمله مواردی هستند که باید مورد توجه طراح باشند. اغلب، طراحی الگوها بر اساس روش‌های تجربی صورت می‌گیرد. در این روش‌ها معمولاً فقط تعداد محدودی از پارامترهای مؤثر در نظر گرفته می‌شود که این امر باعث کاهش کارایی آن‌ها شده است. اما روش‌هایی نیز وجود دارد که مبتنی بر مشخصات توده سنگ بوده و اساس طراحی در آن‌ها توجه به خصوصیات ماده و توده سنگ به ویژه خصوصیات مربوط به شرایط درزه‌داری می‌باشد.

۴-۱ ضرورت انجام تحقیق

خرج ویژه یک پارامتر اقتصادی و کلیدی در طراحی انفجار است. با توجه به تأثیر متقابل خواص فیزیکی و مکانیکی توده سنگ بر نتایج انفجار و میزان خردایش، مطالعه و شناخت کامل و صحیح خصوصیات توده سنگ بستر مناسبی را برای طراحی مناسب الگوی آتشباری و بهینه‌سازی خرج ویژه فراهم می‌سازد. نتیجه این امر در مجموع باعث تسهیل دستیابی به خردایش مطلوب، کاهش هزینه‌های تولید، کاهش عوارض زیست محیطی، افزایش راندمان و ایمنی عملیات می‌شود.

۵-۱ اهداف

- زون‌بندی ناحیه استخراجی معدن از دیدگاه قابلیت انفجار توده سنگ‌های موجود

- پیشنهاد خرج ویژه و الگوی آتشباری مناسب

۶-۱ ساختار پایان نامه

این پایان نامه شامل شش فصل می‌باشد:

فصل اول: اهمیت عملیات آتشباری و چگونگی تاثیر گذاری پارامترهای مختلف بر آن را بیان

می‌کند. در ادامه وضعیت ناحیه معدنی سنگان مورد بررسی قرار گرفته است و در پایان ضرورت انجام تحقیق، اهداف و روش انجام تحقیق بیان شده است.

فصل دوم: عوامل مؤثر و پارامترهای طراحی الگوی آتشباری معادن روباز شرح داده شده است.

فصل سوم: روش‌های برآورد خرج ویژه انفجار معادن روباز مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل چهارم: نتایج انفجارهای ثبت شده ارزیابی شده است.

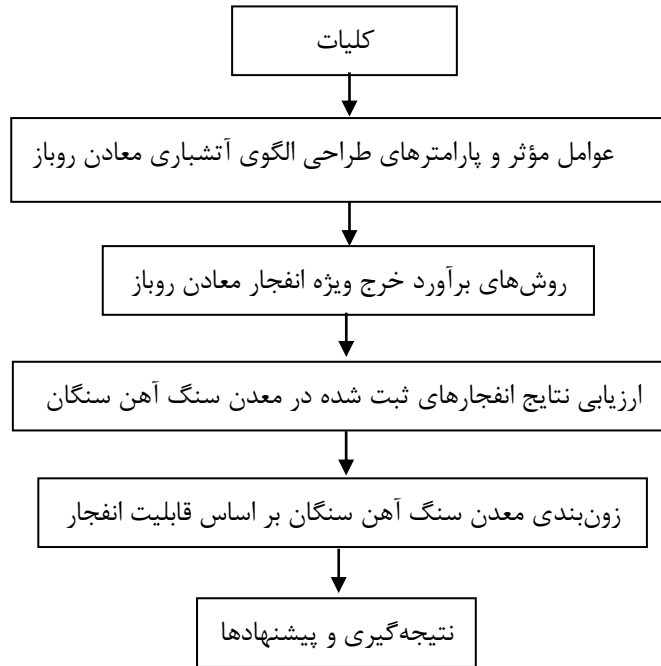
فصل پنجم: شامل برداشت‌های صحرایی و آزمایشگاهی و نتایج آن‌ها ارائه شده است. همچنین

زون‌بندی معدن با توجه به شاخص‌های قابلیت انفجار (BI) لیلی و خردایش سنگ (RFI) مومیوند و

ارائه پیشنهاد الگوی آتشباری و میزان خرج ویژه برای هر زون می‌باشد.

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای مطالعات آینده ارائه شده است.

روندنمایی از ساختار پایان‌نامه در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱-۲: روندنمای ساختار پایان‌نامه

فصل دوم - عوامل مؤثر و پارامترهای طراحی الگوی آتشباری در معادن روباز

۱-۲ مقدمه

برای طراحی یک الگوی مناسب با توجه به کلیه شرایط موجود در معدن عوامل متعددی جریان طراحی و پارامترهای آن را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در طراحی آتشفشانی عمدتاً دو دسته عوامل اصلی دخالت دارند (سرشکی و همکاران، ۱۳۸۷):

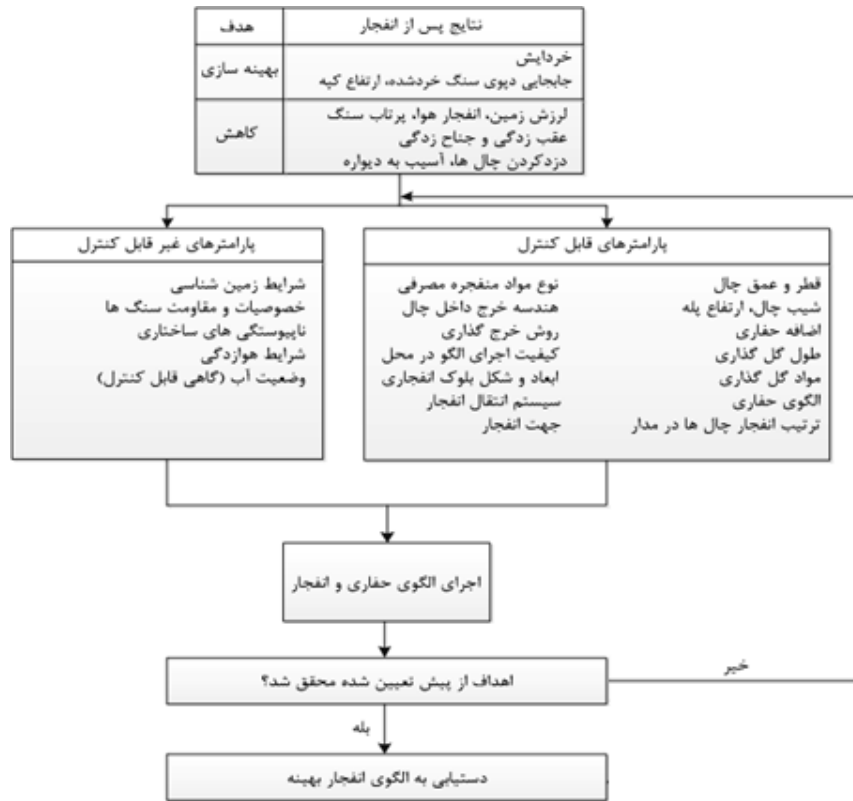
الف) پارامترهای غیر قابل کنترل (ثابت)

ب) پارامترهای قابل کنترل (متغیر)

منظور از پارامترهای ثابت، مشخصات مربوط به ماده سنگ و توده سنگ می‌باشد. این پارامترها به ذات زمین‌شناسی و تکتونیک یک معدن وابسته بوده و در آتشفشانی یک منطقه عملیاتی، ثابت و غیر قابل کنترل هستند. به دلیل عدم قابلیت کنترل، این پارامترها به عنوان مهم‌ترین دسته پارامترهای مؤثر در آتشفشانی مطرح می‌باشند.

دسته دوم از عوامل که به پارامترهای قابل کنترل مشهورند به یک سری مشخصات هندسی و فنی الگوی انفجار گفته می‌شوند که با توجه به مشخصات توده سنگ برجا و نیز مشخصات ماده منفجره تعیین می‌شود.

دستیابی به یک الگوی انفجار بهینه مستلزم ترکیب صحیح پارامترهای قابل کنترل و غیرقابل کنترل، رعایت اصول منطقی در طراحی (شکل ۱-۲) و ارزیابی نتایج به دست آمده از انفجارها است (Hustrulid, 1999). به عبارت دیگر، پس از طراحی و اجرای هر الگو، نتایج آن باید ارزیابی، نواقص مشخص و در طرح‌های آتی مورد توجه قرار گیرد (شکل ۲-۲). مجموعه این موارد اصول طراحی را تشکیل می‌دهد.



شکل ۲-۱: اصول منطقی، پارامترهای قابل کنترل و غیر قابل کنترل در طراحی الگوی انفجار (Hustrulid, 1999)



شکل ۲-۲: چرخه بهینه سازی در طراحی الگوی انفجار (Hustrulid, 1999)

۲-۲ تأثیر ویژگی های توده سنگ بر فرآیند آتشباری

برای طراحی و پیاده سازی الگوی انفجار در زمین ابتدا لازم است محیط عملیات شناسایی شود.

بدین مفهوم که محیط سنگی به عنوان میزبان فرآیند آتشباری، چه مشخصات ژئومکانیکی دارد.

شناخت ویژگی‌های ماده و توده سنگ و چگونگی استفاده بهینه از آن‌ها یکی از اساسی‌ترین کارهایی است که باید قبل از طراحی بدان توجه شود. تأثیر ویژگی‌های توده سنگ در فرآیند انفجار زمانی آشکارتر می‌شود که دقت کنیم که توده سنگ یک جسم جامد پیوسته همگن و همسان‌گرد نیست و دارای انواع ناپیوستگی‌ها می‌باشد. بنابراین کلیه رفتار ایستا و پویای سنگ از این امر تأثیر می‌پذیرند (سرشکی و همکاران، ۱۳۸۷).

خردایش و دیگر نتایج حاصل از انفجار بیش از هر متغیر دیگری، متأثر از خواص توده‌سنگ می‌باشد. اندازه خردایش یک سنگ خاص توسط انفجار، در استخراج معادن بسیار اهمیت دارد تا آنجا که می‌توان گفت بهره‌وری تمام زیر سیستم‌ها وابسته به خردایش است. میزان خردایش به طور عمده تحت خواص فیزیکی، مکانیکی و ساختار توده‌سنگ کنترل می‌شود. بنابراین زمانی که دو توده‌سنگ متفاوت، با یک الگوی یکسان منفجر شوند، درجه خردایش حاصل از آن‌ها با یکدیگر متفاوت خواهد بود (Lutham & Lu, 1999).

با توجه به مقدمه ذکر شده در مورد اهمیت خواص توده‌سنگ، به تعدادی از خصوصیات مهم ماده‌سنگ و توده‌سنگ اشاره و در ادامه به تشریح برخی از آن‌ها پرداخته می‌شود.

۱- ناپیوستگی‌های توده سنگ

الف) فاصله‌داری

ب) شیب و امتداد درزه‌ها

ج) بازشدگی و پرکننده درزه‌ها

۲- مشخصات ماده سنگ

الف) مقاومت فشاری

(ب) چگالی

(ج) مدول یانگ

(د) سختی

۱-۲-۲ تأثیرات ناپیوستگی‌های توده سنگ

از رایج‌ترین تقسیم‌بندی‌های عوارض ساختمانی زمین، استفاده از تقسیم‌بندی انفصال‌های زمین شناسی است. در این تقسیم‌بندی انفصال‌های زمین شناسی به سه گروه ریزترک‌ها، شکستگی‌های ریز و شکستگی‌های بزرگ (عریض‌تر از ۰/۱ میلی‌متر) تقسیم می‌شوند.

در ژئومکانیک اصطلاح «ناپیوستگی» که به صورت وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد عموماً به معنی همان شکستگی‌های بزرگ می‌باشد. این کلمه عنوانی عام برای اکثر انواع درزه‌ها، صفحات ضعیف لایه‌بندی، زون‌های ضعیف و گسل‌ها می‌باشد (حسینی، ۱۳۷۶).

در بحث آتشباری با توجه به اینکه دو دسته اول ناپیوستگی‌ها عموماً در سایر مشخصات سنگ همچون مقاومت فشاری و یا مدول الاستیسیته سنگ جلوه‌گر می‌شوند بیشتر دسته سوم انفصال‌های زمین شناسی مطرح می‌باشند.

از آنجا که آتشباری بیشتر در یک فضای سنگی با ابعاد هندسی مشخص انجام می‌شود، درزه‌ها به عنوان شاخص‌ترین عضو این گروه بیشترین تأثیر را بر نتایج انفجار دارند. مشخصات مهم درزه‌ها از نظر آتشباری شامل فاصله‌داری، اندازه دهانه‌ها و مواد پرکننده و جهت‌یافتگی (راستای نسبی) می‌شود.

۱-۱-۲-۲ فاصله‌داری درزه‌ها

فاصله‌داری درزه‌ها به عنوان مهم‌ترین مشخصه هر دسته درزه مطرح می‌باشد. از نظر آتشباری فاصله‌داری زیاد بین درزه‌ها باعث افزایش مقاومت توده سنگ و دشواری آتشباری می‌شود.

شکست سنگ و میزان خردایش حاصل همواره تحت تأثیر میزان انرژی موج ضربه و فشار چال

(فشار گاز) می باشد (استوار، ۱۳۸۳). سیستم درزه‌های یک توده سنگ بر هر دو عامل فوق تأثیرات چشمگیری دارد و با تغییر روند فرآیندهای ایجاد کننده دو پارامتر مذکور، نتایج متفاوتی نسبت به شرایط عادی ایجاد می کنند.

چنانچه اندازه ابعاد انفصال‌های توده سنگ بزرگ باشد، طبق تعریف و دسته‌بندی آن‌ها، معمولاً اندازه دهانه آن‌ها نیز بزرگ‌تر است. مواد منفجره در حین خرج گذاری وارد دهانه ناپیوستگی‌ها می شود و همچنین گازهای داغ ناشی از انفجار وارد شکاف‌هایی که با چال تلاقی دارند، می شود. با هدر رفتن انرژی مواد منفجره از این طریق، فشار انفجار و در نتیجه قدرت موج ضربه‌ای که وارد محیط اطراف چال می شود، کاهش می یابد. وجود چنین ناپیوستگی‌هایی باعث می شود که انفجار مواد منفجره، دهانه آن‌ها را بازتر نموده و بدنه سنگ بین ناپیوستگی‌ها را کمتر خرد نماید. وقتی که اندازه انفصال‌های توده سنگ کوچک‌تر است، اندازه دهانه آن‌ها نیز معمولاً کوچک‌تر است. نکته مهم‌تر این است که در این حالت نه تنها مثل حالت قبل انرژی مواد منفجره به هدر نمی رود بلکه وجود انفصال‌های کوچک‌تر (از جمله شکستگی‌های ریز) به عنوان سطوح ضعیفی در حین انفجار باعث خردایش بهتر سنگ می شود.

۲-۱-۲-۲ جهت‌یافتگی درزه‌ها

جهت‌یافتگی درزه‌ها به ویژه شرایط و راستای قرارگیری آن‌ها نسبت به سطح آزاد پله تأثیر زیادی بر فرآیند انتقال انرژی و خردشدگی دارد. در بحث جهت‌یافتگی درزه‌ها دو عامل شیب و امتداد به صورت توأم مطرح می شوند. تأثیر همزمان این دو پارامتر نتایج انفجار را تحت تأثیر قرار می دهد.

ناپیوستگی‌ها در ماده معدنی (سنگ) اغلب با شبکه چال‌ها هم‌خوانی ندارد تا از آن‌ها به عنوان سطح آزاد استفاده شود. چون ناپیوستگی‌ها معمولاً به منظور آتشباری قانونمند نبوده و در عمق توده سنگ وضعیت آن‌ها نیز به خوبی مشخص نیست. حفر چال‌ها در توده سنگ دارای درزه و شکاف به این منظور که از درزه‌ها به عنوان سطح آزاد استفاده شود، هیچ وقت در عمل امکان پذیر نبوده است.

چون چال‌ها بعضاً ناگزیر درزه‌ها را قطع می‌کنند.

در شرایطی که لایه‌بندی (ناپیوستگی) موازی کف پله باشد، طول اضافه حفر چال ممکن است کاهش یابد. گازهای ناشی از انفجار به صورت گوه‌ای، لایه را برش داده و باز می‌نماید و کف پله هم مسطح در خواهد آمد. همچنین طول گل‌گذاری ممکن است در این حالت کمی افزایش یابد تا گازهای ناشی از انفجار خارج نشده و صرف جابجا نمودن بار سنگ شوند. بنابراین یک لایه می‌تواند کف صافی برای پله باشد. اگر شیب ناپیوستگی‌ها (لایه‌ها) به طرف بیرون سینه‌کار باشد، پایداری دیواره (پله) به خطر می‌افتد، لایه‌ها تحت تاثیر وزن خود می‌توانند به طرف پایین بلغزند. در این حالت امکان عقب‌زدگی بیشتر است. حفر چال زاویه‌دار پتانسیل ریزش را کاهش می‌دهد. چنانچه شیب لایه به طرف داخل سینه‌کار باشد، باعث ایجاد قوزک در پاشنه پله شده اما دیواره پایدار می‌ماند و عقب‌زدگی کاهش می‌یابد.

شکستگی‌های طبیعی که موازی با سطح هستند، باعث می‌شوند که دیواره‌ها خوب کنترل شوند. چنانچه لایه‌ها (شکستگی‌های طبیعی) سینه‌کار را قطع کنند، لایه‌های گوناگون عکس‌العمل‌های متفاوت در مقابل انفجار از خود نشان می‌دهند. این عامل باعث می‌شود که سینه‌کار ناصاف به وجود آید.

۳-۱-۲-۲ اندازه دهانه و پرکننده‌ها

انرژی موج ضربه و فشار چال دو عامل مهم در ایجاد خردشدگی در سنگ به حساب می‌آیند. طبق تئوری انفجار و انتقال انرژی از ماده منفجره به سنگ به وضوح مشخص می‌شود که میزان بازشدگی درزه‌های موجود در توده سنگ و نیز کمیت و کیفیت پرکننده آن‌ها به شدت خردایش حاصل از آتشباری را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

میزان بازشدگی دهانه درزه‌ها و ابعاد درزه‌ها رابطه مستقیم دارند. از نظر تاثیر بر انرژی موج ضربه هنگامی که درزه‌ها دارای بازشدگی زیاد باشند به دلیل جدایش سطح دو طرف درزه، انتقال

انرژی از یک بلوک به بلوک دیگر سنگ به دشواری انجام می‌گیرد و انرژی حاصل از انفجار در عبور از فضای خالی درزه (دهانه) دچار افت شدیدی می‌شود. در صورتی که دهانه درزه‌ها توسط خاک یا مواد سنگی پر شده باشند به دلیل کاهش اختلاف امپدانس بین سنگ و محیط بین درزه انرژی کمتری تلف می‌شود.

همچنین میزان دهانه و پر کننده درزه فشار چال را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد. با افزایش بازشدگی دهانه درزه‌ها، زمان حبس گازهای حاصل از انفجار به شدت کم می‌شود و در نتیجه گازهای حاصل از انفجار بدون انجام انبساط آبی و بدون انجام هیچ گونه کار مفیدی در فرآیند خردایش، محیط انفجار را از طریق درزه‌های باز ترک می‌کنند. همین امر باعث کاهش شدید خردایش و به تبع آن باعث افزایش پرتاب سنگ و خطرات زیست محیطی و همچنین آلودگی هوا می‌شود.

وجود پرکننده‌ها برای جلوگیری از خروج گازهای انفجار و افزایش زمان حبس گاز در چال سودمند است. در کل چنین نتیجه گیری می‌شود که از نظر انتقال موج ضربه و فشار چال، در درزه‌های دارای بازشدگی وجود پرکننده سودمندتر از عدم وجود آن است (Bhandari, 1997).

چنانچه شرح آن آمد، عوارض ساختاری در توده سنگ‌ها و به ویژه درزه‌ها فرآیند آتشباری را از لحاظ بسیاری از شرایط انجام، تحت تاثیر قرار داده و نتایج حاصل از انفجار را تا حد بسیار زیادی تغییر می‌دهند. روشن است که عدم دقت و توجه به این عوامل بسیار مهم، نتایج ناخواسته و نامطلوب فراوانی می‌تواند به دنبال داشته باشد.

۲-۲-۲ تاثیر مشخصات ماده سنگ

ماده سنگ به عنوان محیط اصلی و ماده فیزیکی در معرض انفجار، نقش بسیار مهمی در عملکرد و عکس‌العمل سنگ نسبت به فرآیند انفجار دارد. همانند سایر پدیده‌های مکانیک سنگی بسیاری از مشخصات فیزیکی و مکانیکی سنگ در قابلیت انفجار آن نقش دارند. از جمله آن‌ها می‌توان به مقاومت فشاری سنگ، چگالی، مدول یانگ، تخلخل، سختی و... اشاره نمود.

۱-۲-۲-۲ مقاومت فشاری

مقاومت عبارت است از میزان پایداری سنگ در مقابل تنش‌های خارجی. این تنش‌ها ممکن است در حالت ایستا و یا پویا روی سنگ تأثیر بگذارند. مقاومت‌های پویای سنگ‌ها از مقاومت‌های ایستای سنگ‌ها بزرگ‌تر است. از طرف دیگر انفجار یک پدیده پویا است و به کار بردن مقاومت‌های ایستا برای پیش‌بینی‌ها می‌تواند گمراه‌کننده باشد.

مقاومت سنگ اثر بسیار مهمی روی نتایج انفجار دارد و طراحی الگوی انفجار بدون در نظر گرفتن آن ممکن است هزینه زیادی را به کل عملیات تحمیل نماید. به عنوان مثال در یک سنگ با مقاومت زیاد اگر خرج‌گذاری کمتر از مقدار مورد نظر باشد، سنگ شکسته می‌شود اما جابجا نمی‌شود و در نتیجه پس از انفجار توده‌ای از سنگ شکسته درجا به وجود خواهد آمد که حفر چال در آن بسیار مشکل و یا حتی غیر ممکن است و برای از جا در آوردن و بارگیری آن باید از بولدوزر کمک گرفته شود.

اگر مقدار امواج فشاری ناشی از انفجار از مقاومت فشاری پویای سنگ بیشتر باشد یک زون شدیداً خرد شده در اطراف خرج به وجود می‌آید. بنابراین طراحی الگوی آتشباری باید به گونه‌ای باشد که بین امواج تولید شده از عملیات آتشباری و مقاومت فشاری پویای سنگ تناسب وجود داشته باشد.

عواملی که در میزان مقاومت سنگ‌ها مؤثر است عبارتند از: (Jimeno, 1995):

- نوع کانی‌های تشکیل دهنده و شرایط استقرار آن‌ها.

- درجه هوازدگی و آلتراسیون آن‌ها.

- نیروی بین مولکولی ذرات تشکیل دهنده آن‌ها.

- وجود عواملی مانند درزه و شکاف در سنگ‌ها.

- خواص الاستیکی، پلاستیکی و آنیزوتروپی در سنگ‌ها.

- جهت و میزان نیروهای وارده به سنگ‌ها.

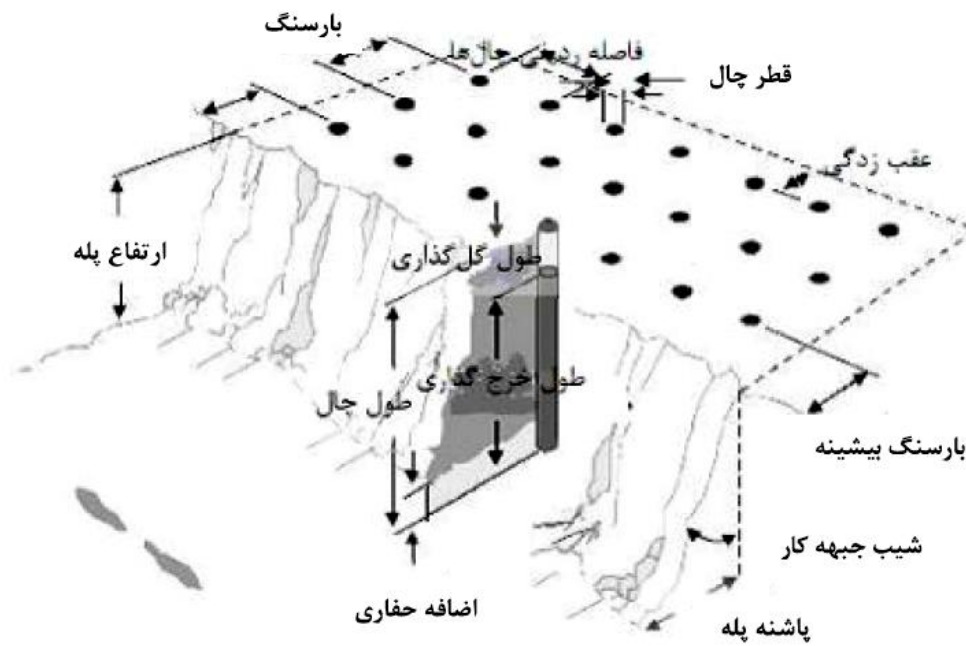
۲-۲-۲-۲ چگالی

سنگ معدن پس از انفجار علاوه بر شکسته شدن بایستی بارگیری و حمل شود و برای این منظور لازم است از جا در آمده و مقداری جابجا شود. برآورد میزان ماده منفجره مورد نیاز در جابجایی سنگ تابع وزن مخصوص سنگ است (استوار، ۱۳۸۳).

معمولاً سنگ‌های با چگالی پایین‌تر، تغییر شکل‌ها را بهتر تحمل می‌نمایند و نسبتاً به انرژی کمتری برای خردایش نیاز دارند و سنگ‌های با چگالی بالاتر به مواد منفجره‌ای با سرعت و فشار انفجار بالاتر نیاز دارند. سنگ‌های خلل و فرج دار هر چند که چگالی کمتری دارند اما به علت وجود خلل و فرج خرد کردن آن‌ها مشکل‌تر می‌باشد.

۳-۲ هندسه الگوی آتشباری

دومین دسته پارامترهای مهم و مؤثر در راندمان آتشباری پارامترهای قابل کنترل و یا پارامترهای مربوط به هندسه الگوی آتشباری است. از نظر فنی اجزای طراحی آتشباری به صورت کلی شامل؛ قطر چال (ϕ_h)، ضخامت بار سنگ (B)، فاصله ردیفی چال‌ها (S)، طول چال (H)، اضافه حفاری چال (U)، ارتفاع پله (K)، ضخامت گل‌گذاری (S_T)، طول خرج میان چال (h_c)، طول خرج ته چال (h_b)، شیب چال (α)، خرج ویژه (q) و حفر ویژه (h) است (شکل ۳-۲).



شکل ۲-۳: شکل سه بعدی اجزای یک بلوک انفجاری (Novikon & Kondelchuk, 2005)

اجزای طراحی در جدول ۲-۱ به طور خلاصه آورده شده است. طراحی مناسب این پارامترها تأثیری مستقیم بر روی نتایج انفجار از جمله خردایش دارد. بین همه این پارامترها یک سری روابط منطقی برقرار است. این روابط به طور کلی تابع شرایط زیر می‌باشند (استوار، ۱۳۸۳):

- هدف از آتشباری
- نوع و ساختمان سنگ (مشخصات توده سنگ)
- نوع ماده منفجره
- مسائل فنی و شرایط محیط کار

جدول ۲-۱: پارامترهای چالزنی و آتشباری در معادن روباز (سرشکی و همکاران، ۱۳۸۷)

ردیف	پارامتر	شرح
۱	قطر چال (φ_h)	قطر چال متأثر از میزان استخراج، ارتفاع پله، نحوه خردایش، لرزش هوا و زمین، پرتاب سنگ و نوع ماده منفجره می‌باشد.

۲	ضخامت بارسنگ (B)	<p>بارسنگ مهم‌ترین پارامتر در طراحی انفجار بوده و ارتباط مستقیمی با سایر عوامل آتشیاری داشته و اثر قاطعی روی پیامدهای انفجار دارد. در طراحی آتشیاری مقدار بارسنگ به روش‌های مختلفی تعیین می‌شود:</p> $B = (20 - 40)\phi_c ; B = (19 - 49)\phi_c$
۳	فاصله ردیفی چال (S)	<p>فاصله چال‌ها در جهت عمود بر ضخامت بار سنگ را فاصله ردیفی چال‌ها می‌گویند. اگر فاصله ردیفی چال‌ها خیلی کمتر از بارسنگ انتخاب شود موج انفجار قبل از رسیدن به سطح آزاد به چال بعدی می‌رسد. تداخل این امواج از چالی به چال دیگر موجب ایجاد سروصدا، لرزش هوا، تخریب و انسداد دهانه چال، خروج گازها، تغییر نحوه خردایش و تشکیل سکو در پای پله می‌شود.</p> <p>اگر فاصله ردیفی چال‌ها زیاد باشد محل شکستن سنگ ناهموار خواهد بود و خردشدگی نامناسب خواهیم داشت. در این حالت سنگ‌های اطراف چال خرد می‌شوند اما سنگ واقع در میان دو چال با ابعاد درشت‌تر خواهند بود.</p> $S = (1 - 2)B$ <p>هر چه ضریب سفتی پله (نسبت ارتفاع پله به ضخامت بارسنگ) $\frac{K}{B}$ بیشتر باشد ضریب بزرگ‌تری در فرمول فوق محاسبه می‌شود. در شرایط معمولی $\frac{S}{B} = 1.8$ است و در جایی که ضریب سفتی بیشتر از پنج باشد $\frac{S}{B} = 2$ است. برای تخمین اولیه $\frac{S}{B} = 1.5$ انتخاب می‌شود.</p>
۴	ارتفاع پله (K)	<p>ارتفاع پله متأثر از میزان استخراج روزانه، توپوگرافی، مکانیک سنگ، امکان دسترسی به ماشین آلات، قطر چال و بارسنگ می‌باشد.</p> $K = (60 - 120)\phi_h$
۵	اضافه حفر چال (U)	<p>در معادن روباز حفر چال تا مقداری پایین‌تر از کف پله پایینی نیز ادامه داده می‌شود. این مقدار را اضافه حفر چال می‌نامند.</p> $U = 0.33B$ $U > 0.3B$ $U = (8 - 12)B$
۶	گل‌گذاری (S_i)	<p>اصولاً بخشی از چال خرج‌گذاری نشده بلکه با مواد خنثی پر می‌شوند تا فضای چال را محدودتر کند. این امر برای استفاده بیشتر از فشار گاز حاصل از انفجار ماده منفجره ضروری است. همچنین گل‌گذاری در لرزش هوا، پرتاب سنگ، شکست در بالای چال، خردشدگی سنگ، لرزش زمین و عقب‌زدگی مؤثر است.</p> $S_i = (0.7 - 1.3)B \text{ یا } S_i = (14 - 28)\phi_h$ $S_i = (20 - 60)\phi_h$
۷	شیب چال (α)	<p>در حفر چال قائم حفظ امتداد راحت‌تر از چال مایل صورت می‌گیرد اما امکان خرد نشدن سنگ ته چال بیش از چال مایل است و این امر بخصوص وقتی که چند ردیف چال منفجر می‌شوند پیش می‌آید. در این صورت سکوی ایجاد شده بزرگ‌تر شده و به مرور ایجاد مشکل می‌کند. با حفر چال مایل این مشکل تا حد بسیار خوبی برطرف می‌شود؛ و این بدان معنی است که مقدار بیشتری سنگ می‌توان استخراج کرد.</p>

$H = \frac{K}{\cos \alpha} + U$	طول چال (H)	۸
$L_e = H - S_t$	طول خرج (L _e)	۹
<p>در پایین پله عموماً ضخامت بار سنگ بیشتر است و سنگ نیز مقاوم تر می باشد لذا احتیاج به نیروی برشی قوی در امتداد کف پله است. برای این منظور مقدار ماده منفجره بیشتر از سایر جاهای چال و یا ماده منفجره قوی تری مورد نیاز است که باید در ته چال خرج گذاری شود. آن خرج را خرج ته چال می نامند.</p> <p>طول خرج ته چال به متر (h_b) برابر است با: $h_b = 1.3B$</p> <p>تراکم خرج ته چال به کیلوگرم بر متر (I_b) به صورت زیر تعریف می شود:</p> $I_b = \frac{\phi_h^2}{1000} \times \frac{D_h}{1.25}$ $Q_b = I_b \times h_b$ <p>D_h = وزن مخصوص خرج گذاری به کیلوگرم بر دسی متر مکعب ϕ_h = قطر چال به میلی متر خرج ته چال در اغلب عملیات آتشباری همان پرایمر است.</p>	خرج ته چال (Q _b)	۱۰
<p>خرجی که پس از خرج ته چال مصرف می شود نیز سنگ را خواهد شکست اما لازم نیست که همان قدرت را داشته باشد. تراکم خرج در این حالت معمولاً ۴۰ تا ۵۰ درصد تراکم خرج ته چال است.</p> <p>- تراکم خرج میان چال به کیلوگرم بر متر (I_c) - طول خرج میان چال به متر (h_c)</p> $I_c = \frac{\pi \phi_c^2}{4} D_h$ $h_c = H - h_b - S_t$ $Q_c = I_c \times h_c$	خرج میان چال (Q _c)	۱۱

۴-۲ نتیجه گیری

با توجه به مطالب گفته شده در این فصل در مجموع می توان عوامل تأثیرگذار در نتایج انفجار را به دو دسته پارامترهای قابل کنترل و غیر قابل کنترل تقسیم بندی کرد. پارامترهای قابل کنترل یا همان پارامترهای طراحی در کنترل طراح بوده و در طراحی آنها باید بیشترین دقت را داشت. با

توجه به اثرات نامطلوب پارامترهای غیرقابل کنترل (خصوصیات توده‌سنگ)، در اجرای پارامترهای طراحی باید سعی در کمتر کردن خطای ناشی از اجرا داشت.

از آنجایی که پارامترهای طراحی در کنترل طراح بوده، می‌توان نتیجه گرفت که بیشتر نتایج نامطلوب آنتناری‌ها ناشی از عدم توجه به پارامترهای غیرقابل کنترل (خصوصیات توده‌سنگ انفجاری) دانست. اغلب به دلیل آن که این عوامل در کنترل طراح نمی‌باشد، در روش‌های طراحی کمتر لحاظ می‌شوند. حال آن که با شناخت صحیح این پارامترها می‌توان تا حدودی آن‌ها را قابل کنترل دانست. از طرفی بیشتر روش‌های طراحی‌ای که سعی در لحاظ کردن این عوامل داشته‌اند تنها به خصوصیات ماده‌سنگ اکتفا کرده‌اند و خصوصیات توده‌سنگ که بیشتر متأثر از شرایط درزه‌داری است نادیده گرفته شده است.

فصل سوم - روش های برآورد خرج ویژه در آتشیاری معادن روباز

۱-۳ مقدمه

خرج ویژه، مصرف ماده منفجره برای واحد حجم یا وزن سنگ را در یک عملیات آتشباری نشان می‌دهد. در رابطه با خرج ویژه نکات زیر بایستی مورد توجه قرار گیرد (استوار، ۱۳۸۳؛ مومیوند، ۱۳۸۴):

- مقدار خرج ویژه تابع نوع ماده منفجره، وزن مخصوص سنگ و شرایط زمین شناسی منطقه است. معمولاً هرچه ماده منفجره قوی‌تر باشد خرج ویژه کمتر می‌شود.

- هرچه وزن مخصوص سنگ بیشتر باشد خرج ویژه بیشتر است.

- تا حدودی خرج ویژه در چال‌های قطور کمتر از چال‌های کم قطر است.

- هرچه تعداد سطح آزاد بیشتر باشد خرج ویژه کمتر است.

- اگر تعداد درزه و شکاف در سنگ‌های توده‌ای کم باشد به نحوی که سنگ در مقابل شکسته شدن مقاوم باشد، خرج ویژه زیاد می‌شود.

- اگر تعداد درزه و شکاف به صورتی باشد که موجب سست شدن سنگ در مقابل ضربات حاصل از انفجار باشند خرج ویژه کم می‌شود.

- چنانچه وضعیت درزه و شکاف به صورتی باشند که موجب اتلاف گازهای حاصل از انفجار و افت آنها بشود خرج ویژه زیاد می‌شود.

- چنانچه دیگر پارامترهای چالزنی و آتشباری به خوبی طراحی شوند، خرج ویژه متأثر از ویژگی‌های توده سنگ، نوع ماده منفجره و میزان خردایش مورد نظر سنگ می‌باشد.

۲-۳ روش‌های برآورد خرج ویژه در آتشباری معادن روباز

برای تعیین خرج ویژه در انفجار معادن روباز روابط مختلفی با توانایی‌ها و قابلیت‌های متنوع موجود است. استفاده از جداول تجربی برای بعضی از سنگ‌ها، استفاده از روابط انتقال انرژی، روابط تجربی که با انجام عملیات چالزنی و آتشباری بدست می‌آید، روش‌های مبتنی بر ویژگی‌های توده سنگ و استفاده از الگوریتم‌های مختلف هوش مصنوعی، از روش‌های برآورد و تعیین خرج ویژه است. انتخاب و استفاده از هر یک از این روش‌ها وابسته به مطالعات جامع در هر معدن می‌باشد. خلاصه‌ای از این روش‌ها در جدول ۱-۳ ارائه شده که در ادامه برخی از آن‌ها تشریح می‌شود.

جدول ۱-۳: انواع روش‌های برآورد خرج ویژه (اقتباس از استوار، ۱۳۸۳؛ بهادری فر، ۱۳۹۰)

ردیف	سال ارائه	ارایه دهنده	پارامترهای استفاده شده
۱		جداول تجربی	نوع سنگ یا مقاومت فشاری تک محوره سنگ
۲		انتقال انرژی	ضریب امیدانس، ضریب جفت‌شدگی، ضریب مربوط به خردایش سنگ، انرژی ویژه ماده منفجره، انرژی سطحی مخصوص
۳	۱۹۷۶	هنین و دیماک	سرعت انتشار امواج لرزه‌ای
۴	۱۹۷۷	اشبی	فراوانی، زاویه اصطکاک و زاویه زبری درزه‌ها
۵	۱۹۷۸	لانگفورد	استفاده از فاکتوری که تأثیر سنگ را نشان می‌دهد.
۶	۱۹۸۲	لایتون	RQI
۷	۱۹۸۴	جمینو لوپز	RQI اصلاح شده
۸	۱۹۸۶	لیلی	توصیف توده سنگ، فاصله‌داری و جهت‌گیری درزه‌ها، سختی و وزن مخصوص
۹	۱۹۹۰	گوپتا و همکاران	بارسنگ موثر، شاخص مقاومت پروتودیاکنف
۱۰	۱۹۹۹	لو و لاتهام	مقاومت فشاری و مقاومت کششی تک محوری ماده‌سنگ، چگالی، مدول الاستیسیته، سرعت موج، سختی اشمیت، متوسط اندازه بلوک درجا، بعد فرکتال درجا توده‌سنگ
۱۱	۲۰۰۴	مومیوند	توصیف توده سنگ، فاصله‌داری و جهت‌گیری درزه‌ها، جدایش دهانه ناپیوستگی‌ها، مقاومت فشاری تک محوری ماده‌سنگ

۱-۲-۳ استفاده از جداول تجربی خرج ویژه

در این روش با توجه به جداول تجربی که بر اساس نوع سنگ یا مقاومت فشاری تک محوره سنگ ارائه شده است می توان به طور اولیه و بسیار کلی مقدار خرج ویژه را تخمین زد. جدول های ۳-۳ و ۲ و ۳-۳ به عنوان دو جدول مشهور در این زمینه میزان خرج ویژه را در سنگ های مختلف نشان می دهند.

جدول ۲-۳: راهنمای خرج ویژه برای انواع سنگ های دارای مقاومت مختلف (استوار، ۱۳۸۳)

مقاومت فشاری سنگ (MPa)	نوع سنگ	خرج ویژه (kg/m ³)
سخت (>۲۰۰)	آندزیت، دلوریت گرانیت، سنگ آهن	۰/۷
متوسط (۱۰۰-۲۰۰)	دولومیت، هورنفلس کوارتزیت، سرپانتینیت، شیست	۰/۴۵
نرم (۵۰-۱۰۰)	ماسه سنگ، آهک، شیل	۰/۳
خیلی نرم (<۵۰)	زغال سنگ	۰/۱۵-۰/۲۵

جدول ۳-۳: خرج ویژه بعضی سنگ ها با مشخصات ذکر شده (استوار، ۱۳۸۳)

کیفیت سنگ	خرج ویژه (kg/m ³)
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

۰/۶	سنگ خیلی ترک خورده
۰/۵۵	سنگ ترک دار
۰/۵	سنگ معمولی با ترک‌های مویی
۰/۴۵	سنگ نسبتاً همگن
۰/۴	سنگ همگن

۲-۲-۳ استفاده از روابط انتقال انرژی

می‌توان خرج ویژه را با استفاده از رابطه ۱-۳ محاسبه نمود:

$$q = \frac{SE_s}{\eta_1 \eta_2 \eta_3 E_e} \quad (۱-۳)$$

η_1 ضریب امیدانس، η_2 ضریب جفت‌شدگی، η_3 ضریب مربوط به خردایش سنگ، E_e انرژی ویژه

ماده منفجره و SE_s انرژی سطحی مخصوص بر حسب $\frac{MJ}{m^2}$ می‌باشند.

پارامترهای مربوط به سنگ را می‌توان در آزمایشگاه تعیین نمود و برای تعیین مشخصات ماده

منفجره مثل چگالی (γ_e)، امیدانس (I_e) و انرژی مخصوص (E_e) برخی از مواد منفجره صنعتی در

جدول ۳-۴ نشان داده شده است.

جدول ۳-۴: مشخصات برخی از مواد منفجره پرمصرف (استوار، ۱۳۸۳)

انرژی مخصوص (Mj/kg)	امیدانس ($10^6 \text{ kg/m}^2\text{sec}$)		چگالی (kg/m^3)	نام مواد منفجره
	با استفاده از فتیله انفجاری	بدون استفاده از فتیله انفجاری		
۴/۵۲	۷/۶	۹/۵۰	۱۴۵۰	ژلاتین ۱
۴/۴۴	۶/۹۳	۸/۶۶	۱۴۲۰	ژلاتین ۲

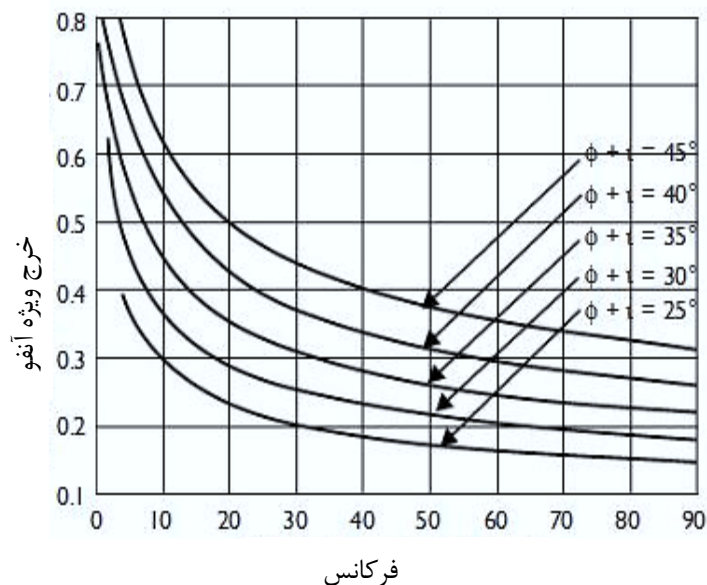
۳/۶۶	۱/۴۷	۱/۸۴	۸۰۰	آنفو
------	------	------	-----	------

۳-۲-۳ اشبی^۱

اشبی در سال ۱۹۷۷ یک رابطه تجربی را ارائه کرده است که خرج ویژه مورد نیاز برای انفجار مناسب در معدن مس باگینویل^۲ را بر اساس فراوانی درزه‌ها و زاویه اصطکاک مؤثر توصیف می‌کند. فراوانی درزه‌ها، نشان دهنده چگالی شکستگی و زاویه اصطکاک مؤثر، نشانه‌ای از مقاومت ساختار توده سنگ است. بر اساس نظریه اشبی، خرج ویژه از نوع آنفو ANFO را می‌توان با استفاده از رابطه ۲-۳ و یا نموداری که برای این هدف رسم شده (شکل ۱-۳) بدست آورد (Ghokhal, 2011):

$$Q = \frac{0.56 \times \tan(\varphi + i)}{\sqrt[3]{D}} \quad (2-3)$$

Q خرج ویژه (کیلوگرم آنفو بر متر مکعب)، φ زاویه اصطکاک (درجه)، i زاویه زبری (درجه) و D فرکانس شکستگی‌ها (تعداد در متر) است.



¹ Ashby

² Baugainville

شکل ۳-۱: نمودار تجربی ارتباط بین خرج ویژه، فراوانی شکستگی ها و مقاومت برشی درزه ها (Ghokhal, 2011)

۴-۲-۳ جمینو لویز^۱

لویز در سال ۱۹۸۴ پیشنهاد کرده است که یک شاخص حفاری سنگ بر اساس نرخ نفوذ، قطر حفاری و غیره طبق رابطه زیر در نظر گرفته شود (Jimeno, 1995):

$$I_p = \frac{VP}{\frac{E \times N_r}{D^2}} \quad (3-3)$$

I_p شاخص حفاری، VP نرخ نفوذ (متر بر ساعت)، E بار روی مته با سرته های سه مخروطی (هزار پوند)، N_r سرعت چرخش (دور در دقیقه) و D قطر حفاری (اینچ) می باشند. این معادله تحت شرایط زیر معتبر است:

- سرته حفاری مورد استفاده باید از بهترین نوع ساخته شده برای تشکیلات سنگی مورد مطالعه باشد.

- جریان هوای کافی در اطراف ابزارهای برش حفاری برقرار باشد.

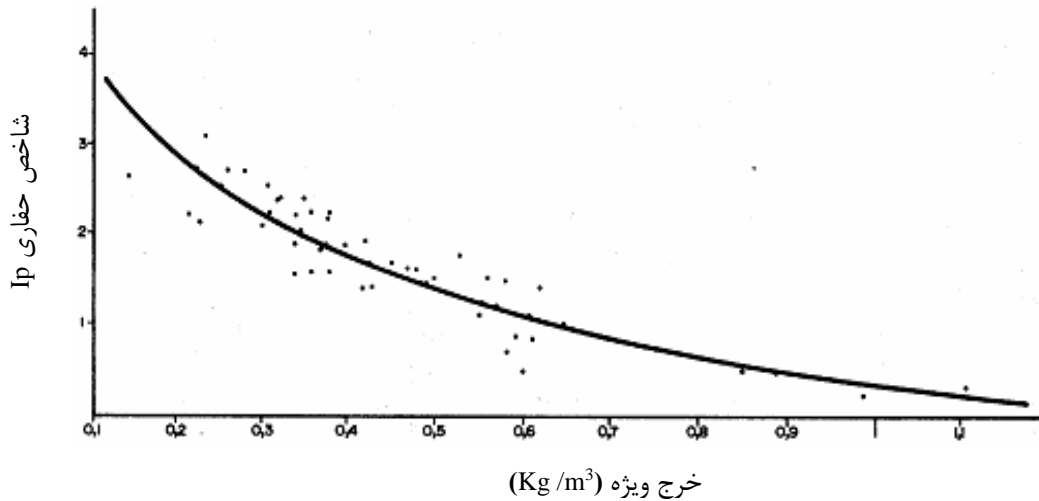
- فقط نرخ نفوذ خالص لحاظ می شود (زمان تعویض سرته و لوله حفاری، تعویض محل دستگاه و ... نباید لحاظ شود).

با توجه به اینکه سرعت حفاری بستگی به مقاومت های فشاری، کششی و برشی سنگ دارد، شاخص I_p با داشتن نرخ نفوذ در فرمول خود همه خصوصیات ژئومکانیکی فوق را نیز پوشش می دهد. با تجزیه و تحلیل آماری رگرسیونی داده ها از معادن مختلف، رابطه ۳-۴ بین خرج ویژه و ضریب حفاری I_p ارائه شده است (شکل ۳-۲).

¹ Lopez Jimeno

$$CE = 1.124 \times e^{-0.5727 Ip} \quad (4-3)$$

CE خرج ویژه آنفو (kg/m^3) و Ip شاخص حفاری است.



شکل ۲-۳: رابطه بین شاخص حفاری Ip و خرج ویژه (Jimeno, 1995)

۵-۲-۳ لیلی^۱

لیلی در سال ۱۹۸۶ برای اولین بار شاخص قابلیت انفجار (BI) را بر اساس مشخصات توده سنگ برجا و به منظور پیش‌بینی خرج ویژه معادن روباز به طور جدی مطرح نمود (Lilly, 1986). در این شاخص پارامترهای شرح توده سنگ (RMD)، فاصله داری درزه‌ها (JPS)، جهت‌یافتگی درزه‌ها (JPO)، تأثیر وزن مخصوص (SGI) و سختی (H) سنگ مورد توجه قرار گرفته است. شاخص قابلیت انفجار از رابطه ۵-۳ محاسبه می‌شود:

$$BI = 0.5 \times (RMD + JPS + JPO + SGI + H) \quad (5-3)$$

جهت امتیازدهی به پارامترهای بالا از جدول ۵-۳ استفاده می‌شود. حداکثر مقدار شاخص

¹ Lilly

قابلیت انفجار ۱۰۰ می باشد و هر چه شاخص قابلیت انفجار بیشتر باشد بر دشواری انفجار افزوده می شود.

یکی از مهم ترین کاربردهای این شاخص پیش بینی و محاسبه میزان خرج ویژه می باشد. برای استفاده از شاخص قابلیت انفجار لیلی، رابطه خاصی بین قابلیت انفجار و خرج ویژه در یک معدن خاص مورد نیاز است. این رابطه را می توان با کمک از آتشفشانی های ثبت شده و یا از نتایج انفجارهای آزمایشی برقرار کرد. لیلی رابطه ۳-۶ را پیشنهاد کرد:

$$q = 0.004 \times BI \quad (3-6)$$

q خرج ویژه (کیلوگرم بر تن) و BI شاخص قابلیت انفجار است.

جدول ۳-۵: امتیاز پارامترهای روش لیلی (Lilly, 1986)

امتیاز	پارامترهای ژئومکانیکی
RMD	شرح توده سنگ
۱۰	پودری (خردشده)
۲۰	بلوکی
۵۰	کاملاً یکپارچه
JPS	فاصله داری درزه ها
۱۰	نزدیک (متر < ۰/۱)

۲۰	متوسط (متر ۱-۰/۱)
۵۰	عریض (متر >۱)
JPO	جهت یافتگی درزه ها
۱۰	افقی
۲۰	شیب به سمت بیرون سینه کار
۳۰	امتداد عمود بر سینه کار
۴۰	شیب به سمت داخل سینه کار
SIG	تأثیر وزن مخصوص
۵۰ - (۲۵×SG)	وزن مخصوص سنگ (SG) (تن بر متر مکعب)
H	سختی
۱-۱۰	مقیاس موهس

۶-۲-۳ مومیوند

در سال ۱۳۸۴ مومیوند طی یک تحقیق بسیار جامع و کامل پیرامون شرایط فنی و اقتصادی آتشباری، یک شاخص جدید برای کاربردهای آتشباری از جمله تعیین خرج ویژه ارائه نمود (مومیوند، ۱۳۸۶). این شاخص جدید در حقیقت اصلاح شده و تکمیل شده شاخص BI می باشد. در روش جدید شاخص خردایش سنگ^۱ (RFI) در کنار پارامترهای شرح توده سنگ (RDM)، فاصله داری درزه ها (DPS) و جهت یافتگی درزه ها (DPO)، پارامتر دهانه و پرکننده درزه ها (DPA) و مقاومت فشاری تک محوری ماده سنگ (UCS) به شاخص افزوده شده است. روش امتیازدهی به پارامترها و نحوه محاسبه RFI در جدول ۳-۶ آورده شده است. حداقل میزان RFI، ۱۶ و حداکثر مقدار آن ۴۲ می باشد. در این روش، با توجه به انجام مطالعات اقتصادی در شش معدن آذربایجان غربی میزان خرج ویژه بهینه واقعی تعیین شده است. شاخص خردایش سنگ از رابطه ۳-۷ تعیین می شود:

¹ Rock Fragmentation Index (RFI)

$$RFI = DPA + DPS + DPO + RMD + UCS \quad (7-3)$$

برای محاسبه خرج ویژه توسط روش RFI، مومیوند رابطه بین شاخص قابلیت خردایش توده سنگ و خرج ویژه بهینه (خرجی که باعث کمترین هزینه استخراج می شود) را به صورت رابطه ریاضی ۳-۸ ارائه نموده است:

$$Q_o = 312.12 \times RFI^{-2.082} \quad (8-3)$$

Q_o ، خرج ویژه بهینه بر حسب کیلوگرم بر تن می باشد.

جدول ۳-۶: پارامترهای موثر در تعیین شاخص خردایش سنگ و امتیازهای آنان (مومیوند، ۱۳۸۴)

عدد معرف	پارامترهای ژئومکانیکی
RMD^1	شرح توده سنگ
۱۰	پودری (خردشده)
۶	بلوکی
۴	کاملاً یکپارچه
DPS^2	فاصله داری درزه ها (متر)
۱۲	نزدیک (<۰/۱)
۷	متوسط (۰/۱-۱)
۴	عریض (>۱)
DPO^3	جهت یافتگی درزه ها

¹ Rock Mass Description

² Discontinuity Plane Spacing

³ Discontinuity Plane Orientation

۶	افقی
۵	شیب به سمت بیرون سینه کار
۴	امتداد عمود بر سینه کار
۳	شیب به سمت داخل سینه کار
DPA^1	جدایش دهانه درزه ها (ناپیوستگی ها) (میلی متر)
۸	خیلی کم (بسته)، < 1
۷	کم، ۱-۵
۶	متوسط و پر شده، ۵-۵۰
۵	متوسط و بدون پرشدگی، ۵-۵۰
۴	زیاد و پر شده، > 50
۳	زیاد و بدون پرشدگی، > 50
UCS	مقاومت فشاری تک محوری ماده سنگ (مگا پاسکال)
۶	مقاومت خیلی کم، < 25
۵	مقاومت کم، ۲۵-۵۰
۴	مقاومت متوسط، ۵۰-۱۰۰
۳	مقاومت زیاد، ۵۰-۱۰۰
۲	مقاومت خیلی زیاد، > 200

۳-۳ پارامترهای مهم در برآورد خرج ویژه

مهم ترین و معروف ترین پارامترهای مطالعه شده در این زمینه که تاکنون انجام شده در جدول ۳-۸ آورده شده است. همان طور که در جدول دیده می شود پارامترهای زیادی برای برآورد خرج ویژه ارائه شده است. فاصله داری صفحات ناپیوستگی ها (JPS) و مقاومت فشاری تک محوری ماده سنگ از مهم ترین پارامترهایی است که تقریباً به طور وسیعی استفاده شده است.

جدول ۳-۷: مهم ترین پارامترهای مطالعه شده در برآورد خرج ویژه

UCS	UTS	E	v	SHV	H	p	JPS	JPO	DPA	U	θ	پارامترهای مورد مطالعه
			■									هنین و دیماک (۱۹۷۶)
							■			■	■	اشبی (۱۹۷۷)
												جمینو لویز (۱۹۸۴)

¹ Discontinuity Plane Aperture

■ ■ ■ ■	لیلی (۱۹۸۶)
■ ■	گوپتا و همکاران (۱۹۹۰)
■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	لاتهام و لو (۱۹۹۸)
■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	مومیوند (۲۰۰۴)

UCS: مقاومت فشاری تک محوری ماده سنگ، UTS: مقاومت کششی تک محوری ماده سنگ، E: مدول الاستیسیته، V: سرعت موج، SH: مقدار چکش اشمیت، H: سختی موهس، p: چگالی، JPS: فاصله‌داری صفحات درزه‌ها، JPO: جهت‌داری صفحات درزه‌ها، DPA: جدایش دهانه ناپیوستگی‌ها، C: زاویه چسبندگی، Φ : زاویه اصطکاک داخلی

۴-۳ نقد و بررسی مطالعات انجام شده

- جداول خرج ویژه ممکن است برای راهنمایی و مقایسه در ابتدای کار استفاده شوند. مقدار خرج ویژه استفاده شده از طریق این جداول دور از واقعیت بوده حتی در مراحل اولیه آتشباری می‌تواند باعث خسارت مالی شود.

- خرج ویژه محاسبه شده با استفاده از روابط انتقال انرژی نیز عموماً تنها به عنوان یک تخمین مطرح بوده و پایه محکمی برای اجرای طرح آتشباری به حساب نمی‌آید. ضعف روش انتقال انرژی ناشی از در نظر نگرفتن خواص توده سنگ و تعریف نادرست مفهوم «سطح مخصوص جدید سنگ» است. زیرا ایجاد سطح آزاد در توده سنگ به شدت به درزه‌داری اولیه و بر جای توده سنگ وابسته است و تنها در نظر گرفتن ماده سنگ در این فرآیند امر نادرستی است.

- مطالعات لایتون و جمینو لویز که با توجه به داده های حفاری انجام شده تنها برای شرایط

خاصی از محیط و دستگاه قابل کاربرد است و زیاد قابل تعمیم به دیگر شرایط نیستند؛ و از طرفی وزن پارامترهای ذاتی ماده سنگ و توده سنگ در امتیاز نهایی مشخص نیست.

- شرایط ژئوتکنیکی ناحیه، خواص فیزیکی و ژئومکانیکی توده سنگ با پارامترهای طراحی و نتایج عملیات انفجار در ارتباط بوده و به خصوص در تعیین خرج ویژه معادن روباز مؤثر می‌باشند. بنابراین مطالعات صورت گرفته بر اساس پارامترهای ذاتی ماده سنگ و توده سنگ از مهم‌ترین و بهترین روش‌های تعیین خرج ویژه می‌باشد. افرادی همچون هنین و دیماک، اشبی، لیلی، گوپتا، مومیوند در این گروه قرار می‌گیرند. در مجموع روش‌هایی مانند لیلی و مومیوند با در نظر گرفتن پارامترهای ماده و توده سنگ از جامعیت تقریباً خوبی برخوردار هستند و از همه مهم‌تر به دلیل قابلیت کاربرد آسان این روش‌ها بهترین روش‌های کاربردی موجود می‌باشند.

فصل چهارم - ارزیابی نتایج انفجارهای انجام شده در معدن سنگ آهن سخان

۱-۴ مقدمه

معمولاً پس از هر مرحله انفجار، به منظور ارزیابی عملیات انجام شده، باید نتایج به دست آمده جمع آوری و تجزیه و تحلیل گردد تا نواقص موجود مشخص شود و برای رفع آن‌ها اقدامات لازم صورت گیرد. این روند، اساس کار فرآیند بهینه‌سازی در انفجار است. برای دستیابی به یک دید کلی از هر انفجار موارد زیر را می‌توان مشاهده، ثبت و مورد تجزیه و تحلیل قرار داد (Jimeno, 1995):

- شکل هندسی، ارتفاع و میزان جابجایی کپه حاصل از انفجار^۱
- کیفیت خردایش^۲
- وجود و محل قرارگیری قطعات بزرگ سنگ (قطعات درشت) در دپو
- وضعیت توده‌سنگ به جا مانده و کف پله
- اثرات جانبی ناشی از عملیات انفجار نظیر لرزش زمین^۳، عقب‌زدگی^۴، پرتاب سنگ^۵، انفجار هوا^۶

در ادامه به مهم‌ترین نتایج و عوارض ناشی از انفجار پرداخته می‌شود.

۲-۴ ارزیابی نتایج پس از انفجار

۱-۲-۴ شکل هندسی، ارتفاع و میزان جابجایی

ارتفاع اکثر پله‌ها در معادن بر اساس حداکثر ارتفاع دسترسی ماشین‌آلات بارگیری طراحی می‌شود، از این رو شکل بهینه دپو در هر معدن متفاوت است. ارتفاع و میزان جابجایی نامناسب دپوی سنگ، که بعضاً ناشی از اعمال زمان تأخیر نامناسب است، علاوه بر کاهش بهره‌وری ماشین‌آلات

¹ Muckpile Profile and Displacement

² Fragmentation Quality

³ Ground Vibration

⁴ Backbreak

⁵ Fly Rock

⁶ Air Blast

بارگیری و باربری و مقدار پاک‌سازی^۱ بلوک انفجاری، در برخی موارد می‌تواند مشکلات ایمنی را نیز به همراه داشته باشد.

علاوه بر ارتفاع و جابجایی، میزان تورم^۲ کپه حاصل از انفجار نیز باید مورد توجه قرار گیرد. تورم، نسبت بین حجم کل سنگ خردشده به حجم توده سنگ برجا است. این مقدار بین ۱ تا ۱/۷ متغیر بوده و مقدار متوسط آن در انفجارهای روباز با تعداد ردیف مناسب، معمولاً ۱/۴ است. تورم کم، به دلیل کاهش قابلیت نفوذ جام بیل یا لودر (نیاز به نیروی بیشتر حین بارگیری) علاوه بر افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری، زمان سیکل بارگیری را افزایش خواهد داد. یکی از ساده‌ترین راه‌های کسب اطلاع از تورم، دریافت نظرات کاربر بیل یا لودر در حین بارگیری است.

۲-۲-۴ کیفیت خردایش

خردایش سنگ به دلیل تأثیر مستقیم روی هزینه‌های حفاری و انفجار و همچنین هزینه عملیات‌های بعدی نظیر بارگیری، باربری و سنگ شکنی اولیه، به عنوان مهم‌ترین پارامتر انفجار تولیدی محسوب می‌شود. از نقطه نظر فرآیند عملیات خردایش، خردشدگی بهینه حاصل از انفجار به گونه‌ای است که عملکرد سیکل مربوطه بیشینه بوده و مصرف نیرو حداقل باشد. اما در بعضی از مواد معدنی به این صورت نیست که خردشدگی بهینه حاصل از انفجار، بیشینه عملکرد سیکل خردایش باشد بلکه ارزش و شرایط مشتری (بازار)، توزیع ابعاد سنگ‌های خرد شده حاصل از انفجار را تعیین خواهد کرد (Lecturer & Gupta, 1996).

برای تعیین درجه خردایش روش‌های مستقیم و غیر مستقیم وجود دارد. روش‌های مستقیم

شامل آنالیز سرنندی^۳، شمارش قطعات درشت^۴ و اندازه‌گیری مستقیم^۵ است (Jimeno, 1995; Hustrulid, 1999).

¹ Clean Up

² Swelling

³ Screen Analysis

⁴ Boulder Counting

⁵ Measuring the Pieces Directly

دقیق‌ترین روش ارزیابی خردایش، آنالیز سرنندی دپوی انفجاری است. اگر چه این روش برای مقدار کمی از موارد و یا در موارد خیلی خاص امکان‌پذیر می‌باشد اما از آنجا که تهیه یک منحنی دانه‌بندی کامل به این ترتیب، بسیار زمان‌بر و پرهزینه است، بیشتر از روش‌های غیر مستقیم استفاده می‌شود (Hustrulid, 1999; Sudhakar & Gupta, 2006).

روش‌های غیر مستقیم در کل به دو گروه تقسیم می‌شوند (Jimeno, 1995; Hustrulid, 1999):

- روش‌های مبتنی بر تصویربرداری^۱
 - روش‌های مبتنی بر اندازه‌گیری پارامترهایی که می‌توانند به نحوی وابسته به درجه خردایش باشند.
- دقت روش‌های تصویربرداری به کنترل منبع خطا و کاهش تأثیر آن روی نتایج بستگی دارد. از جمله روش‌هایی که در دسته دوم قرار می‌گیرد می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- بررسی و کنترل عملکرد سنگ‌شکن^۲
 - کنترل هزینه‌های انفجار ثانویه^۳
 - کنترل عملکرد بیل یا لودر^۴
- از بین روش‌های مذکور در حال حاضر، روش آنالیز تصویری از دقت بیشتری برخوردار است.

۳-۲-۴ اثرات زیست محیطی پس از انفجار^۵

عقب‌زدگی، پرتاب سنگ، لرزش زمین، انفجار هوا و ... عوارض جانبی نامطلوب پس از انفجار

¹ Photographic methods

² Crusher Monitoring

³ Monitoring of Secondary Blasting Costs

⁴ Shovel Monitoring

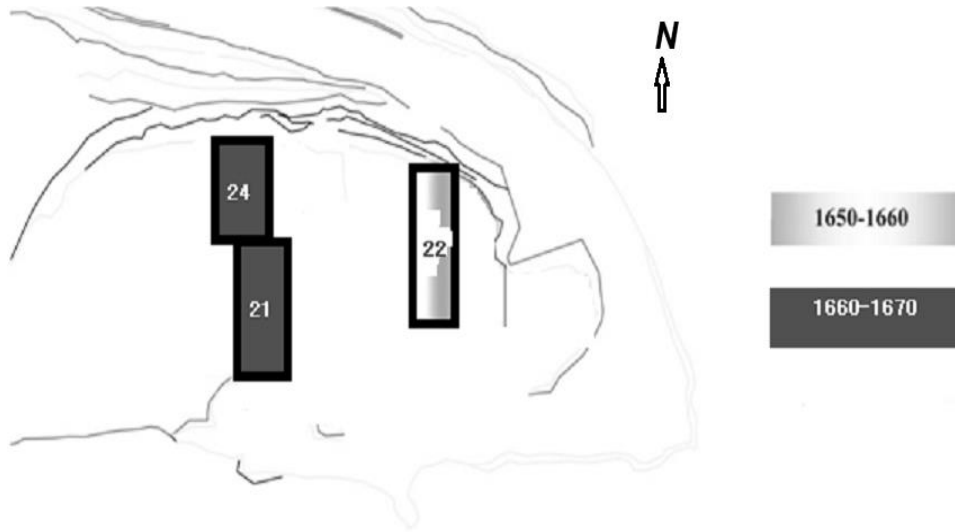
⁵ Environmental Effects

هستند. عقب‌زدگی ممکن است به صورت خردشدگی اضافه یا گسترش ترک‌های کششی در پشت آخرین ردیف چال مشاهده شود. محل وقوع پرتاب سنگ نیز ممکن است سر چال، سینه‌کار، ردیف‌های جلو و ردیف آخر باشد. در صورت تشخیص علت و محل این عوارض، می‌توان آن‌ها را برطرف نمود.

۳-۴ ارزیابی و بررسی انفجارهای ثبت شده در معدن سنگان

در راستای هدف این تحقیق به منظور کسب یک دید کلی، پس از اجرای هر انفجار نتایج آن بررسی و مشاهدات انجام شده در محل ثبت شده است. در ادامه این بخش، نتایج مشاهدات، مشکلات موجود، دلایل و عوامل مؤثر در شکل‌گیری آن‌ها بیان می‌شود. سپس این عوارض با توجه به رده‌بندی‌های پیشنهاد شده برای آن‌ها، مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

برای انجام این کار تعداد ۱۳ انفجار انجام شده ثبت شد. در شکل‌های ۱-۴ و ۲-۴ موقعیت بلوک‌های انفجاری و در جدول ۱-۴ پارامترهای طراحی این انفجارها آورده شده است.



شکل ۴-۱: موقعیت بلوک‌های انفجارهای ثبت شده در توده B



شکل ۴-۲: موقعیت بلوک‌های انفجارهای ثبت شده در توده C_n

جدول ۴-۱: مشخصات الگوهای انفجاری ثبت شده

ردیف	کد انفجار	قطر چال	بارسنگ	فاصله ردیفی	طول چال	اضافه حفاری	گل‌گذاری	خرج ویژه
------	-----------	---------	--------	-------------	---------	-------------	----------	----------

(kg/t)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(mm)		
۰/۱۳	۵/۵	۲/۵	۱۰/۷۴	۶/۶	۵/۵	۲۰۳	C _n -۲۳	۱
۰/۲۴	۵	۲	۹/۳	۶	۵	۲۰۳	C _n -۲۶	۲
۰/۲۱	۵/۵	۲/۵	۱۱/۲۶	۶/۶	۵/۵	۲۰۳	C _n -۲۷	۳
۰/۱۴	۵	۲	۱۱/۳۶	۶	۵	۲۰۳	C _n -۲۹	۴
۰/۱۴	۴/۵	۲/۵	۱۱/۶	۶/۶	۵/۵	۲۰۳	C _n -۳۰	۵
۰/۱۴	۵	۲	۸/۸	۶	۵	۲۰۳	C _n -۳۴	۶
۰/۱۹	۴	۲	۱۰/۶	۶	۵	۲۰۳	C _n -۳۵	۷
۰/۲۲	۴	۲	۱۲/۵۸	۵	۴/۵	۲۰۳	C _n -۳۹	۸
۰/۲	۵	۲	۱۲/۴	۵	۵	۲۰۳	C _n -۴۰	۹
۰/۲	۵	۲	۱۱/۸۹	۵	۵	۲۰۳	C _n -۴۶	۱۰
۰/۱۸	۴	۲	۱۱/۴۲	۵/۵	۴/۵	۲۰۳	B-۲۱	۱۱
۰/۳۲	۴	۲	۱۰	۴	۴	۲۰۳	B-۲۲	۱۲
۰/۲۱	۴/۵	۲	۱۱/۰۹	۴/۵	۴/۵	۲۰۳	B-۲۴	۱۳

۱-۳-۴ مشکلات مشاهده شده در معدن

الف) تولید قطعات درشت^۱ در بعضی از انفجارها

تولید قطعات درشت سنگ و خردایش نامناسب، باعث تحمیل هزینه‌های اضافی در مرحله استخراج، به دلیل افزایش استهلاک تجهیزات بارگیری، اتلاف زمان برای جابجایی قطعات سنگ و خردایش ثانویه، می‌شود. در شکل ۳-۴ نمونه‌ای از قطعات درشت تولید شده و چال کاملاً سالم در داخل یکی از آن‌ها مشاهده می‌شود.

^۱ Boulder



شکل ۳-۴: قطعات درشت تولید شده در برخی از انفجارهای انجام شده

از جمله دلایل احتمالی ایجاد قطعات درشت، می‌توان به وجود درزه و شکاف و زون خرد شده در امتداد چال، عدم خرج‌گذاری کامل چال به دلیل ریزش دیواره یا آبدار بودن آن، قطع‌شدگی مدار و بار سنگ غیر یکنواخت ردیف اول اشاره کرد.

ب) عقب‌زدگی

عقب‌زدگی زیاد یکی از نتایج نامطلوب بعضی انفجارها در معدن سنگان است که در بخش ارزیابی بیشتر به آن پرداخته می‌شود. خردشدگی دیواره ناشی از عقب‌زدگی باعث ایجاد بارسنگ غیر یکنواخت برای ردیف‌های انفجار بعدی می‌شود (شکل ۴-۴). از طرفی چنانچه این شکستگی‌ها بیش از حد معمول باشد، حفاری چال‌های ردیف اول در الگوی بعدی مشکل می‌شود. فرارگیری باطله سست و خرد شده در پشت ردیف آخر و آتشیاری در امتداد شیب لایه بندی از جمله عوامل عقب‌زدگی زیاد در این معدن می‌باشد.



شکل ۴-۴: عقب‌زدگی در انفجارهای انجام شده

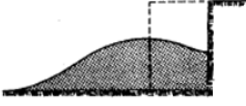
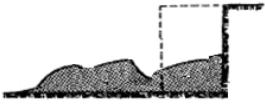
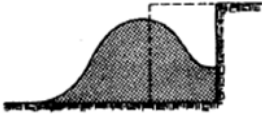
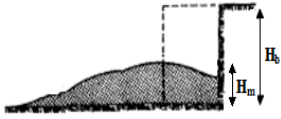
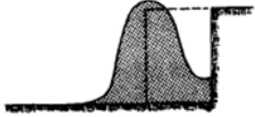
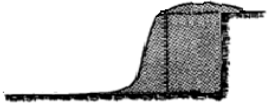
۴-۴ ارزیابی کمی انفجارهای انجام شده

برای بهبود هر سیستمی ابتدا باید روند اجرایی زیر سیستم‌ها را مورد توجه و بررسی قرار داده و پس از دستیابی به نقاط قوت، ضعف، مشکلات و موانع موجود، اقدام به بهینه‌سازی آن نمود. در بحث انفجار ابتدا باید الگوهای حفاری را بررسی کرده و با مشاهده و تحلیل نتایج پس از انفجار، نقاط ضعف و قوت طرح را تشخیص داد. چنانچه با رفع ضعف‌های موجود، بهبودی حاصل نشد، می‌توان به استفاده از روش‌های نوین پیش‌بینی روی آورد.

۱-۴-۴ شکل هندسی، ارتفاع و میزان جابجایی کپه حاصل از انفجار

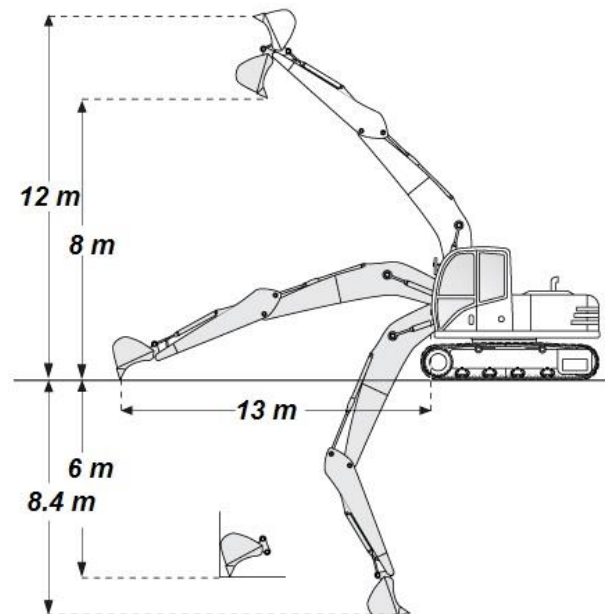
شکل بهینه کپه در هر عملیات متفاوت بوده و بستگی به ماشین آلات بارگیری و حمل دارد. رده‌بندی وضعیت کپه سنگ خرد شده در جدول (۲-۴) آمده است. مقطع ۱ برای کار لودرهای معمولی ایده‌آل است، ولی برای کار شاول‌های کابلی، زمان‌های لازم برای جمع‌آوری مواد و تمیز کردن اطراف شاول باعث پایین آمدن بازده آن می‌شود. مقطع ۵ کمترین نیاز را به تمیز کردن اطراف داشته و راندمان بالایی دارد. در این حالت احتمال بروز مشکلات ایمنی (برای لودر) در اثر سقوط سنگ‌ها از ارتفاع زیاد وجود دارد. مقطع ۳ شرایط بهینه برای کار شاول‌های کابلی را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۲: رده‌بندی وضعیت کپه سنگ خرد شده (Taji & et al., 2010)

توصیف	کد مقطع
<ul style="list-style-type: none"> نیاز به پاک‌سازی ناحیه وسیع کارایی پایین (شاول) ایمنی خوب بارگیری عملیات نسبتاً آسان بارگیری 	 $H_m = (1/3 - 2/3) H_b$
<ul style="list-style-type: none"> مقطع نامنظم نیاز به پاک‌سازی ناحیه وسیع کارایی پایین (شاول) ایمنی نسبتاً خوب بارگیری 	 $H_m = (1/3 - 2/3) H_b$
<ul style="list-style-type: none"> مساحت متوسط برای پاک‌سازی کارایی خوب (شاول) ایمنی خوب بارگیری 	 $H_m = (2/3 - 1) H_b$
<ul style="list-style-type: none"> نیاز زیاد به پاک‌سازی پاک‌سازی ناحیه وسیع کارایی بسیار پایین (شاول) ایمنی خیلی خوب بارگیری 	 $H_m < 1/3 H_b$
<ul style="list-style-type: none"> مساحت کم برای پاک‌سازی کارایی خیلی خوب (شاول) ایمنی بد بارگیری (لودر) 	 $H_m > H_b$
<ul style="list-style-type: none"> جابه‌جایی خیلی کم کپه سختی عملیات پاک‌سازی دیواره ایمنی بد بارگیری (لودر) 	 $H_m > H_b$

با توجه به این که بیل نسبت به شاول، نیاز به پخش شدگی بیشتر کپه انفجاری دارد، به نظر می‌رسد مقاطع ۳ و ۱ برای کار بیل شرایط مناسب‌تری داشته باشد. ارتفاع بارگیری بیل موجود در معدن ۸ متر و شعاع دسترسی آن ۱۳ متر است (شکل ۴-۵). در جدول ۴-۳ پارامترهای برداشت شده برای ارزیابی کمی شکل کپه‌های حاصل از هر انفجار مشاهده می‌شود.

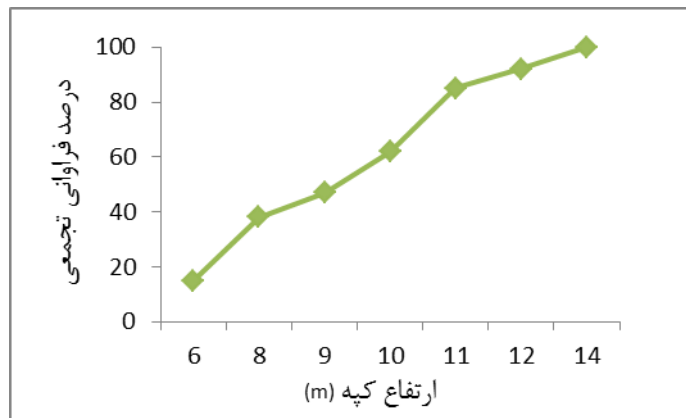
در شکل‌های ۴-۶ و ۴-۷ فراوانی نمای ارتفاع و جابجایی کپه‌های انفجارهای انجام شده آورده شده است. همان طور که در این شکل‌ها دیده می‌شود تنها ۳۸ درصد انفجارهای انجام شده ارتفاعی بین ۶-۸ متر دارند، که مناسب بارگیری با بیل موجود در معدن با حداکثر ارتفاع قابل دسترسی ۸ متر می‌باشد. از طرفی دیگر حدود ۴۰ درصد این انفجارها جابجایی کپه‌ای در حدود ۲۰ تا ۲۶ متر داشته‌اند که در محدوده مناسب جابجایی برای بارگیری با بیل قرار دارند. با در نظر گرفتن تأثیر همزمان دو پارامتر ارتفاع و جابجایی و با توجه به جدول پیشنهادی ۴-۲، نمودار درصد فراوانی رده‌بندی شکل کپه انفجارهای انجام شده در شکل ۴-۸ قابل مشاهده است.



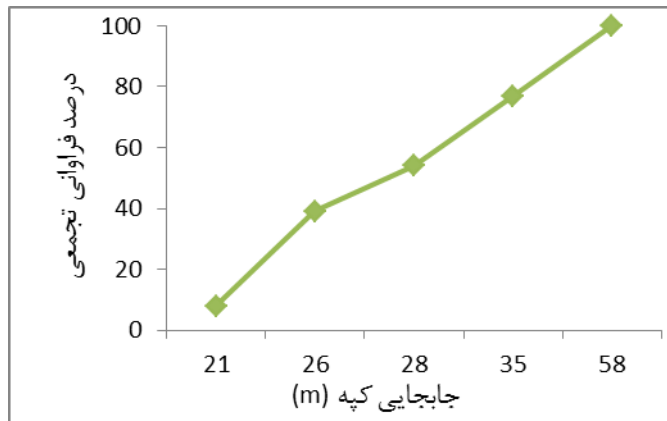
شکل ۴-۵: مشخصات بیل معدن

جدول ۳-۴: پارامترهای برداشت شده شکل کپه انفجارهای ثبت شده

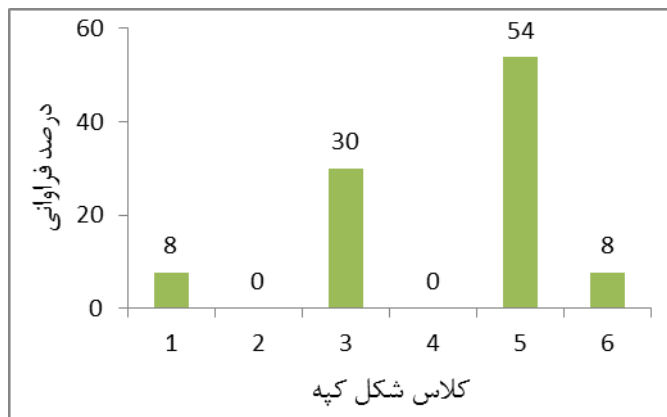
ردیف	کد انفجار	عرض بلوک (متر)	ارتفاع کپه (متر)	جابجایی کپه (متر)	کد مقطع کپه
۱	C _n -۲۳	۱۵	۱۰	۲۳	۵
۲	C _n -۲۶	۱۸	۹	۲۶	۵
۳	C _n -۲۷	۱۴/۵	۱۱	۲۱	۵
۴	C _n -۲۹	۱۸	۱۲	۲۵	۵
۵	C _n -۳۰	۱۶/۵	۱۱	۲۲	۵
۶	C _n -۳۴	۲۵	۸	۲۷	۶
۷	C _n -۳۵	۳۰	۶	۵۸	۱
۸	C _n -۳۹	۲۲/۵	۱۰	۴۴	۳
۹	C _n -۴۰	۲۵	۱۴	۳۰	۵
۱۰	C _n -۴۶	۲۵	۱۱	۳۵	۵
۱۱	B-۲۱	۱۳/۵	۸	۳۲	۳
۱۲	B-۲۲	۱۲	۶	۲۸	۳
۱۳	B-۲۴	۱۸	۷	۴۰	۳



شکل ۴-۶: فراوانی نمای ارتفاع کپه‌ها پس از انفجار (درصد)



شکل ۴-۷: فراوانی نمای جابجایی کپه‌ها پس از انفجار (درصد)



شکل ۴-۸: نمودار درصد فراوانی رده‌بندی شکل کپه پس از انفجار

همان طور که از شکل ۵-۸ استنباط می‌شود با توجه به مقاطع مناسب برای بیل (۱ و ۳) در مجموع حدود ۴۰ درصد انفجارهای انجام شده از نظر شکل کپه مناسب بارگیری با بیل موجود در معدن می‌باشد.

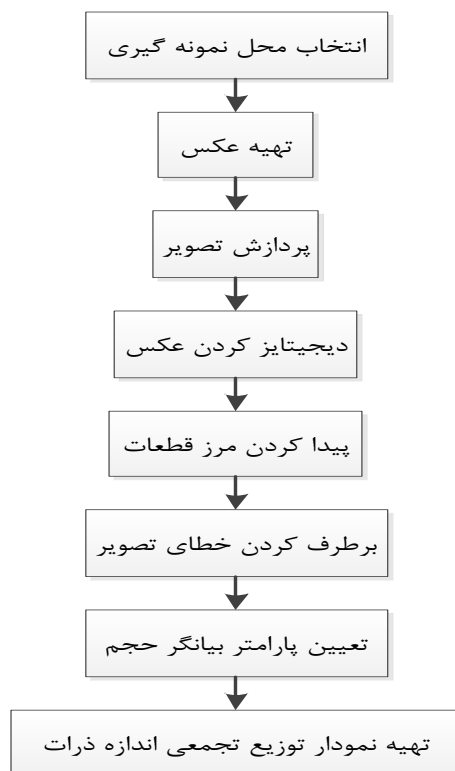
۲-۴-۴ کیفیت خردایش

به منظور ارزیابی انفجارها از نظر خردایش، توزیع خردشدگی حاصل از انفجارها با استفاده از روش آنالیز تصویری توسط نرم افزار Gold Size 2، به دست آمده است. در روش‌های آنالیز تصویری برای تعیین دانه‌بندی، باید سه مرحله زیر انجام شود (Chakraborty, 2004):

- انتخاب محل نمونه‌گیری
- تهیه عکس
- انجام آنالیز با دقت زیاد

هر یک از سه مرحله اصلی انتخاب محل نمونه‌گیری، تهیه عکس و پردازش تصویر باید با دقت کافی و بنا بر شرایط خاص منطقه و نتایج مورد نیاز از این آنالیز انجام گیرد.

در مرحله انتخاب محل نمونه‌گیری، انتخاب محل باید به گونه‌ای باشد که این محل‌ها، معرف توده خرد شده باشد. تصویر تهیه شده نیز باید از کیفیت خوبی برخوردار باشد؛ و در نهایت در مرحله آنالیز، که اصلی‌ترین و مهم‌ترین بخش کار را نیز در بر دارد، در رسم محیط قطعه‌ها در تصویر باید دقت کافی صورت گیرد. در شکل ۴-۹ یک روند نما از کل مراحل ذکر شده آورده شده است.

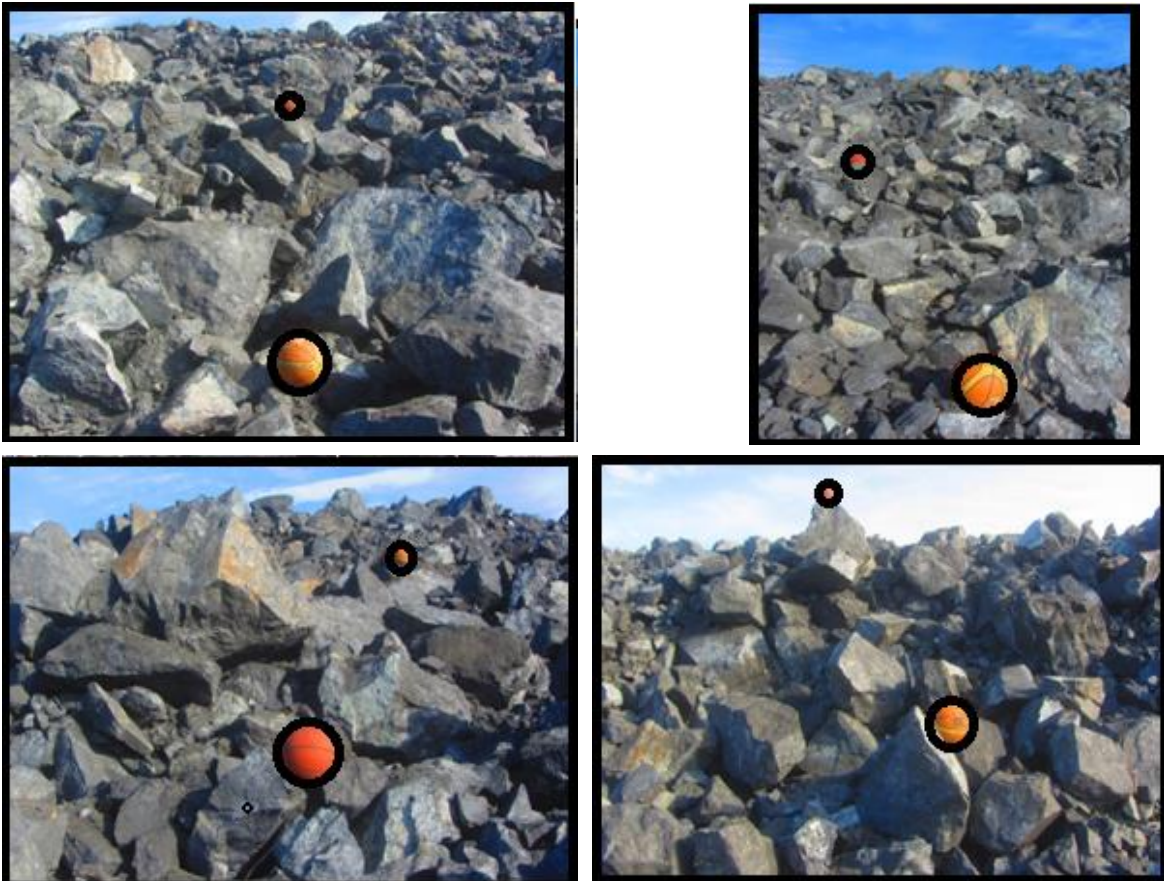


شکل ۴-۹: روندنمای روش آنالیز تصویری با استفاده از نرم افزار Gold Size 2

در ادامه روند مراحل انجام آنالیز خردایش با نرم افزار Gold Size 2 در منطقه مورد مطالعه بررسی می شود.

الف - تهیه عکس

حدود ۹ عکس از قسمت‌های مختلف کپه گرفته شده است. این عکس‌ها به گونه‌ای برداشت شده است که ابعاد هر عکس حدود 3×3 متر را پوشش دهد. برای برطرف کردن خطای عکس‌ها و اندازه ابعاد واقعی از دو توپ با قطر ۲۵ سانتی‌متر در هر عکس به صورت مرکزی استفاده شده است. (شکل ۴-۱۰).



شکل ۴-۱۰: قرار دادن توپ به عنوان مقیاس بر روی دپوی انفجار ۳۰- C_n در زمان عکس برداری

ب- مرزیابی

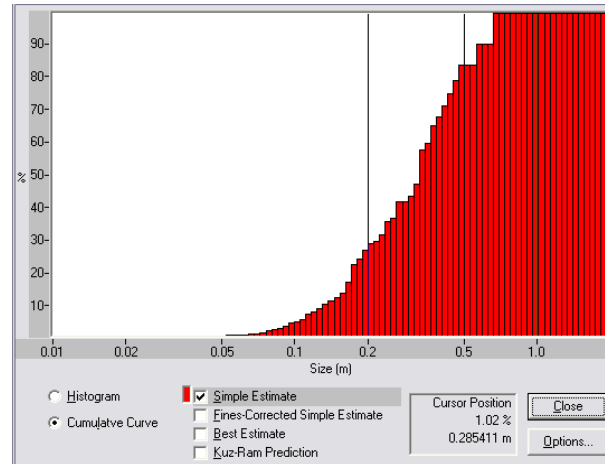
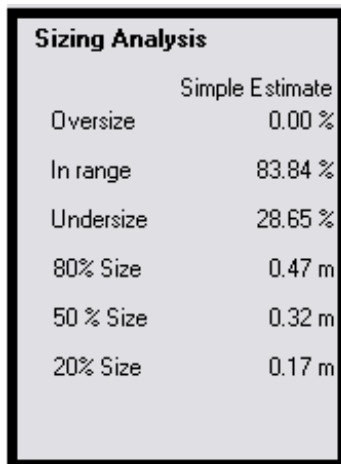
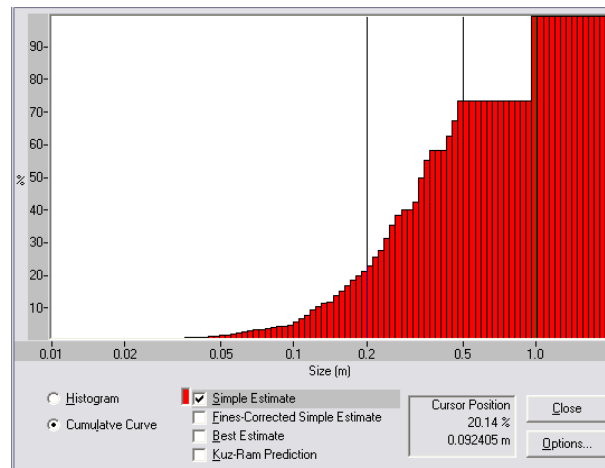
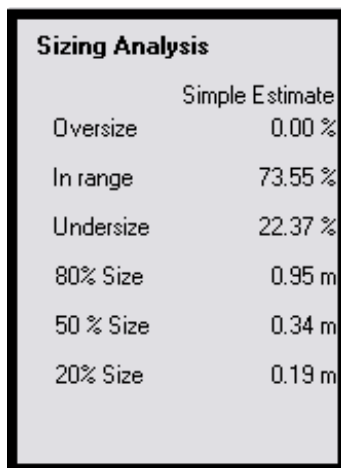
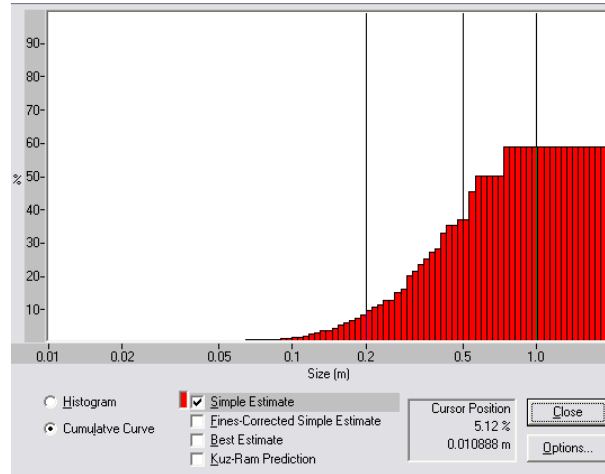
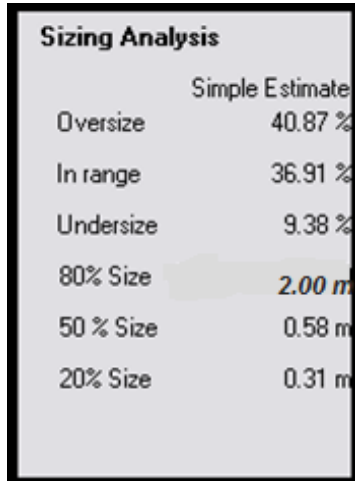
تصویر اولیه تهیه شده برای قابل فهم بودن برای نرم افزار به یک عکس با پسوند BMP تبدیل می شود به نحوی که از کیفیت خوب و مناسبی برخوردار باشد. سپس هر عکس به نوبت انتخاب و تمام ذرات با موس مرزیابی می شوند. پس از مرزیابی قطعات در تصویر اولیه (BMP)، یک فایل جدید دیجیتالیز با همان نام و با پسوند DIG ذخیره می شود (شکل ۴-۱۱).



شکل ۴-۱۱: مرزیابی قطعات سنگ در تصاویر دپوی انفجار C₁₁₋₃₀

ج- تحلیل دانه بندی

مجموعه فایل های دیجیتالیز شده که فایل خانواده نامیده می شود، در یک مرحله ترکیب شده و بسته به انتخاب کاربر، چهار یا شش توزیع ابعادی ارائه می کند. در این تحقیق از توزیع ابعادی درصد تجمعی عبور کرده از سرند استفاده شده است (شکل ۴-۱۲).

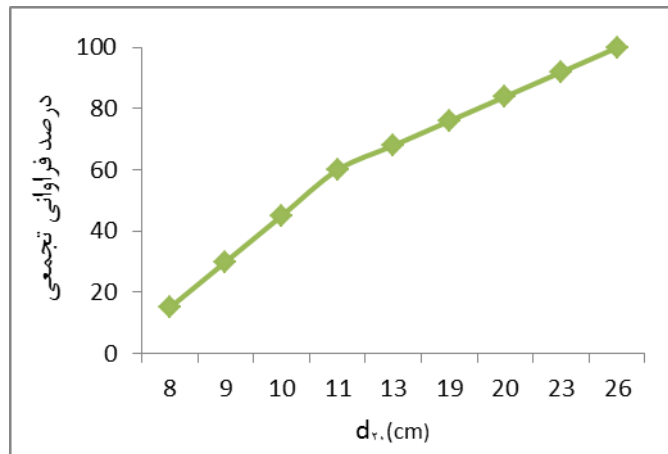


شکل ۴-۱۲: نمایش توزیع ابعادی تجمعی قطعات سنگ حاصل از انفجار C_n-30 در نرم افزار Gold Size

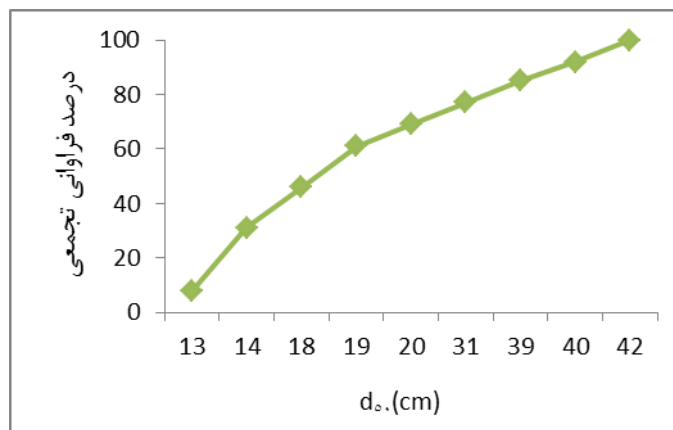
این روند (الف تا ج) برای عکس‌های تهیه شده برای هر انفجار انجام شد که در پیوست ۱ آمده است. در نهایت با میانگین‌گیری از نمودارهای توزیع درصد تجمعی عبوری از سرند هر انفجار، اندازه مشخصه d_p (اندازه دهانه سرندي که ۲۰ درصد ذرات از آن عبور می‌کنند)، d_5 (اندازه دهانه سرندي

که ۵۰ درصد ذرات از آن عبور می‌کنند) و d_{80} (اندازه دهانه سرنندی که ۸۰ درصد ذرات از آن عبور می‌کنند) برای تمام ۱۳ انفجار ثبت شده به دست آمده است.

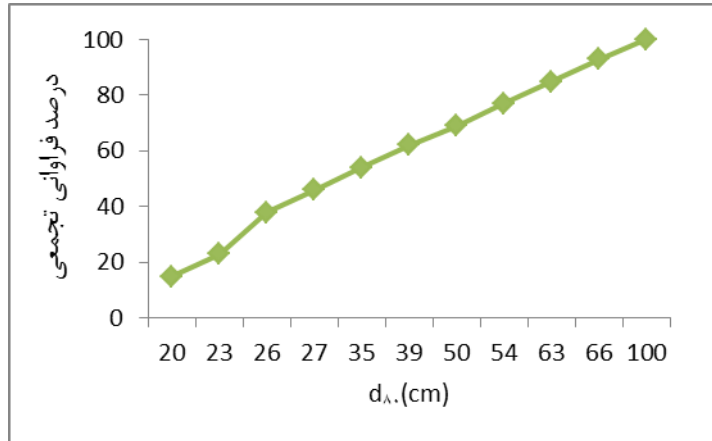
فراوانی نمای d_{80} ، d_{50} و d_{10} در شکل‌های ۴-۱۳، ۴-۱۴ و ۴-۱۵ مشاهده می‌شود. همان طور که از شکل ۴-۱۳ پیداست ۸۴ درصد توزیع ذرات مربوط به d_{10} ذراتی با اندازه کمتر از ۲۰ سانتی‌متر هستند. در شکل ۴-۱۴ نیز مشاهده می‌شود که ۱۰۰ درصد توزیع ذرات مربوط به d_{50} به ذرات با اندازه کمتر از ۴۲ سانتی‌متر تعلق دارند. همچنین با توجه به شکل ۴-۱۵ حدود ۷۰ درصد اندازه ذرات مربوط به d_{80} ذراتی با اندازه کمتر از ۵۰ سانتی‌متر تشکیل می‌دهند.



شکل ۴-۱۳: فراوانی نمای اندازه ذرات d_{10} (%)



شکل ۴-۱۴: فراوانی نمای اندازه ذرات d_{50} (%)



شکل ۴-۱۵: فراوانی نمای اندازه ذرات d_{80} (%)

در نهایت برای ارزیابی نتایج خردایش حاصل از انفجارهای انجام شده، طبق جدول ۴-۴ از پارامتر بازدهی خردایش^۱ استفاده شده است. بازدهی خردایش هر انفجار مطابق رابطه ۴-۱ با کسر درصد مربوط به بیش خردایش (کمتر از ۲۰ سانتی‌متر) و بزرگ‌تر از ۱ متر (قطعات درشت) از ۱۰۰ درصد مواد، تعیین شده است.

رابطه ۴-۱ [درصد قطعات کمتر از ۲۰ سانتی‌متر + درصد قطعات بزرگ‌تر از ۱ متر] - ۱۰۰ = بازدهی خردایش

جدول ۴-۴: رده‌بندی وضعیت خردشدگی (Taji & et al., 2010)

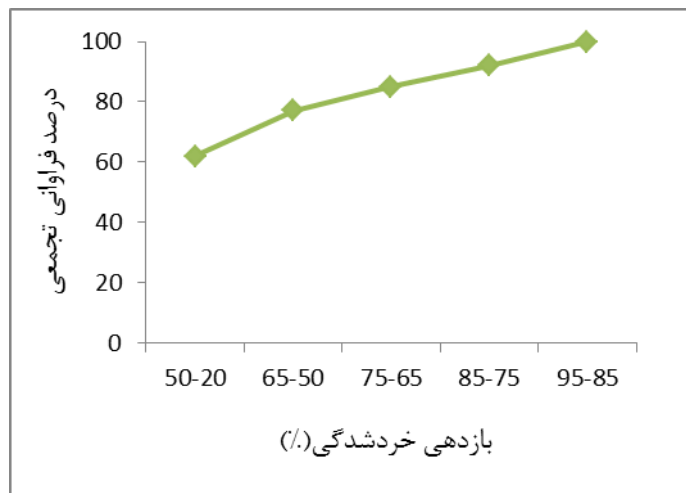
رده	۱	۲	۳	۴	۵	۶
بازدهی خردشدگی (%)	>۹۵	۸۵-۹۵	۷۵-۸۵	۶۵-۷۵	۵۰-۶۵	<۵۰
کیفی	عالی	خیلی خوب	خوب	متوسط	نامناسب	خیلی ضعیف

در جدول ۴-۵ اندازه مشخصه دانه‌بندی و بازدهی خردشدگی برای ۱۳ انفجار ثبت شده آورده شده است. بر این اساس فراوانی‌نمای بازدهی خردشدگی (شکل ۴-۱۶) و فراوانی‌نمای کلاس بازدهی خردشدگی (شکل ۴-۱۷) به دست آمده است. با توجه به این شکل‌ها می‌توان نتیجه گرفت که حدود ۸۰ درصد انفجارهای انجام شده از نظر بازدهی انفجار در وضعیت نامناسب تا خیلی ضعیف قرار دارند.

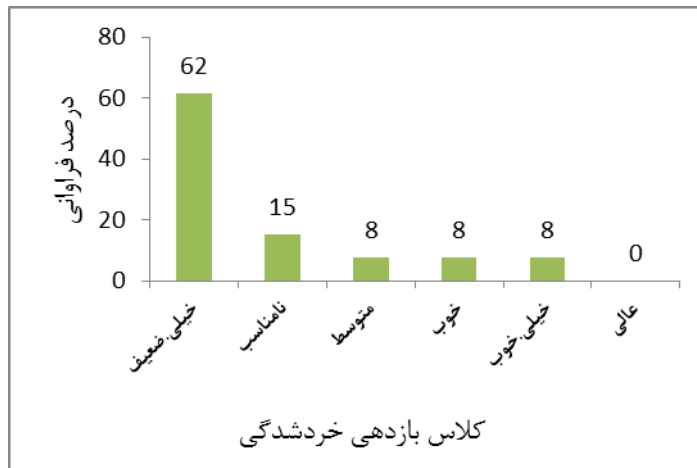
^۱ Fragmentation Efficiency

جدول ۴-۵: اندازه مشخصه انفجارهای ثبت شده

بازدهی خردشدگی (%)	قطعات درشت (%)	بیش خردایش (%)	(cm) D _{۸۰}	(cm) D _{۵۰}	(cm) D _{۲۰}	کد انفجار	ردیف
۸۹	۰	۱۱	۶۳	۴۰	۲۶	C _n -۲۳	۱
۲۰	۰	۸۰	۲۰	۱۴	۹	C _n -۲۶	۲
۸۴	۰	۱۶	۶۶	۴۲	۲۳	C _n -۲۷	۳
۴۸	۰	۵۲	۳۵	۱۹	۱۰	C _n -۲۹	۴
۶۰	۲۰	۲۰	۱۰۰	۳۹	۲۰	C _n -۳۰	۵
۷۲	۰	۲۸	۵۴	۳۱	۱۹	C _n -۳۴	۶
۳۹	۰	۶۱	۲۷	۱۸	۱۱	C _n -۳۵	۷
۳۶	۰	۶۴	۲۶	۱۹	۱۱	C _n -۳۹	۸
۲۰	۰	۸۰	۲۰	۱۳	۸	C _n -۴۰	۹
۲۴	۰	۷۶	۲۳	۱۴	۹	C _n -۴۶	۱۰
۳۱	۰	۶۹	۲۶	۱۴	۸	B-۲۱	۱۱
۵۰	۰	۵۰	۳۹	۲۰	۱۳	B-۲۲	۱۲
۴۴	۰	۵۶	۵۰	۱۸	۱۰	B-۲۴	۱۳



شکل ۴-۱۶: فراوانی نمای بازدهی خردشدگی



شکل ۴-۱۷: فراوانی نمای کلاس بازدهی خردشدگی

۳-۴-۴ وضعیت عقب‌زدگی

پس از برداشتن سنگ‌های خرد شده، می‌توان به وجود شکستگی‌ها و میزان صدمات وارده به توده‌سنگ‌های باقیمانده پی برد. میزان آسیب و خسارت شکستگی‌های ناخواسته در پشت^۱ و دیواره‌های کناری بلوک^۲ باعث ایجاد مشکل در نفوذ و برداشت سیستم بارگیری و کاهش راندمان و افزایش مشکلات عملیات حفاری بلوک‌های انفجاری اطراف می‌شود. در جدول ۴-۶ مقدار عقب‌زدگی هر یک از انفجارهای انجام شده بیان شده است.

برای ارزیابی انفجارهای انجام شده از نظر وضعیت عقب‌زدگی با توجه به مقدار بارسنگ‌های طراحی شده و وضعیت ایمنی دستگاه حفاری، کلاس‌های رده‌بندی‌ای مطابق جدول ۴-۷ پیشنهاد شده است.

فراوانی نمای عقب‌زدگی و کلاس‌های رده‌بندی عقب‌زدگی در شکل‌های ۴-۱۸ و ۴-۱۹ آورده شده است. طبق این اشکال نیمی از انفجارهای انجام شده در کلاس متوسط تا کم و نیمی دیگر در محدوده‌ی زیاد تا خیلی زیاد قرار دارند.

¹ Back Break

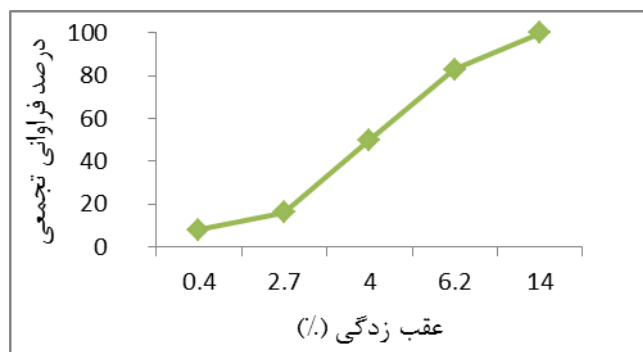
² Side Break

جدول ۴-۶: مقدار عقب زدگی انفجارهای ثبت شده

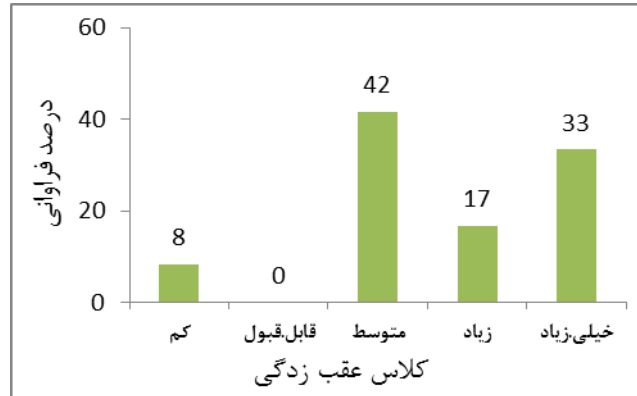
ردیف	کد انفجار	مقدار عقب زدگی (متر)
۱	C _n -۲۳	۶/۲
۲	C _n -۲۶	۶/۲
۳	C _n -۲۷	۴/۳
۴	C _n -۲۹	۹/۸
۵	C _n -۳۰	۳/۵
۶	C _n -۳۴	-
۷	C _n -۳۵	۰/۴
۸	C _n -۳۹	۱۴
۹	C _n -۴۰	۲/۷
۱۰	C _n -۴۶	۵/۱
۱۱	B-۲۱	۳/۲
۱۲	B-۲۲	۳
۱۳	B-۲۴	۴

جدول ۴-۷: رده بندی شرایط شکستگی های ناخواسته (Taji & et al., 2010)

رده	شرایط کیفی	عقب زدگی (متر)	شرایط استقرار دستگاه حفاری
۱	کم	<۱	محل استقرار دستگاه حفاری، مناسب و ایمن
۲	قابل قبول	۱-۲	استقرار دستگاه حفاری، نسبتاً ایمن است
۳	متوسط	۲-۴	استقرار دستگاه حفاری، نسبتاً نامناسب و خطرناک است
۴	زیاد	۴-۶	استقرار دستگاه حفاری، نامناسب و خطرناک است
۵	خیلی زیاد	>۶	استقرار دستگاه حفاری، نامناسب و خیلی خطرناک است



شکل ۴-۱۸: فراوانی نمای عقب زدگی



شکل ۴-۱۹: نمودار درصد فراوانی کلاس‌های رده‌بندی عقب‌زدگی

۴-۴-۴ پرتاب سنگ

شرایط زیست‌محیطی انفجار شامل لرزش هوا، لرزش زمین، سر و صدا، پرتاب سنگ، گرد و غبار و گازهای انفجاری است. این شرایط باعث مشکلات تولیدی و زیست‌محیطی مانند کاهش کارایی و افزایش خسارت به ماشین‌آلات، افزایش ریسک رقت، خسارات به ساختمان، جراحات کارگران و اپراتورها و در نهایت افزایش هزینه‌های معدن‌کاری می‌شود. ارزیابی بعضی از ملاحظات زیست‌محیطی مانند گرد و غبار و گازهای انفجاری، با روش مشاهده‌ای امکان‌پذیر نیست. ولی نتیجه و نمود بعضی از این ملاحظات مانند لرزش هوا، لرزش زمین و پرتاب سنگ را می‌توان به این روش ملاحظه نمود. در جدول ۴-۸ مقدار پرتاب سنگ انفجارهای ثبت شده مشاهده می‌شود.

خرج ویژه زیاد، کاهش میزان بار سنگ، طول کم گل‌گذاری، تأخیر نامناسب و وجود حفره‌ها و نواحی غیر مقاوم از جمله عوامل مؤثر در افزایش پرتاب سنگ می‌باشد. برای ارزیابی پرتاب سنگ نیز رده‌بندی کلاس‌های پرتاب سنگ مطابق جدول ۴-۹ ارائه شده است. از آنجا که فاصله نزدیک‌ترین تأسیسات به محل‌های انفجار بیش از ۲۰۰ متر می‌باشد، پرتاب سنگ‌های کمتر از ۲۰۰ متر از نظر خسارت به تأسیسات در حد قابل قبول تا نسبتاً قابل قبول قرار خواهند گرفت.

از نقطه نظر پرتاب سنگ با توجه به فراوانی نمای شکل ۴-۲۰ و نمودار درصد فراوانی کلاس‌های رده‌بندی پرتاب سنگ (شکل ۴-۲۱)، می‌توان گفت که ۱۰۰ درصد انفجارهای انجام شده

در محدوده پرتاب سنگ قابل قبول تا نسبتاً قابل قبول قرار دارند؛ لذا می‌توان نتیجه گرفت که انفجارهای انجام شده از نظر پرتاب سنگ در وضعیت قابل قبول و مطلوب قرار دارند.

جدول ۴-۸: مقدار پرتاب سنگ انفجارهای انجام شده

پرتاب سنگ (متر)	کد انفجار	ردیف
<۱۰۰	C _n -۲۳	۱
<۱۵۰	C _n -۲۶	۲
<۱۶۰	C _n -۲۷	۳
<۱۴۰	C _n -۲۹	۴
<۱۲۰	C _n -۳۰	۵
<۱۵۰	C _n -۳۴	۶
<۱۷۰	C _n -۳۵	۷
<۲۰۰	C _n -۳۹	۸
<۱۵۰	C _n -۴۰	۹
<۱۷۰	C _n -۴۶	۱۰
<۷۰	B-۲۱	۱۱
<۱۵۰	B-۲۲	۱۲
<۱۵۰	B-۲۴	۱۳

جدول ۴-۹: ملاحظات زیست محیطی عملیات انفجار بر اساس صدمات و تأثیرات زیست محیطی (Taji & et al., 2010)

صدمات و تأثیرات زیست محیطی				خصوصیات
غیر قابل قبول	نسبتاً غیر قابل قبول	نسبتاً قابل قبول	قابل قبول	
نا مقبول	در حد کم ^۱	-	-	خسارات به تسهیلات
زیاد ^۲	نسبتاً مشکل ساز ^۲	خیلی کم	در حد مجاز	پرتاب سنگ
>۲۵۰	۲۰۰-۲۵۰	۱۵۰-۲۰۰	<۱۵۰	مقدار (متر)
<p>۱. خسارات جزئی، تعمیرپذیر و قابل جبران.</p> <p>۲. نیاز به پاک‌سازی سنگ‌های پرتاب شده از سطح راه‌های باربری و دسترسی.</p> <p>۳. راه‌های دسترسی به ویژه، راه‌های باربری بسته شده است و تردد ماشین‌های باربری قبل از پاک‌سازی مقدور نیست. جراحات پرسنل شدید است.</p>				



شکل ۴-۲۰: فراوانی نمای پرتاب سنگ (درصد)



شکل ۴-۲۱: نمودار درصد فراوانی کلاس‌های رده‌بندی پرتاب سنگ

۵-۴ نتیجه‌گیری

با توجه به ارزیابی‌های انجام شده از نتایج انفجارها که نتایج نامطلوب آن در جدول ۴-۱۰ مشاهده می‌شود، می‌توان چنین نتیجه گرفت که انفجارهای انجام شده بیشتر از نظر شکل کپه انفجاری و وضعیت خردایش در حالت نامطلوبی می‌باشد. همچنین اکثر انفجارهای انجام شده دارای حداقل دو اثر نامطلوب بوده است.

بنابراین بازنگری در روش طراحی الگوی حفاری و انفجار در معدن سنگ آهن سنجان ضروری می‌باشد. از این رو برای دستیابی به یک دید کلی و کمی از شرایط توده‌سنگ در معدن و با توجه به اهمیت پارامترهای غیر قابل کنترل (به ویژه شرایط ناپیوستگی‌ها)، لازم است تا در ادامه مطالعات از شاخص قابلیت انفجار توده‌سنگ (BI) لیلی (۱۹۸۶) و شاخص خردایش سنگ (RFI) مومیوند (۱۳۸۴) استفاده شود.

جدول ۴-۱۰: نتایج نامطلوب ارزیابی انفجارهای ثبت شده

ردیف	کد انفجار	وضعیت کپه	کیفیت خردایش	وضعیت عقب زدگی	پرتاب سنگ
۱	C _n -۲۳	•	-	•	-
۲	C _n -۲۶	•	•	•	-
۳	C _n -۲۷	•	-	-	-
۴	C _n -۲۹	•	•	•	-
۵	C _n -۳۰	•	•	-	-
۶	C _n -۳۴	•	-	-	-
۷	C _n -۳۵	-	•	-	-
۸	C _n -۳۹	•	•	•	-
۹	C _n -۴۰	•	•	-	-
۱۰	C _n -۴۶	•	•	•	-
۱۱	B-۲۱	-	•	-	-
۱۲	B-۲۲	-	•	-	-
۱۳	B-۲۴	-	•	-	-

فصل پنجم - زون بندی معدن سنگ آهن سنگان بر اساس قابلیت انفجار

۱-۵ مقدمه

در طراحی یک آتشباری و پیاده‌سازی تئوری انفجار در زمین ابتدا لازم است محیط مورد نظر ارزیابی شود. بدین مفهوم که محیط سنگی به عنوان میزبان فرآیند آتشباری، چه مشخصات ژئومکانیکی دارد. لذا شناخت ویژگی‌های ماده‌سنگ و توده‌سنگ و چگونگی استفاده بهینه از آن‌ها یکی از اساسی‌ترین کارهایی که باید قبل از طراحی بدان توجه شود. توده‌سنگ یک جسم جامد پیوسته همگن و همسانگرد نیست و دارای انواع ناپیوستگی‌ها می‌باشد. بنابراین کلیه رفتار ایستا و پویای سنگ از این امر تأثیر می‌پذیرند.

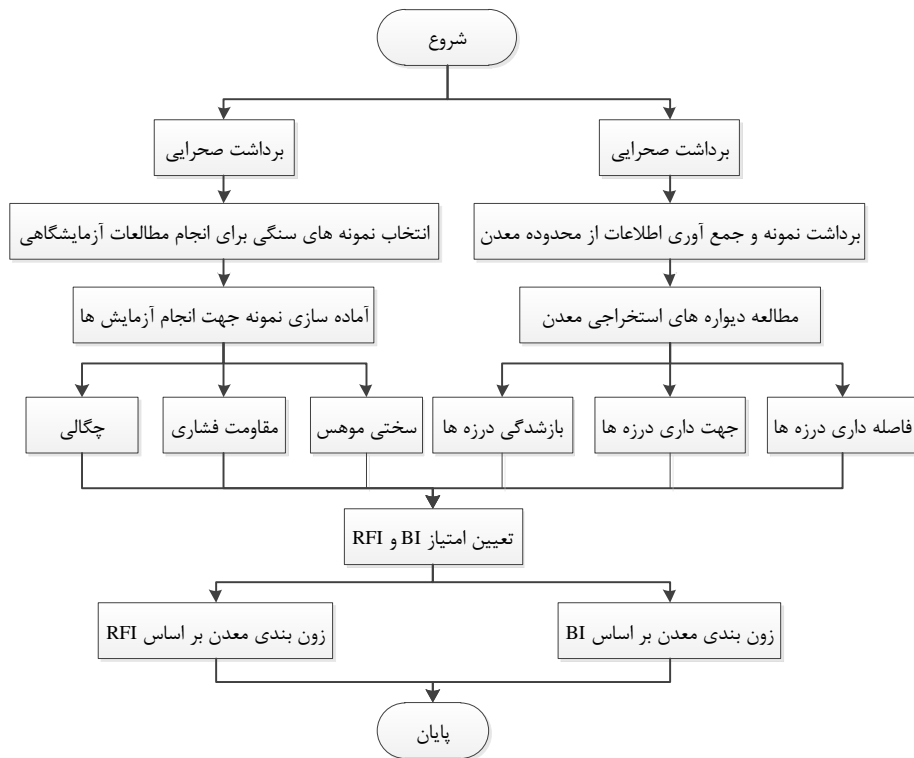
بر اساس آنچه که در فصل قبل مورد بحث قرار گرفت، اکثر انفجارهای انجام شده در مدت زمان این تحقیق دارای حداقل دو اثر نامطلوب بحث شده می‌باشند. با توجه به نقش و تاثیر راندمان آتشباری از نظر میزان خردشدگی سنگ حاصل از انفجار در هزینه‌های عملیات بعدی و سایر مشکلات ناشی از آن و همچنین ارتباط تنگاتنگ فرآیند انفجار و توده‌سنگ، بی‌شک سنجش کیفیت توده‌سنگ و یافتن ارتباط میان این دو موضوع، شرایط را برای پیش‌بینی بهتر رفتار سنگ تحت تنش‌های القایی انفجار فراهم می‌سازد. بنابراین دستیابی به روش طراحی الگوی انفجاری و تخمین خرج ویژه ای که مبتنی بر پارامترهای غیر قابل کنترل باشد، به نظر منطقی‌تر می‌رسد.

همان‌طور که در فصل دوم طی مبحث عوامل مؤثر در طراحی انفجار معادن روباز بحث شد، از بین ویژگی‌های توده‌سنگ، خصوصیات مربوط به ناپیوستگی‌های توده‌سنگ شامل فاصله‌داری، شیب و امتداد درزه‌ها و بازشدگی و پرکننده درزه‌ها و همچنین مشخصات ماده‌سنگ شامل مقاومت فشاری، چگالی، و سختی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر عملکرد انفجار هستند.

لذا استفاده از شاخص قابلیت انفجار (BI) و شاخص خردایش سنگ (RFI) به دلیل آن که اکثر

پارامترهای ذکر شده لحاظ شده‌اند، برای زون‌بندی معدن در ادامه مورد استفاده قرار گرفته است.

برای انجام مطالعات صحرایی و جمع آوری اطلاعات، در بیش از سیزده نقطه معدن سنگ آهن سنگان مشخصات مهندسی توده سنگ برداشت شده است. نمونه‌های ماده سنگ جمع آوری شده از این نقاط به آزمایشگاه منتقل شده و بر روی آن‌ها آزمایش‌های مقاومت بار نقطه‌ای و سختی انجام شده است. سپس خواص مکانیکی ماده سنگ و مشخصات ژئومکانیکی توده سنگ، شاخص قابلیت انفجار و شاخص خردایش سنگ برای توده سنگ‌های موجود در این نقاط تعیین شده است. در نهایت با استفاده از شاخص‌های مذکور خرج ویژه‌ی انفجارها تعیین شده است. شکل ۵-۱ روندنمایی از مراحل انجام مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱: مراحل انجام مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی

۲-۵ مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی

برای این منظور در توده‌ی C شمالی (C_n) محدوده معدن در عمق، طول و عرض با بررسی دیواره‌های حاصل از انفجار ده بلوک پیمایش و با توجه به شرایط توده سنگ‌ها، به ۲ زون غیر آلتره و آلتره تقسیم شد. بلوک‌های شرقی و شمالی (C_n-E,N) در زون غیر آلتره و بلوک‌های غربی و شمال

غربی (C_n-W, NW) در زون آلتزه قرار می گیرند. در توده B نیز با بررسی دیواره های حاصل از انفجار سه بلوک، محدوده معدن در حال حاضر تک زونی است.

در ادامه هر یک از این زون ها برداشت و اطلاعات مورد نیاز ثبت شده است. برای تعیین خصوصیات ژئومکانیکی توده سنگ، ابتدا باید برخی از خواص فیزیکی و مکانیکی سنگ بکر تعیین شوند. جهت تعیین خصوصیات سنگ بکر، بر روی نمونه های جمع آوری شده، آزمایش هایی انجام شد. درستی آزمایشات مکانیک سنگی وابستگی شدیدی به تهیه نمونه خوب از توده سنگ مورد مطالعه دارد. بدین منظور باید شرایطی برای نمونه در نظر گرفته شود تا نمونه معرف شرایط توده سنگ مورد مطالعه باشد. نمونه تا حد امکان باید بدون درزه، شکاف یا پرشدگی ثانویه باشد. نمونه نباید از سطح گسل خورده تهیه شود. هر گونه اشتباه در انتخاب نمونه منجر به خطای فاحش در جواب آزمایش ها خواهد شد.

۱-۲-۵ مقاومت فشاری تک محوری

آزمایش مقاومت فشاری تک محوری یا نامحصور (UCS) مرسوم ترین آزمون آزمایشگاهی برای مطالعات مکانیکی سنگ بکر می باشد که با وجود ظاهری ساده، انجام دقیق آن کاری پرهزینه، زمان بر و دشوار است. بنابراین به روش های ساده و غیر مستقیم برای تعیین خواص مکانیکی سنگ ها، اما مناسب و قابل اعتماد، مانند بار نقطه ای، چکش اشمیت، سرعت موج نیاز است. بدین منظور برای هر یک از نقاط نمونه برداری، آزمایش بار نقطه ای و چکش اشمیت انجام شده است.

آزمایش بار نقطه ای در هر زون روی ۲۰ نمونه ی کلوخه ای با ابعادی در حدود ۵ سانتی متر بر اساس استاندارد ISRM انجام شده است (شکل ۵-۲). با محاسبه شاخص بار نقطه ای و بر اساس رده بندی RMR (جدول ۵-۱)، مقاومت فشاری تک محوره زون ها تخمین زده شده است.



شکل ۲-۵: دستگاه آزمایش بار نقطه ای

جدول ۱-۵: ارتباط شاخص بار نقطه ای با مقاومت فشاری تک محوره سنگ بر اساس RMR (ترابی، ۱۳۸۱)

ردیف‌های ارزش (MPa)				پارامتر
۱-۲	۲-۴	۴-۱۰	بزرگ‌تر از ۱۰	شاخص بار نقطه ای
۲۵-۵۰	۵۰-۱۰۰	۱۰۰-۲۵۰	بزرگ‌تر از ۲۵۰	مقاومت فشاری تک محوره

برای محاسبه سختی اشمیت به طور میانگین در هر سینه کار تعداد ۷ تا ۱۰ بلوک سنگی انتخاب شده است. به نحوی که بر روی هر یک از این بلوک‌ها به طور متوسط تعداد ۱۵ قرائت صورت گرفته است. سپس با میانگین‌گیری، مقدار سختی اشمیت برای زون‌های مورد مطالعه بدست آمده است. نتایج مربوط به سختی اشمیت، آزمایش بار نقطه ای و مقاومت فشاری در جدول ۲-۵ درج شده است.

جدول ۲-۵: مقادیر عدد اشمیت، بار نقطه ای و مقاومت فشاری

زون	نوع سنگ	سختی اشمیت	شاخص بار نقطه ای (MPa)	بار نقطه ای (MPa)	مقاومت فشاری تک محوره (MPa)
C _n -E _n N	مگنتیت	۵۲ - ۵۸	۶/۴	۱۲۰ - ۱۸۰	۱۰۰ - ۱۵۰

۵۰ - ۱۰۰	۷۰ - ۱۲۰	۳/۸	۴۰ - ۴۹	مگنتیت	C _n -W,NW
۱۰۰ - ۱۵۰	۱۰۰ - ۱۵۰	۴/۵	۴۵ - ۵۵	هماتیت	B

۲-۲-۵ وزن مخصوص و سختی موهس

وزن مخصوص با استفاده از رابطه زیر تعیین شده است (کانی کاون، ۱۳۹۱):

$$SG = 2.5738 + 0.0301 * Fe \quad (۱-۵)$$

SG وزن مخصوص و Fe درصد عیار آهن است. به منظور تعیین سختی موهس از جعبه سختی

موهس استفاده شده است. نتایج مربوط به چگالی و سختی موهس در جدول ۳-۵ آورده شده است.

جدول ۳-۵: مقادیر مربوط به وزن مخصوص و سختی موهس

سختی موهس	وزن مخصوص (cm ³ /gr)	نوع سنگ	زون
۶ - ۷	۴/۱ - ۴/۴	مگنتیت	C _n -E,N
۵ - ۶	۴/۱ - ۴/۴	مگنتیت	C _n -W,NW
۶ - ۷	۴/۱ - ۴/۴	هماتیت	B

۳-۲-۵ مطالعات صحرایی

همان طور که در قسمت ۱-۵ نیز اشاره شد، در مطالعات صحرایی به لحاظ اهمیت و تأثیر

زیادی که ناپیوستگی‌ها در خصوصیات توده سنگ دارا می‌باشند، و به منظور طبقه‌بندی و تعیین

امتیازهای مربوط به شاخص‌های BI و RFI، برداشت ناپیوستگی‌ها از رخنمون سنگی (به روش

برداشت دسته شکستگی‌ها) انجام شده است. در روش برداشت دسته شکستگی‌ها، فاصله‌داری،

جهت‌داری، بازشدگی و پرشدگی شکستگی‌ها، در خلال برداشت‌های زمین‌شناسی منظم تعیین

می‌شوند. در کنار ثبت پارامترهای مربوط به سیستم درزه‌ها، وضعیت کلی و شرح هر توده سنگ نیز

ثبت شده که نتایج آن در جدول ۴-۵ آمده است.

جدول ۴-۵: ناپیوستگی‌ها و شرح توده سنگ

زون	کد انفجار	شرح توده سنگ	فاصله داری درزه‌ها	جهت داری درزه‌ها	شرایط دهانه درزه‌ها
C _n -E,N	۲۳;۲۷;۳۰;۳۵	بلوکی تا توده ای	متوسط تا عریض	عمود، داخل و بیرون	متوسط و پر شده
C _n -W,NW	۲۶;۲۹;۳۴;۳۹;۴۰;۴۶	خیلی بلوکی تا خردشده	متوسط تا نزدیک	عمود، داخل و بیرون	متوسط و پر شده
B	۲۱;۲۲;۲۴	نسبتاً بلوکی	متوسط	عمود، داخل و بیرون	متوسط و خالی

اطلاعات دیواره‌ها به منظور سهولت ارزیابی و طبقه‌بندی اطلاعات، در فرم‌های مربوطه ثبت شده است. در جدول ۵-۵ نمونه فرم برداشت شده جهت تعیین قابلیت انفجار نشان داده شده و برای سایر دیواره‌ها در پیوست ۲ درج شده است.

جدول ۵-۵: نمونه فرم برداشت تعیین قابلیت انفجار

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی در قابلیت انفجار					
نوع سنگ: مگنتیت			تراز: ۶۰-۱۵۵۰	شماره سایت: C _n -23	
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
امتیاز	توضیحات	نام پارامتر	امتیاز	توضیحات	نام پارامتر
۵/۵	بلوکی تا توده ای	شرح توده سنگ	۳۵	بلوکی تا توده ای	شرح توده سنگ
۵/۵	متوسط تا عریض	فاصله‌داری درزه‌ها	۳۵	متوسط تا عریض	فاصله‌داری درزه‌ها
۳	عمود، داخل و بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها	۲۵	عمود، داخل و بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها
۶	متوسط پر شده	جدایش درزه‌ها	۶/۵	۶/۵	سختی موهس
----	۵۵	سختی اشمیت	----	۴/۳	وزن مخصوص (t/m ³)
۳/۲	۶/۴	شاخص بار نقطه ای (Mpa)	۵۷/۵	-----	تاثیر وزن مخصوص
۲۲/۵	-----	شاخص قابلیت خردایش سنگ	۵۲/۹	-----	شاخص قابلیت انفجار

۳-۵ شاخص قابلیت انفجار

با توجه به گسترش دامنه مقادیر BI نمی‌توان با تمامی توده‌سنگ‌ها به یک نحو برخورد نموده و برای آتشباری آن‌ها از الگوی مشابهی استفاده نمود. جهت تعیین کلاس دیواره‌ها از طبقه‌بندی

کیفی قابلیت انفجار برابر جدول ۵-۶ استفاده شده است. برای دیواره‌ها، امتیازهای مربوط به هر پارامتر، امتیاز شاخص قابلیت انفجار و کلاس آن‌ها طبق جدول ۵-۷ به دست آمده است.

جدول ۵-۶: طبقه‌بندی قابلیت انفجار (بهداری فر، ۱۳۹۰)

کلاس قابلیت انفجار	خیلی آسان	آسان	متوسط	سخت	خیلی سخت
مقدار اندیس قابلیت انفجار	≤ 20	۲۰-۴۰	۴۰-۶۰	۶۰-۸۰	۸۰-۱۰۰

جدول ۵-۷: امتیاز پارامترهای شاخص قابلیت انفجار

کلاس قابلیت انفجار	امتیاز مربوط به هر پارامتر						دیواره
	BI	H	SGI	JPO	JPS	RMD	
متوسط	۵۲/۹	۶/۵	۵۷/۵	۲۵	۳۵	۳۵	C _n -۲۳
متوسط	۵۲/۹	۶/۵	۵۷/۵	۲۵	۳۵	۳۵	C _n -۲۷
متوسط	۵۲/۸	۶/۵	۵۲/۵	۲۵	۳۵	۳۵	C _n -۳۰
آسان تا متوسط	۳۸/۴۶	۵/۵	۶۰/۵	۲۷	۲۰	۲۰	C _n -۳۵
آسان	۳۱/۹۵	۵/۵	۶۰	۲۵	۱۵	۱۴	C _n -۴۰
آسان	۳۱/۸۵	۵/۵	۵۵	۲۵	۱۵	۱۴	C _n -۳۹
آسان	۳۱/۹۵	۵/۵	۵۹/۷۵	۲۵	۱۵	۱۴	C _n -۳۴
آسان	۳۱/۹	۵/۵	۵۷/۵	۲۵	۱۵	۱۴	C _n -۴۶
آسان	۳۱/۹	۵/۵	۵۷/۵	۲۵	۱۵	۱۴	C _n -۲۹
آسان	۳۱/۹	۵/۵	۵۷/۵	۲۵	۱۵	۱۴	C _n -۲۶
آسان تا متوسط	۴۰/۱۳۵	۶	۵۶/۷۵	۳۰	۲۰	۲۰	B-۲۲
آسان تا متوسط	۴۰/۱۳۵	۶	۵۶/۷۵	۳۰	۲۰	۲۰	B-۲۱
آسان تا متوسط	۴۰/۱۹	۶	۵۹/۵	۳۰	۲۰	۲۰	B-۲۴

۴-۵ شاخص خردایش سنگ

مطابق آنچه برای کلاس‌بندی شاخص قابلیت انفجار گفته شد، کلاس‌بندی کیفی شاخص خردایش سنگ (RFI) و کلاس قابلیت انفجار معادل آن نیز مطابق جدول ۵-۸ انجام شده است. برای دیواره‌ها امتیازهای مربوط به هر پارامتر و امتیاز شاخص خردایش سنگ طبق جدول ۵-۹ به دست آمده است.

جدول ۵-۸: طبقه بندی شاخص خردایش سنگ (بهداری فر، ۱۳۹۰)

کلاس قابلیت انفجار	خیلی سخت	سخت	متوسط	آسان	خیلی آسان
مقدار شاخص خردایش سنگ	$\leq 21/2$	۲۱/۲-۲۶/۴	۲۶/۴-۳۱/۶	۳۱/۶-۳۶/۸	۳۶/۸-۴۲

جدول ۵-۹: امتیاز پارامترهای شاخص خردایش سنگ

کلاس قابلیت انفجار	امتیاز مربوط به هر پارامتر						دیواره
	RFI	UCS	DPA	JPO	JPS	RMD	
سخت	۲۲/۷	۳/۲	۶	۳	۵/۵	۵	C _n -۲۳
سخت	۲۲/۷	۳/۲	۶	۳	۵/۵	۵	C _n -۲۷
سخت	۲۲/۷	۳/۲	۶	۳	۵/۵	۵	C _n -۳۰
متوسط تا سخت	۲۶/۲	۳/۷	۶	۳/۵	۷	۶	C _n -۳۵
متوسط تا آسان	۳۰/۷	۳/۸	۶	۳	۹/۴	۸/۵	C _n -۴۰
متوسط تا آسان	۳۰/۷	۳/۸	۶	۳	۹/۴	۸/۵	C _n -۳۹
متوسط تا آسان	۳۰/۷	۳/۸	۶	۳	۹/۴	۸/۵	C _n -۳۴
متوسط تا آسان	۳۰/۷	۳/۸	۶	۳	۹/۴	۸/۵	C _n -۴۶
متوسط تا آسان	۳۰/۷	۳/۸	۶	۳	۹/۴	۸/۵	C _n -۲۹
متوسط تا آسان	۳۰/۷	۳/۸	۶	۳	۹/۴	۸/۵	C _n -۲۶
سخت تا متوسط	۲۵/۵	۳/۵	۵	۴	۷	۶	B-۲۲
سخت تا متوسط	۲۵/۵	۳/۵	۵	۴	۷	۶	B-۲۱
سخت تا متوسط	۲۵/۵	۳/۵	۵	۴	۷	۶	B-۲۴

۵-۵ برآورد خرج ویژه زون بندی نهایی معدن

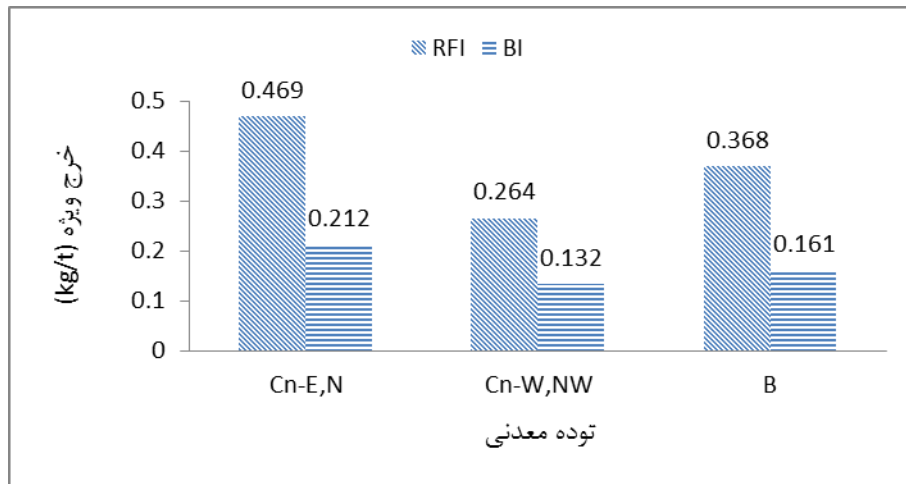
اولین و کلیدی ترین تصمیم در طراحی آتشیاری معادن روباز انتخاب قطر حفاری می باشد. انتخاب قطر به پارامترهای فنی و اقتصادی بسیار زیادی به طور مثال به خواص توده سنگ تحت آتشیاری، درجه خردشدگی مورد نیاز، ارتفاع پله و ... وابسته است. اما گاهی در معدن به ویژه در معادن کشورمان پارامترهایی در انتخاب قطر چال دخالت دارند که به طور کلی فرآیند انتخاب قطر را به طور کامل تغییر داده و نتیجه طراحی را به طور مستقیم تحت تاثیر قرار می دهند. یکی از این مسائل در دسترس بودن و امکان تهیه ماشین حفاری است.

در معدن سنگ آهن سنگان با توجه به کلیه مشکلات اجرایی در کشور از جمله مشکلات پیمانکار در تهیه ماشین آلات حفاری نو، وجود تحریم‌های مختلف در زمینه فروش و خدمات پس از فروش و نیز هزینه بالای تعمیر و نگهداری این ماشین آلات در مجموع قطر حفاری ۲۰۰ میلی‌متر برای عملیات حفاری و آتشیاری انتخاب شده است. با توجه به قیمت پایین، ایمنی بالا و سهولت کاربرد، آنفو به عنوان ماده منفجره در این معدن انتخاب شده است. در این بخش با توجه به نتایج حاصل از مطالعات صحرایی و طبقه‌بندی‌های انجام شده، میزان خرج ویژه حاصل از روش‌های BI و RFI محاسبه و ارائه شده است.

میزان خرج ویژه توده‌های معدنی با توجه به کلاس‌بندی قابلیت انفجار (BI) برای زون آسان، متوسط - آسان و متوسط با استفاده از رابطه ۳-۶ به ترتیب برابر ۰/۱۲۳، ۰/۱۶۱ و ۰/۲۱۲ کیلوگرم بر تن و بر اساس شاخص خردایش سنگ (RFI)، برای زون متوسط - آسان، سخت - متوسط و سخت با استفاده از رابطه ۳-۸ به ترتیب برابر ۰/۲۶۴، ۰/۳۶۸ و ۰/۴۶۹ کیلوگرم بر تن محاسبه شده که در جدول ۵-۱۰ و شکل ۵-۳ نیز آمده است.

جدول ۵-۱۰: میزان خرج ویژه محاسبه شده توسط روش‌های مبتنی بر توده‌سنگ

شاخص خردایش سنگ		شاخص قابلیت انفجار		توده معدنی
خرج ویژه (kg/t)	کلاس	خرج ویژه (kg/t)	کلاس	
۰/۴۶۹	سخت	۰/۲۱۲	متوسط	C _n -E,N
۰/۲۶۴	متوسط تا آسان	۰/۱۳۲	آسان	C _n -W,NW
۰/۳۶۸	سخت تا متوسط	۰/۱۶۱	متوسط تا آسان	B



شکل ۵-۳: میزان خرج ویژه محاسبه شده توسط روش‌های مبتنی بر توده سنگ

۵-۶ بررسی خرج ویژه محاسبه شده توسط روش‌های مبتنی بر توده سنگ

از آنجایی که روش‌های متعددی برای تعیین خرج ویژه وجود دارد، انتخاب هر یک از این روش‌ها و اعتماد به سطح کارایی و خروجی آن‌ها همواره یکی از دغدغه‌های طراحان آتشیاری و نیز مدیران معادن می‌باشد. حساسیت این موضوع زمانی آشکارتر می‌شود که اختلاف بین نتایج روش‌های مختلف طراحی زیاد بوده و هم‌خوانی مناسبی با هم نداشته باشند.

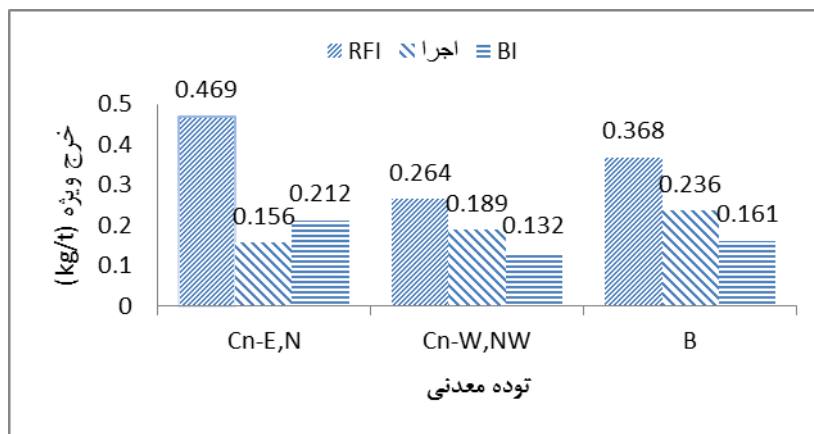
با توجه به عدم حساسیت روش‌های تجربی به نوع سنگ، روش‌هایی همچون شاخص قابلیت انفجار و نیز روش شاخص خردایش سنگ تلاش‌هایی برای برطرف کردن مشکلات عمده روش‌های سنتی و بهبود طراحی آتشیاری و تعیین خرج ویژه در معادن بوده‌اند.

در طی ارائه روش RFI توسط مومیوند در سال ۱۳۸۴، تعداد شش معدن کوچک و متوسط سنگ آهک در استان آذربایجان غربی مورد مطالعه فنی، طراحی و اقتصادی انجام گرفته‌اند. مومیوند طی چند سال مطالعه در این معادن با توجه به مطالعات اقتصادی که انجام داد رابطه بین RFI و خرج ویژه بهینه را ارائه نمود. مومیوند در این تحقیق تأکید کرده است که خرج ویژه بهینه خرجی است که کمترین هزینه تولید را داشته باشد.

با توجه به میزان خرج ویژه حاصل از روش‌های مبتنی بر مشخصات توده‌سنگ (شکل ۵-۳) اختلاف معنی‌داری بین خرج ویژه متناسب با هر زون است. بدین معنی که نواحی شرقی و شمالی توده‌ی C_n قوی‌تر از B و نواحی غربی و شمال غربی توده‌ی C_n ضعیف‌ترین از B بوده‌اند و نتایج طراحی کاملاً بر این واقعیت منطبق می‌باشد. همچنین ملاحظه می‌شود که زون بندی‌های انجام شده توسط BI و RFI بر هم منطبق نبوده است. بنابراین خرج ویژه طراحی شده توسط دو روش برای هر زون اختلاف زیادی با هم دارند. هر چند که طراحی RFI نسبتاً محافظه کارانه تر است.

به منظور ارزیابی خرج ویژه بلوک‌های سیزده‌گانه اجرا و طراحی شده توسط شرکت مشاور و اعتبار سنجی خرج ویژه‌های پیشنهادی طراحی شده بر اساس شاخص قابلیت انفجار و شاخص خردایش سنگ، این مقادیر با یکدیگر مقایسه شدند.

نتایج طراحی و مقایسه آن‌ها با خرج ویژه اجرایی در معدن در شکل ۵-۴ آورده شده است. با توجه به شکل ۵-۴ اولین نکته‌ای که جلب توجه می‌کند زیاد بودن خرج ویژه زون‌های آسان‌تر (C_n-W, NW) نسبت به زون سخت‌تر (C_n-E, N) است. با دقت در نتایج انفجار این زون‌ها، بیش خردایش مشاهده می‌شود.



شکل ۵-۴: مقایسه خرج ویژه اجرایی و طراحی شده با روش BI و RFI

با مقایسه نمودارهای شکل ۴-۵ نکته مهم نزدیک بودن خرج ویژه اجرایی به خرج ویژه طراحی شده با روش قابلیت انفجار در زون متوسط (C_n-E,N) می باشد که انتظار می رود خردایش مناسبی در این زون حاصل شود. با توجه به بازدهی خردایش خوب انفجارهای زون متوسط ($C_n-23;27;30$)، این گفته تأیید می شود. همچنین در زون آسان به هر میزان که خرج ویژه اجرایی به خرج ویژه طراحی شده با روش قابلیت انفجار نزدیک تر شده بازدهی خردایش بهبود یافته است.

۷-۵ پیشنهاد الگوی مناسب

از آنجا که با نزدیک تر شدن خرج ویژه اجرایی به خرج ویژه طراحی شده به روش BI، نتایج بهتری نسبت به سایر انفجارها حاصل شده، از رابطه ۴-۵ با داشتن خرج ویژه روش BI از طریق فرمول انتقال انرژی برای محاسبه مقدار بار سنگ مبتنی بر شاخص قابلیت انفجار، استفاده شده است:

$$\frac{B}{\phi_c} = \sqrt{\frac{\pi v_e}{4q}} \quad (4-5)$$

B : بار سنگ (متر)، ϕ_c : قطر خرج (که به دلیل استفاده از آنفو برابر قطر چال می باشد) (متر)، q : خرج ویژه (کیلوگرم بر متر مکعب)، v_e : وزن مخصوص ماده منفجره (کیلوگرم بر متر مکعب) که برای آنفو ۸۵۰ در نظر گرفته شده است.

با توجه به خرج ویژه پیشنهادی بر اساس شاخص قابلیت انفجار، بار سنگ زون های آسان، آسان-متوسط و متوسط به ترتیب برابر ۶/۸، ۶/۲ و ۵/۴ متر محاسبه شد. در جدول ۵-۱۱ مقادیر بار سنگ اجرایی و طراحی برای هر زون آمده است. با مقایسه مقادیر جدول ۵-۱۱ مشاهده می شود که ضخامت بار سنگ اجرایی در زون متوسط تقریباً برابر مقدار طراحی است. برای زون های آسان و متوسط تا آسان پیشنهاد می شود از شبکه حفاری بازتری استفاده شود. در ادامه با استفاده از جدول ۲-۱ و بر اساس بار سنگ پیشنهادی BI، فاصله ردیفی چال ها (S)، اضافه حفر چال (U) و مقدار گل-گذاری (S_t) محاسبه شده که نتایج آن در جدول ۵-۱۲ آمده است.

جدول ۵-۱۱: مقادیر بار سنگ اجرایی و طراحی زون‌ها

بار سنگ (متر)		شاخص قابلیت انفجار		توده معدنی
طراحی	اجرایی	کلاس		
۵/۴	۵/۵	متوسط		C _n -E,N
۶/۸	۵	آسان		C _n -W,NW
۶/۲	۴-۵/۵	متوسط تا آسان		B

جدول ۵-۱۲: مقادیر طراحی فاصله ردیفی چال‌ها، اضافه حفر چال و مقدار گل‌گذاری زون‌ها

توده معدنی	کلاس BI	فاصله ردیفی (m)	اضافه حفر (m)	گل‌گذاری (m)
C _n -E,N	متوسط	۶/۵	۲/۴	۵/۴
C _n -W,NW	آسان	۸/۲	۲	۸
B	متوسط تا آسان	۷/۵	۲	۶/۸

فصل ششم - نتیجه گیری و پیشنهادها

۱-۶ خلاصه

با توجه به این که هدف اصلی از طرح و پیشنهاد موضوع این تحقیق زون‌بندی معدن سنگ آهن سنگان بر اساس قابلیت انفجار و تعیین خرج ویژه مناسب بوده است، در ابتدا لازم بود تا حتی‌الامکان برخی از انفجارهای انجام شده، از نظر رعایت اصول فنی مورد بررسی قرار گیرد. از این رو همزمان با جمع‌آوری داده‌های کمی مورد نیاز جهت زون‌بندی معدن بر اساس قابلیت انفجار، مشاهدات به عمل آمده قبل و بعد از هر انفجار ثبت و مورد تحلیل قرار گرفت.

نتایج اولیه این بررسی‌ها نشان داد که برخی از مشکلات موجود در معدن (از جمله کیفیت پایین خردایش، عقب‌زدگی، و ارتفاع و جابجایی نامناسب دپوی پس از انفجار) در بعضی موارد ناشی از عدم رعایت نکات و اصول فنی قبل از اجرای طرح می‌باشد. سپس با انجام مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی، زون‌بندی همراه با محاسبه خرج ویژه الگوهای انفجاری بر اساس شاخص قابلیت انفجار (BI) و شاخص خردایش سنگ (RFI) ارائه شد. در پایان با توجه به نتایج بهتر روش قابلیت انفجار، خرج ویژه مناسب جهت طراحی اولیه در این زون‌ها با توجه به این شاخص پیشنهاد شد. در نهایت با تاکید بر رعایت اصول فنی حفاری و انفجار و دقت در اجرای طرح‌ها، می‌توان از زون‌بندی پیشنهادی به عنوان یک ابزار کمکی برای کاهش عوارض جانبی انفجارها بهره گرفت.

۲-۶ نتایج بررسی انفجارهای انجام شده

- نتایج حاصل از بررسی‌ها نشان می‌دهد عمده مشکلات موجود در معدن، شامل کیفیت خردایش پایین، شکل نامناسب دپوی پس از انفجار و عقب‌زدگی زیاد است. از نظر پرتاب سنگ مشکل خاصی در معدن مشاهده نشد.
- نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد که حدود ۶۰ درصد انفجارهای انجام شده از نظر شکل دپوی پس از انفجار مناسب بارگیری با بیل‌های موجود در معدن نمی‌باشد. همچنین از نظر کیفیت خردایش در اکثر انفجارهای انجام شده درصد بیش خردایش (ذرات با اندازه ۲۰ سانتی‌متر) بیش از حد مجاز بوده تا جایی که در برخی از این انفجارها اندازه ذرات زیر ۲۰ سانتی‌متر حدود ۸۰ درصد بوده است. در کل می‌توان گفت که حدود ۸۰ درصد انفجارهای انجام شده دارای بازدهی خردشدگی نامناسب تا خیلی ضعیف بوده‌اند.
- عقب‌زدگی یکی دیگر از مشکلات موجود در معدن می‌باشد. نیمی از الگوهای انفجار شده عقب‌زدگی زیاد (بیش از ۴ متر) داشته‌اند.
- در کنار تأثیر شرایط توده‌سنگ به عنوان یک پارامتر غیرقابل کنترل بر نتایج انفجار، بیش از پیش باید به نکات فنی از جمله یکنواختی بار سنگ ردیف اول توجه شود.

۳-۶ پیشنهاداتی در زمینه طراحی و اجرای الگوهای انفجاری

- در حال حاضر آرایش انفجاری چال‌ها در معدن از نوع خطی^۱ یا ردیفی است. با توجه به اینکه نوع آرایش انفجار می‌تواند از طریق تغییر در مقدار بارسنگ و فاصله ردیفی مؤثر^۲ در بهبود خردایش اثر بخش باشد، پیشنهاد می‌شود از آرایش‌های نوع جناغی (V شکل) بسته و باز نیز استفاده شود و نتایج مورد بررسی قرار گیرد.
- پس از هر مرحله انفجار و بارگیری، در صورت لزوم دیواره پله باید تا جایی که امکان دارد

^۱ In-Line

^۲ Effective Burden & Spacing (B_e & S_e)

توسط بیل لقی گیری و مسطح گردد. از طرفی باید دقت نمود که قبل از انفجار تا جایی که امکان دارد از باقی گذاشتن بار مرده در جلوی سینه کار خودداری نمود.

- در صورت برخورد چال با زون های خردشده، چنانچه فاصله زمانی حفاری تا خرج گذاری زیاد باشد بهتر است اضافه حفاری افزایش یابد. این امر موجب بهبود نتایج انفجار خواهد شد.

- به نظر می رسد چنانچه از شبکه های حفاری بازتر در نواحی غرب و شمال غرب توده C_n و B استفاده شود، نتایج بهتری حاصل می شود.

۴-۶ نتایج مربوط به روش های طراحی مبتنی بر توده سنگ و زون بندی معدن

- با توجه به مطالعات صحرایی و آزمایش های انجام شده در طی این تحقیق فرصت بسیاری مناسبی ایجاد گردید تا روش های مبتنی بر توده سنگ برای طراحی الگوهای آتشباری و تعیین خرج ویژه در معادن روباز به طور عملی و کاربردی مورد ارزیابی و اعتبارسنجی قرار گیرند. در نتیجه این تحقیق نقاط ضعف و قوت این روش ها آشکار شد.

- با توجه به عدم حساسیت روش های تجربی به نوع سنگ، روش هایی همچون شاخص قابلیت انفجار و نیز روش شاخص خردایش سنگ تلاش هایی برای برطرف کردن مشکلات عمده روش های سنتی و بهبود طراحی آتشباری در معادن بوده اند.

- با مقایسه خرج ویژه طراحی شده مبتنی بر شاخص قابلیت انفجار و انفجارهای انجام شده، مشاهده می شود در انفجارهایی که خرج ویژه ای اجرایی به خرج ویژه ای به دست آمده از شاخص قابلیت انفجار تقریباً نزدیک است، نتایج بهتری نسبت به سایر انفجارها حاصل شده است.

- با توجه به زون بندی پیشنهاد شده بر اساس شاخص قابلیت انفجار، مقدار خرج ویژه زون های آسان، آسان - متوسط و متوسط به ترتیب $0/132$ ، $0/161$ و $0/212$ کیلوگرم بر تن پیشنهاد شده است.

با توجه به خرج ویژه پیشنهادی بر اساس شاخص قابلیت انفجار، بار سنگ زون های آسان، آسان - متوسط و متوسط به ترتیب برابر $6/8$ ، $6/2$ و $5/4$ متر محاسبه شده است.

۵-۶ پیشنهادهایی در زمینه استفاده از نتایج طراحی مبتنی بر توده‌سنگ

- به منظور افزایش اطمینان از نتایج بدست آمده با روش شاخص قابلیت انفجار در توده‌های C_n و B سنگ آهن سنگان نیاز است که بانک اطلاعاتی جامعی از الگوهای انفجاری و نتایج متناظر با آن‌ها تهیه شود.
- برای استفاده عملی از روش شاخص خردایش سنگ در معادن سنگ آهن سنگان باید ضریب مناسبی جهت تعیین مقدار خرج ویژه به دست آورد.
- شاخص‌های قابلیت انفجار با توجه به میزان خردایش مورد نظر برای سنگ‌های بلوکی و توده ای با انجام انفجارهای آزمایشی تعدیل شود.
- همچنین تحقیقات مشابهی باید در سایر معادن کشور انجام شود تا با توجه به نتایج حاصل از آن مطالعات بتوان با قدرت و آگاهی بیشتری روش‌های نامبرده را رد یا قبول نمود.

- استوار ر، (۱۳۸۳)، "آتشباری در معادن"، جلد ۱ و ۲، انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی امیرکبیر، چاپ پنجم
- بهادری فرح، (۱۳۹۰)، پایان نامه ارشد: "طبقه بندی معدن سنگ آهن گل گهر بر اساس قابلیت انفجار و طراحی الگوی چالزنی و انفجار مناسب"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود
- ترابی س ر، (۱۳۸۱)، "درآمدی بر مکانیک سنگ"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.
- حسینی ف، (۱۳۷۶)، "درآمدی بر مکانیک سنگ"، ترجمه، انتشارات طلوع آزادی.
- سرشکی ف، عطایی م و حسینی س ه، (۱۳۸۷)، طرح پژوهشی: "طراحی الگوی آتشباری و تعیین خرج ویژه در معادن روباز با استفاده از مشخصات توده سنگ برجا"، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- شرکت مهندسی کانی کاوان شرق، (۱۳۹۱) "گزارش دفتر معدن".
- طرح تجهیز معادن سنگ آهن سنگان، اینترنت، تاریخ مشاهده: خرداد ۱۳۹۲، قابل دسترسی از آدرس www.simp.ir
- غضنفرنیا ج، هوشنگی ا، (۱۳۸۵)، "روش های پیش بینی خرج ویژه انفجار در معادن روباز"، پنجمین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- کریم پور م.ح، ملک زاده آ، (۱۳۸۵)، "ژئوشیمی و کانی شناسی زون های اسکارنی و سنگ شناسی سنگ منشا کانسار آهن سنگان خراسان رضوی"، مجله علوم زمین، شماره ۶۵، ص ۱۰۸-۱۲۱
- مومیوند ح، (۱۳۸۶)، "پیشنهاد روشی جدید برای طراحی الگوی چال های انفجار در معادن سطحی"، نشریه دانشکده فنی، جلد ۴۱، شماره ۳، ص ۳۶۱-۳۵۵

Bhandari, S., (1997) “**Engineering Rock Blasting Operation**”, Department of Mining Engineering, J.N.V. University, Jodhpur, India, Published by A.A Balkema, Rotterdam, Netherlands, Brook field.

BHP Engineering, (1992) “**Sangan Iron ore Project Reports**”, Report No: RE-00376, EP-R4182.

Chakraborty, A., (2004) “**Parametric Study to Develop Guidelines for Blast Fragmentation Improvement in Jointed and Massive Formations**”, Engineering Geology. No 73. PP 105-116

Gokhal, B.V., (2011) “**Rotary Drilling and Blasting in Large Surface Mines**”, CRC Press, Balkema, Rotterdam.

Hustrulid, W., (1999) “**Blasting Principles for Open Pit Mining**”, Vol. 1, A.A., General Design Concept, Balkema

Jimeno, C. L., Jimeno. E. L. & Carsedo, F. J. A. (1995), “**Drilling and Blasting of Rocks**”, Balkema, Rotterdam.

Lecturer, A., Gupta, R.N., (1996) “**Fragmentation Prediction and Assessment in Opencast Blasting-a case study**”, Journal of Mines, Metals & Fuels. PP.300-311

Lily, P. A., (1986) “**An empirical method of Assessing Rock mass Blastability**”, Proceeding Large Open Pit Mining Conference.

Lutham, J.P., Piimg, Lu, (1999) “**Development of Assessment System for the Blastability of Rock mass**”, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 36, PP. 41-55

Novikov, E. & Kondelchuk, D., (2005) “**study of Mechanical Properties of the Granitoid Rocks and the Influence of Blasting Parameters on the Quality of Aggrgates**”, Masters Thesis, Lulea University of Technology.

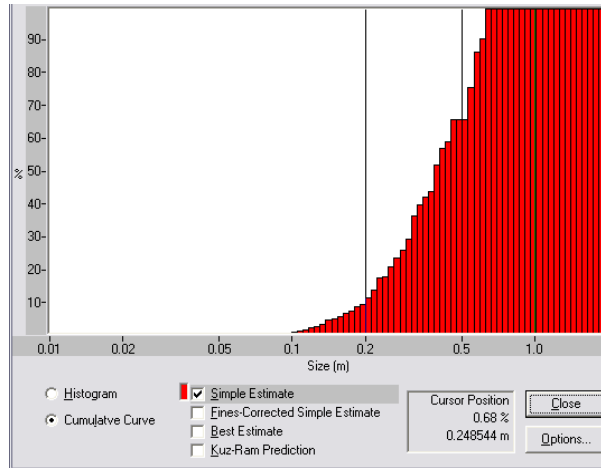
Sudhakar, G.R.A., & Gupta, R.N., (2006), “**Comparison of Fragmentation Measurements by Photographic and Image Analysis Techniques**”, Technical Note, International Journal of Rock Mechanics and Rock Engineering, 39, PP. 159-168.

Taji M., Ataei M., Goshtasbi K., Osanloo M., (2010), “**ODM – A New Approach for Open Pit Mine Blasting Evaluation**”, Journal of Vibration and Control, 1077546312439911, first published on July 18, 2012.

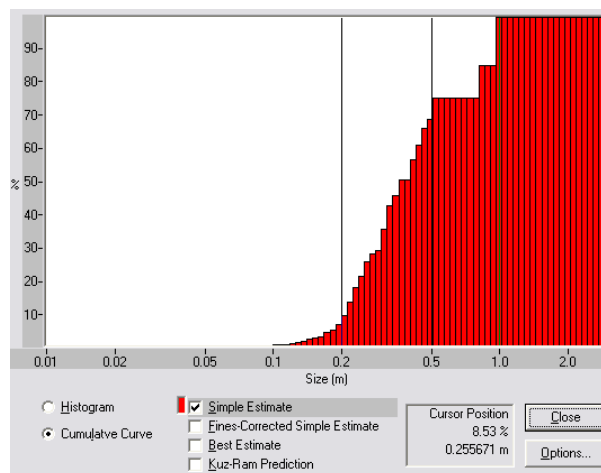
نمایش توزیع ابعادی تجمعی ذرات حاصل از انفجارها در نرم افزار Gold Size

C_n 23

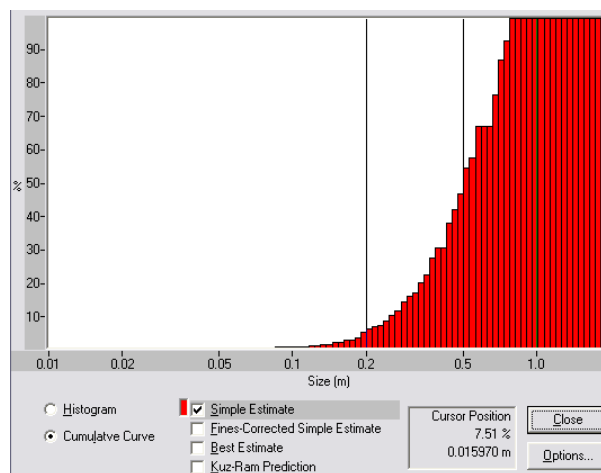
Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	65.88 %
Undersize	10.82 %
80% Size	0.56 m
50 % Size	0.39 m
20% Size	0.25 m



Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	75.56 %
Undersize	9.26 %
80% Size	0.81 m
50 % Size	0.37 m
20% Size	0.24 m

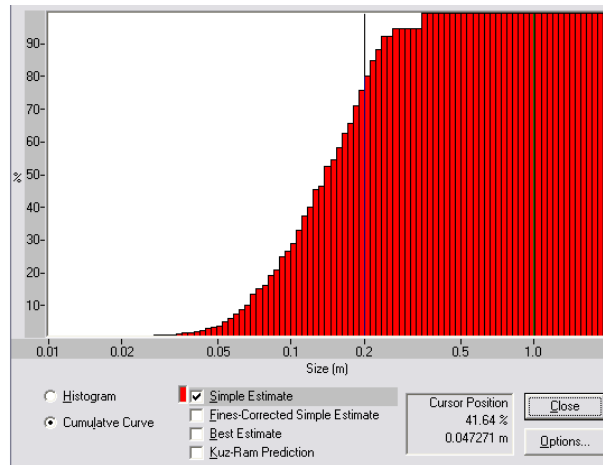


Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	54.67 %
Undersize	5.92 %
80% Size	0.69 m
50 % Size	0.50 m
20% Size	0.34 m

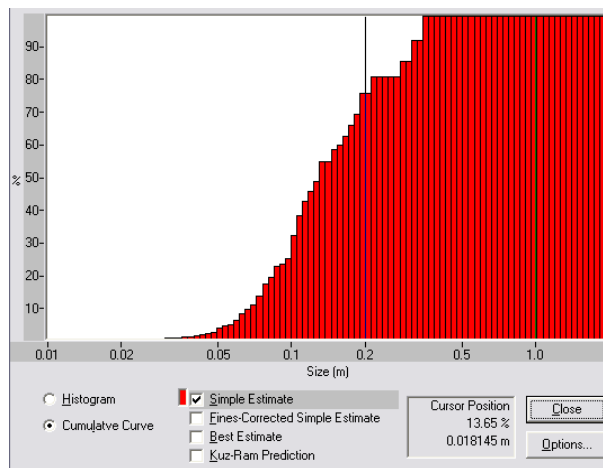


C_n 26

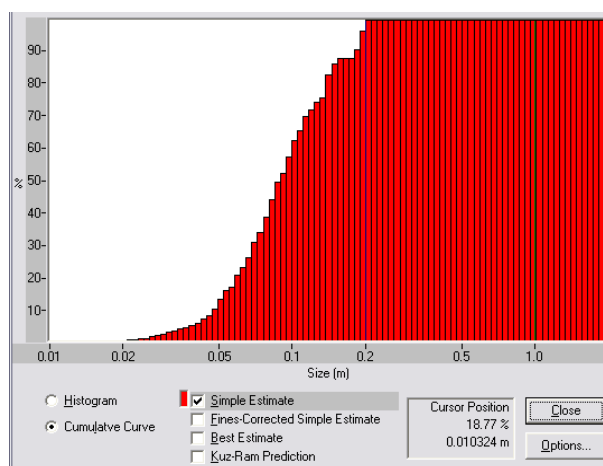
Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Over size	0.00 %
In range	100.00 %
Under size	80.51 %
80% Size	0.21 m
50 % Size	0.14 m
20% Size	0.09 m



Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Over size	0.00 %
In range	100.00 %
Under size	75.96 %
80% Size	0.22 m
50 % Size	0.13 m
20% Size	0.08 m

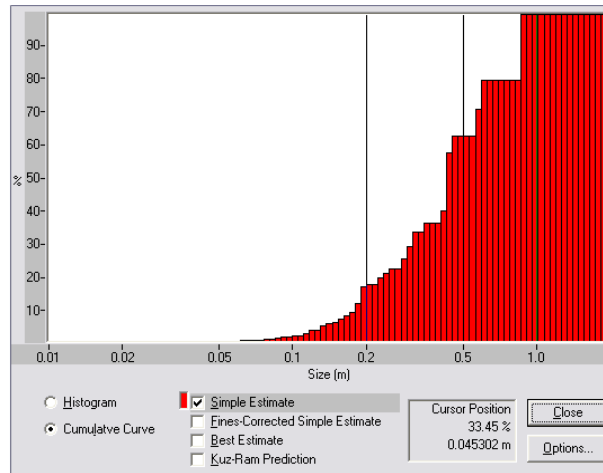


Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Over size	0.00 %
In range	100.00 %
Under size	100.00 %
80% Size	0.14 m
50 % Size	0.09 m
20% Size	0.06 m

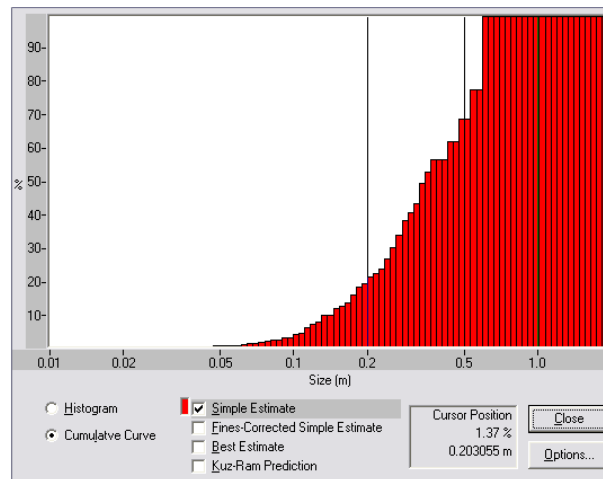


C_n 27

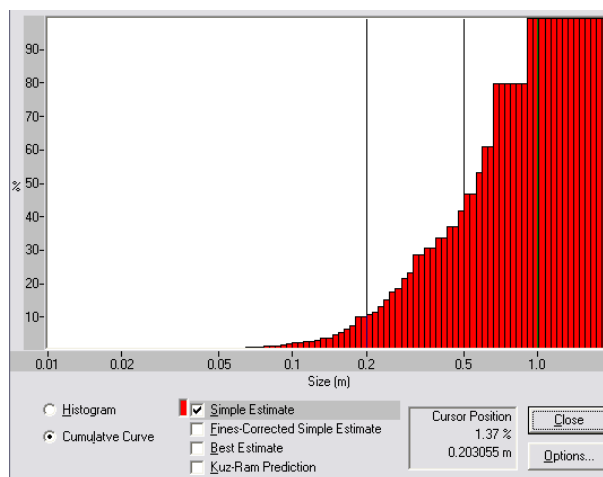
Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	62.70 %
Undersize	17.53 %
80% Size	0.84 m
50 % Size	0.43 m
20% Size	0.23 m



Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	69.03 %
Undersize	21.09 %
80% Size	0.58 m
50 % Size	0.34 m
20% Size	0.20 m

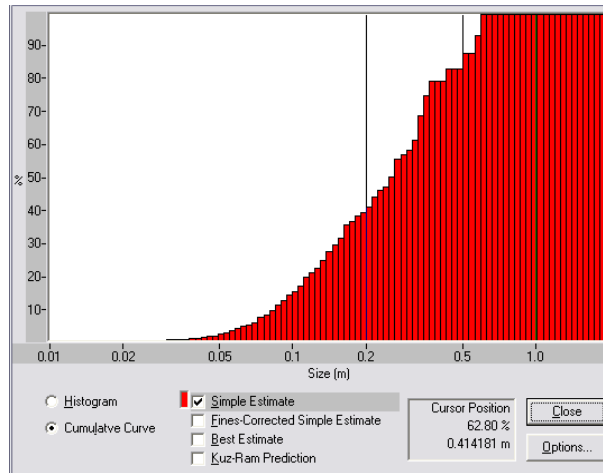


Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	46.74 %
Undersize	10.22 %
80% Size	0.68 m
50 % Size	0.56 m
20% Size	0.28 m

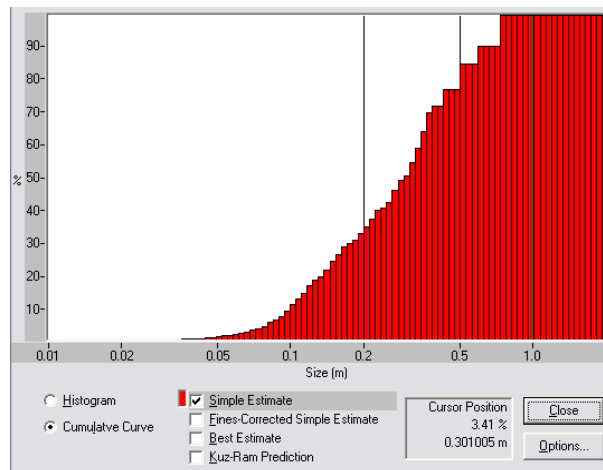


C_n 29

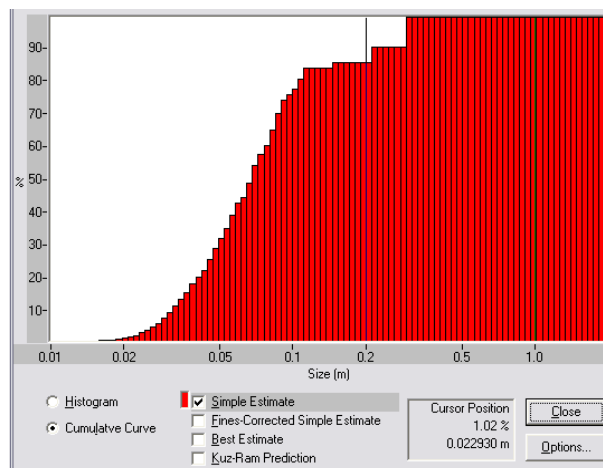
Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	87.92 %
Undersize	41.10 %
80% Size	0.42 m
50 % Size	0.26 m
20% Size	0.12 m



Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	84.99 %
Undersize	34.95 %
80% Size	0.50 m
50 % Size	0.30 m
20% Size	0.14 m

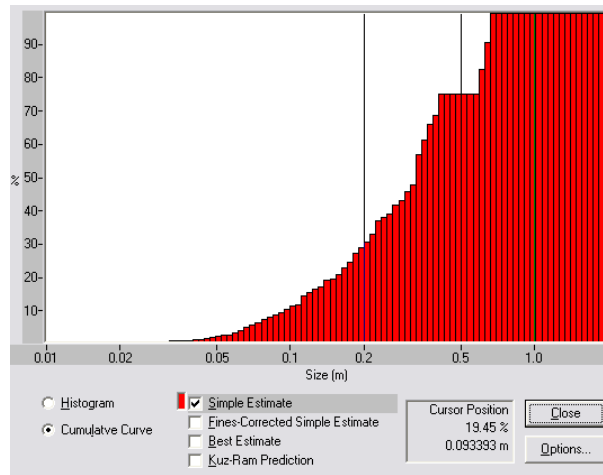


Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	100.00 %
Undersize	86.16 %
80% Size	0.11 m
50 % Size	0.07 m
20% Size	0.04 m

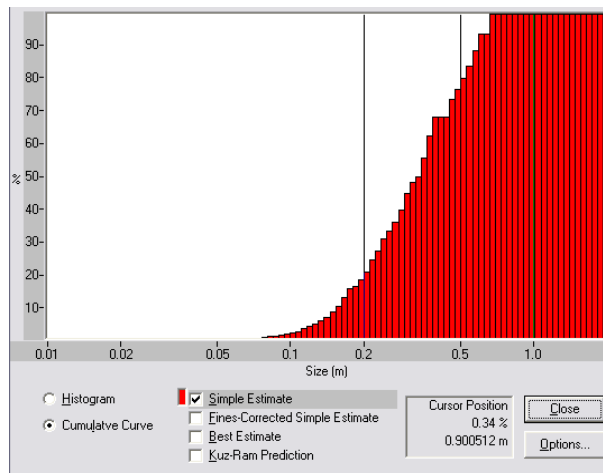


C_n 34

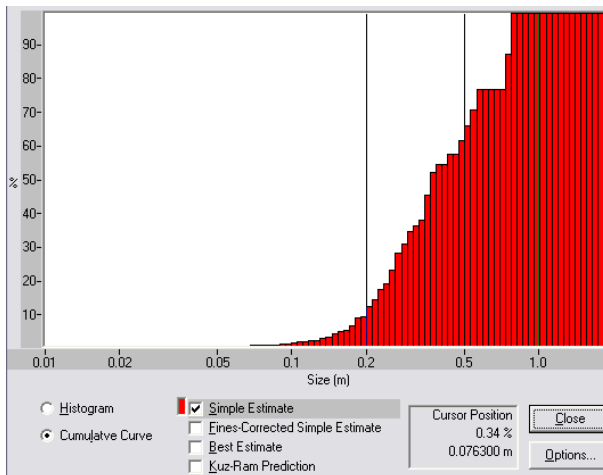
Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	75.35 %
Undersize	30.52 %
80% Size	0.60 m
50 % Size	0.32 m
20% Size	0.15 m



Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	80.31 %
Undersize	20.49 %
80% Size	0.52 m
50 % Size	0.34 m
20% Size	0.20 m

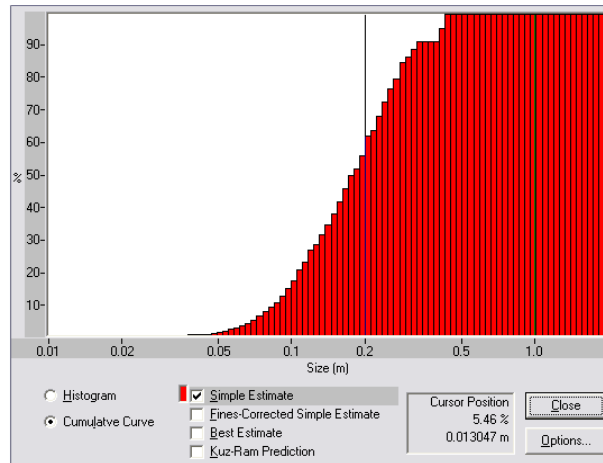


Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	66.04 %
Undersize	11.98 %
80% Size	0.73 m
50 % Size	0.37 m
20% Size	0.25 m

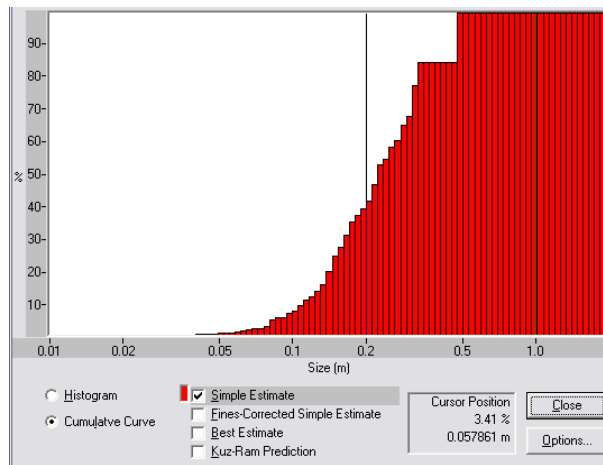


C_n 35

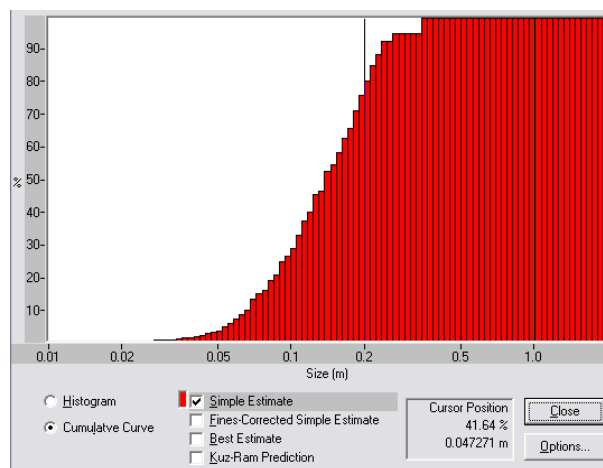
Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	100.00 %
Undersize	62.02 %
80% Size	0.27 m
50 % Size	0.18 m
20% Size	0.11 m



Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	100.00 %
Undersize	41.53 %
80% Size	0.32 m
50 % Size	0.22 m
20% Size	0.14 m

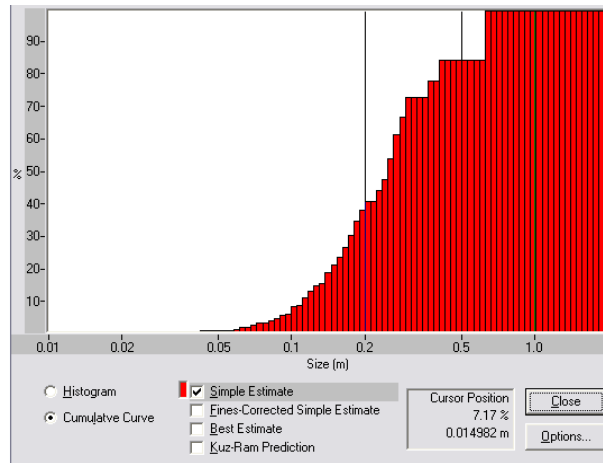


Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	100.00 %
Undersize	80.51 %
80% Size	0.21 m
50 % Size	0.14 m
20% Size	0.09 m

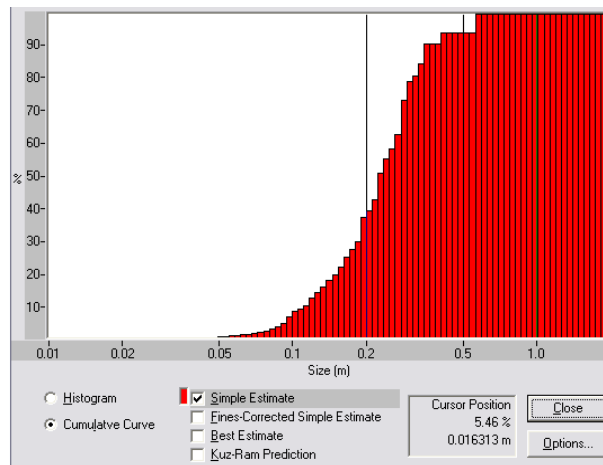


C_n 39

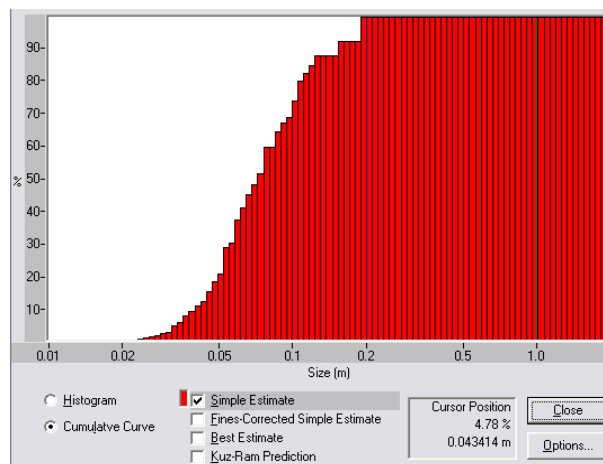
Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	84.59 %
Undersize	40.53 %
80% Size	0.40 m
50 % Size	0.25 m
20% Size	0.15 m



Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	94.05 %
Undersize	39.17 %
80% Size	0.31 m
50 % Size	0.23 m
20% Size	0.15 m

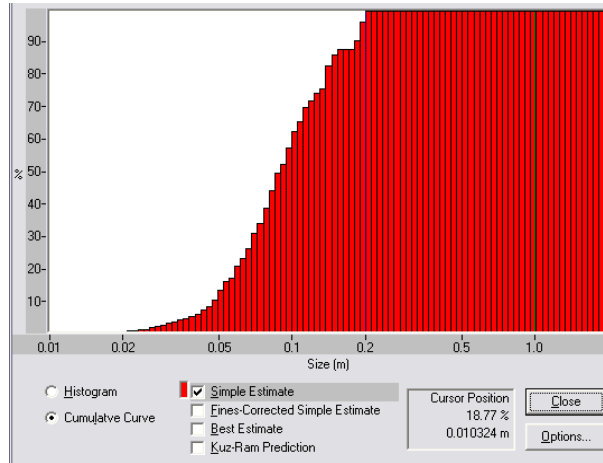


Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	100.00 %
Undersize	100.00 %
80% Size	0.11 m
50 % Size	0.07 m
20% Size	0.05 m

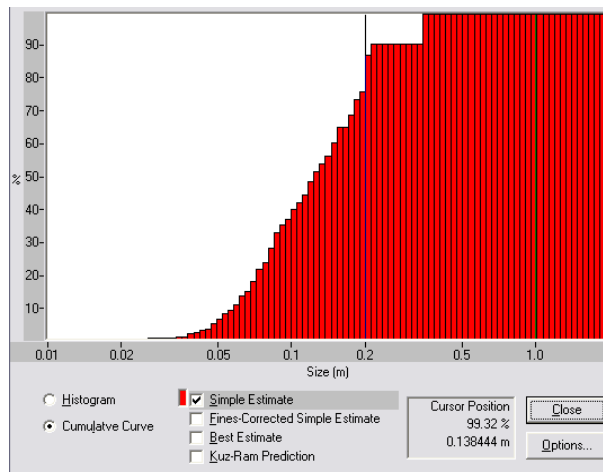


C_n 40

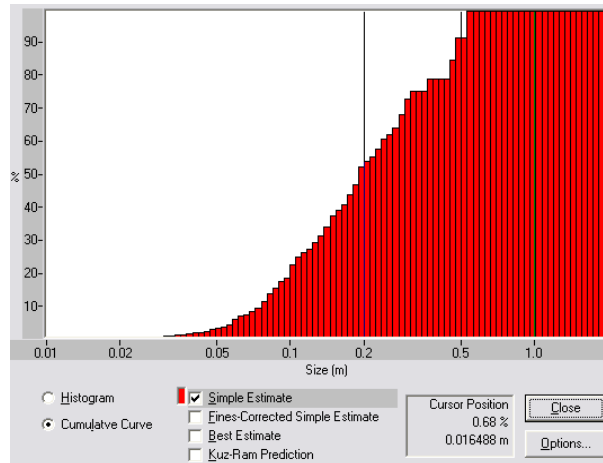
Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	100.00 %
Undersize	100.00 %
80% Size	0.14 m
50 % Size	0.09 m
20% Size	0.06 m



Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	100.00 %
Undersize	87.32 %
80% Size	0.20 m
50 % Size	0.12 m
20% Size	0.07 m

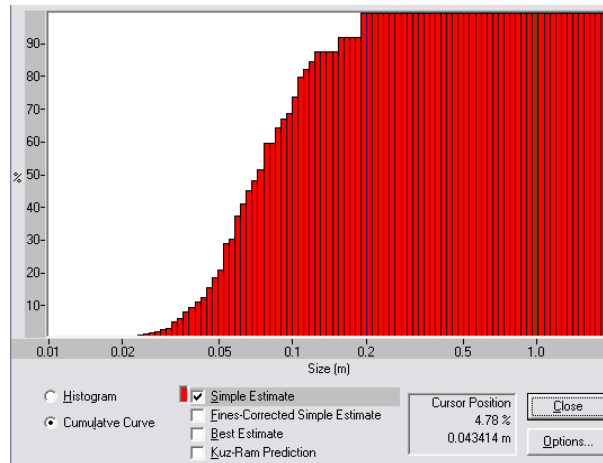


Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	91.80 %
Undersize	54.09 %
80% Size	0.44 m
50 % Size	0.19 m
20% Size	0.10 m

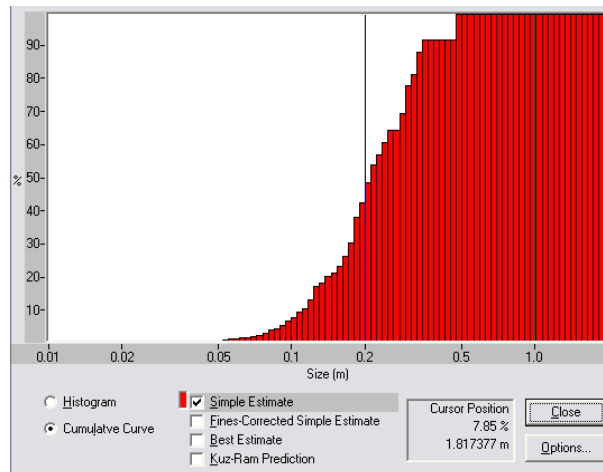


C_n 46

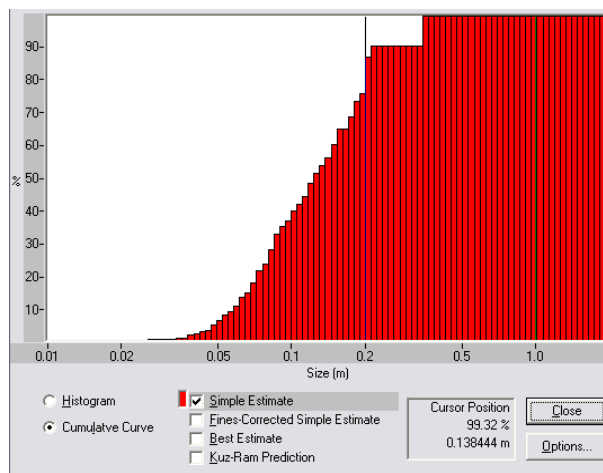
Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	100.00 %
Undersize	100.00 %
80% Size	0.11 m
50 % Size	0.07 m
20% Size	0.05 m



Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	100.00 %
Undersize	48.43 %
80% Size	0.31 m
50 % Size	0.21 m
20% Size	0.14 m

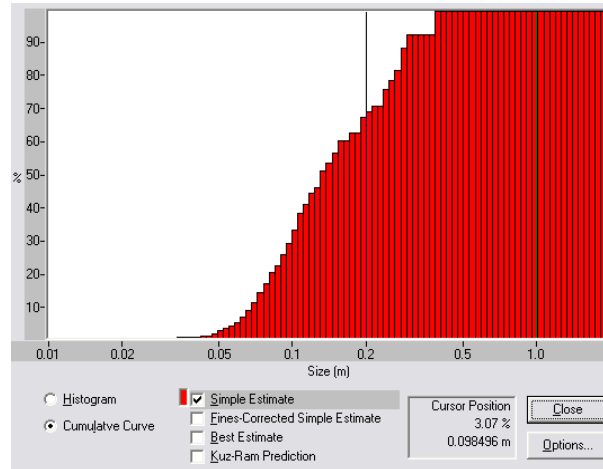


Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	100.00 %
Undersize	87.32 %
80% Size	0.20 m
50 % Size	0.12 m
20% Size	0.07 m

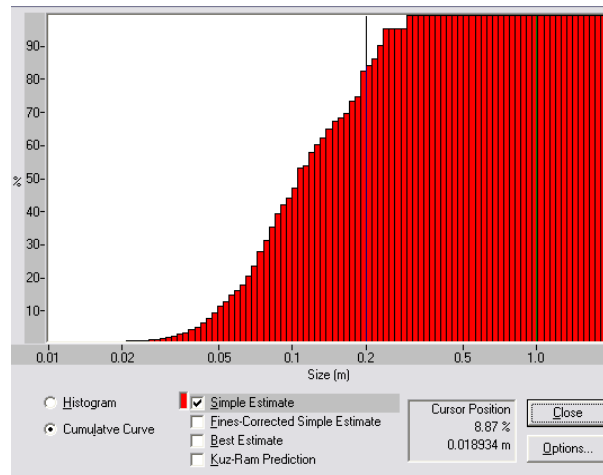


B 21

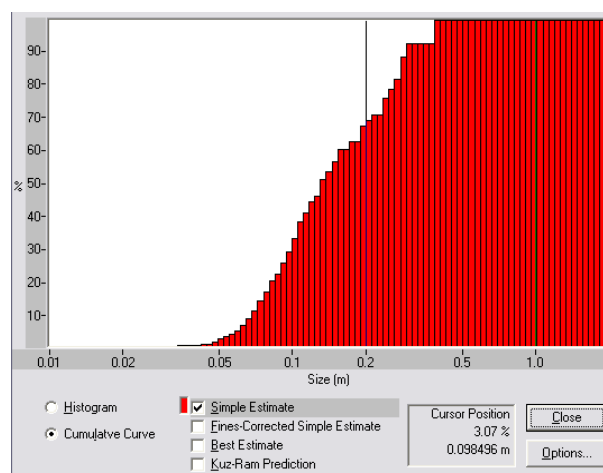
Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	100.00 %
Undersize	52.96 %
80% Size	0.34 m
50 % Size	0.19 m
20% Size	0.09 m



Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	100.00 %
Undersize	84.61 %
80% Size	0.19 m
50 % Size	0.10 m
20% Size	0.07 m

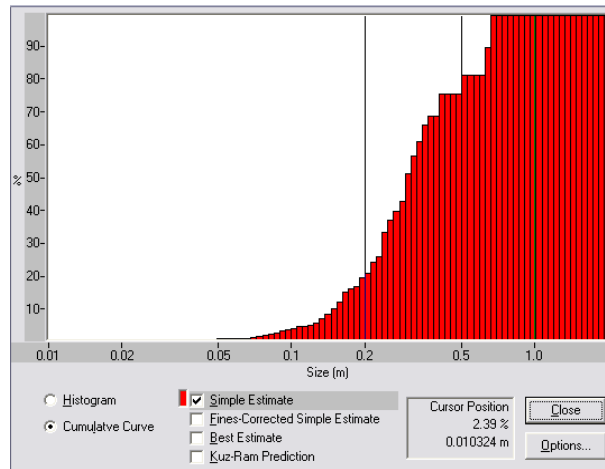


Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	100.00 %
Undersize	69.13 %
80% Size	0.26 m
50 % Size	0.13 m
20% Size	0.08 m

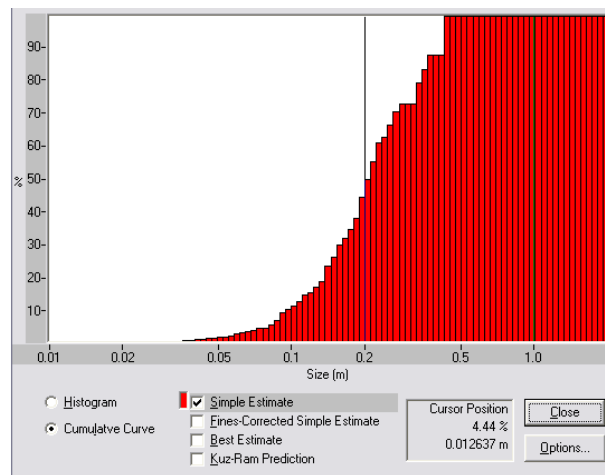


B 22

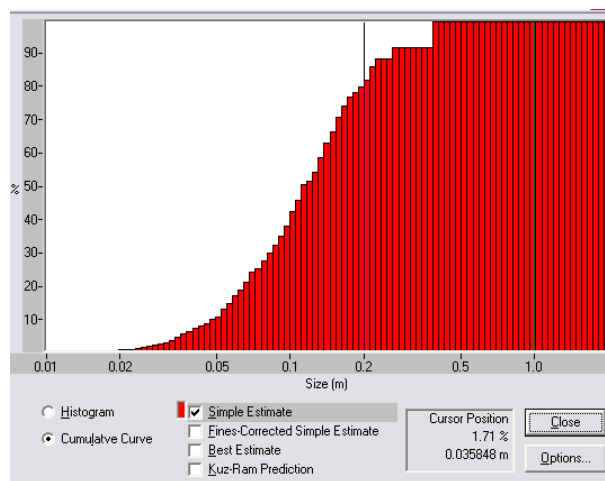
Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	81.40 %
Undersize	20.51 %
80% Size	0.51 m
50 % Size	0.30 m
20% Size	0.20 m



Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	100.00 %
Undersize	49.98 %
80% Size	0.34 m
50 % Size	0.21 m
20% Size	0.14 m

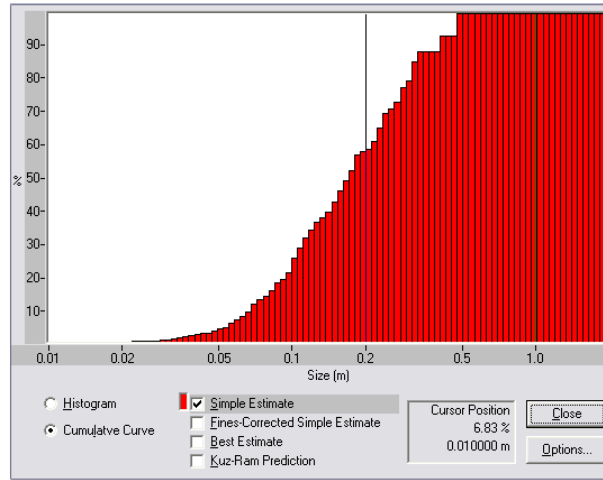


Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Oversize	0.00 %
In range	100.00 %
Undersize	82.11 %
80% Size	0.19 m
50 % Size	0.11 m
20% Size	0.07 m

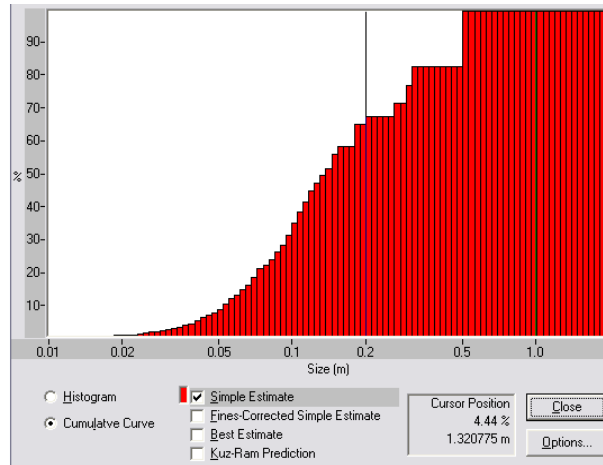


B 24

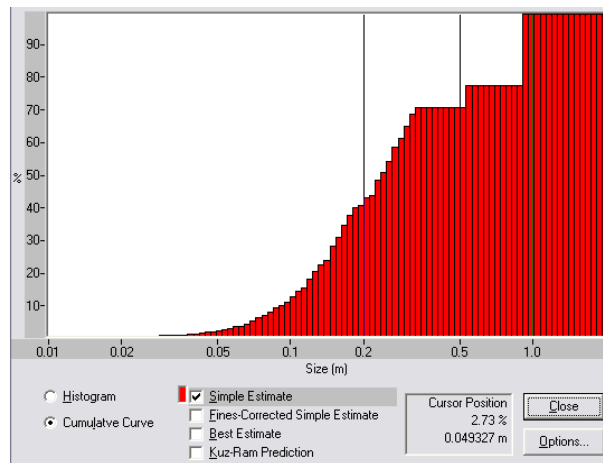
Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Overflow	0.00 %
In range	100.00 %
Undersize	58.86 %
80% Size	0.30 m
50 % Size	0.17 m
20% Size	0.09 m



Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Overflow	0.00 %
In range	100.00 %
Undersize	67.52 %
80% Size	0.31 m
50 % Size	0.14 m
20% Size	0.07 m



Sizing Analysis	
	Simple Estimate
Overflow	0.00 %
In range	71.14 %
Undersize	42.90 %
80% Size	0.89 m
50 % Size	0.24 m
20% Size	0.13 m



گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی قابلیت انفجار دیواره‌ها

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی قابلیت انفجار دیواره‌ها					
نوع سنگ: مگنتیت			تراز: ۱۵۵۰-۶۰	شماره سایت: C _n -26	
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
امتیاز	توضیحات	نام پارامتر	امتیاز	توضیحات	نام پارامتر
۸/۵	خیلی بلوکی تا خردشده	شرح توده سنگ	۱۴	خیلی بلوکی تا خردشده	شرح توده سنگ
۹/۴	متوسط تا نزدیک	فاصله‌داری درزه‌ها	۱۵	متوسط تا نزدیک	فاصله‌داری درزه‌ها
۳	عمود، داخل و بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها	۲۵	عمود، داخل و بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها
۶	متوسط و پرشده	جدایش درزه‌ها	۵/۵	۵/۵	سختی موهس
----	۴۴	سختی اشمیت	----	۴/۲	وزن مخصوص (t/m ³)
۳/۸	۳/۸	شاخص بار نقطه ای (Mpa)	۵۵	-----	تاثیر وزن مخصوص
۳۰/۷	-----	شاخص قابلیت خردایش سنگ	۳۱/۸۵	-----	شاخص قابلیت انفجار

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی قابلیت انفجار دیواره‌ها					
نوع سنگ: مگنتیت			تراز: ۱۵۵۰-۶۰	شماره سایت: C _n -27	
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
امتیاز	توضیحات	نام پارامتر	امتیاز	توضیحات	نام پارامتر
۵	بلوکی تا توده ای	شرح توده سنگ	۳۵	بلوکی تا توده ای	شرح توده سنگ
۵/۵	متوسط تا عریض	فاصله‌داری درزه‌ها	۳۵	متوسط تا عریض	فاصله‌داری درزه‌ها
۳	عمود، داخل و بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها	۲۵	عمود، داخل و بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها
۶	متوسط و پرشده	جدایش درزه‌ها	۶/۵	۶/۵	سختی موهس
----	۵۵	سختی اشمیت	----	۴/۳	وزن مخصوص (t/m ³)
۳/۲	۶/۴	شاخص بار نقطه ای (Mpa)	۵۷/۵	-----	تاثیر وزن مخصوص
۲۲/۷	-----	شاخص قابلیت خردایش سنگ	۵۲/۹	-----	شاخص قابلیت انفجار

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی قابلیت انفجار دیواره‌ها					
نوع سنگ: مگنتیت			تراز: ۱۵۵۰-۶۰	شماره سایت: C _n -29	
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
امتیاز	توضیحات	نام پارامتر	امتیاز	توضیحات	نام پارامتر
۸/۵	خیلی بلوکی تا خردشده	شرح توده سنگ	۱۴	خیلی بلوکی تا خردشده	شرح توده سنگ
۹/۴	متوسط تا نزدیک	فاصله‌داری درزه‌ها	۱۵	متوسط تا نزدیک	فاصله‌داری درزه‌ها
۳	عمود، داخل و بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها	۲۵	عمود، داخل و بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها
۶	متوسط و پرشده	جدایش درزه‌ها	۵/۵	۵/۵	سختی موهس
----	۴۴	سختی اشمیت	----	۴/۳	وزن مخصوص (t/m ³)
۳/۸	۳/۸	شاخص بار نقطه ای (Mpa)	۵۷/۵	-----	تاثیر وزن مخصوص
۳۰/۷	-----	شاخص قابلیت خردایش سنگ	۳۱/۹	-----	شاخص قابلیت انفجار

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی قابلیت انفجار دیواره‌ها					
نوع سنگ: مگنتیت			تراز: ۶۰-۱۵۵۰		شماره سایت: C _n -30
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
امتیاز	توضیحات	نام پارامتر	امتیاز	توضیحات	نام پارامتر
۵	بلوکی تا توده ای	شرح توده سنگ	۳۵	بلوکی تا توده ای	شرح توده سنگ
۵/۵	متوسط تا عریض	فاصله‌داری درزه‌ها	۳۵	متوسط تا عریض	فاصله‌داری درزه‌ها
۳	عمود، داخل و بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها	۲۵	عمود، داخل و بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها
۶	متوسط و پرشده	جدایش درزه‌ها	۶/۵	۶/۵	سختی موهس
----	۵۵	سختی اشمیت	----	۴/۱	وزن مخصوص (t/m ³)
۳/۲	۶/۴	شاخص بار نقطه ای (Mpa)	۵۲/۵	-----	تاثیر وزن مخصوص
۲۲/۷	-----	شاخص قابلیت خردایش سنگ	۵۲/۸	-----	شاخص قابلیت انفجار

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی قابلیت انفجار دیواره‌ها					
نوع سنگ: مگنتیت			تراز: ۶۰-۱۵۵۰		شماره سایت: C _n -34
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
امتیاز	توضیحات	نام پارامتر	امتیاز	توضیحات	نام پارامتر
۸/۵	خیلی بلوکی تا خردشده	شرح توده سنگ	۱۴	خیلی بلوکی تا خردشده	شرح توده سنگ
۹/۴	متوسط تا نزدیک	فاصله‌داری درزه‌ها	۱۵	متوسط تا نزدیک	فاصله‌داری درزه‌ها
۳	عمود، داخل و بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها	۲۵	عمود، داخل و بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها
۶	متوسط و پرشده	جدایش درزه‌ها	۵/۵	۵/۵	سختی موهس
----	۴۴	سختی اشمیت	----	۴/۳	وزن مخصوص (t/m ³)
۳/۸	۳/۸	شاخص بار نقطه ای (Mpa)	۵۷/۵	-----	تاثیر وزن مخصوص
۳۰/۷	-----	شاخص قابلیت خردایش سنگ	۳۱/۹	-----	شاخص قابلیت انفجار

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی قابلیت انفجار دیواره‌ها					
نوع سنگ: مگنتیت			تراز: ۵۰-۱۵۴۰		شماره سایت: C _n -35
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
امتیاز	توضیحات	نام پارامتر	امتیاز	توضیحات	نام پارامتر
۶	نسبتا بلوکی	شرح توده سنگ	۲۰	نسبتا بلوکی	شرح توده سنگ
۷	متوسط	فاصله‌داری درزه‌ها	۲۰	متوسط	فاصله‌داری درزه‌ها
۳/۵	عمود، داخل و بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها	۲۷	عمود، داخل و بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها
۶	متوسط و پرشده	جدایش درزه‌ها	۵/۵	۵/۵	سختی موهس
----	۴۵	سختی اشمیت	----	۴/۴	وزن مخصوص (t/m ³)
۳/۷	۴	شاخص بار نقطه ای (Mpa)	۶۰/۵	-----	تاثیر وزن مخصوص
۲۶/۲	-----	شاخص قابلیت خردایش سنگ	۳۸/۴۶	-----	شاخص قابلیت انفجار

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی قابلیت انفجار دیواره‌ها					
نوع سنگ: مگنتیت			تراز: ۵۰-۱۵۴۰	شماره سایت: C _n -39	
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
امتیاز	توضیحات	نام پارامتر	امتیاز	توضیحات	نام پارامتر
۸/۵	خیلی بلوکی تا خردشده	شرح توده سنگ	۱۴	خیلی بلوکی تا خردشده	شرح توده سنگ
۹/۴	متوسط تا نزدیک	فاصله‌داری درزه‌ها	۱۵	متوسط تا نزدیک	فاصله‌داری درزه‌ها
۳	عمود، داخل و بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها	۲۵	عمود، داخل و بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها
۶	متوسط و پرشده	جدایش درزه‌ها	۵/۵	۵/۵	سختی موهس
----	۴۴	سختی اشمیت	----	۴/۳	وزن مخصوص (t/m ³)
۳/۸	۳/۸	شاخص بار نقطه ای (Mpa)	۵۹/۷۵	-----	تاثیر وزن مخصوص
۳۰/۷	-----	شاخص قابلیت خردایش سنگ	۳۱/۹۵	-----	شاخص قابلیت انفجار

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی قابلیت انفجار دیواره‌ها					
نوع سنگ: مگنتیت			تراز: ۵۰-۱۵۴۰	شماره سایت: C _n -40	
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
امتیاز	توضیحات	نام پارامتر	امتیاز	توضیحات	نام پارامتر
۸/۵	خیلی بلوکی تا خردشده	شرح توده سنگ	۱۴	خیلی بلوکی تا خردشده	شرح توده سنگ
۹/۴	متوسط تا نزدیک	فاصله‌داری درزه‌ها	۱۵	متوسط تا نزدیک	فاصله‌داری درزه‌ها
۳	عمود، داخل و بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها	۲۵	عمود، داخل و بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها
۶	متوسط و پرشده	جدایش درزه‌ها	۵/۵	۵/۵	سختی موهس
----	۴۴	سختی اشمیت	----	۴/۳	وزن مخصوص (t/m ³)
۳/۸	۳/۸	شاخص بار نقطه ای (Mpa)	۵۷/۵	-----	تاثیر وزن مخصوص
۳۰/۷	-----	شاخص قابلیت خردایش سنگ	۳۱/۹	-----	شاخص قابلیت انفجار

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی قابلیت انفجار دیواره‌ها					
نوع سنگ: مگنتیت			تراز: ۵۰-۱۵۴۰	شماره سایت: C _n -46	
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
امتیاز	توضیحات	نام پارامتر	امتیاز	توضیحات	نام پارامتر
۸/۵	خیلی بلوکی تا خردشده	شرح توده سنگ	۱۴	خیلی بلوکی تا خردشده	شرح توده سنگ
۹/۴	متوسط تا نزدیک	فاصله‌داری درزه‌ها	۱۵	متوسط تا نزدیک	فاصله‌داری درزه‌ها
۳	عمود، داخل و بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها	۲۵	عمود، داخل و بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها
۶	متوسط و پرشده	جدایش درزه‌ها	۵/۵	۵/۵	سختی موهس
----	۴۴	سختی اشمیت	----	۴/۴	وزن مخصوص (t/m ³)
۳/۸	۳/۸	شاخص بار نقطه ای (Mpa)	۶۰	-----	تاثیر وزن مخصوص
۳۰/۷	-----	شاخص قابلیت خردایش سنگ	۳۱/۹۵	-----	شاخص قابلیت انفجار

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی قابلیت انفجار دیواره‌ها					
نوع سنگ: مگنتیت			تراز: ۷۰-۱۶۶۰	شماره سایت: B-21	
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
امتیاز	توضیحات	نام پارامتر	امتیاز	توضیحات	نام پارامتر
۶	نسبتا بلوکی	شرح توده سنگ	۲۰	نسبتا بلوکی	شرح توده سنگ
۷	متوسط	فاصله‌داری درزه‌ها	۲۰	متوسط	فاصله‌داری درزه‌ها
۴	عمود، داخل، بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها	۳۰	عمود، داخل، بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها
۵	متوسط و خالی	جدایش درزه‌ها	۶	۶	سختی موهس
----	۴۷	سختی اشمیت	----	۴/۳	وزن مخصوص (t/m ³)
۳/۵	۴/۵	شاخص بار نقطه ای (Mpa)	۵۶/۷۵	-----	تاثیر وزن مخصوص
۲۵/۵	-----	شاخص قابلیت خردایش سنگ	۴۰/۱۳۵	-----	شاخص قابلیت انفجار

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی قابلیت انفجار دیواره‌ها					
نوع سنگ: مگنتیت			تراز: ۷۰-۱۶۶۰	شماره سایت: B-24	
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
امتیاز	توضیحات	نام پارامتر	امتیاز	توضیحات	نام پارامتر
۶	نسبتا بلوکی	شرح توده سنگ	۲۰	نسبتا بلوکی	شرح توده سنگ
۷	متوسط	فاصله‌داری درزه‌ها	۲۰	متوسط	فاصله‌داری درزه‌ها
۴	عمود، داخل، بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها	۳۰	عمود، داخل، بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها
۵	متوسط و خالی	جدایش درزه‌ها	۶	۶	سختی موهس
----	۴۷	سختی اشمیت	----	۴/۳	وزن مخصوص (t/m ³)
۳/۵	۴/۵	شاخص بار نقطه ای (Mpa)	۵۶/۷۵	-----	تاثیر وزن مخصوص
۲۵/۵	-----	شاخص قابلیت خردایش سنگ	۴۰/۱۳۵	-----	شاخص قابلیت انفجار

گزارش برداشت پارامترهای ژئومکانیکی قابلیت انفجار دیواره‌ها					
نوع سنگ: مگنتیت			تراز: ۶۰-۱۶۵۰	شماره سایت: B-22	
پارامترهای مربوط به اندیس خردایش سنگ (RFI)			پارامترهای مربوط به اندیس قابلیت انفجار (BI)		
امتیاز	توضیحات	نام پارامتر	امتیاز	توضیحات	نام پارامتر
۶	نسبتا بلوکی	شرح توده سنگ	۲۰	نسبتا بلوکی	شرح توده سنگ
۷	متوسط	فاصله‌داری درزه‌ها	۲۰	متوسط	فاصله‌داری درزه‌ها
۴	عمود، داخل، بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها	۳۰	عمود، داخل، بیرون	جهت‌یافتگی درزه‌ها
۵	متوسط خالی	جدایش درزه‌ها	۶	۶	سختی موهس
----	۴۷	سختی اشمیت	----	۴/۴	وزن مخصوص (t/m ³)
۳/۵	۴/۵	شاخص بار نقطه ای (Mpa)	۵۹/۵	-----	تاثیر وزن مخصوص
۲۵/۵	-----	شاخص قابلیت خردایش سنگ	۴۰/۱۹	-----	شاخص قابلیت انفجار

Abstract

One of the main activities associated with mining excavation is blasting operation. In designing step of drilling & blasting pattern lack of detailed information can result in poor achievement in predefined purposes. In an optimum blasting pattern, both of the uncontrollable and controllable factors should be taken into consideration simultaneously. Local geological condition, rock mass quality, pattern geometry, loading and transportation of equipment, type of delivery system and explosion should be considered by the designers. Often, designing patterns are based on the empirical methods. These methods are usually used with many simplifications and assumptions resulted in reducing the efficiency of the system.

In this study, a comprehensive study has been done on the relevant contexts and the most effective parameters in the blasting pattern design, mainly those ones which rely on the mass rock properties, are reviewed. After, various blasting operations in the Sangan iron ore mine, existed problems recognized and some recommendations have been offered to improve the current condition of the blasting operations. To collect the required data, a field study has been taken into account and rock mass engineering specifications required to determine the blast ability index (BAI) and rock fragmentation index (RFI) in more than thirteen points of Sangan iron ore mine were studied. Point load, density and hardness tests have been carried out on the samples which were collected. The mechanical properties of intact rock, geo-mechanical characteristics of rock mass, blast ability index and rock fragmentation index were determined for the rock masses located on those mentioned points. Then, utilizing the parameters obtained, specific charge was determined. At the end, the result of rock mass based methods were compared with those designed by the mine experts.

Keywords: evaluation of the blasting, blast ability index, rock fragmentation index



Shahrood University of Technology

Faculty of Mine, Petroleum and Geophysics Engineering

Specific Charge Optimization in Sangan Iron Ore Mine: B,C Anomaly
North

Hossein Aliakbari Baydokhti

Supervisors:
Prof. Mohammad Ataei
Dr. Farhang Sereshki

February 2014