

بررسی اثر طول ستون هوا بر خردشدگی ناشی از انفجار در معدن سنگ آهک نرداگی

ابراهیم عارف‌مند^۱؛ حسن بخشنده امنیه^{۲*}؛ عباس مجدی^۳؛ سعید جان‌نثاری^۴

- ۱- دانشجوی دکتری استخراج، دانشکده مهندسی معدن، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
- ۲- دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
- ۳- استاد، دانشکده مهندسی معدن، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
- ۴- دانشجوی دکتری استخراج، دانشکده مهندسی معدن، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۹ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۳۱

(نویسنده مسئول: hbakhshandeh@ut.ac.ir)

بهبودسازی پارامترهای مهندسی انفجار در معادن روباز با هدف دستیابی به درجه خردشدگی مناسب و کاهش پدیده‌های نامطلوب از مسائل حائز اهمیت است که تا کنون مطالعات زیادی در این خصوص انجام شده است. انفجار با لحاظ انقطاع هوا درون چال منجر به استفاده بهینه از انرژی ماده منفجره از طریق تولید انرژی ثانویه نسبت به انفجار مرسوم می‌شود. در این روش انفجاری طول ستون هوا از پارامترهای مهم در طراحی است که نتایج انفجار از جمله خردشدگی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در این تحقیق با انجام دو انفجار در توده‌سنگ آهک معدن نرداگی قم اثر تغییر طول ستون هوا بر نتایج خردشدگی مورد بررسی قرار گرفت. در دو بلوک انفجاری به جز نسبت طول ستون هوا، الگوی حفاری و توده‌سنگ در برگیرنده یکسان است. نسبت طول ستون هوا در انفجار شماره ۱ و ۲ به ترتیب ۲۰٪ و ۳۱٪ طراحی شد. نتایج خردشدگی بعد از انفجار با استفاده از نرم‌افزار آنالیز تصویر Split Desktop ارزیابی شد. نتایج بدست آمده نشان داد انفجار شماره ۱ منجر به کاهش ۳۱٪ ابعاد بولدر و افزایش ۶۶٪ شاخص یکنواختی نسبت به انفجار شماره ۲ شده است.

چکیده

انفجار، خردشدگی، انقطاع هوا، آنالیز تصویر، شاخص یکنواختی

واژگان کلیدی

۱- مقدمه

جمله لرزش زمین، پرتاب سنگ و عقب‌زدگی است [۱]. در دهه‌ی ۱۹۸۰ مشخص شد که خردایش توده‌سنگ توسط انفجار بر خردشدن ثانویه، بارگیری و حمل تاثیر می‌گذارد و سپس مفهوم خردایش بهینه به یک موضوع مهم در مهندسی معدن تبدیل شد [۲]. در اکثر انفجارهای مرسوم کمتر از ۲۰ درصد انرژی تولید شده صرف خردایش و جابه‌جایی توده سنگ و مابقی آن منجر به بروز پدیده‌های نامطلوب می‌شود [۳]. روش انفجار با استفاده از ستون هوا به عنوان یک تکنیک نوین بخش برای بهبود کارایی انفجار، کاهش

در دنیای امروز کاهش هزینه‌ها و افزایش سود لازمه پروژه‌های اقتصادی است، استفاده از تکنولوژی‌های جدید و روش‌های نوین اجتناب ناپذیر است. بخش معدن نیز از این قاعده کلی مستثنی نبوده و در این عرصه نیز فعالیت‌های زیادی انجام می‌گیرد. از جمله مهم‌ترین مسائل و دغدغه‌های فنی و اقتصادی در استخراج معادن روباز اصلاح و بهینه‌سازی الگوی آتشکاری است. هدف اصلی چالزنی و انفجار در معادن دستیابی به خردایش بهینه و کاهش پیامدهای نامطلوب از

آن لحظه فشاری معادل ۲ تا ۷ برابر فشار اولیه تولید می‌شود که این افزایش فشار منجر به خردایش کامل کف پله خواهد شد [۶]. ساهاران و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که در انفجار مرسوم مدت زمان نگهداری گل‌گذاری ۱۴.۷ میلی‌ثانیه و در انفجار انقطاع هوا ۷۶ میلی‌ثانیه می‌باشد به عبارتی انرژی ماده منفجره با استفاده از انقطاع هوا مدت زمان طولانی‌تری در توده سنگ منتشر می‌شود و منجر به بهبود خردشدگی و کاهش پدیده‌های نامطلوب می‌شود [۷]. بالاکریشن و پرادهان (۲۰۱۸) با استفاده از انفجار انقطاع هوا ویژه را کاهش و خردایش حاصل از انفجار را بهبود بخشیدند [۸]. بخشنده امنیه و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از ستون هوا در چال‌های تولیدی معدن روباز سنگ آهن میشدوان خردایش، عقب‌زدگی و پارامترهای فنی و اقتصادی را بهبود بخشیدند [۹-۱۰]. چنگ و همکاران (۲۰۲۲) تاثیر ستون هوا را روی لرزش ناشی از انفجار مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها با انجام انفجارهای میدانی و شبیه‌سازی عددی نشان دادند، در حالتی که نسبت طول ستون هوا ثابت باشد ستون هوا در بالای چال انفجاری، منجر به لرزش زمین کمتری نسبت به زمانی می‌شود که ستون هوا در مرکز یا پایین چال انفجاری باشد [۱۱]. ژائو و همکاران (۲۰۲۳) تخریب توده‌سنگ ناشی از انفجار در حفاریات را با استفاده از ستون هوا در طول خرج گذاری کنترل کردند [۱۲]. سقیب و همکاران (۲۰۲۴) تاثیر موقعیت ستون هوا در سنگ آهک را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که تمام موقعیتهای بررسی شده منجر به بهبود خردایش نسبت به انفجارهای مرسوم می‌شود. بهترین عملکرد خردایش زمانی حاصل شد که ستون هوا در وسط ستون مواد منفجره قرار داشته باشد. همچنین این روش باعث کاهش مصرف مواد منفجره و کاهش شکستگیهای ناخواسته در پشت و انتهای چال انفجاری نیز می‌گردد [۱۳]. نتایج مطالعات مرادی و همکاران (۲۰۲۵) نشان داد که آب با انتقال بهتر فشار ناشی از انفجار به سنگ، تأثیر منفی بر نتایج انفجار ندارد. همچنین طول کل شکستگی‌ها در حالت چال خشک حدود ۵٪ بیشتر از حالت چال پرآب بود که اختلاف قابل توجهی نیست. بنابراین، استفاده از روش ستون هوا در چال‌های انفجاری پرآب نیز موثر و قابل اجرا است [۱۴]. تحقیقات پیشین نشان داد که در روش انفجاری انقطاع هوا، طول ستون هوا از پارامترهای مهم در طراحی این روش است.

مصرف مواد منفجره و افزایش خردایش شناخته شده است. با این حال، استفاده گسترده از این روش به دلیل کمبود رهنمودهای طراحی از جمله طول ستون هوا محدود شده است. استفاده از انقطاع هوا منجر به استفاده بهینه از انرژی ماده منفجره از طریق توزیع مجدد انرژی نسبت به انفجار مرسوم می‌شود. در روش انفجاری انقطاع هوا، در طول ستون ماده منفجره نسبت به شرایط انفجار از یک یا چند ستون هوا استفاده می‌شود [۴]. محققین پیشین تلاش داشتند که با استفاده از مطالعات میدانی، آزمایشگاهی و شبیه‌سازی عددی نتایج حاصل از انفجار انقطاع هوا را مورد تحلیل و بررسی قرار دهند. مهمترین پارامتر برای تحقق اهداف انفجار با ستون هوا، محاسبه صحیح طول ستون هوا است. برای تعیین طول ستون هوا از فاکتور ستون هوا (ADF) استفاده می‌شود که برابر است با:

$$ADF = \frac{ADL}{OCL} \quad (1)$$

در رابطه فوق ADL طول ستون هوا و OCL طول خرج اصلی می‌باشد. در معادله فوق OCL برابر با مجموع طول خرج‌گذاری (Le) و طول ستون هوا (La) می‌باشد. بنابراین رابطه فوق را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد [۵]:

$$ADF = \frac{La}{Le + La} \quad (2)$$

ملینکو و مارچنکو (۱۹۷۹) بر اساس نتایج تجربی انفجارهای میدانی دستورالعملی برای تعیین طول ستون هوا مطابق روابط زیر پیشنهاد دادند [۵]:

$$ADL = K_1 * OCL \quad (K_1 = 0.15 - 0.35) \quad (3)$$

$$ADL = K_2 * d \quad (K_2 = 8 - 12) \quad (4)$$

در روابط فوق طول ستون هوا، خرج اصلی و قطر خرج (d) برحسب متر است K_1 و K_2 فاکتورهای سنگ می‌باشند. ضرائب K_1 و K_2 با افزایش مقاومت توده‌سنگ کاهش می‌یابد [۵].

چیاپتا (۲۰۰۴) با انفجار تک چال انقطاع هوا (موقعیت ستون هوا در پایین چال انفجاری) به این نتیجه رسید هنگامی که جبهه موج اولیه ضربه اول را به کف چال وارد میکند سرعت موج ضربه کاهش می‌یابد و از ته چال منعکس می‌شود و در

بررسی شود هر دو بلوک انفجاری در دیواره شمالی و در دو تراز متوالی انجام شدند تا حدالامکان ویژگی‌های توده‌سنگ در هر دو انفجار یکسان باشند. همچنین در این دو انفجار از الگوهای حفاری، مواد ناریه (آنفو) و تاخیرهای نانل یکسان (PHC) استفاده شده است.

نسبت طول ستون هوا برابر با مجموع طول ستون‌های هوا تقسیم بر مجموع طول ستون‌های ماده منفجره و هوا می‌باشد. مطابق جدول ۱ نسبت طول ستون هوا برای انفجار بلوک‌های شماره ۱ و ۲ به ترتیب برابر با ۲۰ و ۳۱ درصد است.

به منظور فهم دقیق‌تر طراحی انجام شده، نمایی از نحوه خرج‌گذاری درون چال‌های طراحی شده در دو انفجار در شکل ۱ قابل مشاهده است.

نمایی از فاصله اندازه‌ها (سوپر پلاگ) تهیه شده برای ایجاد ستون هوا درون چال انفجاری در شکل ۲ قابل مشاهده می‌باشد که با طول‌های ۰.۵ و ۰.۹ متر ساخته شدند.

استفاده از ستون هوا منجر می‌شود تا امواج ضربه درون چال با ستون گل‌گذاری یا انتهای چال تعامل می‌کنند و فشار اولیه چال به دلیل حرکت گازهای حاصل از انفجار به درون ستون هوا، کاهش می‌یابد. فعل و انفعالات مکرر منجر به تقویت مولفه‌های انرژی تشکیل شده می‌شود و اجازه می‌دهد فشارهای ثانویه برای مدت طولانی‌تری بر روی توده‌سنگ اطراف آن عمل کنند [۱۵].

در این تحقیق با انجام دو انفجار میدانی در معدن سنگ آهک نرداگی اثر تغییر طول ستون هوا بر نتایج خردشدگی بررسی شده است.

۲- آزمایش‌های میدانی روش انفجاری انقطاع هوا

در توده سنگ آهک دو بلوک انفجاری طراحی و انفجار شد. در ادامه محل آزمایش‌های میدانی و الگوی طرح‌های انفجاری شرح داده خواهد شد.

۲-۱- توصیف محل آزمایش

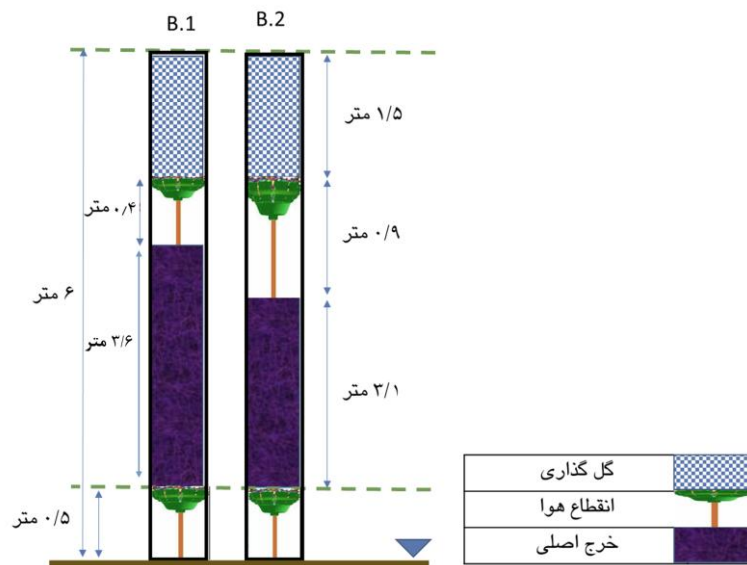
معدن سنگ آهک نرداگی در جنوب شهر قم واقع شده است. این معدن دارای ذخیره قطعی ۷۰ میلیون تن سنگ آهک بوده که دارای استخراج سالیانه ۰/۴ میلیون تن می‌باشد. کانی‌های اصلی معدن کلسیت و کربنات کلسیم بوده که وزن مخصوص متوسط آن ۲.۳۷ تن بر مترمکعب است. استخراج معدن به روش روباز انجام می‌شود و شامل ۲۶ پله با ارتفاع پله‌های ۶ تا ۹ متر است.

۲-۲- الگوی طراحی دو بلوک انفجاری

در معدن سنگ آهک نرداگی برای بررسی تاثیر طول ستون هوا بر خردشدگی، دو انفجار مجزا طراحی و اجرا شد. در جدول ۱ پارامترهای طراحی ۲ بلوک انفجاری قابل مشاهده است. برای آنکه تنها تاثیر طول ستون هوا بر نتایج خردشدگی

جدول ۱- پارامترهای مهندسی ۲ بلوک انفجاری اجرا شده در معدن سنگ آهک نرداگی

پارامتر	واحد	انفجار بلوک شماره ۱	انفجار بلوک شماره ۲
قطر چال	میلیمتر	۷۶	۷۶
ارتفاع پله	متر	۶	۶
ارتفاع چال	متر	۶	۶
ارتفاع گل‌گذاری	متر	۱.۵	۱.۵
ارتفاع ستون هوا			
(بین ستون ماده منفجره و گل‌گذاری)	متر	۰.۴	۰.۹
ارتفاع ستون ماده منفجره	متر	۳.۶	۳.۱
ارتفاع ستون هوا	متر	۰.۵	۰.۵
(پایین چال انفجاری)			
تعداد چال	عدد	۴۴	۴۴
نسبت طول ستون هوا	درصد	۲۰	۳۱
فاصله‌داری	متر	۲.۵	۲.۵
بارسنگ	متر	۲	۲



شکل ۱- نمایی از نحوه خرج گذاری چال‌های انفجاری در انفجار بلوک‌های ۱ و ۲



شکل ۲- فاصله اندازه‌ها (سوپر پلاگ) تهیه شده برای ایجاد ستون هوا درون چال انفجاری

۳- آنالیز و ارزیابی خردشدگی

از جمله اطلاعات بسیار مهم در بهینه‌سازی عملیات انفجار، ویژگی‌های خردایش (مانند شکل و اندازه قطعات سنگ خردشده) است. تاکنون روش‌های مختلفی برای تعیین توزیع دانه‌بندی توده‌سنگ خردشده ارائه شده است که روش پردازش تصویر از شاخص‌ترین روش‌های محاسبه توزیع دانه‌بندی است. از جمله نرم‌افزارهای موجود در این خصوص نرم‌افزارهای *Gold Size* و *Split Desktop* هستند.

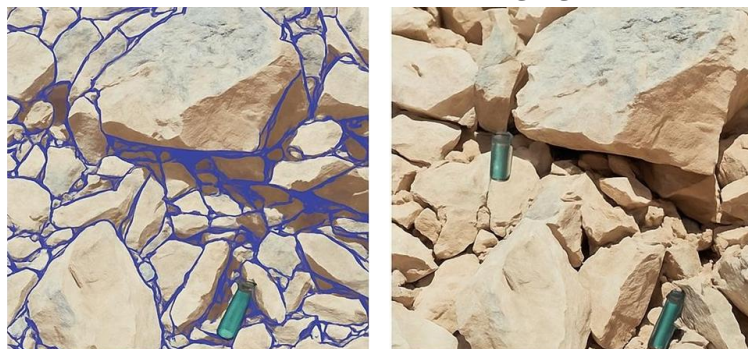
در این تحقیق توزیع اندازه قطعات خردشده حاصل از انفجارهای انجام شده در معدن سنگ آهک نرداگی، توسط نرم‌افزار *Split Desktop* برآورد شد. شکل ۳ نمای کلی از توده‌سنگ خردشده بعد از انفجار شماره ۲ را نشان می‌دهد. فرآیند اندازه‌گیری قطعات شامل سه مرحله‌ی مقیاس‌گذاری برای کاهش خطای زاویه لنز دوربین با توده‌سنگ خردشده (دو استوانه به طول ۲۳ سانتی‌متر به عنوان مقیاس انتخاب شد)، تعیین محدوده قطعات سنگ (در این مرحله مرز قطعات

توده سنگ خردشده به ۴ ستون مساوی تقسیم شد و از هر ستون به فواصل معین و در مراحل مختلف بارگیری عکس برداری شد تا نتایج بدست آمده از آنالیز تصویر به نتایج حقیقی نزدیک باشند.

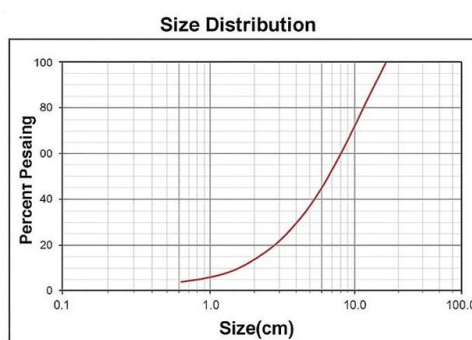
به صورت دستی تعیین می شود) و نهایتاً نمایش توزیع اندازه‌ی قطعات با استفاده از دو مرحله‌ی قبلی است (شکل ۴). برای اینکه عکس‌های گرفته شده نماینده‌ای از کل توده خردشده باشند، با توجه به تعداد چال و مشاهده میزان یکنواختی،



شکل ۳- نمایی کلی از توده سنگ خردشده حاصل از انفجار بلوک شماره ۲



۱- مقیاس گذاری و عکس گرفتن ۲- دیجی تایز کردن قطعات خردشده به روش دستی



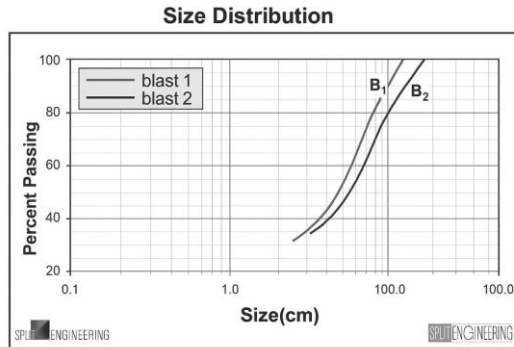
۳- تعیین توزیع ابعاد قطعات

شکل ۴- مراحل تعیین توزیع ابعاد قطعات حاصل از انفجار در معدن سنگ آهک نرداگی

۲ نشان داده شده است. در نمودارهای توزیع دانه بندی با افزایش شیب کلی نمودار خردشدگی یکنواخت تر خواهد بود. مطابق شکل ۵ شیب نمودار مرتبط با انفجار بلوک ۱ بیشتر از

بعد از آنالیز عکس‌ها، نمودار نهایی توزیع ابعاد خردشدگی مرتبط با هر انفجار حاصل شده است. در شکل ۵ توزیع ابعاد خردشدگی حاصل از انفجارهای بلوک‌های شماره ۱ و شماره

نمودار انفجار بلوک ۲ می‌باشد که به معنی تولید توزیع دانه‌بندی یکنواخت‌تر است.



شکل ۵- توزیع نهایی ابعاد قطعات خرد شده انفجار شماره ۱ و ۲

یکی از پارامترهای مهم در نتایج خردشدگی مقدار شاخص یکنواختی (شاخص خردشدگی) است. شاخص یکنواختی نشان دهنده‌ی توزیع ابعاد قطعات خردشده است. تاکنون معادلات و روش‌های مختلفی برای برآورد این شاخص ارائه شده است. در این تحقیق از رابطه‌ی چونگ و کاتسابانیس (۲۰۰۰) که از نتایج تجزیه سرنده‌ی حاصل‌شده، استفاده شده

است [۱۶].

$$n = \frac{0/842}{\ln x_{80} - \ln x_{50}} \quad (۵)$$

مطابق معادله‌ی چونگ و کاتسابانیس شاخص یکنواختی برای انفجار بلوک‌های شماره ۱ و ۲ به ترتیب برابر با ۱.۶۵ و ۰.۹۹ برآورد شده است. برای تحلیل بهتر در جدول ۲ خلاصه‌ای از نتایج نهایی خردشدگی بیان شده است. آنالیز خردایش انفجار بلوک‌های شماره ۱ و ۲ نشان می‌دهد که با توجه به ابعاد بزرگترین قطعه (ابعاد بولدر در انفجار ۱، ۳۱ درصد کاهش داشته است)، شاخص خردشدگی (در انفجار ۱، ۶۶ درصد شاخص یکنواختی بهبود یافته است) و شیب نمودار توزیع دانه‌بندی نهایی، توده خردشده ناشی از انفجار بلوک شماره ۱ کیفیت بهتری نسبت به توده خردشده ناشی از انفجار بلوک شماره ۲ داشته است. بنابراین در توده‌سنگ آهک معدن نرداغی انفجار با نسبت طول ستون هوا ۲۰٪ به مراتب نتایج خردایش بهتری نسبت به انفجار با نسبت طول ستون هوا ۳۱٪ به دست آمده است.

جدول ۲- نتایج خردشدگی حاصل از انفجار بلوک‌های شماره ۱ و ۲

درصد عبوری (%)	ابعاد قطعات خرد شده (CM)	
	انفجار شماره ۱	انفجار شماره ۲
۵۰	۳۸.۱۷	۳۲.۸
۸۰	۶۳.۵۱	۷۷.۲۴
۱۰۰	۱۴۹.۶۳	۲۱۷.۰۳
شاخص یکنواختی	۱.۶۵	۰.۹۹

انفجار شماره ۱ شاخص یکنواختی و ابعاد بولدر به ترتیب ۶۶٪ و ۳۱٪ (نسبت به انفجار بلوک شماره ۲) بهبود یافته است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که در معادن سنگ‌آهک با شرایط مهندسی مشابه معدن نرداغی، طراحی نسبت طول ستون هوا در حدود ۲۰٪ می‌تواند به بهبود قابل توجه عملکرد انفجاری منجر گردد. بنابراین، استفاده از این نسبت به عنوان یک راهکار بهینه در طراحی انفجارهای مشابه توصیه می‌شود. همچنین پیشنهاد می‌شود به منظور تعمیق درک اثر پارامترهای مؤثر از قبیل قطر و ارتفاع چال‌های انفجاری و نیز نوع سنگ معدن، یک پروژه تحقیقاتی جامع در معادن روباز

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش پارامتر نسبت طول ستون هوا در انفجارهای معدن سنگ آهک نرداغی بررسی شده است. بدین منظور دو بلوک انفجاری برای بررسی اثر طول ستون هوا در تخریب و شکست توده‌سنگ طراحی و اجرا شدند. در این دو انفجار تمام پارامترها (مانند ویژگی‌های توده‌سنگ و الگوهای حفاری) به جز نسبت ستون هوا یکسان در نظر گرفته شد. نسبت طول ستون هوا در انفجار بلوک شماره ۱ و ۲ به ترتیب ۲۰٪ و ۳۱٪ طراحی شد. نتایج آنالیز تصویر نشان می‌دهد که در

کشور تعریف و اجرا شود. این پروژه می‌تواند با بررسی روابط پیچیده بین این عوامل و روش انفجاری ستون هوا، به بهبود عملکرد انفجاری و بهینه‌سازی فرآیندهای معدنکاری کمک شایانی نماید.

۵- منابع

- [1] Segarra Catasús, P. (2004). "Experimental analysis of fragmentarion, vibration and rock movement in open pit blasting" Doctoral dissertation, Minas.
- [2] Chiappetta, R. F., & Borg, D. G. (1983) . "Increasing productivity through field control and high-speed photography". In Proc., 1st Int. Symp. on Rock Fragmentation by Blasting. Lulea, Sweden p.p 301-331.
- [3] Berta, G. (1990). Explosives and Engineering Tool, Italesplosivi, Milano. Chicago, United States.
- [4] Melnikov, N. V., & Marchenko, L. N. (1970). "Effective methods of application of explosion energy in mining and construction". In ARMA US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium (p.p. ARMA-70).
- [5] Mel'Nikov, N.V., Marchenko, L.N., Seinov, N.P., and Zharikov, I.F. (1979). A method of enhanced rock blasting by blasting, IPKON ANSSSR, Moscow, Translated from Fiziko-Tekhnicheskie Problemy Razrabotki Poleznykh Isko-Paemykh. J Min Sci 6:32-42
- [6] Chiappetta, R. F. (2004). "New blasting technique to eliminate subgrade drilling, improve fragmentation, reduce explosive consumption and lower ground vibrations". Journal of explosives engineering, 21(1), 10-12.
- [7] Saharan, M. R., Sazid, M., & Singh, T. N. (2017). "Explosive energy utilization enhancement with air-decking and stemming plug,'SPARSH'". Procedia engineering, 191, p.p 1211-1217. doi: 10.1016/j.proeng.2017.05.297.
- [8] Balakrishnan, V., & Pradhan, M. (2018). "Explosive consumption reduction by introducing hollow plastic tubes in explosive column". ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. VOL. 13, NO. 14.
- [۹] بخشنده امنیه، ح؛ عارف مند، ا؛ پورقاسمی، م، (۱۳۹۸). "کنترل عقب زدگی و بهبود پارامترهای فنی و اقتصادی معدن". سنگ آهن میشدوان، نشریه مهندسی منابع معدنی. Doi:10.30479/jmre.2019.10436.1251
- [۱۰] بخشنده امنیه، ح؛ عارف مند، ا؛ پورقاسمی، م، (۱۳۹۹). " مطالعه خردشدگی حاصل از انفجار Power Deck و مرسوم در معدن سنگ آهن میشدوان"، هفتمین کنفرانس مکانیک سنگ ایران.
- [11] Cheng, R., Zhou, Z., Chen, W., & Hao, H. (2022). "Effects of axial air deck on blast-induced ground vibration". Rock Mechanics and Rock Engineering, p.p 1-17. <https://doi.org/10.1007/s00603-021-02676-9>.
- [12] Gao, F., Tang, L., Yang, C., Yang, P., Xiong, X., & Wang, W. (2023). Blasting-induced rock damage control in a soft broken roadway excavation using an air deck at the blasthole bottom. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 82(3), 97. <https://doi.org/10.1007/s10064-023-03087-6>.

- [13] Saqib, S., Usman Qureshi, M., Awais Rashid, H. M., Ali, D., & Rasool, A. M. (2024). A field-scale investigation into the strategic location of air decks for improved blasting performance. Archives of Mining Sciences, 391-407. DOI: <https://doi.org/10.24425/ams.2024.151442>.
- [14] Moradi, M., Ebrahimi Farsangi, M. A., Mansori, H., & Saffari Pour, M. (2024). An investigation into the performance of bottom air-deck method in the presence of water, using SPH-FEM. Journal of Analytical and Numerical Methods in Mining Engineering, 14(41), 43-54. DOI: 10.22034/ANM.2025.21431.1631.
- [۱۵] عارف‌مند، ابراهیم، بخشنده امنیه، حسن، مجدی، عباس و وحیدی، مهدی. (۱۴۰۳). تحلیل عددی تاریخچه فشار چال و تخریب توده‌سنگ ناشی از انفجار به روش‌های مرسوم و بالشتک هوایی. نشریه مهندسی منابع معدنی، ۹(۴)، ۸۱-۹۳. doi: 10.30479/jmre.2024.19413.1668
- [16] Chung, S. H., & Katsabanis, P. D. (2000). Fragmentation prediction using improved engineering formulae. Fragblast, 4(3-4), 198-207.



Investigating the effect of air deck length on fragmentation caused by blasting in Nardaghi limestone mine

1st. Ebrahim Arefmand¹; 2nd. Hassan Bakhshandeh Amnieh^{2*}; 3th. Abbas Majdi³; 4th Saeed Jannesary.
1- PHD Candidate, School of Mining, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.
2- Associate Professor. School of Mining, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.
3- Professor. School of Mining, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.
4- PHD Candidate, School of Mining, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

Received: 08. April. 2025 Accepted: 21. June. 2025
(*Corresponding author: bagh110@iut.ac.ir)

Keywords

Blast
Fragmentation
Air Deck
Image processing
Uniformity index

Final English Extended Abstract

Summary

One of the most important technical and economic challenges in open-pit mining is the improvement and optimization of blasting patterns. Optimizing blasting parameters aims to achieve the right degree of rock fragmentation while reducing undesirable effects such as excessive vibration and fly rock. This topic has been extensively studied over the years. In the 1980s, it became clear that rock fragmentation from blasting significantly impacts secondary crushing, loading, and material handling. Consequently, the concept of optimal fragmentation became a key focus in

mining engineering. In conventional blasting, less than 20% of the explosive energy is effectively used for breaking and moving the rock mass, while the majority of the energy causes unwanted phenomena. Research has shown that air deck blasting, which incorporates an air gap inside the blast hole, improves the efficient use of explosive energy by generating secondary energy. This method enhances fragmentation compared to traditional blasting and is considered a promising approach to optimize blasting performance and increase mining productivity.

Introduction

In air deck blasting method, the length of the air column is one of the important parameters in the designing, which affects the results of the blast, including fragmentation. so far, various methods such as numerical modeling, field tests and theoretical methods have been used to determine the length of the air column.

Methodology and Approaches

In this research, the effect of changing the length of the air column on the crushing results was investigated by two blasts in the limestone rockmass in Nardaghi mine. In order to investigate the effect of the length of the air column on the fragmentation results, both blast blocks were carried out in the north walls of mine and in two consecutive levels so that the characteristics of the rock mass in both blasts were the same as much as possible. Also, in these two blasts, drilling patterns, explosive materials (ANFO) and same delays (PHC-NoneI) have been used. The air column length ratio in blasting of blocks number 1 and 2 was designed as 20% and 31%, respectively.

The results of fragmentation after blasting were evaluated by using Split Desktop image analysis software.

Results and Conclusions

After analyzing the images, the final diagram of the distribution of fragment dimensions related to each blast has been obtained. Also, one of the important parameters in the fragmentation results is calculating value of the



uniformity index. The uniformity index shows the distribution of fragmented rockmass dimensions. The obtained results showed that blast of block number 1 has led to 31% decrease in boulder dimensions and 66% increase in uniformity index compared to blast of block number 2.
