نشریه مهندسی منابع معدنی
Journal of Mineral Resources Engineering (JMRE)

دوره هفتم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، صفحه ۹۹ تا ۱۱۱
Vol. 7, No. 1, Spring 2022, pp. 99-111

DOI: 10.30479/JMRE.2019.10436.1251

یادداشت فنی

کنترل عقب‌زدگی و بهبود پارامترهای فنی و اقتصادی معدن سنگ آهن میشدوان

حسن بخشنده امنیه[1*]، ابراهیم عارف مند[2]، مهدی پورقاسمی ساغند[3]

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران
۳- استادیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه یزد، یزد

(دریافت ۱۳۹۸/۰۱/۳۱، پذیرش ۱۳۹۸/۰۴/۱۷)

چکیده

یکی از مهم‌ترین مشکلات بعد از عملیات انفجار در معادن سطحی، تشکیل ترک و شکستگی در پشت آخرین ردیف چال‌های انفجاری یا پدیده عقب‌زدگی است. انفجار Power Deck به عنوان یک روش نوین و جایگزین برای انفجار مرسوم معرفی شده است که با استفاده بهینه از انرژی ماده منفجره، نتایج انفجار را بهبود می‌دهد. در این روش یک ستون هوا در انتهای چال قرار می‌گیرد که به کاهش یا حذف اضافه حفاری مورد استفاده منجر می‌شود. انفجار Power Deck در شرایط یکسان نسبت به انفجار مرسوم، میزان خرج در تاخیر که یکی از پارامترهای موثر در عقب‌زدگی است را کاهش می‌دهد. در این تحقیق عقب‌زدگی ناشی از انفجارهای مرسوم و Power Deck در معدن سنگ آهن میشدوان ارزیابی شده است. با استفاده از روش انفجار Power Deck عقب‌زدگی به ترتیب ۱۶/۴٪ و ۵۵٪ در توده‌سنگ آهن و باطله سنگی نسبت به انفجار مرسوم کاهش یافت. همچنین بعد از عملیات بارگیری و حمل، مشخص شد که استفاده از روش Power Deck در توده‌سنگ آهن و باطله سنگی از لحاظ پاشنه مشکلی ایجاد نمی‌کند. در نهایت روش Power Deck باعث کاهش ۲۸/۵٪ خرج ویژه و کاهش ۹٪ حفاری ویژه شده است. همچنین بهره‌وری چال‌ها نسبت به انفجار مرسوم ۹٪ بهبود یافته است.

کلمات کلیدی

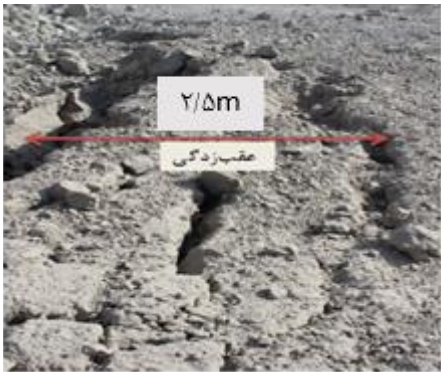
انفجار، عقب‌زدگی، Power Deck، معدن سنگ آهن میشدوان.

*نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات **Email: hbakhshandeh@ut.ac.ir**

حق‌مؤلف © نویسندگان
ناشر: دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)

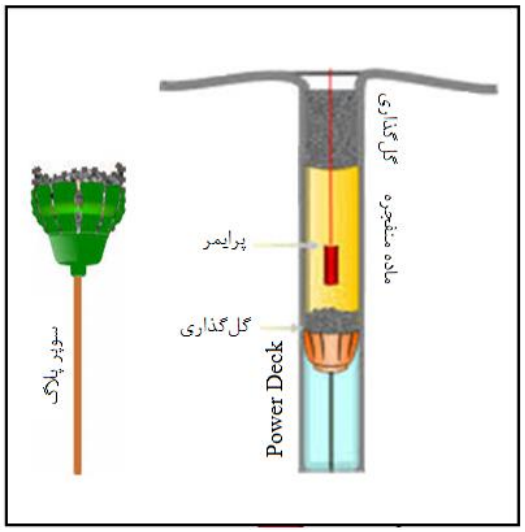
۱- مقدمه

در اکثر انفجارهای معدنی، کمتر از ۲۰ درصد انرژی تولید شده صرف خردایش و جابه‌جایی سنگ‌ها و بیش از ۸۰ درصد انرژی حاصل شده باعث بروز پدیده‌های نامطلوب مانند پرتاب سنگ، لرزش زمین و عقب‌زدگی می‌شود [۱]. در میان پدیده‌های نامطلوب حاصل از انفجار، عقب‌زدگی بسیار مورد توجه مهندسین قرار دارد. مطابق شکل ۱، این پدیده نامطلوب حد شکستگی توده‌سنگ با آخرین ردیف چال‌های انفجار است [۲]. باور معتقد است اگر عقب‌زدگی کنترل شده نباشد باعث کاهش شیب معدن می‌شود و باطله‌برداری و هزینه‌های معدنکاری را افزایش می‌دهد [۳]. نتایج پژوهش‌های قبلی نشان می‌دهد که هرچه مقدار خرج یک چال بیشتر شود، مقدار تنش ایجاد شده در اطراف آن افزایش یافته و به افزایش شعاع ناحیه آسیب دیده و در نهایت افزایش عقب‌زدگی حاصل از انفجارهای معدنی منجر می‌شود [۵،۴]. تاکنون مطالعات زیادی توسط محققین برای شناسایی پارامترهای موثر در عقب‌زدگی و کنترل آن انجام شده است. هاسترولید و لیو روش‌های آتشکاری کنترل شده را برای کاهش عقب‌زدگی و آسیب دیواره کاواک مطرح کردند [۶]. همچنین اسماعیلی و همکاران نشان دادند که میزان خرج ردیف آخر، تعداد ردیف‌ها، خرج ویژه و طول گل‌گذاری بیشترین تاثیر و ضریب سفتی (H/B)، نسبت فاصله‌داری به بارسنگ چال‌ها (S/B) و چگالی سنگ اهمیت کمتری دارند [۷].



شکل ۱: نمونه‌ای از پدیده عقب‌زدگی ناشی از عملیات انفجار معدن سنگ آهن میشدوان

انفجار ناشی از خرج‌گذاری پیوسته، موج ضربه قوی به دیواره چال انفجاری وارد می‌کند که موجب خردایش بیش از حد ناحیه بلاواسطه و اتلاف بخش زیادی از انرژی ماده منفجره در این ناحیه می‌شود [۹،۸]. تغییر در نحوه توزیع ماده منفجره درون چال انفجاری می‌تواند باعث بهبود کارآیی و نتایج انفجار نسبت به خرج‌گذاری پیوسته شود. خرج‌گذاری جفت نشده (Decuple Charge) و خرج‌گذاری منقطع (Deck Charge) جزو رایج‌ترین روش‌های جایگزین خرج‌گذاری پیوسته‌اند. برای کاربرد بهینه انرژی ماده منفجره، کنترل انفجار بر اساس توزیع مجدد انرژی انفجاری پیشنهاد شده است که با قرار دادن ستون هوا (Air Deck) در چال انفجاری امکان‌پذیر است و می‌توان آن را در پایین، وسط یا بالای ستون ماده منفجره قرار داد [۸]. جنوار و جثوا با قرار دادن ستون هوا در مرکز چال‌های انفجاری، عقب‌زدگی را نسبت به انفجار مرسوم ۵۰ تا ۸۰ درصد کاهش دادند [۱۰]. ساهران و همکاران با تعریف ستون هوا به عنوان قسمتی از گل‌گذاری، پرتاب سنگ ناشی از انفجار را همراه با حفظ خردایش مطلوب کاهش دادند [۱۱] اما تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که وجود ستون هوا در انتهای چال علاوه بر کنترل نتایج نامطلوب و بهینه‌سازی خردایش بر اساس توزیع مجدد انرژی، ممکن است باعث کاهش یا حذف اضافه حفاری شود. کوریا، فلوید، موزر و وارگک معتقدند که ستون هوا در انتهای چال موجب کاهش خرج ویژه، حفاری ویژه و در نهایت صرفه‌جویی اقتصادی به همراه حفظ کیفیت خردایش نسبت به انفجار مرسوم می‌شود [۱۴-۱۲]. چیاپتا برای ایجاد ستون هوا در انتهای چال مطابق شکل ۲، از ابزاری به نام سوپرپلاگ (Super Plug) که در ایالت متحده Power



شکل ۲: خرج‌گذاری چال با استفاده از روش Power Deck [۱۷]

Deck شناخته می‌شود استفاده کرد و نشان داد روش Power Deck در معدن نوادای شمالی باعث بهبود خردایش، کاهش لرزش زمین و مواد منفجره مصرفی نسبت به روش مرسوم و حذف اضافه حفاری به طور کامل می‌شود [۱۵]. همچنین عسکری بادویی و همکاران در معدن سنگ آهن گوهر زمین خردشدگی، خرج ویژه و حفاری ویژه را با استفاده از انفجار Power Deck بهبود بخشیدند [۱۶].

۲- مکانیزم انفجار با استفاده از ستون هوا

طبق مطالعات ملینکو، در انفجار Air Deck بعد از تولید و انتشار امواج فشاری اولیه، محیط اطراف به وسیله امواج ضربه‌ای بارگذاری مجدد می‌شود. در حالی که در روش مرسوم امواج فشاری بعد از انتشار موج ضربه اولیه به سرعت میرا می‌شوند. امواج فشاری ثانویه تولید شده در روش Air Deck نتیجه برخورد دو جریان گاز در مرکز ستون هوا است [۸]. نتایج آزمایشگاهی فورنی بر روی قطعه پلاکسی‌گلاس برای مطالعه تئوری انفجار Air Deck، نظریه ملینکو را تایید کردند و مشاهده شد که امواج ضربه پس از برخورد به گل‌گذاری منعکس شده و موجب تقویت میدان تنش در محیط اطراف می‌شود [۱۸].

چیاپتا با انفجار تک چال Power Deck و مرسوم نشان داد در روش Power Deck بعد از شروع انفجار، جبهه موج اولیه به سمت ستون هوا حرکت می‌کند و موجب کاهش فشار اولیه روی دیواره چال نسبت به روش مرسوم می‌شود. پس از وارد شدن ضربه اول به کف چال، سرعت موج ضربه کاهش یافته و از انتهای چال منعکس می‌شود و در آن لحظه فشار افزایش می‌یابد. در حالی که در انفجار مرسوم فشار به سمت دهانه چال وارد می‌شود. مطابق شکل ۳ فشار حاصل از P_2 در ته چال ممکن است ۲ تا ۷ برابر فشار اولیه P_1 باشد. فشار افزایش‌یافته باعث ایجاد شکاف صفحه‌ای و خردایش کامل کف پله می‌شود، بنابراین مجموع انرژی ضربه اولیه و موج انعکاسی بسیار کارآمدتر از خرج‌گذاری پیوسته است. نوسانات امواج ضربه‌ای در ستون هوا موجب افزایش زمان اعمال بار به توده‌سنگ اطراف شده که نهایتا به بهبود خردشدگی و کاهش نتایج نامطلوبی مانند عقب‌زدگی منجر می‌شود [۱۵].

۳- اصول طراحی ستون هوا

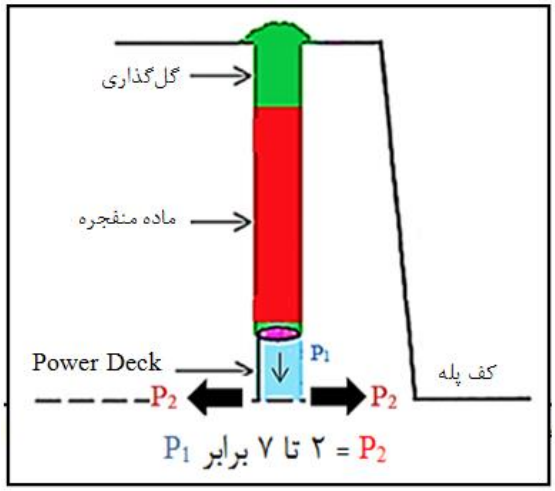
برای استفاده از روش Air Deck، مهم‌ترین پارامتر طراحی، تعریف نسبت طول ستون هوا (R_a) است. این نسبت برابر طول ستون هوا (L_a) به مجموع طول خرج‌گذاری (L_e) و طول ستون هوا است.

$$R_a = \frac{L_a}{L_a + L_e} \qquad (۱)$$

ملنیکو و همکاران با استفاده از داده‌های تجربی نشان دادند که نسبت طول ستون هوا بین ۰٫۱۵ تا ۰٫۳۵ باید تعریف شود [۱۹]. ماکسن و همکاران با توجه به نتایج تجربی معتقدند که حد بحرانی نسبت طول ستون هوا بین ۰٫۳ تا ۰٫۳۵ است [۲۰]. لیو و هاسترولید با روابط تئوری نشان دادند که Ra بین ۰٫۱۶۴ تا ۰٫۳۷۴ است [۲۱]. تاکنون اندازه بهینه‌ای برای نسبت طول ستون هوا در روش انفجاریPower Deck ارایه نشده است و محققان معتقدند که طول ستون هوا و گل‌گذاری تابعی از قطر چال و جنس توده‌سنگ است [۱۵].

۴- مشخصات معدن سنگ آهن میشدوان

مجتمع معدن سنگ آهن میشدوان در فاصله ۳۰ کیلومتری شمال شهرستان بافق در استان یزد با مختصات جغرافیایی ″۴۸ ′۵۰ °۳۱ شمالی و ″۱۲ ′۳۱ °۵۵ شرقی واقع شده است. با توجه به نحوه قرارگیری کانسار و مقاطع زمین‌شناسی، ماده معدنی به سه بخش غربی، مرکزی و شرقی تقسیم شده است. در شکل ۴ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به این معدن نشان داده شده است. همچنین پارامترهای الگوی انفجاری مورد استفاده در کانسنگ و باطله سنگی معدن میشدوان در جدول ۱ بیان شده است.



شکل ۳: مکانیزم موج ناشی از انفجار Power Deck[۱۵]

۵- روش تحقیق

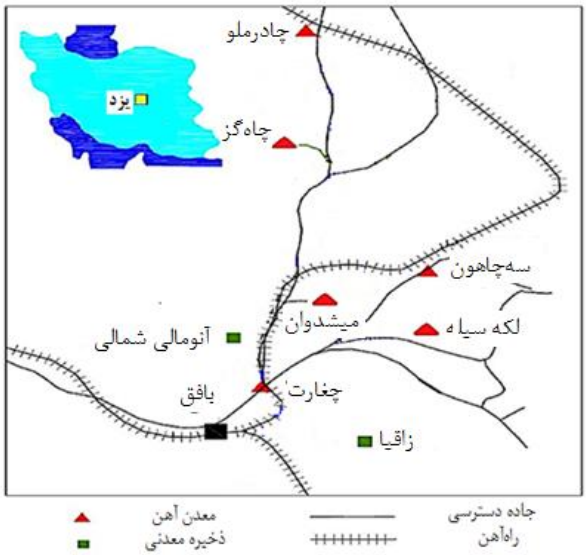
در این تحقیق برای بررسی عقب‌زدگی حاصل از انفجارهای مرسوم و Power Deck و مقایسه آن‌ها با یکدیگر ابتدا دو انفجار به روش‌های مرسوم و Power Deck در سنگ آهن و سپس دو انفجار ترکیبی (مرسوم – Power Deck) در باطله سنگی اجرا شد. قبل از انفجار، موقعیت چال‌های انفجار و بعد از آن، حد شکستگی پشت بلوک انفجاری با استفاده از دوربین نقشه‌برداری Leica TS 06 و ژالون برداشت شد. بعد از عملیات نقشه‌برداری، فواصل شکستگی‌ها تا ردیف آخر چال‌های انفجاری با استفاده از نرم‌افزار Autocad 2016 برحسب متر اندازه‌گیری شد. در نهایت پارامترهای فنی و اقتصادی مرتبط با دو روش محاسبه و با یکدیگر مقایسه شدند. در جدول‌های ۱ و ۲ به ترتیب پارامترهای الگوی انفجار و خواص ژئومکانیکی توده‌سنگ ارایه شده است.

۶- اجرای روش انفجار Power Deck

برای اجرای روش انفجار Power Deck در معدن میشدوان مطابق شکل ۵ در ابتدا اضافه حفاری به طور کامل حذف شد. سپس برای ایجاد ستون هوا در انتهای چال‌ها از لوله‌هایی با قطر معادل با چال انفجاری استفاده شد. برای قرار گرفتن بهتر لوله‌ها در انتهای چال، برش‌های قائم در امتداد آن‌ها ایجاد شد. سپس با استفاده از چوبی با طول معادل چال، لوله‌ها به انتهای چال انفجاری هدایت شدند. پس از انتقال لوله به انتهای چال انفجاری، ستون هوا تشکیل شد. در معدن میشدوان نسبت طول ستون هوا برابر با ۰٫۱۶۶ (طول Power- Deck برابر با ۰٫۵ متر است) در نظر گرفته شد. در انتها از امولایت فشنگی ۳۰ میلی‌متر با وزن واحد ۱۹۱ گرم به عنوان پرایمر و از آنفو به عنوان خرج اصلی استفاده شد.

۶-۱- عملیات انفجار در سنگ آهن

برای یکسان بودن تاثیر شرایط تکتونیکی، انفجار مرسوم و انفجار Power Deck در بلوک‌های مجاور سنگ آهن در پیت شرقی معدن انجام و مطابق شکل ۶ مقدار عقب‌زدگی اندازه‌گیری شد. در شکل ۷ حداقل و حداکثر میزان عقب‌زدگی برای هر دو انفجار مقایسه شده است. در نهایت روش انفجار Power Deck در بلوک سنگ آهن معدن میشدوان، موجب کاهش ۱۶٫۴ درصدی عقب‌زدگی نسبت به انفجار مرسوم شده است.



شکل ۴: موقعیت ذخیره معدن سنگ آهن میشدوان

جدول ۱: پارامترهای الگوی انفجار به تفکیک کانسنگ و باطله در معدن سنگ آهن میشدوان

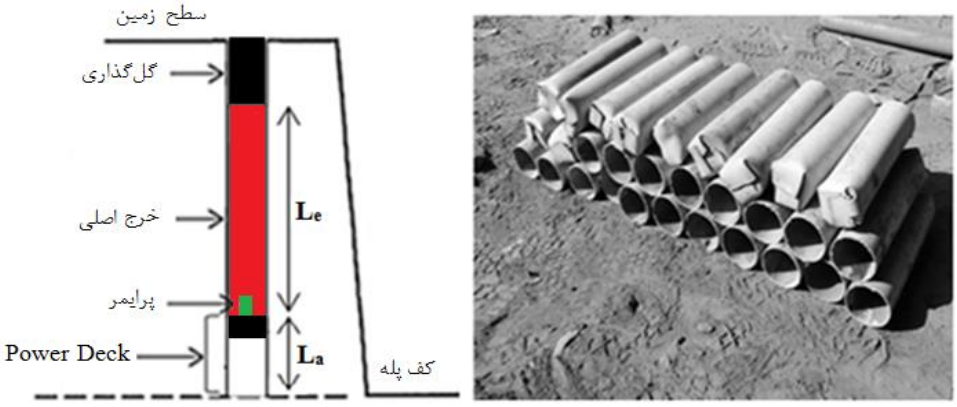
پارامتر	کانسنگ	باطله سنگی
قطر چال (mm)	۷۶	۷۶
بارسنگ (m)	۲٫۳	۲٫۴
فاصله‌داری (m)	۲٫۷	۲٫۸
ارتفاع پله (m)	۵	۵
اضافه حفاری (m)	۰٫۵	۰٫۵
گل‌گذاری (m)	۲	۲

جدول ۲: پارامترهای ژئومکانیکی سنگ به تفکیک کانسنگ و باطله

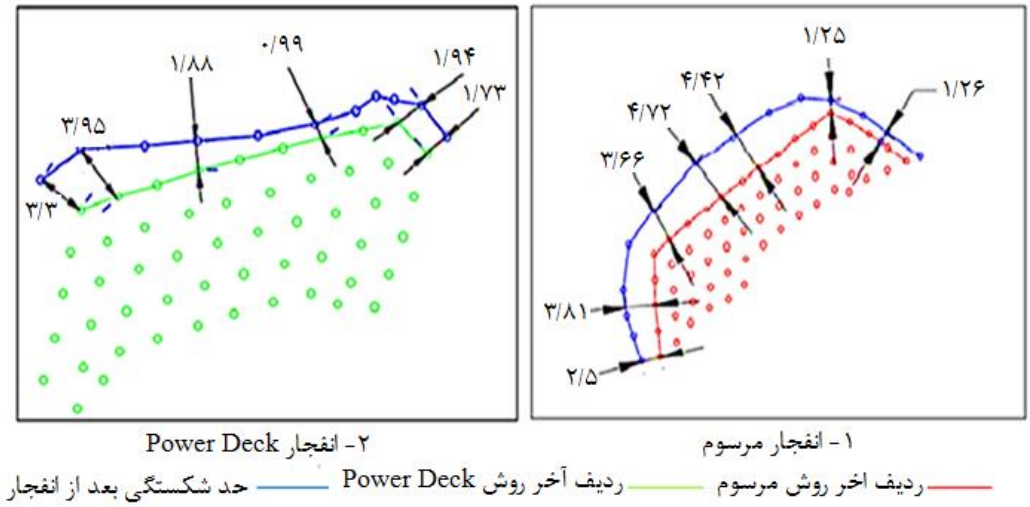
پارامترها	باطله سنگی	کانسنگ
نوع سنگ	دولومیت	سنگ آهن
مقاومت فشاری (MPa)	۹۲٫۵	۱۵۴٫۶
مقاومت کششی (MPa)	۴٫۶	۷٫۶
چگالی (gr/cm^3)	۲٫۸۵	۴٫۱

۶-۲- عملیات انفجار در باطله سنگی

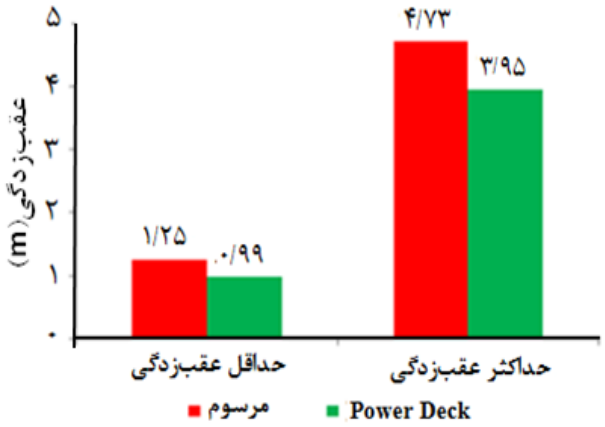
همان‌گونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود برای بررسی اثر انفجار Power Deck بر عقب‌زدگی با شرایط توده‌سنگ یکسان در باطله‌های سنگی نسبت به انفجار مرسوم دو انفجار ترکیبی (مرسوم – Power Deck) انجام شد. برای یکسان



شکل ۵: الگوی خرج‌گذاری با استفاده از روش Power Deck در معدن سنگ آهن میشدوان

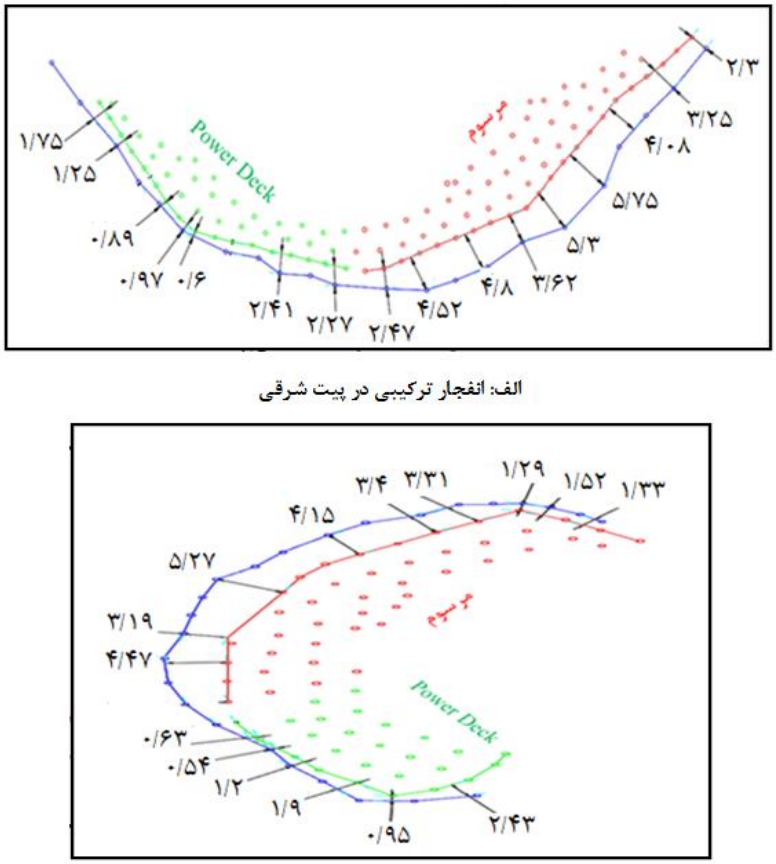


شکل ۶: نمایش عقب‌زدگی حاصل از انفجارهای مرسوم و Power Deck در بلوک‌های سنگ آهن معدن میشدوان

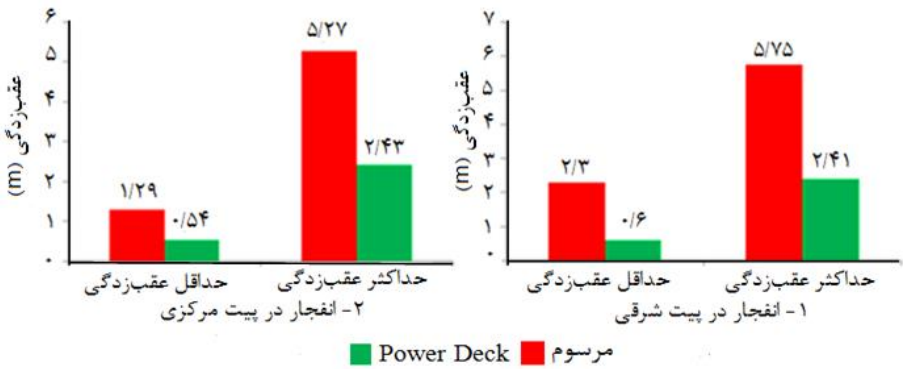


شکل ۷: مقایسه حداقل و حداکثر عقب‌زدگی حاصل از انفجارهای مرسوم و Power Deck در بلوک‌های سنگ آهن معدن میشدوان

بودن تاثیر پارامترهای زمین‌شناسی در هر دو انفجار، بلوک‌ها به روش ترکیبی منفجر شدند. در شکل ۹ حداقل و حداکثر مقادیر عقب‌زدگی ناشی از بخش‌های انفجار Power Deck و مرسوم مقایسه شده است. روش انفجار Power Deck به طور متوسط باعث کاهش ۵۵ درصدی عقب‌زدگی در باطله سنگی معدن میشدوان نسبت به روش مرسوم شده است.



شکل ۸: نمایش عقب‌زدگی حاصل از انفجار ترکیبی در بلوک باطله سنگی پیت‌های شرقی و مرکزی معدن میشدوان



شکل ۹: مقایسه حداقل و حداکثر عقب‌زدگی حاصل از بخش‌های انفجاری مرسوم و Power Deck در بلوک‌های باطله سنگی معدن میشدوان

بعد از اجرای روش Power Deck در معدن سنگ آهن میشدوان وضعیت کف پله پس از تخلیه بلوک‌ها به صورت کیفی بررسی و مشخص شد که این روش مشکلی در کف پله ایجاد نمی‌کند و پاشنه به وجود نمی‌آید (شکل ۱۰).

شکل ۱۰: نمایش کف پله بعد از اجرای انفجار Power Deck در معدن میشدوان

۷- مقایسه نتایج فنی و اقتصادی روش مرسوم و Power Deck

مطابق جدول ۳ روش Power Deck در معدن سنگ آهن میشدوان باعث کاهش خرج ویژه و حفاری ویژه شده و بهره‌وری چال‌ها نسبت به انفجار مرسوم بهبود یافته است، بنابراین اجرای روش Power Deck در معدن سنگ آهن میشدوان علاوه بر بهبود عقب‌زدگی و عدم ایجاد پاشنه، هزینه‌های عملیاتی (خرج‌گذاری و حفاری) را کاهش می‌دهد. با توجه به اینکه دیگر پارامترهای انفجار از جمله شماره‌های تاخیر در هر دو روش یکسان اجرا شده است، بنابراین وزن خرج در هر تاخیر برای انفجار Power Deck نسبت به انفجار مرسوم کاهش می‌یابد که ممکن است یکی از دلایل کاهش عقب‌زدگی باشد.

مطابق نتایج فنی و اقتصادی استفاده از روش انفجاری Power Deck در معدن سنگ آهن میشدوان، برای استخراج هر بلوک سنگ آهن با وزن ۱۰ هزار تن (معادل ۸۰ چال)، ۳۰۸ کیلوگرم آنفو و ۴۰ متر حفاری و همچنین برای استخراج هر بلوک باطله سنگی با وزن ۱۰ هزار تن (معادل ۱۰۰ چال)، ۳۸۵ کیلوگرم آنفو و ۵۰ متر حفاری نسبت به انفجار مرسوم کاهش می‌یابد، بنابراین استفاده از این روش در طول عمر معدن می‌تواند در بخش سنگ آهن ۱۶٫۷ درصد و در بخش باطله ۲۰٫۲ درصد صرفه اقتصادی داشته باشد.

۸- نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر انفجار Power Deck بر پدیده عقب‌زدگی نسبت به انفجار مرسوم در معدن سنگ آهن میشدوان و میزان عقب‌زدگی در بخش سنگ آهن و باطله سنگی بررسی شد. علاوه بر آن پارامترهای خرج ویژه و حفاری ویژه مرتبط با هر روش مورد بررسی و نتایج ذیل به دست آمد:

۱- با استفاده از روش انفجار Power Deck به ترتیب ۱۶٫۴٪ و ۵۵٪ عقب‌زدگی در بلوک‌های سنگ آهن و باطله سنگی معدن میشدوان نسبت به انفجار مرسوم کاهش یافته است که نشان‌دهنده موثرتر بودن این روش در باطله سنگی است.

۲- کاهش عقب‌زدگی در انفجار Power Deck نسبت به انفجار مرسوم ممکن است ناشی از کاهش خرج در هر تاخیر (در شرایط یکسان) و همچنین به دلیل کاهش فشار وارده به

جدول ۳: بررسی فاکتورهای فنی و اقتصادی ناشی از انفجارهای مرسوم و Power Deck در معدن میشدوان

بلوک	انفجار	خرج ویژه (kg/m^3)	حفاری ویژه (m/m^3)	بهره‌وری چال (m^3/m)	هزینه‌ها (ریال/مترمکعب)	
					ماده منفجره	حفاری
سنگ آهن	مرسوم	۰٫۴۳۴	۰٫۱۷۷	۵٫۶۴	۸۶۸۰	۱۳۲۷۵
	Power Deck	۰٫۳۱۰	۰٫۱۶۱	۶٫۲۱	۶۲۰۰	۱۲۰۷۵
	درصد تغییرات	-۲۸٫۵	-۹	+۹	-۲۸٫۵	-۹
باطله سنگی	مرسوم	۰٫۴۰۱	۰٫۱۶۳	۶٫۱۳	۸۰۲۰	۱۲۲۲۵
	Power Deck	۰٫۲۸۶	۰٫۱۴۸	۶٫۷۵	۵۵۰۰	۱۱۱۰۰
	درصد تغییرات	-۲۸٫۵	-۹	+۹	-۳۱٫۴	-۹

دیواره چال در اثر حرکت فشار گاز به سمت ستون هوا باشد.

۳- بررسی وضعیت کف پله پس از تخلیه بلوک‌های سنگ آهن و باطله نشان داد که روش Power Deck مشکلی در کف پله ایجاد نمی‌کند و پاشنه به وجود نمی‌آید.

۴- از بررسی پارامترهای فنی و اقتصادی مشاهده شد که اجرای انفجار Power Deck در معدن میشدوان باعث کاهش ۲۸٫۵٪ خرج ویژه و ۹٪ حفاری ویژه و افزایش ۹ درصدی بهره‌وری چال نسبت به روش مرسوم می‌شود.

۹- مراجع

[1] Berta, G. (1990). *"Explosive - an Engineering tool"*. Italesplosivi, Milano.

[2] Jimeno, C. L., Jemino, E. L., and Carcedo, F. L. (1995). *"Drilling and blasting of rocks"*. CRC Press.

[3] Bauer, A. (1982). *"Wall control blasting in open pits"*. In Proceedings of the 14th Canadian Rock Mechanics Symposium, Vancouver, British Columbia, Canada, 3-10.

[4] Day, P. R., and Webster, W. K. (1981). *"Controlled blasting to minimize overbreak with big boreholes underground"*. CIL Inc. CIMM Annual Meeting, Calgary, Alberta.

[5] Holmberg, R., and Persson, P. A. (1978). *"The Swedish approach to contour blasting"*. Proceedings of the 4th Conference on Explosives and Blasting Technique, 113-127.

[6] Hustrulid, W., and Lu, W. (2002). *"Some general design concepts regarding the control of blast-induced damage during rock slope excavation"*. Proceedings of 7th Rock Fragmentation by Blasting, Beijing.

[7] Esmaeili, M., Osanloo, M., Rashidinejad, F., Bazzazi, A. A., and Taji, M. (2014). *"Multiple regression, ANN and ANFIS models for prediction of backbreak in the open pit blasting"*. Engineering with Computers, 30(4): 549-558.

[8] Melnikov, N. V., and Marchenko, L. N. (1970). *"Effective methods of application of explosive energy in minning and construction"*. 12th Symp on Dynamic Rock Mecanics, AIME, New York, 350-378.

[9] Chiappetta, R. F., and Mammele, M. E. (1987). *"Analytical high-speed photography to evaluate air decks, stemming retention and gas confinement in presplitting, reclamation and gross motion applications"*. In Proceedings of the Second International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, Society for Experimental Mechanics, Bethel, CT, USA, 257-301.

[10] Jhanwar, J. C., and Jethwa, J. L. (2000). *"The use of air decks in production blasting in an open pit coal mine"*. Geotechnical & Geological Engineering, 18(4): 269-287.

[11] Saharan, M. R., Sazid, M., and Singh, T. N. (2017). *"Explosive Energy Utilization Enhancement with Air-Decking and Stemming Plug,'SPARSH'"*. In ISRM European Rock Mechanics Symposium-EUROCK 2017, International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering.

[12] Correa, C. E. (2003). *"Use of air-decks to reduce subdrillings in Escondida mine"*. Fragblast, 7(2): 79-86

[13] Floyd, J. L. (2004). *"A report on power deck optimization prepared by blast dynamics"*. Inc.

[14] Moser, P., and Vargek, J. (2007). *"Bottom-hole and multiple power deck-independent test"*. Conference Proceedings, 205-216.

[15] Chiappetta, F. (2004). *"New blasting technique to eliminate subgrade drilling, improve fragmentation, reduce explosive consumption and lower ground vibration"*. Journal of Explosive Engineering, 21(1): 2-10.

[16] Askari Badoee, M. J., Ebrahimi Farsangi, M. A., Mansouri, H., and Mansour Panahi, A. M. (2018). *"Application of Power Deck in wet condition, case study: Goharzamin iron ore mine"*. Fragblast 12, Sweden.

[17] http://www.powerdecking.com.

[18] Fourney, W. L., Barker, D. B., and Holloway, D. C. (1981). *"Model studies of explosive well stimulation techniques"*. In International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 18(2): 113-127.

[19] Melnikov, N. V., Marchenko, L. N., Zharikov, I. F., and Seinov, N. P. (1980). *"Blasting methods to improve rock fragmentation"*. In Gasdynamics of Explosions and Reactive Systems, 1113-1127.

[20] Moxon, N. T., Mead, D., and Richardson, S. B. (1993). *"Air-decked blasting techniques: some collaborative experiments"*. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section A, Mining Industry, 102.

[21] Lu, W., and Hustrulid, W. (2003). *"A further study on the mechanism of airdecking"*. Fragblast, 7(4): 231-255.

Imam Khomeini International University
Vol. 7, No. 1, Spring 2022, pp. 25-29

نشریه مهندسی منابع معدنی
Journal of Mineral Resources Engineering (JMRE)

DOI: 10.30479/JMRE.2019.10436.1251

Technical Note

Controlling Backbreak and Improving Technical and Economic Parameters in Mishdovan Iron Ore Mine

Bakhshandeh Amnieh H.[1*], Arefmand E.[2], Porghasemi Saghand M.[3]

1- Associate Professor, Dept. of Mining Engineering, Technical Faculties, University of Tehran, Tehran, Iran
hbakhshandeh@ut.ac.ir

2- M.Sc Student, Dept. of Mining Engineering, Technical Faculties, University of Tehran, Tehran, Iran
ebrahim.arefmand@ut.ac.ir

3- Assistant Professor, Dept. of Mining Engineering, University of Yazd, Yazd, Iran
mpourghasemi@yazd.ac.ir

(Received: 20 Apr. 2019, Accepted: 08 Jul. 2019)

Abstract: One of the major problems related to blasting operations in open-pit mines is the formation of cracks on the benches behind the last row of blast holes or back breakes. Power Deck blasting has been introduced as a new and alternative method for conventional blasting, which improves blasting results by explosive energy utilization enhancement. In this technique, there is an air deck at the end of the blasting hole which decreases or eliminates sub-drilling. Power Deck blasting reduces charge per delay in the same conditions as conventional blasting and charge per delay is one of the most effective parameters of back break. In this study, back break caused by conventional and Power Deck blasting was evaluated in the Mishdovan iron ore mine. Back break in Power Deck blasting was reduced by 16.4% and 55% in iron ore and stone waste respectively as compared to back break in conventional blasting. Power Deck blasting could therefore be effectively used as a controlled blasting technique to obtain stable faces. Also after loading and hauling the fragment size, it was found that both methods have no significant differences in flat floors. Eventually, the Power Deck method reduced powder factor and specific drilling by 28.5% and 9%, respectively. In addition, holes productivity improved by 9% in Power Deck blasting compared to conventional blasting.

Keywords: Blasting, Back break, Power Deck, Mishdovan iron ore mine.

INTRODUCTION

In blasting operation, less than 20 percent of the produced energy is utilized to fragment and displace the rock mass. The rest of this energy is wasted to produce undesirable environmental impacts such as ground vibration, fly rock, and back break [1]. Back break is defined as the limit of damaged rocks beyond the last row of production holes [2]. If the back break is not controlled, a decrease in the overall pit-slope angle would be necessary which in turn causes an increase in stripping ratio [3]. The results of previous studies show that the higher amount of charging in blast-hole, creates more stress and increases damage

COPYRIGHTS
©2022 by the authors. Published by Imam Khomeini International University.
This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

zone around it, and finally leads to increasing back break caused by blasting operation [4,5]. Several factors leading to back break have been described by various researchers. Hustrulid and Lu (2002), proposed controlled blasting methods to reduce back break and damage [6]. Esmaeili et al. (2014), indicated that the last row's charge, number of rows, powder factor, and stemming length had the most effect and stiffness ratio (H/B), spacing to burden ratio (S/B), and rock density were less important [7]. Charge configurations play an important role in achieving required blasting performance. When a conventional explosive charge was fired, the rock in the vicinity of the blast hole was broken too finely. This nearby region tends to absorb much of the explosive energy. To reduce this great energy loss, Melnikov proposed a method to redistribute the explosive energy and reduce the initial pressure in detonation [8,9]. In an open-pit coal mine, Jhanwar and Jethwa use air deck, which was very useful in diminishing the back break [10].

AIR DECK (POWER-DECK) BLASTING

Mechanism of Air Deck

In brief, the basic roles of the Air Deck charge are: (1) to reduce the amplitude of the initial shock waves propagating into the rock surrounding the borehole (2) and to increase the total length of shock wave or stress wave traveling in the rock. The reason for the first role is that, when a charge contains an air gap, the products of the explosion can generate a lower pressure wave in the medium, since they can expand into the air gap. The reason for the second one is that one or multiple wave collisions can occur within a blast hole due to the existence of the air gap. The wave collisions can increase the total length of the stress wave caused by blasting [8,9].

Parameters of Air Deck charge

To use the Air Deck method, the most important parameter is Air Deck's length ratio. This ratio is equal to the length of Air Deck (L_a), divided by the total length of charge (L_e) and length of Air Deck.

$$R_a = \frac{L_a}{L_a + L_e} \tag{1}$$

Melnikov et al. Used empirical data to indicate that the Air Deck's length ratio should be defined between 0.15 and 0.35 [11].

Power Deck blasting

This technique uses a uniquely designed borehole plug, with a bottom hole air deck and a predetermined stemming mass on top of the plug. This combination is referred to as the Power Deck (Figure 1). This method can eliminate subgrade drilling, reduce ground vibration, improve fragmentation, and reduce explosive consumption. Power Deck blasting did not provide the optimum air deck's length ratio [12].

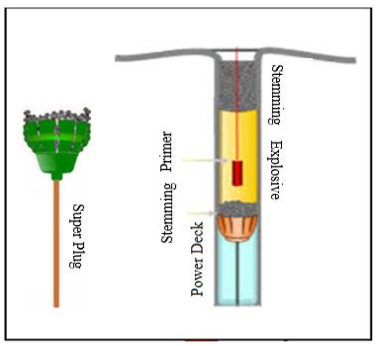


Figure 1. Sketch of Power Deck charging

CASE STUDY

Mishdovan iron ore mine is located 30 km north of Bafgh city in Yazd province. The ANFO is often used

as the main explosive in blast holes. In this study, to investigate the back break caused by conventional and Power Deck blasting, two blasts (a conventional and a Power Deck) in iron ore and two combined blasts (conventional-power deck) in waste were fired. Finally, technical and economical parameters related to the two methods were calculated and compared with each other. Table 1 depicts the pattern parameters of blasting and mechanical properties of the rock mass. To carry out Power Deck blasting in the Mishdovan iron ore mine, sub drilling was completely removed. Then air gap was placed at the bottom of the borehole and the Length of the power deck was considered 0.5m (Air Deck's length ratio is 0.166).

Table 1. Pattern parameters of blasting and mechanical properties of rock mass

parameter	Diameter (mm)	Burden (m)	Spacing (m)	Bench height (m)	Sub drilling (m)	Stemming (m)	Compressive strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Density (Kg/m^3)
Iron ore	76	2.3	2.7	5	0.5	2	154.6	7.6	4.1
Waste (Dolomite)	76	2.4	2.8	5	0.5	2	92.5	4.6	2.85

FINDINGS AND ARGUMENT

Blasting operation in iron ore

For the same effect of tectonic conditions, conventional blasting and Power Deck blasting were carried out in adjacent blocks. The comparison results of a back break due to blasting in iron ore are illustrated in Figure 2. Finally, by using the Power-Deck method in iron ore, the back break was decreased by16.4 percent.

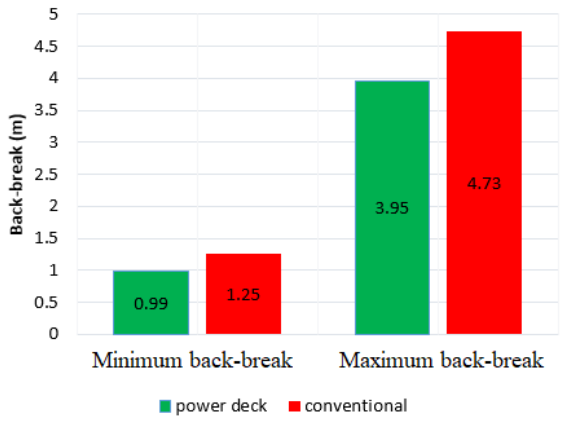


Figure 2. Comparison results of back break due to conventional and Power Deck blasts in iron ore blocks

Blasting operation in waste (Dolomite)

For the same effect of tectonic conditions, conventional blasting and power deck blasting were carried out as a combined blasting (In each section, the back break was measured separately). The comparison results of a back break due to blasting in waste are illustrated in Figure 3. Finally, by using the Power-Deck method in waste, the back break was decreased by 55 percent.

By applying the Power-Deck method in wastes and ore materials, no problem was observed in creating "toes".

COMPARISON OF TECHNICAL AND ECONOMIC RESULTS

According to table 3, the Power Deck method in the Mishdovan iron ore mine has reduced the powder factor and specific drilling, and the holes productivity has improved compared to conventional blasting.

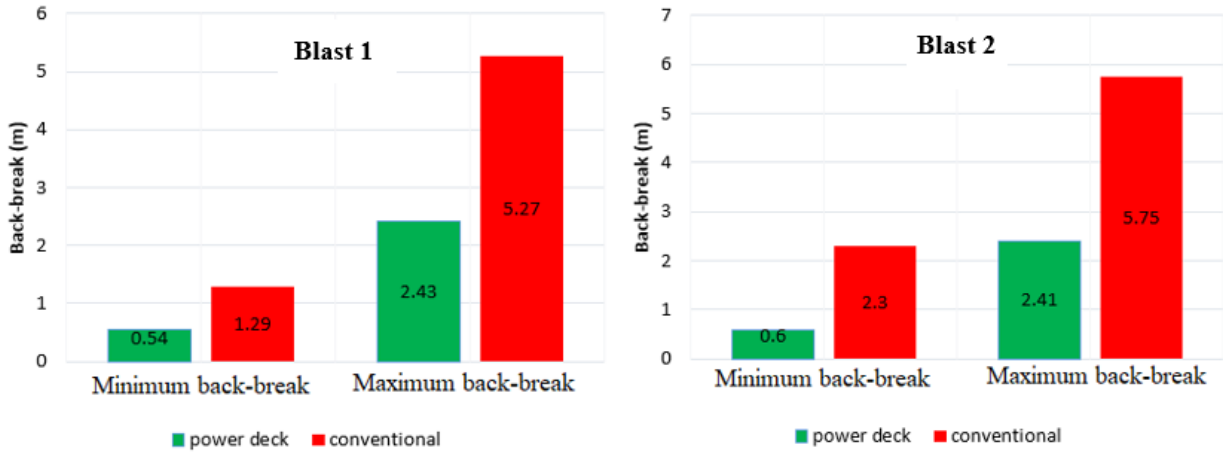


Figure 3. Comparison results of back-break due to combined blasts in waste blocks

Table 2. Investigation of technical and economic factors caused by conventional and Power Deck blasts in Mishdovan mine

Blocks	Method	Powder factor (Kg/m^3)	Specific drilling (m/m^3)	Holes productivity (m^3/m)
İron ore	Conventional	0.434	0.177	5.64
	Power Deck	0.310	0.161	6.21
	Recovery (%)	28.5	9	9
Waste (Dolomite)	Conventional	0.401	0.163	6.13
	Power Deck	0.286	0.148	6.75
	Recovery (%)	28.5	9	9

Therefore, this method in addition to improving back breaks, can decrease blasting costs. By using the same delay in two methods, Power Deck blasting decreases charge per delay. This can be one of the reasons for reducing back-break.

CONCLUSIONS

In this paper, the effect of the Power Deck method on the back break phenomenon compared to the conventional method in the Mishdovan iron ore mine was investigated. Then powder factor and specific drilling parameters related to each method were analyzed and the following results were obtained.

(1) By utilizing the Power Deck blasting method in Mishdovan iron ore mine, in iron ore and waste blocks the back break were decreased by 16.4% and 55% respectively, That indicates this method is more effective in waste blocks.

(2) After loading and hauling the fragment size, it was found that both methods have no significant differences in flat floors

(3) Power Deck method reduced powder factor and specific drilling by 28.5% and 9%, respectively. In addition, holes productivity improved by 9% in Power Deck blasting compared to conventional blasting.

(4) Reduction of the back break in Power Deck blasting can be due to the reduction charge per delay (under the same conditions) and decreasing borehole pressure due to movement of the gas pressure toward the air deck.

REFERENCES

[1] Berta, G. (1990). *"Explosive - an Engineering tool"*. Italesplosivi, Milano.

[2] Jimeno, C. L., Jemino, E. L., and Carcedo, F. L. (1995). *"Drilling and blasting of rocks"*. CRC Press.

[3] Bauer, A. (1982). *"Wall control blasting in open pits"*. In Proceedings of the 14th Canadian Rock Mechanics Symposium, Vancouver, British Columbia, Canada, 3-10.

[4] Day, P. R., and Webster, W. K. (1981). *"Controlled blasting to minimize overbreak with big boreholes underground"*. CIL Inc. CIMM Annual Meeting, Calgary, Alberta.

[5] Holmberg, R., and Persson, P. A. (1978). *"The Swedish approach to contour blasting"*. Proceedings of the 4th Conference on Explosives and Blasting Technique, 113-127.

[6] Hustrulid, W., and Lu, W. (2002). *"Some general design concepts regarding the control of blast-induced damage during rock slope excavation"*. Proceedings of 7th Rock Fragmentation by Blasting, Beijing.

[7] Esmaeili, M., Osanloo, M., Rashidinejad, F., Bazzazi, A. A., and Taji, M. (2014). *"Multiple regression, ANN and ANFIS models for prediction of backbreak in the open pit blasting"*. Engineering with Computers, 30(4): 549-558.

[8] Melnikov, N. V., and Marchenko, L. N. (1970). *"Effective methods of application of explosive energy in minning and construction"*. 12th Symp on Dynamic Rock Mecanics, AIME, New York, 350-378.

[9] Chiappetta, R. F., and Mammele, M. E. (1987). *"Analytical high-speed photography to evaluate air decks, stemming retention and gas confinement in presplitting, reclamation and gross motion applications"*. In Proceedings of the Second International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, Society for Experimental Mechanics, Bethel, CT, USA, 257-301.

[10] Jhanwar, J. C., and Jethwa, J. L. (2000). *"The use of air decks in production blasting in an open pit coal mine"*. Geotechnical & Geological Engineering, 18(4): 269-287.

[11] Melnikov, N. V., Marchenko, L. N., Zharikov, I. F., and Seinov, N. P. (1980). *"Blasting methods to improve rock fragmentation"*. In Gasdynamics of Explosions and Reactive Systems, 1113-1127.

[12] Chiappetta, F. (2004). *"New blasting technique to eliminate subgrade drilling, improve fragmentation, reduce explosive consumption and lower ground vibration"*. Journal of Explosive Engineering, 21(1): 2-10.