

بررسی عقب زدگی و کاهش شیب پله نسبت به شیب چال‌های انفجاری در معادن روباز

حسن مومیوند^{*۱}

۱- دانشیار گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی، دانشگاه ارومیه h.moomivand@urmia.ac.ir

(دریافت ۱۳ مرداد ۱۳۹۲، پذیرش ۱۳ بهمن ۱۳۹۳)

چکیده

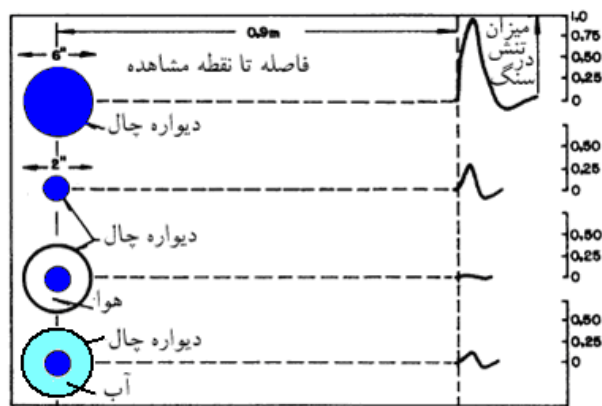
ناحیه خرد شده در بین آخرین ردیف چال‌ها و لبه پله باقیمانده در قسمت بالای چال‌ها از جاکنده و به تلی از سنگ‌های خرد شده می‌پیوندد و در اغلب انفجارهای معمولی این ناحیه به وجود می‌آید. ناحیه خرد شده در بالای چال‌ها و عدم خرد شدن سنگ در پای پله باعث می‌شود که شیب پله باقیمانده (β) در انفجارهای معمولی نسبت به شیب چال‌ها (α) کاهش یابد. عقب‌زدگی و موضوع کاهش شیب پله نسبت به شیب چال‌های انفجار نقش مهمی در پایداری و طراحی دیواره پله باقیمانده پس از آتشباری دارند. تأثیر پارامترهای چال انفجار و مشخصات خرج گذاری در معادن روباز شامل: قطر چال، فاصله چال‌ها، بارسنگ، طول گل‌گذاری، طول چال، شیب چال، خرج ویژه، تعداد ردیف‌ها و مقدار خرج در هر تأخیر در دو پارامتر فاصله عقب زدگی و تغییر در کاهش شیب پله نسبت به شیب چال‌های حفر شده حاصل از انفجارهای مختلف در معادن گچ ایواوغلی، آهک رشکان، مس سونگون و آهن گل‌گهر بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که فاصله عقب زدگی (L_B) با افزایش پارامترهای قطر چال، فاصله چال-ها، بارسنگ، طول گل‌گذاری و طول چال و تعداد ردیف چال‌ها و مقدار خرج در هر تأخیر افزایش می‌یابد و بیشترین همبستگی ($R = 0/880$) را با قطر چال دارد. اما فاصله عقب‌زدگی با هر یک از پارامترهای خرج ویژه و نسبت بارسنگ به قطر چال و زاویه شیب چال‌های انفجاری فاقد همبستگی است. همچنین نتایج با استفاده از برنامه SPSS تجزیه و تحلیل شد. فاصله عقب‌زدگی به عنوان تابعی چند متغیره از تأثیر ترکیب شش پارامتر قطر چال، فاصله چال‌ها، بارسنگ، طول گل‌گذاری و طول چال و تعداد ردیف چال‌ها در هر تأخیر با ضریب همبستگی ($R = 0/979$) قابل پیش‌بینی است. همچنین تغییر در کاهش شیب پله پس از انفجار نسبت به شیب چال‌ها ($\alpha-\beta$) با افزایش پارامترهای قطر چال، فاصله چال‌ها، بارسنگ، طول گل‌گذاری، طول و شیب چال افزایش می‌یابد. کاهش شیب پله به عنوان تابعی چند متغیره از ترکیب شش پارامتر قطر چال، فاصله چال‌ها، بارسنگ، طول گل‌گذاری، طول چال و تعداد ردیف چال‌ها در هر تأخیر با ضریب همبستگی ($R = 0/986$) قابل پیش‌بینی است. تغییر در کاهش شیب پله با سه پارامتر خرج ویژه و مقدار خرج مصرفی و تعداد ردیف چال‌ها در هر تأخیر فاقد همبستگی است.

کلمات کلیدی

چال انفجار، پله، معدن، عقب‌زدگی، شیب

۱- مقدمه

دارد، در تحقیقات انجام شده در مورد روش‌های مختلف آتشیاری کنترل شده به این موضوع نیز اشاره شده است [۹-۴]. نتایج پژوهش‌های قبلی نشان می‌دهد که هر چه مقدار خرج یک چال یا به عبارت دیگر قطر چال بیشتر شود، مقدار تنش ایجاد شده در اطراف آن مطابق شکل ۱ افزایش می‌یابد [۱۰] همچنین شعاع ناحیه آسیب دیده در اطراف چال نیز افزایش می‌یابد [۱۱]، اما تحقیقات اندکی در خصوص عقب‌زدگی انجام شده است [۳-۱، ۱۵-۱۳].



شکل ۱: تنش‌های دینامیکی ایجاد شده در سنگ در شرایط مختلف خرج‌گذاری [۱۱].

به رغم انجام پژوهش‌هایی در زمینه مکانیزم انفجار و عقب‌زدگی، تا کنون مشخص نشده است که چرا در اغلب حالات که چال‌های انفجار در جهت قائم حفر می‌شوند، دیواره باقیمانده به صورت مایل است و تغییر در کاهش شیب پله نسبت به شیب چال‌ها تابع چه عواملی است؟ همچنین تأثیر پارامترهای چال انفجار و مشخصات خرج‌گذاری در دو پارمتر فاصله عقب‌زدگی و تغییر در کاهش شیب پله نسبت به شیب چال‌های حفر شده در معادن مختلفی که پارامترهای چال انفجار و مشخصات خرج‌گذاری از یک معدن به معدن دیگر در بازه قابل توجهی نیز تغییرات داشته باشند، انجام نشده است.

در این تحقیق تأثیر پارامترهای چال‌های انفجار و مشخصات خرج‌گذاری در معادن روباز شامل قطر چال، فاصله چال‌ها، بارسنگ، طول گل‌گذاری، طول چال، شیب چال، خرج‌ویژه، تعداد ردیف‌ها و مقدار خرج در هر تأخیر در فاصله عقب‌زدگی و تغییر در کاهش شیب پله نسبت به شیب چال‌های حفر شده حاصل از عملیات آتشیاری در معادن مختلف گچ ایواوغلی، آهک رشکان، مس سونگون و آهن گل‌گهر بررسی و تحلیل شد.

شکستگی‌های ناشی از آتشیاری در پشت آخرین ردیف چال-های انفجار گسترش یافته به طوری که موجب تخریب و به هم ریختگی دیواره باقیمانده توده سنگ برجای محل انفجار می‌شود. در احداث شیب‌ها برای کاربردهای متعدد همچون پله‌ها و دیواره‌های نهایی معادن روباز، شیروانی‌های راه و راه آهن و ترانشه‌ها این مطلب بسیار مهم است که توده‌سنگ باقیمانده شکستگی نداشته باشد، چون شکستگی‌های ایجاد شده بر اثر عقب‌زدگی، شیب‌های ناپایدار و دیواره‌هایی با ضریب اطمینان پایین را پدید می‌آورند. عقب‌زدگی تأثیر مهمی در ریزش، لغزش، تعمیر و نگهداری و زیبایی سطح سنگ باقیمانده شیروانی‌ها دارد.

نواحی متأثر از موج ضربه ناشی از انفجار را می‌توان به سه ناحیه شامل: ناحیه خرد شده، ناحیه تغییر شکل پلاستیک یافته توأم با شکستگی و ناحیه لرزش تقسیم کرد. در ناحیه خرد شده تنش‌های دینامیکی ناشی از موج ضربه همچنین انعکاس آن‌ها از سطح آزاد به صورت کششی بیشتر از مقاومت توده سنگ بوده که باعث خرد شدن آن می‌شوند. منظور از خرد شدن، تبدیل توده سنگ برجا به تلی از قطعات ریز و درشت با منحنی دانه‌بندی خاصی است. ناحیه تغییر شکل پلاستیک یافته توأم با شکستگی در اطراف ناحیه خرد شده واقع می‌شود که در آن تنش‌های دینامیکی ناشی از موج ضربه کمتر از حدی است که باعث خرد شدن سنگ شود. در این ناحیه سنگ در اثر موج ضربه تغییر شکل پلاستیک (دائمی) توأم با شکستگی می‌یابد و دیواره باقیمانده دچار شکستگی و در هم ریختگی می‌شود. این ناحیه صدمه دیده، ناحیه عقب‌زدگی ناشی از انفجار است. چنانچه صفحات ضعیف (ناپیوستگی‌ها) در این ناحیه موازی امتداد سینه کار (پله) واقع شوند، پدیده عقب‌زدگی باعث جدا شدن دهانه آن‌ها می‌شود. ناحیه لرزش در اطراف ناحیه عقب‌زدگی واقع می‌شود و وسعت بیشتری دارد. در این ناحیه موج ضربه در حدی نیست که باعث تغییر شکل پلاستیک (دائمی) و یا شکستگی در سنگ شود. سنگ در این ناحیه تغییر شکل الاستیک یافته و پس از لرزش تغییر شکل بازگشت پذیر است.

فاصله از لبه پله باقیمانده تا جایی که در اثر انفجار قبلی توده سنگ برجا صدمه دیده است، فاصله عقب‌زدگی نامیده می‌شود [۱۳، ۱]. به علت اهمیت فوق‌زیدی که پدیده عقب‌زدگی



شکل ۲: نمونه‌ای از دیواره پله دارای شیب مایل حاصل از حفر چال-های انفجاری به صورت قائم در معدن سنگ آهن گل گهر

۳- پارامترهای مؤثر بر عقب زدگی و تغییر در کاهش شیب پله نسبت به شیب چال‌های انفجاری

برای بررسی تأثیر پارامترهای چال‌های انفجاری در فاصله عقب‌زدگی (L_b) و همچنین تغییر در کاهش شیب پله (β) نسبت به شیب چال‌های انفجاری (α) به یک بازه با تغییرات قابل توجه در هر یک پارامترهای چال‌های انفجاری نیاز است. هر یک از پارامترهای چال‌های انفجاری در معادن مختلف گچ ایواوغلی، آهک رشکان، مس سونگون و آهن گل گهر از یک معدن به معدن دیگر تغییرات زیادی دارند بنابراین می‌توان تأثیر پارامترهای چال‌های انفجاری در فاصله عقب‌زدگی (L_b) و تغییر در کاهش شیب پله (β) نسبت به شیب چال‌های انفجاری (α) را به نحو بهتری بررسی کرد. برای مثال پارامتر قطر چال در معادن مورد تحقیق از ۶۴ میلی متر در معدن سنگ گچ ایواوغلی تا ۲۴۸/۵ میلی متر در معدن سنگ آهن گل گهر در تغییر است. اما در هر معدن به صورت مجزا تغییر در پارامترهای چال‌ها در انفجارهای انجام شده کمتر قابل توجه است.

کلیه پارامترهای چال‌های انفجاری، عقب‌زدگی و تغییر در شیب پله نسبت به شیب چال‌ها در معادن سنگ گچ ایواوغلی و آهک رشکان اندازه‌گیری شد. پس از هر انفجار فاصله از لبه پله باقیمانده تا ناحیه صدمه دیده در توده سنگ برجا روی سطح افقی پله با عنوان فاصله عقب‌زدگی اندازه‌گیری شد. در معادن مس سونگون و آهن گل گهر پارامترهای چال‌های انفجاری توسط پیمانکاران و مهندسان مقیم در معدن طراحی، اندازه‌گیری و اجرا

پارامترهای چال انفجاری و مشخصات خرج‌گذاری بازه تغییرات قابل توجهی از یک معدن به معدن دیگری دارند، به طوری که یکی از پارامترهای چال انفجاری با عنوان قطر چال از ۶۴ میلی‌متر در معدن گچ ایواوغلی تا ۲۴۸/۵ میلی‌متر در معدن آهن گل گهر در تغییر است. چنین تنوعی در پارامترهای چال انفجاری در نتیجه بخش بودن تحقیق کمک می‌کند.

۲- بررسی عقب زدگی و تغییر در کاهش شیب پله نسبت به شیب چال‌های انفجاری در رابطه با مکانیزم انفجاری

یک پله معدن دارای دو سطح آزاد شامل سطح افقی و دیواره است که این دو سطح به ویژه سطح دیواره نسبت به خردایش سنگ کمک می‌کند. در مکانیزم انفجار امواج ضربه به همه جهات منتشر شده و بخشی از امواج که در مسیر سطح آزاد منتشر می‌شوند و به صورت کشتی بر می‌گردند، خردایش سنگ مؤثر نیست. چون امواج کشتی برگشتی به میزان کمتری نسبت به بقیه قسمت طول چال ایجاد می‌شود، پای پله نمی‌تواند مثل جاهای دیگر چال خرد شود چون در قسمت پایین پله بخش بیشتری از امواج وارد زمین شده و بر نمی‌گردند. برعکس، امواج ضربه که به سطح افقی آزاد پله در قسمت بالای چال می‌رسند قادرند به صورت کشتی برگردند. به رغم وجود فاصله گل‌گذاری در قسمت بالای چال، نه تنها قسمت سمت جلو ردیف چال‌ها (بار سنگ سمت دیواره) خرد می‌شود بلکه در اغلب حالات سنگ برجا در عقب آخرین ردیف چال‌ها نیز تا یک فاصله‌ای خرد و از جا کنده می‌شود. خرد شدن سنگ در سمت لبه پله باقیمانده در بالای آخرین ردیف چال‌ها و برعکس خرد نشدن پای پله باعث می‌شود در خیلی از حالات که چال انفجاری در جهت قائم (زاویه شیب ۹۰ درجه) حفر می‌شود، پس از انفجار دیواره پله شیب مایل داشته باشد (شکل ۲). اگر ناحیه عقب آخرین ردیف چال‌ها در اثر انفجار خرد و از جا کنده نشود و تنها دچار سست‌شدگی و شکستگی شده باشد، به ناحیه عقب‌زدگی پیوسته می‌شود. بنابراین عقب‌زدگی موضوع پیچیده‌ای در ارتباط با مکانیزم انفجار است که تا کنون نیز از این دیدگاه مطرح و به آن پرداخته نشده است.

چال دارد. نتیجه بررسی رابطه بین فاصله عقب‌زدگی با هر یک از پارامترهای زاویه شیب چال‌های انفجاری، خرج ویژه و نسبت بارسنگ به قطر چال نشان داد که فاصله عقب‌زدگی با آن‌ها همبستگی ندارد.

نتایج پژوهش‌های قبلی نشان می‌دهد که هر چه مقدار خرج یک چال یا به عبارت دیگر قطر چال بیشتر شود، مقدار تنش ایجاد شده در اطراف آن افزایش می‌یابد [۱۰] و همچنین شعاع ناحیه آسیب‌دیده در اطراف چال نیز افزایش می‌یابد [۱۱، ۱۲]. نتایج این پژوهش‌ها نیز تأییدی بر علت افزایش فاصله عقب‌زدگی (L_b) با افزایش پارامتر قطر چال است. اغلب چنین است که هر چه قطر چال افزایش یابد، پارامترهای بارسنگ، فاصله چال‌ها، طول چال و همچنین طول گل‌گذاری (تابع بارسنگ)، افزایش می‌یابند.

یکی از علت‌های وجود همبستگی بین فاصله عقب‌زدگی (L_b) با پارامترهای فاصله چال‌ها، بارسنگ، طول گل‌گذاری طول چال‌ها، وجود رابطه بین این پارامترها و قطر چال است. چون با افزایش قطر چال پارامترهای فاصله چال‌ها، بارسنگ، طول گل‌گذاری و طول چال‌ها نیز افزایش می‌یابند. بدیهی است که انتظار نمی‌رود با ثابت قرار دادن مقدار قطر چال و افزایش پارامترهایی همچون بار سنگ و فاصله چال‌ها، فاصله عقب‌زدگی افزایش یابد.

هرچه قطر چال کمتر شود، توزیع انرژی ماده منفجره بهتر است و این باعث می‌شود که سطح باقیمانده با پلهٔ یکنواخت‌تری به‌دست آید.

رابطه بین فاصله عقب‌زدگی و پارامترهای چال انفجار در هر معدن به‌صورت مجزا نیز بررسی شد. چون در معادن مورد تحقیق، قطر و سایر پارامترهای چال‌های انفجار از یک مرحله انفجار نسبت به مرحله دیگر تغییرات نداشت و یا تغییرات آن‌ها بسیار ناچیز بود، بین فاصله عقب‌زدگی و پارامترهای چال انفجار همبستگی به‌دست نیامد. در یک معدن خاص اگر قطر چال دارای مقدار ثابت باشد، با تغییر بار سنگ و فاصله چال‌ها، خرج ویژه و در نتیجه خردایش سنگ نیز تغییر می‌کند

و سپس فاصله عقب‌زدگی نیز اندازه‌گیری شد. یک نمونه از نتایج پارامترهای چال‌های انفجار، مشخصات خرج‌گذاری، عقب‌زدگی و تغییر در کاهش شیب پله نسبت به شیب چال‌های انفجار ($\alpha-\beta$) برای یک انفجار در یکی از معادن مورد تحقیق در جدول ۱ نشان داده شده است. در معدن آهک رشکان به علت لرزش زمین و مسئله زیست محیطی در هر مرحله آتشیاری یک ردیف چال حفر و انفجار شده است و هر ۶ حلقه چال در یک ردیف نیز با یک تأخیر منفجر شده است. در معدن مس سونگون نیز بسته به شرایط تعداد سه ردیف با یک تأخیر آتشیاری شده است. در معدن سنگ آهن گل‌گهر در هر ردیف تأخیرهای متعددی وجود داشته طوری که هر ۲ حلقه چال در یک ردیف با یک تأخیر منفجر شده است. اما در معدن سنگ گچ ایواوغلی تعداد ردیف‌ها و در نتیجه مقدار خرج در هر تأخیر تغییر قابل توجهی در این تحقیق داشته است. تعداد ردیف‌ها در هر تأخیر در سه انفجار انجام شده به ترتیب ۹، ۱۰ و ۳۵ ردیف بوده است و همچنین مقدار خرج متناظر آن‌ها به ترتیب برابر $۱۵۵۷/۳$ ، $۲۵۱۲/۷$ و $۵۷۰۹/۹$ کیلوگرم بوده است. در هر یک از سه معدن آهک رشکان، مس سونگون و آهن گل‌گهر به صورت مجزا تعداد ردیف‌ها و مقدار خرج در هر تأخیر از یک مرحله آتشیاری نسبت به مرحله دیگر تغییر قابل توجهی نداشته است. علت انفجار تعداد ردیف‌های زیاد (۳۵ ردیف) در یک تأخیر در معدن ایواوغلی، وجود اشتباهی بود که به جای استفاده از چاشنی تأخیری، کلیه چاشنی‌ها دارای یک تأخیر در هنگام آتشیاری به معدن ارسال شده بود.

تأثیر کلیه پارامترهای قطر چال، فاصله چال‌ها، بارسنگ، طول چال، طول گل‌گذاری، شیب چال (α) نسبت بارسنگ به قطر چال، خرج ویژه، تعداد ردیف‌ها و مقدار خرج مصرفی در هر تأخیر به ترتیب در هر یک دو پارامتر فاصله عقب‌زدگی (L_b) و تغییر در کاهش شیب پله نسبت به شیب چال‌های انفجار ($\alpha-\beta$) حاصل از عملیات متعدد آتشیاری در چهار معدن مختلف گچ ایواوغلی، آهک رشکان، مس سونگون و آهن گل‌گهر بررسی شد. رابطه بین فاصله عقب‌زدگی و پارامترهای چال انفجار شامل: قطر چال، فاصله چال‌ها، طول گل‌گذاری، طول چال و بارسنگ، به ترتیب ضریب همبستگی (R) در شکل‌های ۳ تا ۷ نشان داده شده است. فاصله عقب‌زدگی با افزایش پارامترهای چال انفجار افزایش می‌یابد و بیشترین همبستگی ($R = ۰/۸۸۰$) را با قطر

مقدار فاصله عقب‌زدگی با افزایش تعداد ردیف چال‌ها و مقدار خرج در هر تأخیر افزایش می‌یابد (شکل ۸ و ۹). روند افزایش فاصله عقب‌زدگی با افزایش تعداد ردیف‌ها و مقدار خرج در هر تأخیر شبیه است چون با افزایش تعداد ردیف چال‌ها مقدار خرج در هر تأخیر نیز افزایش می‌یابد.

برای نشان دادن تأثیر ترکیب پنج پارامتر مختلف قطر چال، فاصله چال‌ها، بارسنگ، طول گل‌گذاری و طول چال در فاصله عقب‌زدگی، نتایج با استفاده از نرم‌افزار SPSS تحلیل آماری شدند. فاصله عقب‌زدگی (L_b) به‌عنوان تابعی از ترکیب پنج پارامتر مختلف قطر چال (ϕ_h)، فاصله چال‌ها (S)، بارسنگ (B)، طول گل‌گذاری (S_t) و طول چال (H) با ضریب همبستگی (R) برابر 0.923 به‌صورت رابطه ۱ به‌دست آمد.

$$L_b = 1.36 + 46.28\phi_h - 0.30S - 0.57B - 0.55S_t + 0.14H \quad (1)$$

پیش‌بینی فاصله عقب‌زدگی (L_b) با استفاده از رابطه ۱ با مقدار اندازه‌گیری شده واقعی آن در شکل ۱۰ مقایسه شد. رابطه بین فاصله عقب‌زدگی و ترکیب شش پارامتر قطر چال، فاصله چال‌ها، بارسنگ، طول گل‌گذاری، طول چال و مقدار خرج در هر تأخیر (Q) نیز به‌صورت رابطه چند متغیره با ضریب همبستگی (R) برابر 0.965 به شرح زیر به‌دست آمد (شکل ۱۱).

$$L_b = -0.74 + 29.95\phi_h - 0.14S - 0.28B - 0.25S_t + 0.25H + 0.5Q \quad (2)$$

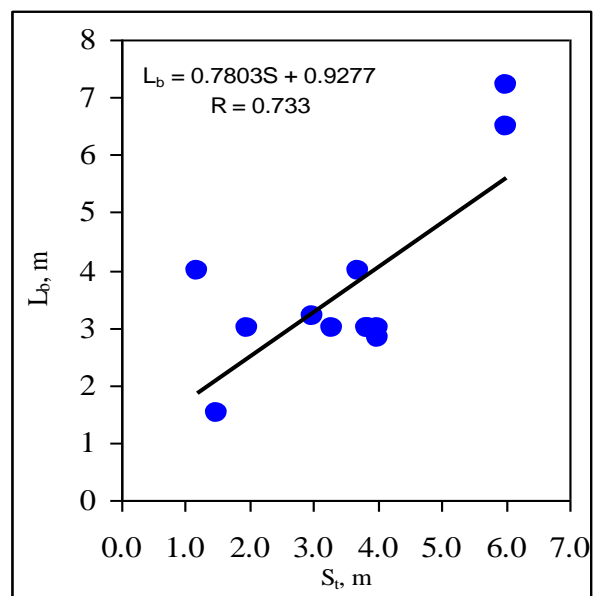
همچنین رابطه بین فاصله عقب‌زدگی و ترکیب شش پارامتر قطر چال، فاصله چال‌ها، بارسنگ، طول گل‌گذاری، طول چال و تعداد ردیف‌ها در هر تأخیر (N) به صورت رابطه چند متغیره با ضریب همبستگی (R) بیشتری برابر 0.979 به شرح زیر به‌دست آمد (شکل ۱۲).

$$L_b = -0.8 + 30.05\phi_h - 0.097S - 0.42B - 0.19S_t + 0.25H + 0.0878N \quad (3)$$

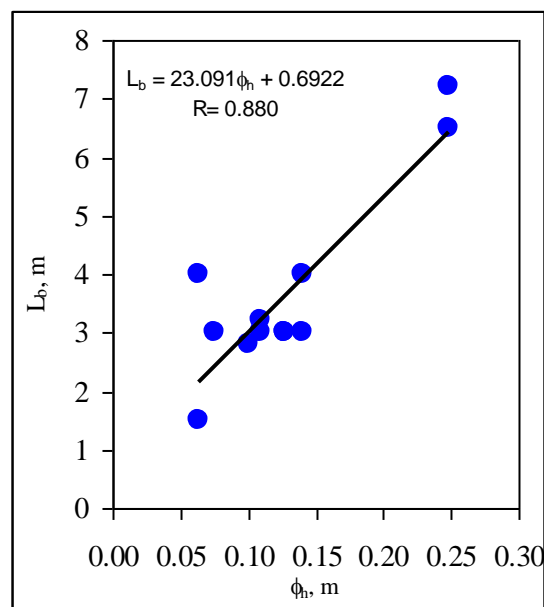
جدول ۱: نمونه‌ای از نتایج پارامترهای چال‌های انفجار، مشخصات خرج‌گذاری، عقب زدگی و تغییر در کاهش شیب پله نسبت به شیب چال‌های انفجار ($\alpha-\beta$) در یک انفجار از معادن مورد تحقیق (معدن سنگ آهن گل‌گهر)

پارامترها	واحد	مقدار پارامترها در انفجار شماره ۱۰-۳۲۲a
قطر چال ها (ϕ_h)	میلی متر	۲۴۸/۵
بار سنگ (B)	متر	۵/۵
رابطه بین بار سنگ و قطر چال	-	$B = 22/17 \phi_h$
فاصله چال ها (S)	متر	۷
طول چال ها (H)	متر	۱۶/۱
اضافه حفر چال ($U = 0.33 B$)	متر	۱
زاویه حفر چال با جهت قائم (α)	درجه	۹۰
ارتفاع پله ($K = (H - U) \sin \alpha$)	متر	۱۵/۱
طول گل گذاری ($S_t = 0.905 B$)	متر	۶
رابطه بین طول گل گذاری و بار سنگ	-	$S_t = 1/0.9 B$
طول خرج ($L_e = H - S_t$)	متر	۹/۱
حجم سنگ بازای یک چال ($V = BKS$)	متر مکعب	۵۸۱/۴
وزن واحد حجم سنگ (γ_r)	تن بر متر مکعب	۴/۲
نوع خرج ته چال (پرایمر)	-	امولایت
نوع خرج میان چال (خرج اصلی چال)	-	آنفو
وزن مواد منفجره (پرایمر) در ته چال (Q_b)	کیلوگرم	۳/۳
وزن مواد منفجره در میان چال (Q_c)	کیلو گرم	۴۸۳
وزن مواد منفجره در یک چال (Q_t)	کیلو گرم	۴۸۶/۳
خرج ویژه مجموع آنفو و دینامیت	کیلوگرم بر متر مکعب	۰/۸۳۷
تعداد چال‌ها در هر تأخیر	حلقه	۲
وزن خرج در هر تأخیر	کیلوگرم	۹۷۲/۶
فاصله عقب زدگی (L_b)	متر	۷/۲
شیب پله بعد از انفجار (β)	درجه	۶۶
تغییر در کاهش شیب پله نسبت به شیب چال‌های انفجار ($\alpha-\beta$)	درجه	۲۴

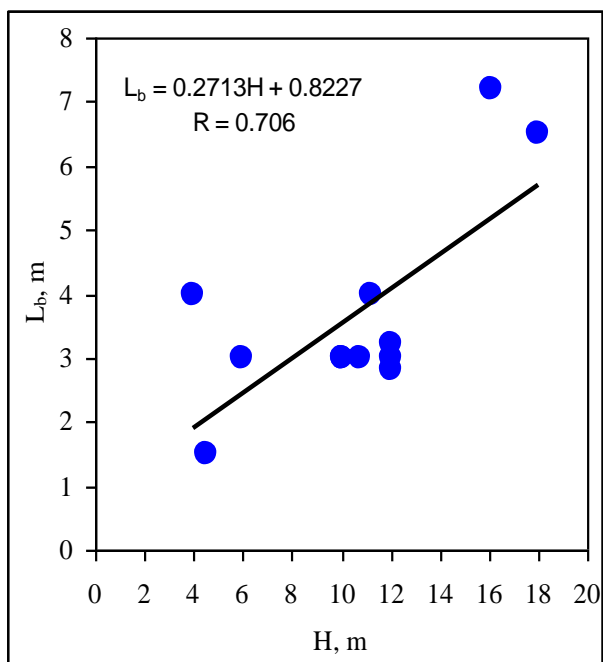
اما به‌علت تغییر قابل توجه تعداد ردیف چال‌ها و مقدار خرج در هر تأخیر در معدن سنگ گچ ایواوغلی، نتایج نشان داد که



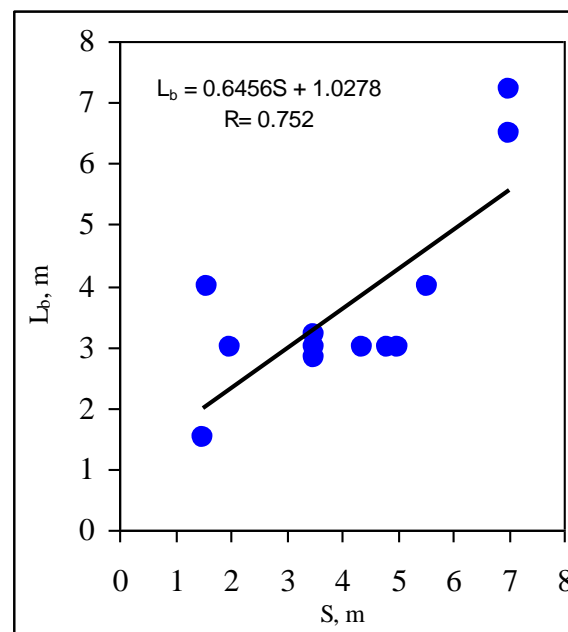
شکل ۵: رابطه بین فاصله عقب زدگی (L_b) و طول گل گذاری (S_t)



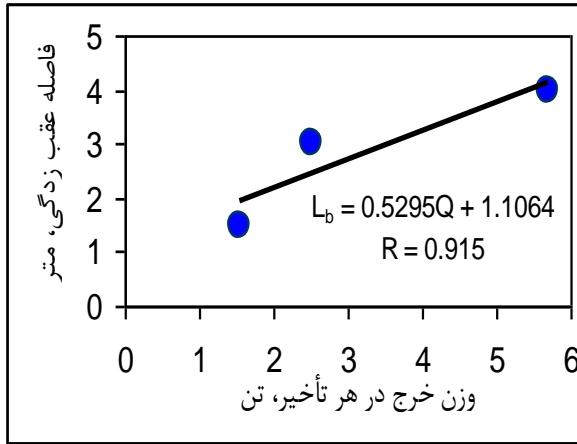
شکل ۳: رابطه بین فاصله عقب زدگی (L_b) و قطر چال (ϕ_h)



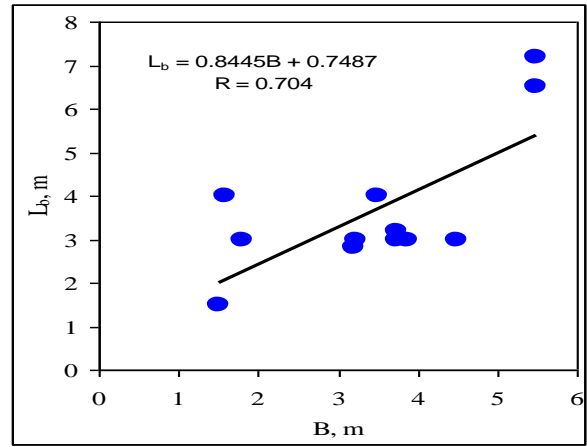
شکل ۶: رابطه بین فاصله عقب زدگی (L_b) و طول چال (H)



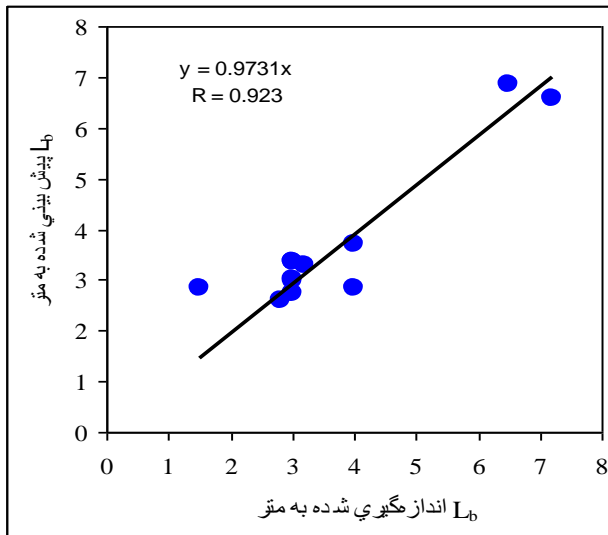
شکل ۴: رابطه بین فاصله عقب زدگی (L_b) و فاصله چال (S)



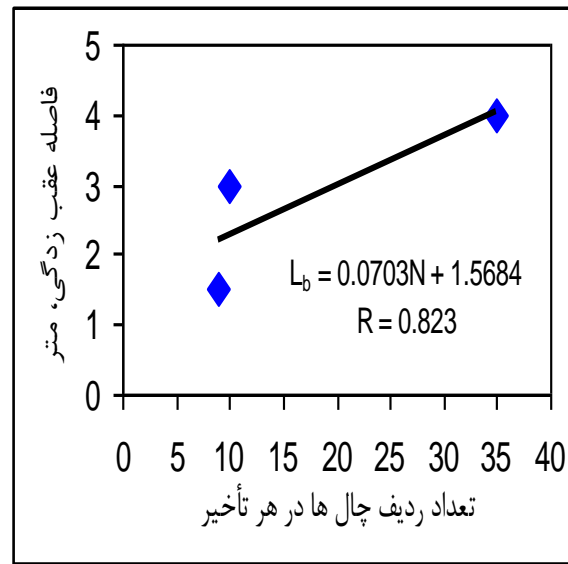
شکل ۹: رابطه بین فاصله عقب زدگی (L_b) و مقدار خرج در هر تأخیر (Q) در معدن ایواوغلی



شکل ۷: رابطه بین فاصله عقب زدگی (L_b) و بار سنگ (B)



شکل ۱۰: مقایسه مقدار پیش‌بینی فاصله عقب‌زدگی (L_b) با مقدار واقعی آن به‌عنوان تابعی از ترکیب پنج پارامتر مختلف قطر چال (ϕ_h)، فاصله چال‌ها (S)، بار سنگ (B)، طول گل‌گذاری (S_r) و طول چال (H)



شکل ۸: رابطه بین فاصله عقب‌زدگی (L_b) و تعداد ردیف چال‌ها در هر تأخیر (N) در معدن ایواوغلی

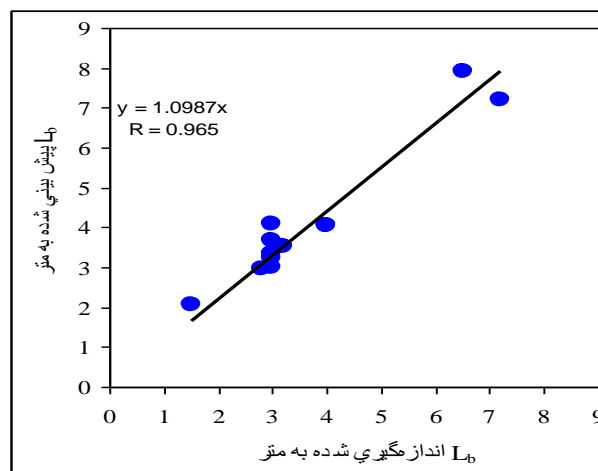
بار سنگ، طول گل گذاری، طول چال و تعداد ردیف‌ها در هر تأخیر با ضریب همبستگی بالا پیش‌بینی کرد.

ناحیه خردشده بین آخرین ردیف چال‌ها و لبه پله باقیمانده در قسمت بالایی چال‌ها و برعکس عدم خرد شدن سنگ در قسمت پایین چال‌ها (پای پله) باعث می‌شوند که شیب پله پس از انفجار (β) از شیب چال‌ها (α) کمتر شود. تغییر در کاهش شیب پله پس از انفجار نسبت به شیب چال‌ها ($\alpha-\beta$) به‌عنوان تابعی از پارامترهای قطر چال، فاصله چال‌ها، بارسنگ، طول گل‌گذاری و طول چال‌ها، خرج ویژه، مقدار خرج مصرفی و تعداد ردیف چال‌ها در هر تأخیر بررسی شد. رابطه بین تغییر در کاهش شیب پله پس از انفجار نسبت به شیب چال‌ها ($\alpha-\beta$) با پارامترهای قطر چال، بارسنگ، طول گل‌گذاری و طول چال‌ها همراه با ضریب همبستگی (R) در شکل ۱۳ نشان داده شده است. تغییر در شیب پله پس از انفجار نسبت به شیب چال‌ها ($\alpha-\beta$) با افزایش هر یک از پارامترهای چال انفجار افزایش می‌یابد (شکل، ۱۳). نتایج همبستگی ضعیفی ($R = 0.681$) نیز بین تغییر در کاهش شیب پله نسبت به شیب چال‌ها ($\alpha-\beta$) و شیب چال‌ها را نشان می‌دهد. اما تغییر در کاهش شیب پله با هر یک از سه پارامتر خرج ویژه و مقدار خرج مصرفی و تعداد ردیف چال‌ها در هر تأخیر فاقد همبستگی است.

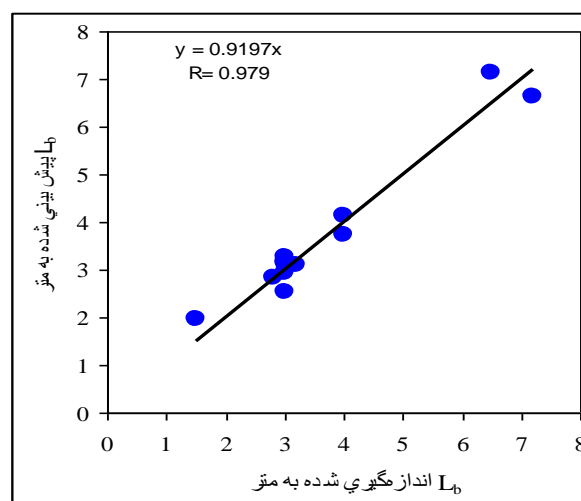
رابطه بین تغییر در کاهش شیب پله پس از انفجار نسبت به شیب چال‌ها ($\alpha-\beta$) با ترکیب پنج پارامتر مختلف قطر چال (ϕ_h)، فاصله چال‌ها (S)، بار سنگ (B)، طول گل‌گذاری (S_t) و طول چال‌ها (H) با استفاده از نرم‌افزار SPSS به‌صورت رابطه غیر خطی چند متغیره ۴ با ضریب همبستگی (R) برابر ۰/۹۸۴ به‌دست آمد (شکل ۱۴).

$$\alpha-\beta = -15.43 - 5.99 \ln(\phi_h) + 35.07 \ln(S) - 6.82 \ln(B) + 0.39 \ln(S_t) + 9.14 \ln(H) \quad (4)$$

هر چه شیب چال‌ها به سمت قائم نزدیک می‌شود، مقدار تغییر در کاهش شیب پله پس از انفجار نسبت به شیب چال‌ها ($\alpha-\beta$) بیشتر می‌شود. نتایج همبستگی ضعیفی بین تغییر در کاهش شیب پله نسبت به شیب چال‌ها ($\alpha-\beta$) و شیب چال‌ها نشان می‌دهد. بنابراین با اضافه کردن پارامتر زاویه شیب چال‌ها (α)، رابطه بین تغییر در شیب پله پس از انفجار نسبت به شیب چال‌ها ($\alpha-\beta$) با ترکیب شش پارامتر ذکر شده بررسی شد و



شکل ۱۱: مقایسه مقدار پیش‌بینی فاصله عقب‌زدگی (L_b) با مقدار واقعی آن به‌عنوان تابعی از ترکیب شش پارامتر مختلف قطر چال (ϕ_h)، فاصله چال‌ها (S)، بارسنگ (B)، طول گل‌گذاری (S_t)، طول چال (H) و مقدار خرج در هر تأخیر (Q)



شکل ۱۲: مقایسه مقدار پیش‌بینی فاصله عقب‌زدگی (L_b) با مقدار واقعی آن به‌عنوان تابعی از ترکیب شش پارامتر مختلف قطر چال (ϕ_h)، فاصله چال‌ها (S)، بارسنگ (B)، طول گل‌گذاری (S_t)، طول چال (H) و تعداد ردیف چال‌ها در هر تأخیر (N)

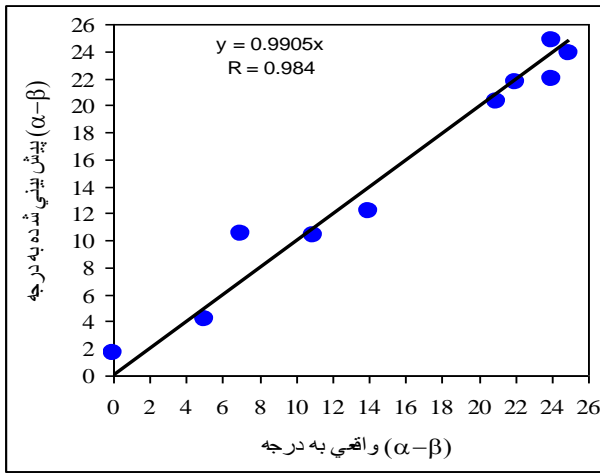
رابطه ۳ همبستگی بیشتری نسبت به روابط ۱ و ۲ دارد. همچنین وجود پارامتر تعداد ردیف‌ها در هر تأخیر (N) همراه قطر چال در رابطه ۳ بیان‌کننده تأثیر مقدار خرج در هر تأخیر (Q) نیز است. بنابراین رابطه ۳ جامع‌تر از روابط ۱ و ۲ است. با استفاده از رابطه ۳ می‌توان فاصله عقب‌زدگی را به‌عنوان تابعی از ترکیب شش پارامتر چال انفجار شامل: قطر چال، فاصله چال‌ها،

رابطه ۵ با ضریب همبستگی (R) بالایی برابر ۰/۹۸۶ به دست آمد (شکل ۱۵).

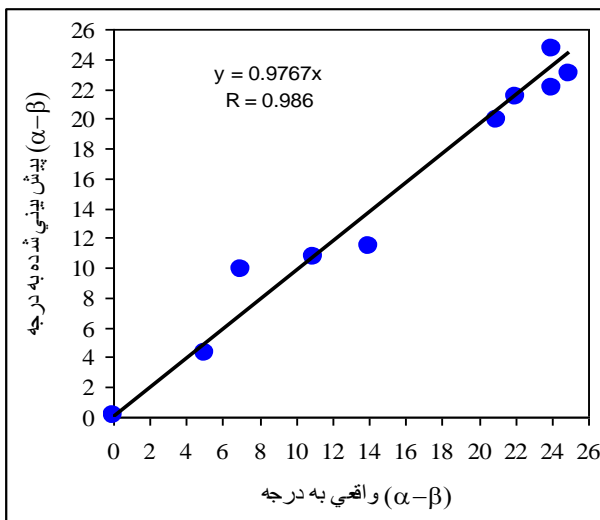
$$\alpha-\beta=2.56-5.94\ln(\phi_h)+38.82\ln(S)+5.86\ln(B)+2.5\ln(S_t)+15.34\ln(H)-0.15\alpha \quad (5)$$

پیش‌بینی تغییر در شیب پله پس از انفجار نسبت به شیب چال‌ها ($\alpha-\beta$) با استفاده از هر یک از روابط ۴ و ۵ همبستگی خوبی با مقدار اندازه‌گیری شده آن دارد (شکل ۱۴ و ۱۵) با استفاده از رابطه کلی چند متغیره ۵ می‌توان تغییر در کاهش شیب پله پس از انفجار نسبت به شیب چال‌ها ($\alpha-\beta$) را به‌عنوان تابعی از ترکیب شش پارامتر چال انفجار شامل: قطر چال، فاصله چال‌ها، بارسنگ، طول گل‌گذاری، طول چال و شیب چال با ضریب همبستگی بالا پیش‌بینی کرد.

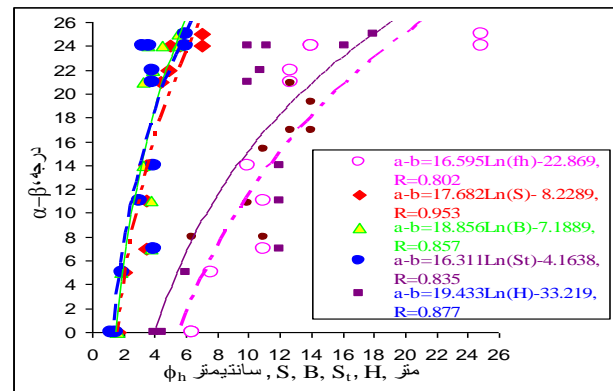
نتایج این تحقیق نشان می‌دهد در حالتی که قطر چال برابر ۶۴ میلی‌متر و فاصله چال‌ها ۱/۵ متر است، فاصله عقب‌زدگی (L_b) تا ۱/۵ متر کاهش یافته و تغییر در کاهش شیب پله پس از انفجار نسبت به شیب چال‌ها ($\alpha-\beta$) به صفر می‌رسد. یعنی این که هر چقدر قطر و فاصله چال کمتر شود، نتیجه انفجار بیشتر به سمت آتشباری کنترل شده نزدیک می‌شود. برعکس وقتی قطر چال‌ها افزایش می‌یابد، دیواره پله پس از انفجار غیریکنواخت‌تر می‌شود. محقق طی سال‌ها، ده‌ها انفجار برای چال‌های با قطر کم نیز انجام داده که به‌علت کم بودن قطر چال-ها (۶۴ میلی‌متر) و همچنین به دنبال آن کم بودن فاصله چال-ها، در برخی از انفجارها، مترائ قابل‌توجهی از نیم استوانه اثر تعداد چال‌ها (داغ چال‌ها) در قسمتی از دیواره باقیمانده پله دیده می‌شد.



شکل ۱۴: مقایسه مقدار پیش‌بینی تغییر در شیب پله بعد از انفجار نسبت به شیب چال‌ها ($\alpha-\beta$) با مقدار اندازه‌گیری شده آن برای ترکیب پنج پارامتر مختلف قطر چال، فاصله چال‌ها، بار سنگ، طول گل‌گذاری و طول چال‌ها



شکل ۱۵: مقایسه مقدار پیش‌بینی تغییر در شیب پله بعد از انفجار نسبت به شیب چال‌ها ($\alpha-\beta$) با مقدار اندازه‌گیری شده آن برای ترکیب شش پارامتر مختلف قطر چال، فاصله چال‌ها، بارسنگ، طول گل‌گذاری، طول چال‌ها و زاویه شیب چال‌ها



شکل ۱۳: رابطه بین تغییر در شیب پله بعد از انفجار نسبت به شیب چال‌ها ($\alpha-\beta$) و پارامترهای قطر چال (ϕ_h) به سانتی‌متر، فاصله چال‌ها (S)، بارسنگ (B)، طول گل‌گذاری (S_t) و طول چال (H) به متر

۵- تقدیر و تشکر

از آقای مهندس مالک اشتر فاموشی کارشناس ارشد استخراج معدن، پرسنل معادن مس سونگون، معدن کار خانه سیمان رشکان ارومیه، معدن سنگ گچ ایواوغلی و معدن سنگ آهن گل گهر برای همراهی با انجام این پروژه تشکر و سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

- [1] Enayatollahi, I. and Bazzazi, A. 2009, "Effect of Salt-Anfo Mixture in Back Break Reduction due to Blasting in Esfordi Phosphate Mine of Bafg", Second Iranian Mining Engineering Conference, pp. 167 – 174.
- [2] Monjezi, M. and Dehghani, H. 2008, "Evaluation of effect of blasting pattern parameters on backbreak using neural networks", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 45, No. 8, pp. 1446–1453.
- [3] Monjezi, M., Rezaei, M. and Yazdian, A., 2010, "Prediction of backbreak in open-pit blasting using fuzzy set theory", International Journal of Expert Systems with Application. Vol. 37, No. 3, pp. 2637–2643.
- [4] Holmberg, R. and Lee, B. 1994, "Rock Blasting and Explosives Engineering", CRC press, pp. 265-285.
- [5] Calder, P.N. and Tuomi, J.N. 1980, "Control blasting at Sherman Mine"; Proceedings of the 6th Conference on Explosives and Blasting Technique.
- [6] Konya.C.J. and Walter.E.J. 1990, "Surface Blast Design", Prentice Hall Publishing, Englewood, New Jersey, pp. 217 - 239
- [7] Konya, C.J., and Walter, E. J. 2006, "Rock Blasting and Overbreak Control Manual", Third Edition, Federal Highway Administration, pp. pp. 176-194.
- [8] Partha D.S. 2008, "Controlled blasting techniques– means to mitigate adverse impact of blasting", Procc of 2nd Asian Mining Congress, Organized By MGMI at Kolkata, India, pp. 286 – 295.
- [9] Singh, P.K., Roy, M.P., Joshi, A., Joshi, V.P. 2009, "Controlled blasting (pre-splitting) at an open-pit mine in India", Proc. Int. Symposium on Rock fragmentation By Blasting, FragBlast9, Granada, Spain, pp 481-489.
- [10] Day, P.R. and Webster, W.K. 1981, "Controlled blasting to minimize overbreak with big boreholes underground", CIL Inc. CIMM Annual Meeting, Calgary, Alberta.
- [11] Holmberg, R. and Persson, P.A. 1978, "The Swedish approach to contour blasting", Proceedings of the 4th Conference on Explosives and Blasting Technique. pp. 113-127.
- [12] Olofsson, S.O. 1990, "Application Explosive Technology for Construction and Mining",

۴- نتیجه گیری

تحلیل نتایج نشان می‌دهد فاصله عقب‌زدگی (L_b) با افزایش پارامترهای قطر چال، فاصله چال‌ها، بارسنگ، طول گل‌گذاری و طول چال و تعداد ردیف چال‌ها و مقدار خرج در هر تأخیر افزایش می‌یابد و بیشترین همبستگی ($R = 0/880$) را با قطر چال دارد. اما فاصله عقب‌زدگی با هر یک از پارامترهای زاویه شیب چال‌های انفجاری، خرج ویژه و نسبت بار سنگ به قطر چال فاقد همبستگی است.

فاصله عقب‌زدگی با ترکیب شش پارامتر قطر چال، فاصله چال-ها، بار سنگ، طول گل‌گذاری و طول چال و تعداد ردیف چال-ها در هر تأخیر همبستگی ($R = 0/979$) بیشتری دارد و فاصله عقب‌زدگی با رابطه ۳ قابل پیش بینی است.

نتایج نشان می‌دهد که تغییر در کاهش شیب پله پس از انفجار نسبت به شیب چال‌ها ($\alpha-\beta$) با افزایش پارامترهای قطر چال، فاصله چال‌ها، بارسنگ، طول گل‌گذاری، طول و شیب چال افزایش می‌یابد. کاهش شیب پله با تأثیر ترکیب شش پارامتر همبستگی ($R = 0/986$) بیشتری را نشان می‌دهد. اما تغییر در کاهش شیب پله با هر یک از سه پارامتر خرج ویژه و مقدار خرج مصرفی و تعداد ردیف چال‌ها در هر تأخیر فاقد همبستگی است.

تغییر در کاهش شیب پله پس از انفجار نسبت به شیب چال‌ها ($\alpha-\beta$) به‌عنوان تابعی از ترکیب شش پارامتر قطر چال، فاصله چال‌ها، بارسنگ، طول گل‌گذاری، طول چال و تعداد ردیف چال‌ها در هر تأخیر با استفاده از رابطه چند متغیره ارائه شده قابل پیش‌بینی است.

دستاوردهای این تحقیق نشان می‌دهد که پارامترهای چال انفجار تأثیر مهمی در عقب‌زدگی و شیب پله‌های معادن دارد و روابط ارائه شده می‌توانند برای استفاده در تحلیل پایداری و طراحی شیب پله‌های معادن از دیدگاه آتشیاری مفید باشند.

Sweden: Applex.

- [13] Khademi Hamidi, J. and Faghihi, S., 2006, Investigating the role of rock mass properties on the back break due to the excavation by blasting in underground spaces, Case study: Imamzadeh Hashem tunnel, 7th Iranian Tunneling Conference, Tehran.
- [14] Konya.C.J. and Walter, E.J. 1991, "*Rock Blasting and Control Overbreak*", US. Department of Transportation Federal Highway Administration, pp. 176 - 194.
- [15] Singh, S.P. and Xavier, P. 2005, "*Causes, impact and control of overbreak in underground excavations*", *Tunnelling and Underground Space Technology*.Elsevier,pp.63-71