

ارائه یک مدل ریاضی برای محاسبه ضخامت بارسنگ با استفاده از طبقه‌بندی پیشنهادی توده سنگ

مسعود منجزیⁱ؛ سید علیرضا جزایری فارسانیⁱⁱ؛ کامران گشتاسبیⁱⁱⁱ

چکیده

خردایش مناسب یکی از مهمترین اهداف عملیات آتشباری می‌باشد که در صورت تحقق، هزینه‌های معدنکاری تا حد زیادی کاهش می‌یابد. پارامترهای ژئومکانیکی تأثیر بسزائی در نتیجه عملیات آتشباری دارند. بیشتر طبقه‌بندی‌های موجود توده سنگ در تحلیل پایداری، طراحی سیستم نگهداری و تعیین زمان ایستایی قابل استفاده می‌باشند و تاکنون طبقه‌بندی جامعی در ارتباط با عملیات آتشباری ارائه نشده است. در این تحقیق تلاش شده که با تلفیق طبقه‌بندی‌های RMR و لو-لاتهام و همچنین اعمال اثر جهت داری شیب درزه‌ها، یک طبقه بندی جدید (BRMR) قابل کاربرد در عملیات آتشباری ارائه گردد. در پایان، با استفاده از روش آماری و داده‌های آتشباری معدن فسفات اسفوردی، یک رابطه ریاضی با ضریب همبستگی بالا میان ضخامت بارسنگ، BRMR و شاخص‌های خردایش (D_{50} و D_{80}) توسعه داده شد.

کلمات کلیدی

خردایش، عملیات آتشباری، بارسنگ، RMR، لو-لاتهام، معدن فسفات اسفوردی یزد

Development of a Mathematical Model for Determining Burden Using Suggested Rock Mass Classification

M.Monjezi, S.A.R. Jazayeri Farsani, K.Goshtasbi

ABSTRACT

Proper fragmentation is one of the most important objectives of blasting operation, achieving this aim mining costs are reduced, considerably. Geo-mechanical parameters have a significant effect on the results of a blast. Available rock mass classifications are generally applicable for stability analysis, design of support system, determination of stand-up time but for blasting operation, a comprehensive classification has not been developed.

In this research, an attempt has been made to develop a new applicable classification (BRMR) for blasting operation by combining RMR and Lu-Latham classifications with considering the effect of dip and dip direction of joints. Finally, using 3D statistical method and Phosphate Esphordi mine data, a mathematical formula with high correlation was developed between burden, BRMR and fragmentation indexes (D_{50} , D_{80}).

KEYWORDS

Fragmentation, Blasting Operation, Burden, RMR, Lu-Latham, Esphordi phosphate mine

ⁱ دانشجویار دانشکده فنی و مهندسی گروه مهندسی معدن دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، monjezi@modares.ac.ir

ⁱⁱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معدن، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، jazayeri@yahoo.com

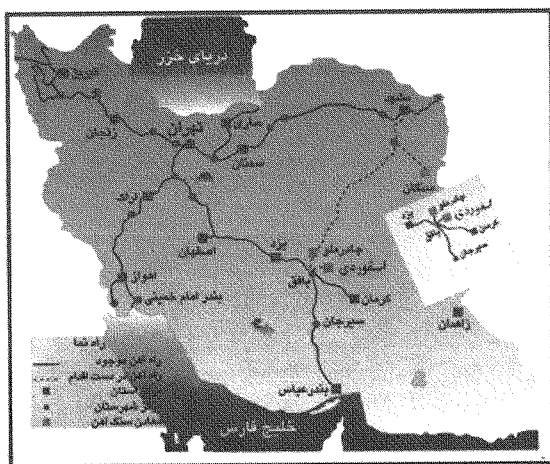
ⁱⁱⁱ دانشجویار دانشکده فنی و مهندسی گروه مهندسی معدن دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، goshtasb@modares.ac.ir

طبقه‌بندی ارائه شده توسط حمدی و موزا تنها شبکه ناپیوستگی و ماتریکس سنگ در نظر گرفته شده است [۷]. این در حالی است که در شاخص قابلیت انفجارپذیری سنگ ارائه شده توسط لیلی پارامترهای وضعیت توده سنگ (خرد شده، بلوکی، توده ای)، فاصله داری درزه ها، جهتداری درزه ها، چگالی سنگ و سختی سنگ در نظر گرفته شده است [۸]. پرلیت ضخامت بار سنگ را به صورت تابعی از ارتفاع پله، چگالی ماده منفجره، سرعت انفجار، طول گل گذاری، مقاومت فشاری و یک ضریب ثابت که وابسته به نوع تجهیزات بارگیری است، بدست آورد. این روش فقط برای سنگ‌های همگن مناسب می‌باشد [۹]. همچنین محققین دیگر از جمله لینگتن و لوپز تلاش نمودند تا با استفاده از شاخص های مختلف حفاری سنگ، روابطی را برای پیش بینی ضخامت بار سنگ ارائه دهند. لینگتن با استفاده از شاخص کیفیت سنگ ارائه شده توسط ماتیس، رابطه ای برای محاسبه خرج ویژه بدست آورد. در این رابطه، شاخص کیفیت سنگ تابعی از طول چال، زمان حفاری و فشار پشت سر مته می باشد. لوپز نیز با توجه به محدودیت های شاخص کیفیت سنگ، شاخص دیگری تعریف کرد و بر آن اساس رابطه ای را برای محاسبه خرج ویژه ارائه نمود. این شاخص تابعی از قطر چال، فشار پشت سر مته، نرخ نفوذ و سرعت چرخش سر مته می باشد [Lopez ۱۰].

با توجه به مطالب گفته شده ملاحظه می‌گردد که در هر یک از روش‌ها و طبقه‌بندی‌های موجود، تنها برخی از پارامترهای موثر بر نتیجه آتشباری در نظر گرفته شده‌اند [۱۱]. اما در این تحقیق تلاش شده تا با راهکار مناسب، یک طبقه‌بندی جدید قابل کاربرد در طراحی عملیات آتشباری ارائه گردد و در پایان با استفاده از طبقه‌بندی یاد شده، مفهوم خرج ویژه و نمودار دانه‌بندی، رابطه‌ای برای محاسبه ضخامت بار سنگ ارائه گردید.

معدن فسفات اسفوردی در ۳۵ کیلومتری شمال شرقی شهرستان بافق در طول جغرافیایی ۲۵ و ۵۵ شرقی و عرض ۴۷ و ۳۱ شمالی واقع شده است. این کانسار که در منطقه کوهستانی و با ارتفاع متوسط ۱۷۰۰ متر از سطح دریا قرار گرفته، دارای کوه‌هایی با روند شمال غربی - جنوب شرقی می‌باشد. معدن فسفات اسفوردی با ذخیره معدنی نزدیک به ۱۷ میلیون تن سنگ با عیار ۱۳/۹ درصد P_2O_5 یکی از بزرگترین منابع فسفات شناخته شده در ایران می‌باشد. میزان استخراج سالانه معدن نزدیک به ۳۶۰ هزار تن می‌باشد (شکل ۱). شکل ۲ موقعیت معدن را نسبت به شهرهای اطراف آن و جاده‌های دسترسی نشان می‌دهد. خردایش حاصل از عملیات آتشباری در این معدن نامناسب و همراه با تولید نرمه زیاد بوده که این امر موجب اختلال در فعالیت کارخانه فرآوری می‌شود. پارامترهای مربوط به عملیات چالزنی و آتشباری در جدول ۱ آورده شده است [۱].

از میان پارامترهای فراوانی که بر روی نتیجه خردایش یک انفجار تاثیر می‌گذارند، می‌توان به پارامترهای ژئومکانیکی (شاخص کیفیت سنگ، خصوصیات درزه، مقاومت سنگ و ...) و پارامترهای هندسی الگوی انفجار (قطر چال، ضخامت بار سنگ و ...) اشاره نمود [۵-۲]. تا کنون روابط زیادی در ارتباط با طراحی الگوی آتشباری و محاسبه ضخامت بار سنگ توسط محققین مختلف ارائه شده است. به عنوان مثال در طبقه‌بندی لو و لاتهام پارامترهایی نظیر مقاومت تراکمی تک محوری، مقاومت کششی، چگالی، الاستیسیته و ... در نظر گرفته شده‌اند ولی عامل شیب و جهت داری درزه که اهمیت قابل توجهی نیز دارد، رعایت نشده است [۶]. بر خلاف روش لو و لاتهام، در



شکل (۲): موقعیت جغرافیایی منطقه اسفوردی و راه‌های دسترسی [۱]



شکل (۱): نمایی از معدن فسفات اسفوردی یزد [۱]

جدول (۱): پارامترهای الگوی آتشباری پیوسته معدن اسفوردی

چگالی سنگ	$2/25 (gr/cm^3)$
چگالی ماده منفجره	$0/185 (gr/cm^3)$
قطر چال	$76 (mm)$
طول چال	$5/6 (m)$
بارسنگ	$1/9 (m)$
فاصله ردیفی چال‌ها	$2/3 (m)$
ارتفاع پله	$5 (m)$
طول خرجگذاری	$2/8 (m)$
طول کل گذاری	$1/8 (m)$
خرج ویژه مصرفی	به طور متوسط $0/9 (Kg/ton)$

در این طبقه‌بندی RQD بالاتر نشانگر لزوم استفاده از سیستم نگهداری ضعیف‌تر می‌باشد، در حالیکه در عملیات آتشباری با افزایش RQD قابلیت انفجار سنگ کاهش می‌یابد.

۲-۲- بررسی طبقه‌بندی لو و لاتهام

از دیدگاه لو و لاتهام خصوصیات ژئومکانیکی توده سنگ به دو دسته خصوصیات ذاتی سنگ و خصوصیات ناپیوستگی‌ها تقسیم می‌شوند. خصوصیات ذاتی سنگ نظیر سختی، الاستیسیته، تغییر شکل‌پذیری، چگالی و خصوصیات ناپیوستگی‌ها شامل جهت‌یابی، پر شدگی، فاصله‌داری می‌باشند. از دیدگاه لو و لاتهام، از میان خصوصیات یاد شده پارامترهای مقاومت تراکمی تک محوری، مقاومت کششی، چگالی و الاستیسیته مهمترین عوامل تاثیر گذار بر قابلیت انفجار هستند [۱۴].

۲-۳- بررسی اثر شیب و جهت داری درزه ها

طبقه‌بندی‌های پیشنهاد شده برای بررسی تأثیر جهت‌داری و شیب ناپیوستگی‌ها بر روی پایداری توده سنگ بسیار کلی و نامناسب می‌باشند [۷].

به منظور اعمال اثر موقعیت فضایی درزه‌ها می‌توان از جدول ۲ استفاده نمود. در شکل ۳ نمایی شماتیک از شیب‌های مختلف درزه ترسیم شده است. در این شکل درزه و سطح آزاد بلوک انفجاری دارای یک امتداد می‌باشند.

۲-۴- طبقه‌بندی پیشنهادی

جهت انتخاب پارامترهای طبقه‌بندی جدید، ساختار RMR به عنوان هسته اصلی در نظر گرفته شد. مهمترین پارامترهای تأثیرگذار بر عملیات آتشباری منتج از روش لو و لاتهام استخراج و به این ساختار اضافه شدند. برای امتیازدهی به این پارامترها نیز از روش لو و لاتهام استفاده شده است (جدول ۳). در پایان برای محاسبه BRMR امتیاز بدست آمده از جدول ۳ با امتیاز مربوط به اختلاف جهت داری و شیب درزه‌ها با خط انفجار، جمع می‌شود.

جدول ۳ شامل پارامترهای مقاومت تراکمی تک محوری، چگالی، الاستیسیته، اندیس کیفی سنگ (RQD)، فاصله ناپیوستگی‌ها، وضعیت آب زیرزمینی و وضعیت ناپیوستگی می‌باشد که در آن مجموع امتیازات مثبت ۱۰۰ می‌باشد. همچنین بنابر جدول ۲ مجموع امتیازات منفی مربوط به موقعیت فضایی درزه‌ها ۳۰ است.

۲- مراحل ایجاد طبقه‌بندی جدید توده سنگ

طراحی عملیات آتشباری با استفاده از خصوصیات ذاتی توده سنگ، خصوصیات ماده منفجره و شبکه هندسی انفجار صورت می‌پذیرد. با توجه به اینکه هر توده سنگ دارای خصوصیات ذاتی و مقاومتی متفاوتی بوده شناخت این خصوصیات کمک شایان توجهی در افزایش راندمان عملیات خواهد نمود [۱۲].

اگرچه تاثیر خصوصیات ذاتی توده سنگ بر فرایند انفجار از مدت‌ها پیش مورد مطالعه قرار گرفته است، اما تلاش چندانی برای کمی نمودن این پارامترها صورت نگرفته است. در این راستا تلاش شده تا با تلفیق طبقه‌بندی توده سنگ بنیواسکی، روش لو و لاتهام و اعمال اثر موقعیت فضایی درزه‌ها یک طبقه‌بندی جدید (BRMR) ارائه گردد.

۲-۱- بررسی طبقه‌بندی توده سنگ بنیواسکی

طبقه‌بندی ژئومکانیکی یا امتیاز توده سنگ (سیستم RMR) در سال ۱۹۷۳ توسط بنیواسکی ارائه گردید. این طبقه‌بندی شامل شش پارامتر مقاومت فشاری تک محوری ماده سنگ یکپارچه، جهت ناپیوستگی، اندیس کیفی سنگ (RQD)، فاصله ناپیوستگی‌ها، وضعیت آب زیرزمینی، وضعیت ناپیوستگی می‌باشد. با توجه به این که طبقه‌بندی یاد شده برای طراحی سیستم نگهداری تونل ارائه شده است، نمی‌توان از آن جهت بررسی قابلیت آتشباری استفاده نمود [۱۳-۱۱]. به عنوان مثال

جدول (۲): امتیازات شیب و اختلاف جهت داری درزه‌ها با خط

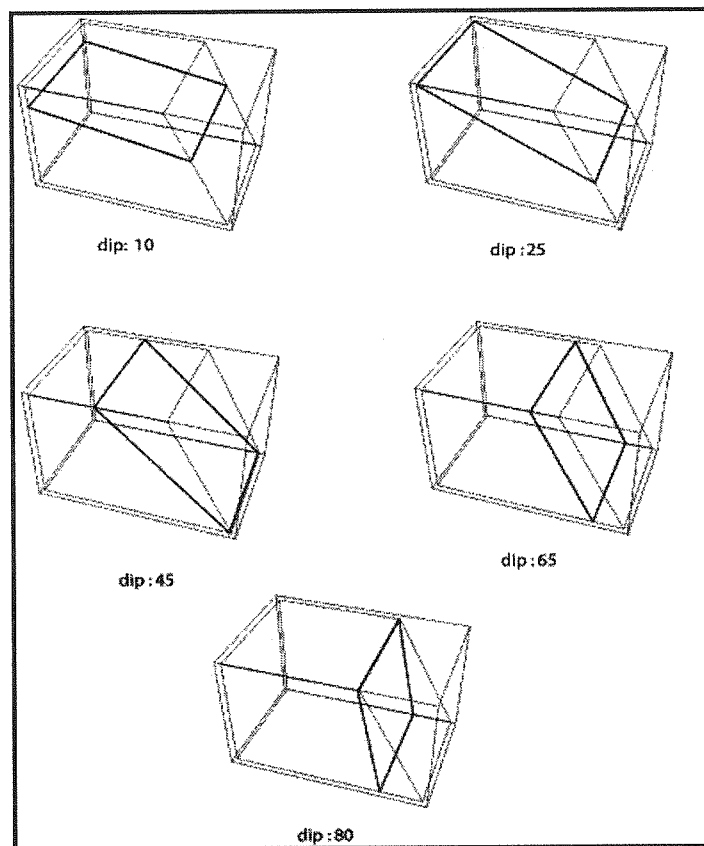
انفجار

امتیاز	اختلاف جهت داری درزه با خط انفجار (درجه)	امتیاز	شیب (درجه)
-۱۵	۲۰-۰	۰	۱۵-۰
-۱۲	۶۰-۳۰	-۴	۳۵-۱۵
-۹	۹۰-۶۰	-۸	۵۵-۳۵
-۶	۱۲۰-۹۰	-۱۲	۷۵-۵۵
-۳	۱۵۰-۱۲۰	-۱۵	۹۰-۷۵
.	۱۸۰-۱۵۰		

۳- طراحی الگوی آتشیاری با استفاده از طبقه‌بندی پیشنهادی

۳-۱- محاسبه امتیاز طبقه‌بندی پیشنهادی توده سنگ (BRMR):

به منظور طراحی الگوی آتشیاری مناسب در معدن فسفات اسفوردی یزد، داده‌های لازم برای تعیین امتیازات طبقه‌بندی توده سنگ پیشنهادی (BRMR) نظیر مقاومت تراکمی تک محوری، چگالی، الاستیسیته، اندیس کیفی سنگ (RQD)، فاصله ناپیوستگی‌ها، وضعیت آب زیرزمینی و وضعیت ناپیوستگی از ۱۳ بلوک جمع‌آوری گردید. جدول ۴ به صورت نمونه چگونگی امتیازدهی طبقه‌بندی پیشنهادی (BRMR) برای بلوک ۱۷۳۵B۲۴ را نمایش می‌دهد.



شکل (۳): نمایی طرحواره از شیب‌های مختلف درزه

جدول (۳): پارامترهای دارای امتیاز مثبت در طبقه‌بندی پیشنهادی

پارامتر		ردیف‌های ارزش				مقاومت کششی (MPa)	مقاومت ماده سنگ یکپارچه
		۶-۱۲	۲-۶	۱/۵-۳	۱/۵ >		
مقاومت ماده سنگ یکپارچه	< ۱۲	۶-۱۲	۲-۶	۱/۵-۳	۱/۵ >	مقاومت کششی (MPa)	مقاومت ماده سنگ یکپارچه
	۱۰	۸	۶	۴	۲		
مقاومت ماده سنگ یکپارچه	۲۵۰ <	۲۵۰-۵۰	۵۰-۲۵	۱-۵	< ۱	مقاومت تراکمی تک محوری (MPa)	مقاومت ماده سنگ یکپارچه
	۱۵	۴	۲	۱	۰		
مقاومت ماده سنگ یکپارچه	۱۵۰ <	۱۰۰-۱۵۰	۵۰-۱۰۰	۲۵-۵۰	< ۲۵	مدول الاستیسیته (GPa)	مقاومت ماده سنگ یکپارچه
	۱۰	۸	۶	۴	۲		
مقاومت ماده سنگ یکپارچه	۴ <	۲/۵-۴	۲-۲/۵	۲/۵-۲	< ۲/۵	چگالی	مقاومت ماده سنگ یکپارچه
	۱۰	۸	۶	۴	۲		
مقاومت ماده سنگ یکپارچه	۹۰-۱۰۰	۷۵-۹۰	۵۰-۷۵	۲۵-۵۰	۰-۲۵	کیفیت مغزه حفاری RQD (%)	مقاومت ماده سنگ یکپارچه
	۱۰	۸	۶	۴	۲		
مقاومت ماده سنگ یکپارچه	۷m <	۶-۲ m	۶-/ ۶ m	۶- ۲۰ cm	< ۶ cm	فاصله ناپوستگی‌ها	مقاومت ماده سنگ یکپارچه
	۱۵	۱۲	۸	۶	۴		
مقاومت ماده سنگ یکپارچه	سطوح خیلی زبر بدون پیوستگی، فاقد جدایش سنگ دیواره، غیر هوازده	سطوح زبر، جدایش جدایش	سطوح زبر، جدایش جدایش	سطوح چابی صاف یا چرکتر از ۱mm، دیواره‌ها کمی بسیار هوازده	ضخامت پرشدگی بیش از ۵mm یا جدایش بزرگتر از پیوسته	وضعیت ناپوستگی‌ها	مقاومت ماده سنگ یکپارچه
	۱۵	۱۲	۸	۴	۰		
مقاومت ماده سنگ یکپارچه	کاملاً خشک	نم	تر	قطره قطره	جریان	وضعیت آب زیر زمینی	مقاومت ماده سنگ یکپارچه
	۱۵	۱۰	۷	۴	۰		

جدول (۴): امتیازات مربوط به بلوک ۱۷۳۵B۲۴

ردیف	پارامتر	ارزش	امتیاز
۱	مقاومت فشاری تک محوری (MPa)	۴۷	۱۲
۲	RQD (%)	۹۵	۱۰
۳	وضعیت ناپیوستگی	صاف، هوانزده با پرشدگی	۴
۴	متوسط فاصله داری m	۰/۳	۸
۵	وضعیت آب زیرزمینی	بطور کامل خشک	۱۵
۶	مدول الاستیسیته (MPa)	۱۸	۲
۷	چگالی ($\frac{t}{m^3}$)	۲/۲۵	۶
۸	وضعیت شیب درزه ها	۴۰	-۸
۹	اختلاف بین جهت داری درزه و جهت داری خط انفجار	۴۱	-۱۲
امتیاز توده سنگ BRMR			۲۷

پارامترهای BRMR، خرج ویژه و دو شاخص خریداش سنگ یعنی D_{50} و D_{80} با استفاده از نرم افزار Datafit تعیین و روابط ۱ و ۲ بدست آمد. اطلاعات جمع آوری شده هر بلوک در جدول ۵ ارائه شده است.

توجیه استفاده از دو شاخص D_{50} و D_{80} بدین ترتیب است که در وهله اول برای کاهش نرمه ضخامت بارسنگ بر اساس D_{50} تعیین می‌گردد که مقدار محاسبه شده نباید از ضخامت بارسنگ مربوط به D_{80} تجاوز نماید. به عبارت

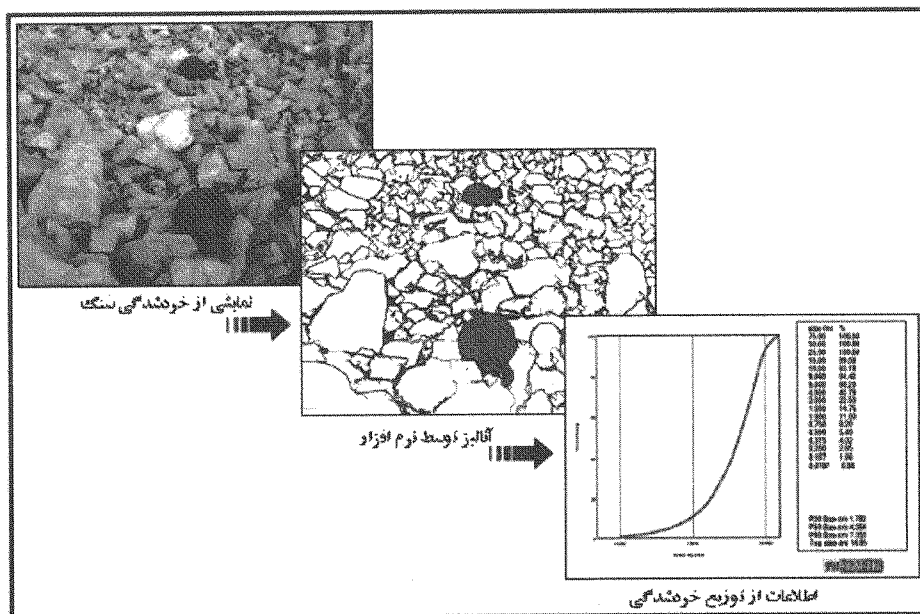
$$B_{D_{50}} \leq B_{opt} \leq B_{D_{80}} \quad \text{دیگر:}$$

۳-۲- تهیه نمودار دانه بندی خریداش

به منظور تهیه نمودار دانه‌بندی خریداش از روش آنالیز تصویری استفاده شده است. در این روش تصاویری از سطح سنگ‌های آتشفشانی شده تهیه می‌شود و سپس با استفاده از نرم افزار Split Desktop نمودار توزیع دانه‌بندی خریداش تعیین می‌گردد [۱۵-۱۷]. شکل ۵ مراحل تحلیل خریداشی در نرم افزار Split Desktop را نمایش می‌دهد.

۳-۳- مدل ریاضی محاسبه ضخامت بارسنگ

بر اساس محاسبات و تحلیل‌های انجام شده بر روی بلوک‌های انفجاری معدن فسفات اسفوردی ارتباط



شکل (۵): مراحل تحلیل خریداشی در نرم‌افزار Split Desktop [6]

جدول (۵): مقادیر خرج ویژه، دانه‌بندی و BRMR مربوط به بلوک‌های انفجاری

نام بلوک	مقدار D_{50} (mm)	مقدار D_{80} (mm)	خرج ویژه (kg/m^3)	مقدار BRMR
1730B17	۹۰/۸	۲۴۷/۳	۰/۷۸	۴۷
1730B26	۱۲۱/۹	۳۳۴/۲	۰/۶۴	۵۵
1735B23	۴۲/۳	۱۴۲/۶	۰/۸۷	۳۷
1735B21	۵۰	۱۰۹/۸	۰/۸۸	۳۷
1735B20	۷۰	۲۳۸/۴	۰/۸۴۵	۵۱
1730B25	۱۰۲/۱	۳۱۸/۳	۰/۶۵	۴۰
1715B1	۸۵/۱	۱۷۰/۱	۰/۸۸	۴۸
1735B22	۴۲/۷	۹۱/۸	۰/۸۶	۵۵
1730B15	۵۴	۱۵۷/۷	۰/۹۲	۴۰
1730B20	۹۱/۲	۲۴۷/۵	۰/۷۴۴	۵۴
1730B24	۱۱۰	۳۸۹/۶	۰/۹	۴۷
1735B24	۱۱۱/۲	۳۲۸/۱	۰/۸۴	۵۱
1720B4	۱۰۳/۲	۲۵۶/۳	۰/۷۵۳	۴۵

همچنین رابطه بین پارامترهای BRMR، خرج ویژه و D_{50} به صورت رابطه (۲) بدست می‌آید.

$$D_{50} = a \times (BRMR)^b + c \times (q)^d + e \quad (2)$$

که در آن:

D_{50} : اندازه دهانه الکی که ۵۰ درصد مواد خرد شده از آن عبور کرده اند برحسب میلیمتر

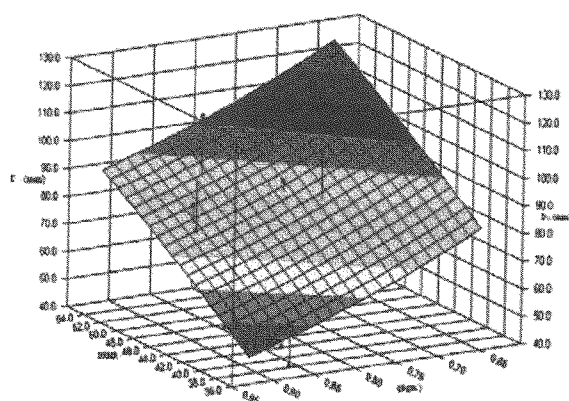
BRMR: شاخص کیفی آتشیاری توده سنگ

q: مقدار خرج ویژه بر حسب (Kg/m^3)

a, b, c, d, e: ضرایب ثابت آماری بدست آمده از نرم افزار

Datafit

نمودار مربوط به این رابطه در شکل ۶ ارائه شده است. در این نمودار محور X_1 مقادیر BRMR، محور X_2 مقادیر خرج ویژه و محور Y مقادیر D_{50} را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی بدست آمده برای این رابطه ۰/۸۵ می‌باشد.



شکل (۷): نمودار رابطه پارامترهای خرج ویژه، D_{50} و BRMR

بر این اساس رابطه بین پارامترهای BRMR، خرج ویژه و D_{80} به صورت رابطه (۱) می‌باشد.

$$D_{80} = a \times (BRMR)^b + c \times (q)^d + e \quad (1)$$

که در آن:

D_{80} : اندازه دهانه الکی که ۸۰ درصد مواد خرد شده از آن

عبور کرده اند برحسب میلیمتر

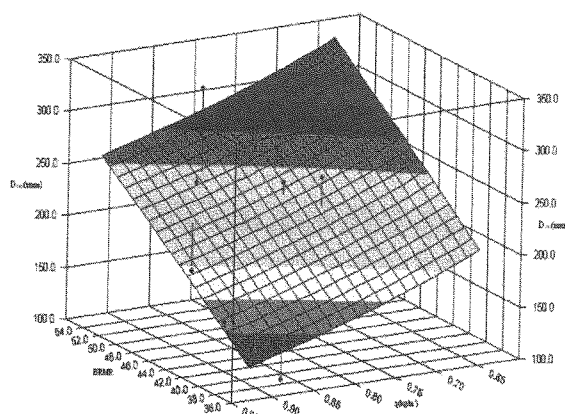
BRMR: شاخص کیفی آتشیاری توده سنگ

q: مقدار خرج ویژه بر حسب (Kg/m^3)

a, b, c, d, e: ضرایب ثابت آماری بدست آمده از نرم افزار

Datafit

نمودار مربوط به این رابطه در شکل ۵ ارائه شده است. در این نمودار محور X_1 مقادیر BRMR، محور X_2 مقادیر خرج ویژه و محور Y مقادیر D_{80} را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی بدست آمده برای این رابطه ۰/۹۲ می‌باشد.



شکل (۶): نمودار رابطه پارامترهای خرج ویژه، D_{80} و BRMR

در پایان برای ارائه مدل ریاضی محاسبه بار سنگ می‌توان از رابطه ۳ استفاده نمود.

$$q = \frac{\left(\frac{\pi d^2}{4}\right)(H + J - T) \times \gamma_e}{B \times S \times H \times \gamma_r} \quad (3)$$

که در آن:

B : بار سنگ (متر)

q : خرج ویژه (Kg/m^3)

J : اضافه حفاری (متر)

d : قطر چال انفجاری (متر)

H : ارتفاع پله (متر)

S : فاصله ردیفی چال‌ها (متر)

T : طول گل گذاری (متر)

γ_e : وزن مخصوص ماده منفجره (Kg/m^3)

γ_r : وزن مخصوص سنگ (Kg/m^3)

در فرمول ۳ می‌توان از روابط ۴ تا ۶ بجای پارامترهای T ، J و S مقدار هم ارز آنها را برحسب B جایگزین نمود [20]. سپس با استفاده از جدول ۱ مقادیر مربوطه جایگذاری شده و بدین ترتیب رابطه ۷ بدست می‌آید.

$$J = 0.3 \times B \quad (4)$$

$$T = 0.7 \times B \quad (5)$$

(۶)

$$S = 1.25 \times B$$

$$q = 0.612 \frac{5 - 0.4B}{B^2} \quad (7)$$

با ترکیب روابط ۷ و ۲ رابطه میان $BRMR$ ، D_{50} و بار سنگ به صورت رابطه (۸) بدست می‌آید. با جایگذاری ضرائب ثابت بدست آمده از نرم افزار Datafit و مقادیر $BRMR$ و میزان D_{50} در رابطه یاد شده، می‌توان مقدار بار سنگ را محاسبه نمود.

$$179.69 \times \left(0.612 \frac{5 - 0.4B}{B^2}\right)^{(-0.466)} = \quad (8)$$

$$D_{50} - 28.057 \times (BRMR)^{0.519} + 321.60$$

به طور مشابه با ترکیب روابط ۷ و ۳ رابطه میان $BRMR$ ، D_{80} و بار سنگ به صورت رابطه (۹) بدست می‌آید:

$$467.49 \times \left(0.612 \frac{5 - 0.4B}{B^2}\right)^{(-0.414)} = \quad (9)$$

$$D_{80} - 24.360 \times (BRMR)^{0.756} + 730.61$$

چگونگی استفاده از روابط ۸ و ۹ بدین ترتیب است که با معلوم بودن D_{50} و D_{80} و $BRMR$ می‌توان ضخامت بار سنگ مناسب را محاسبه نمود.

۴- نتیجه گیری

- با برداشت خصوصیات توده سنگ و در نظر گرفتن شاخص‌های خردایش هدف (D_{50} و D_{80}) و استفاده از روابط ارائه شده بین پارامترهای $BRMR$ ، بار سنگ و شاخص‌های خردایش، می‌توان به طور موثری ضخامت بار سنگ را محاسبه نمود.

- با توجه به بالا بودن ضریب همبستگی روابط پیشنهاد شده می‌توان با سطح اطمینان مناسبی از این روابط در محاسبه ضخامت بار سنگ استفاده نمود.

- محاسبه ضخامت بار سنگ با در نظر گرفتن همزمان خصوصیات توده سنگ و اندازه خردایش می‌تواند نتایج مطلوبی را به دنبال داشته باشد.

- در نظر گرفتن دو شاخص D_{50} و D_{80} در محاسبه ضخامت بار سنگ از یک طرف تولید نرمه را کنترل می‌کند و از طرف دیگر از ایجاد سنگ‌های درشت دانه جلوگیری بعمل می‌آورد.

۵- مراجع

- [۱] طراحی و برنامه ریزی معدن فسفات اسفوردی، مجتمع معدنی فسفات اسفوردی، ۱۳۷۸.
- [۲] Cunningham, C. V. B., The Kuz-Ram Model for Prediction of Fragmentation from Blasting, 1st International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, Lulea, Sweden. Balkema, Rotterdam, Netherlands. 1983, pp. 439-454.
- [۳] Kuznetsov, V. M., The Mean Diameter of Fragments Formed by Blasting Rock, Soviet Mining Science (in Russian) 1973, pp. 144-148.
- [۴] Nielsen, K., Optimization of Open Pit Bench Blasting 1st International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, Lulea, Sweden. Balkema, Rotterdam, Netherlands. 1983. pp. 247-271.
- [۵] Shim, H. J., Ryu, D. W., Han, C. Y., Ahn, S. M., Optimized Blasting Design for Large-Scaled Quarrying Based on a 3-D Spatial Distribution of Rock Factor, Rock Mechanics in Underground Construction: ISRM International Symp., 2006_pp. 235-243.
- [۶] منصورى حميد. برآورد كمى بازدهى انفجارات معدنى. مجموعه مقالات اولین کنفرانس معادن روباز ایران. چاپ اول، ۱۳۸۰.
- [۷] Hamdi, E., Mouza, J. D., A Methodology for Rock Mass Characterization and Classification to Improve Blast Results, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2005.

- فاروق حسینی، محمد، درآمدی بر مکانیک سنگ، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۷۸. [۱۳]
- Lu, P., Latham, J-P., Development of Assessment System for the Blastability of rock masses, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 1998. [۱۴]
- Leu. S.S., Digital Image Processing Based Approach for Tunnel Excavation Faces. Automation in Construction, 2005. [۱۵]
- Mario, A., Morin. Francesco Ficarazzo., Monte Carlo Simulation as a Tool to Predict Blasting Fragmentation Based on the Kuz-Ram Model. Computer & Geosciences, 2006. [۱۶]
- Split Engineering, Split - Service Instruction Manual, www.spliteng.com, 2003-2004. [۱۷]
- Lilly, P. A., An Empirical Method of Assessing Rock Mass Blastability, Julius Kruttschnitt Mineral Research Center, 1986. [۸]
- Praillet, R., A New Approach to Blasting, Drilltech Inc [۹]
- Lopez, J., C., Lopez, J., F., Drilling and Blasting of Rocks, Balkema, Rotterdam, Netherlands. 1995. [۱۰]
- Banks, D., Rock Mass Rating (RMRs) Predicted from Slope Angles, A Natural Rock Outcrops, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2005. [۱۱]
- Zekai, S., Bahaeldin, H., Modified Rock Mass Classification System By Continuous Rating, Engineering Geology, 2003. [۱۲]