

بررسی تاثیرات خردشدگی ناشی از عملیات انفجار بر روی کارآیی ماشین آلات در معدن مس سرچشمه

ایوب نیکخواه^۱، محمد تاجی^{۲*}

۱- کارشناس ارشد، گروه تحقیقاتی مهندسی انفجار، تهران
۲- استادیار، گروه مهندسی معدن، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شاهرود، شاهرود

(دریافت ۱۳۹۶/۰۳/۲۲، پذیرش ۱۳۹۶/۰۹/۰۴)

چکیده

خردشدگی بیشتر سنگ به وسیله انفجار باعث افزایش هزینه‌های عملیات حفاری و انفجار می‌شود، اما در مقابل، منجر به کاهش عملیات بارگیری و باربری و عدم نیاز به انفجار ثانویه می‌شود. به همین منظور پایگاه داده‌ای شامل رخدادهای واقعی خردایش ناشی از انفجار و پارامترهای موثر اصلی بر خردایش و عملکرد تولید مربوط به ۲۰ بلوک انفجاری در معدن مس سرچشمه ایجاد شد. در این تحقیق، پارامترهای موثر در کارآیی ماشین آلات بخش استخراج معدن مس سرچشمه بررسی شد. به این منظور پارامتر نسبت طول به عرض بلوک انفجاری (R_{LW}) و پارامترهای کارکرد (O_1)، خرابی (F_1)، آمادگی (R_1) و جابه‌جایی دستگاه‌های بارگیری (M_1) معرفی، اندازه‌گیری و مورد استفاده قرار گرفت. پارامتر نسبت طول به عرض بلوک انفجاری (R_{LW}) در اکثر مدل‌های پیشنهادی وجود دارد که این پارامتر تاثیر بسزایی در کارآیی دستگاه بارگیری دارد. ضریب همبستگی بسیار بالای یک سیکل بارگیری جام دستگاه بارگیری (C_1) با متغیرهای مستقل نشان می‌دهد که متغیر یک سیکل بارگیری جام دستگاه بارگیری (C_1) بیشتر متاثر از خردشدگی ناشی از عملیات انفجار و ابعاد بلوک انفجاری بوده است. بهترین و بدترین یک سیکل بارگیری جام دستگاه بارگیری (C_1) دستگاه‌های معدن مس سرچشمه به ترتیب برابر با ۱۴/۳۸ و ۵۱/۱۵ ثانیه بوده است که در آن D_{50} به ترتیب ۳/۰۲ و ۱۰/۳۹ سانتی‌متر و D_{80} ۶/۶۹ و ۲۴/۴۹ سانتی‌متر شده است. ضریب همبستگی ۰/۸ برای بارگیری ویژه (S_1) در کل بلوک‌های انفجاری نشان دهنده تاثیرپذیری بسیار بالای بارگیری ویژه (S_1) از خردشدگی ناشی از عملیات انفجار است.

کلمات کلیدی

انفجار، خردشدگی، کارآیی ماشین آلات، معدن مس سرچشمه.

۱- مقدمه

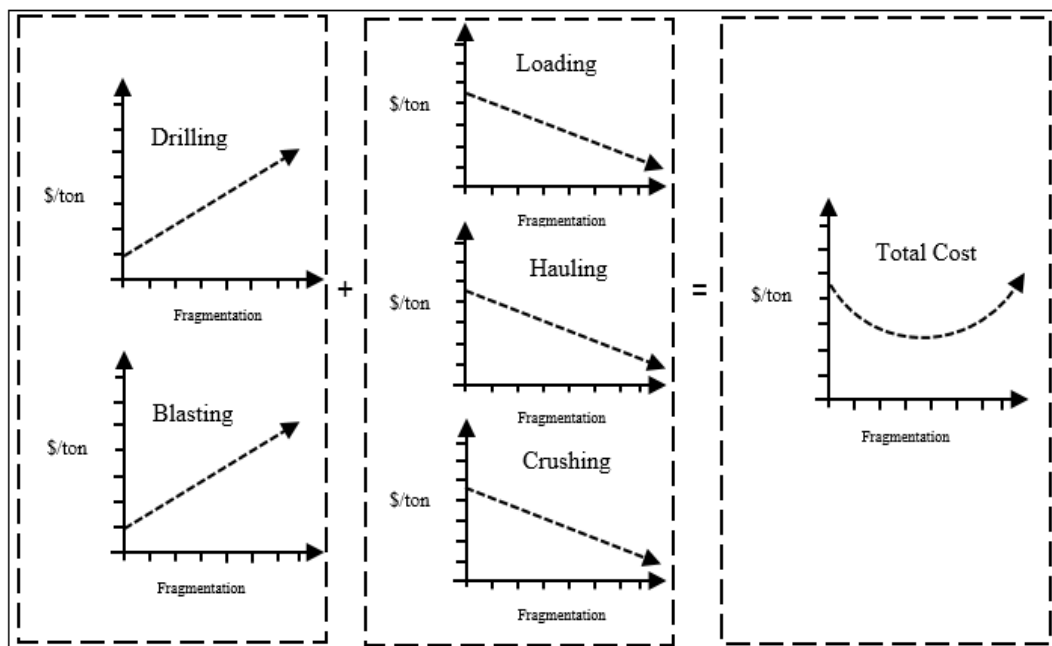
انجام داد. او اعلام کرد که با افزایش میزان خردایش هزینه حفاری و انفجار افزایش و هزینه بارگیری و باربری کاهش می‌یابد. به نظر او برای خردایش بیشتر باید چال‌ها با فاصله و قطر کمتر حفر شوند، به همین علت هزینه این دو بخش بیشتر می‌شود، ولی در عوض به علت تولید نشدن قطعات بزرگ و یکنواخت بودن سنگ خرد شده، ظرفیت، قابلیت و راندمان کاری ماشین‌آلات بارگیری و باربری بیشتر و هزینه کمتری متوجه این بخش می‌شود. در واقع مکنزی به این نتیجه رسید که یک دامنه از خردایش وجود دارد که در آن مجموع هزینه‌های تولید کمترین مقدار را دارد و آن را دامنه بهینه خردایش نامید [۳،۲]. نتایج تحقیقات او در شکل ۱ نشان داده شده است.

محققان بسیاری با در نظر گرفتن برخی از این پارامترها سعی بر بهینه کردن عملیات انفجار داشته‌اند در جدول ۱، مهمترین مطالعات و تحقیقات انجام شده در زمینه بهینه‌سازی عملیات انفجار، آمده است.

هدف اصلی این مقاله، مطالعه تاثیر مقدار خردشدگی ناشی از عملیات انفجار و تاثیر پارامترهای کلیدی عملیاتی انفجار بر روی کارایی دستگاه بارگیری است.

هدف اصلی معدنکاری، تولید مواد اولیه با کیفیت و قیمت مناسب است. مراحل استخراج معادن روباز کانسنگ‌های فلزی شامل عملیات حفاری، انفجار، بارگیری و باربری است. انجام صحیح این مراحل تاثیر قابل توجهی بر هزینه‌های تولید، کیفیت محصول و میزان تولید دارد. هدف از این تحقیق مطالعه تاثیر خردشدگی ناشی از عملیات انفجار بر روی کارایی ماشین‌آلات بارگیری در مرحله استخراج است. افزایش میزان خردشدگی از طرفی سبب افزایش هزینه‌های حفاری و انفجار و از طرف دیگر کاهش هزینه‌های بارگیری و باربری می‌شود. در برخی موارد تولید قطعات درشت باعث ایجاد یک مرحله جانبی انفجار ثانویه در چرخه استخراج می‌شود. خردشدگی مناسب باعث افزایش کارایی سیستم بارگیری- باربری و بهبود کیفیت و یکنواختی بهتر مواد ارسالی به کارخانه فرآوری می‌شود [۱].

با توجه به اینکه مهمترین هدف عملیات انفجار، دستیابی به خردایش مناسب است. مطالعات زیادی بر روی آن انجام گرفته است. مکنزی تحقیق جامعی در مورد هزینه بخش‌های مختلف تولید در مقابل اندازه خردایش

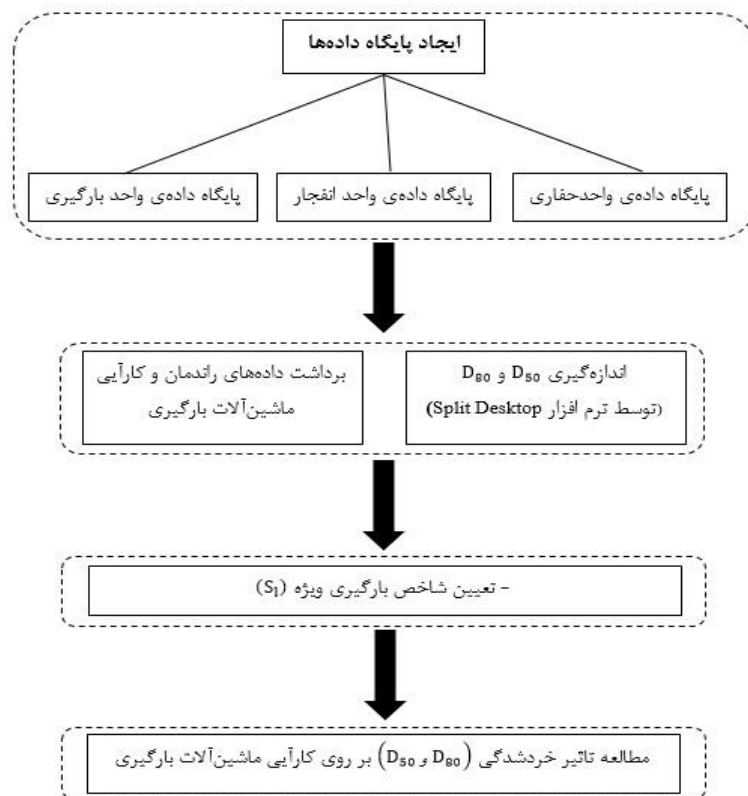


شکل ۱: هزینه بخش‌های مختلف به ازای خردایش متفاوت [۳]

جدول ۱: مهمترین مطالعات و تحقیقات انجام شده در زمینه بهینه‌سازی عملیات انفجار

Researchers	EC	OC	El.Cs	En.Cs	TC	Sc	Sd	DL	Pe	LP	Cr.P	MT	Mu	DF	E.Co	SB	Di
Mackenzie [3]	■	■			■									■			
Da Gama [4-5]		■				■								■	■	■	
Nielsen [6-8]		■				■					■			■			
Taqieddin [9]		■						■		■			■	■			
Stagg et al. [10, 11]						■								■			
Eloranta [11-15]	■	■				■		■						■			
Jimeno & Da Gama [16]		■												■		■	
Fuerstenau et al. [17]	■	■	■	■				■		■							
Cunningham [18, 19]														■			
Alder et al. [20]		■				■				■				■			
Moody et al [21].														■			
Eloranta [22, 23]	■		■			■					■	■		■			
Kanchibotla et al. [24,25]			■	■		■					■	■		■			■
Workman [26]		■	■	■										■			
Grundstrom et al. [27]			■			■						■		■			
Mouza and Hamdi [28]							■							■			
Mosher [29]														■			
Kojovic [30]												■		■			
Morin and Ficarazzo [2]	■					■								■			
Singh and Narendrula [31]								■		■			■	■			
Bremer et al. [32]	■					■	■							■			
AOG [33]	■	■				■								■		■	
Taji et al. [1]		■				■	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■
Taji et al. [34]						■	■	■		■			■	■	■	■	
Beyglou. A. H. [35]				■		■	■				■			■			
Catasus. P.s [36]						■							■	■			
Strelec. S. [37]						■	■							■			
[38].K.Kim						■							■	■			
Gaunt. et al. [39]		■				■						■		■			
Hakami. et al. [40]		■				■						■		■			
Hawke and Dominguze [41]		■	■									■		■			
Rosa. et al. [42]		■				■					■	■		■			
Marin. et al. [43]		■				■					■	■		■			
Silva. et al. [44]		■				■					■	■		■			
Singh and Van Doorselaere [45]						■							■				
Esen and Nagarajan [46]						■		■		■			■				

EC: هزینه انفجار، OC: هزینه‌های عملیاتی (هزینه حفاری، انفجار یا بارگیری)، EL.Cs: مصرف برق، En.Cs: مصرف انرژی، TC: هزینه‌های کلی معدنکاری، Sd: حفاری ویژه، Sc: خرج ویژه، DL: قابلیت کندن ماشین‌آلات بارگیری، Pe: پرسنل متخصص، LP: تولید تجهیزات بارگیری، Cr.P: تولید سنگ‌شکن و تاخیر در سنگ‌شکن، MT: بهره‌وری آسیا، Mu: شرایط کپه سنگ خردشده، DF: درجه خردشدگی و توزیع اندازه مورد نیاز سنگ خردشده، E.Co: درجه خردشدگی و توزیع اندازه مورد نیاز سنگ خردشده، SB: انفجار ثانویه، Di: محدودیت ترقیق.



شکل ۲: الگوریتم ارزیابی خردشدگی ناشی از عملیات انفجار و ارتباط آن با عملکرد تولید در معدن مس سرچشمه

۲- الگوریتم کار

ابتدا پایگاه داده‌ای شامل داده‌های بخش عملیات استخراج و سنگ‌شکنی اولیه مربوط به ۲۰ بلوک انفجاری معدن مس سرچشمه همانند شکل ۲ تهیه شد.

۲-۱- واحدهای عملیات استخراج معدن روباز

الف- پایگاه داده‌های واحد حفاری شامل طول، زاویه و قطر هر چال، تعداد چال و نوع دستگاه حفاری در هر بلوک انفجاری

ب- پایگاه داده‌های واحد انفجار شامل بار سنگ، فاصله ردیفی چال‌ها، ارتفاع پله، حفاری ویژه، خرج ویژه، D_{80} و D_{50} در هر بلوک انفجاری می‌شود.

ج- پایگاه داده‌های واحد بارگیری شامل یک سیکل بارگیری، سیکل پر کردن یک کامیون، کارکرد، خرابی، آمادگی و جابه‌جایی دستگاه بارگیری، نوع و سوخت دستگاه بارگیری و بارگیری ویژه. تشریح پارامترهای پایگاه داده در جدول ۲

آورده شده است.

۳- مطالعه موردی: معدن مس سرچشمه

معدن مس سرچشمه یکی از مهم‌ترین معادن مس-مولیبدن پورفیری جهان است. این معدن در ۱۶۰ کیلومتری جنوب غرب کرمان و ۵۰ کیلومتری جنوب غرب رفسنجان و در ارتفاع ۲۶۰۰ متری از سطح دریا واقع شده است، ذخیره این معدن با عیار حد ۰٫۲۵ درصد و عیار متوسط ۰٫۶۰ درصد ۱۷۶۳۰۰۰۰۰ تن است. در طرح توسعه معدن، استخراج سالیانه ۲۵ میلیون تن ماده معدنی و ۳۵ میلیون تن باطله تعیین شده است. ارتفاع پله‌های معدن مس سرچشمه ۱۲٫۵ متر و عرض پله‌ها ۸٫۷۵ متر است همچنین بطور دوره‌ای و تناوبی به ازای هر ۴ پله، یک پله عریض با عرض ۲۳٫۷۵ متر جایگذاری می‌شود. شیب نهایی دیواره معدن در حال حاضر برابر ۳۴ تا ۳۶ درجه است. همچنین عرض جاده‌های معدن ۳۰ متر و شیب آن‌ها ۸ درصد در نظر گرفته شده است [۴۷].

جدول ۲: تشریح پارامترهای برداشت شده برای ایجاد پایگاه داده

پارامتر	نماد	واحد
قطر	D	inch
ارتفاع پله	h_b	m
طول چال	H	m
بار سنگ	B	m
فاصله ردیفی چال‌ها	S	m
نسبت طول به عرض بلوک	R_{LW}	-
حجم بلوک انفجاری	V_b	m^3
تناژ بلوک انفجاری	T_b	ton
حفراری ویژه	S_d	m/m^3
خرج ویژه	S_c	kg/m^3
پنجاه درصد ابعادی ورودی	D_{50}	cm
هشتاد درصد ابعادی ورودی	D_{80}	cm
یک سیکل بارگیری جام	C_1	S
سیکل پر کردن کامیون	C_f	s/ton
کارکرد دستگاه	O_1	min/m^3
خرابی دستگاه	F_1	min/m^3
آمادگی دستگاه	R_1	min/m^3
جابجایی دستگاه	M_1	min/m^3
تناژ بارگیری در هر ساعت	T_1	Ton/hr
بارگیری ویژه	S_1	hr/m^3

امولایت‌های فشنگی بسته به قطر چال با قطرهای مختلف به عنوان پرایمر^۳ و در موارد مورد نیاز از امولایت فشنگی به عنوان بوستر^۴ استفاده می‌شود. در الگوی‌های انفجاری خشک از آنفو و یا ترکیبی از آنفو با امولان و در الگوی‌های تر فقط از امولان به عنوان خرج اصلی استفاده می‌شود. حداقل تاخیر بین ردیفی مورد استفاده ۲۵ میلی‌ثانیه و حداکثر آن بسته به شرایط متفاوت است. تاخیرهای بین چالی نیز حداقل ۲۵ میلی‌ثانیه و برای چاشنی‌های داخل چال ۲۰۰، ۴۷۵ و ۵۰۰ میلی‌ثانیه است. بزرگترین و کوچکترین حجم بلوک‌های انفجاری برداشت شده به ترتیب ۱۰۵۵۲۵/۲۹ و ۵۶۷۰/۰۴ متر مکعب است. همچنین حجم متوسط بلوک‌های انفجاری برابر با ۳۴۰۹۶/۳۸ مترمکعب بوده است [۴۷].

ج- در حال حاضر در معدن مس سرچشمه، تعداد ۲ عدد شاول ۱۵ متر مکعبی، ۴ عدد شاول ۱۲ مترمکعبی، ۶ عدد شاول ۷/۵ متر مکعبی، سایر بیل‌های کوچک، ۶ عدد کامیون ۲۲۰ تنی، ۴۰ عدد کامیون ۱۳۶ تنی، ۴۰ عدد کامیون ۱۰۰ تنی و تعدادی کامیون‌های ۶۰ تنی و ۳۵ تنی مشغول به کار هستند [۴۷].

۳-۲- اندازه‌گیری خردشدگی عملیات انفجار معدن مس سرچشمه

نرم‌افزارهای متنوعی با الگوریتم و ویژگی‌های متفاوتی همچون Goldsize، Split Desktop، Wipfrag و Fragscan برای تحلیل خردشدگی حاصل از انفجار تولید شده‌اند. نرم‌افزار Split-Desktop ابزاری برای آنالیز تصاویر دیجیتالی به منظور اندازه‌گیری توزیع ابعادی مواد خرد شده حاصل از انفجار است. نسخه نخست این نرم‌افزار با تلاش ده ساله یک تیم تحقیقاتی از بخش مهندسی معدن و علوم زمین دانشگاه آریزونا آمریکا تهیه شد. برای آنالیز هر تصویر با این نرم‌افزار باید پنج گام: ۱- مقیاس‌گذاری تصویر، ۲- مرزبندی اتوماتیک یا دستی قطعات سنگ در تصویر، ۳- تخمین میزان نرمه موجود در تصویر، ۴- برآورد نتیجه کار و ۵- خروجی نتیجه آنالیز تصویر به صورت اکسل و منحنی انجام گیرد [۴۸]. در این تحقیق، از نرم‌افزار Split Desktop برای اندازه‌گیری خردایش در معدن مس سرچشمه استفاده شده است. شکل ۳ فرآیند تجزیه و تحلیل Split Desktop را نشان می‌دهد. پایگاه داده‌ای عملیات تولیدی معدن مس سرچشمه در جدول‌های ۳ و ۴ آورده شده است.

۳-۱- پایگاه داده‌های عملیات تولیدی معدن مس سرچشمه

برای ارزیابی خردشدگی سنگ ناشی از عملیات انفجار بر عملکرد تولید معدن مس سرچشمه پایگاه داده‌های واحد حفاری، واحد انفجار و واحد بارگیری به شکل زیر ایجاد شد.

الف- در معدن مس سرچشمه حفاری چال‌های انفجاری با قطرهای ۶، ۹، ۹/۵ و ۱۰ اینچ انجام می‌شود. شبکه حفاری مورد استفاده در معدن بسته به جنس سنگ (ماده معدنی یا باطله) بیشتر از شبکه‌های حفاری ۵×۶، ۵/۵×۶/۵، ۶×۷، ۷×۸، ۷×۹، ۷×۹/۵، ۷/۵×۹، ۷×۹/۵ و ۷/۵×۱۰ متر طراحی می‌شود. اضافه اغلب ۲/۵ متر و طول چال‌های تولیدی ۱۵-۱۴/۵ متر است [۴۷].

ب- در معدن مس سرچشمه از سیستم آغازش نائل^۱ و فتیله انفجاری (کرتکس^۲) برای آغازش انفجارهای تولیدی و همچنین از بوسترهای پنولیت، بوسترهای مخصوص نائل و

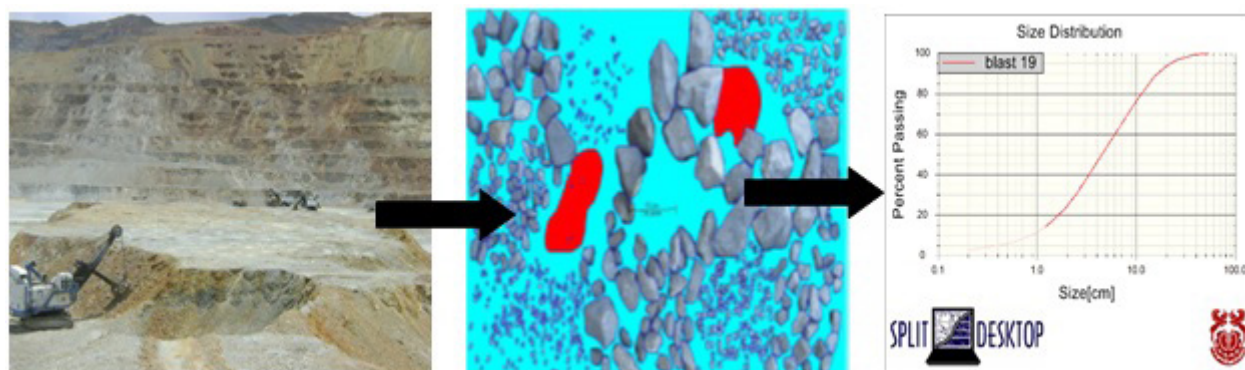
جدول ۳: پایگاه داده برداشت شده مربوط به واحد حفاری و انفجار

انفجار	نوع ماده منفجره	قطر چال (اینچ)	بارسنگ (متر)	فاصله‌داری (متر)	نسبت طول به عرض بلوک انفجاری	حفاری ویژه (متر بر مترمکعب)	خرج ویژه (کیلوگرم بر مترمکعب)	D_{50} (cm)	D_{80} (cm)
۱	*امولان	۶	۵	۶	۵/۲۸	۰/۰۵۴	۰/۳۵۲	۱۲/۶۹	۲۰/۶۴
۲	امولان	۹/۵	۷	۹/۵	۱۳/۶۲	۰/۰۱۸	۰/۳۲۲	۴/۶۸	۸/۵۹
۳	آنفو	۶	۶	۷	۲/۶۵	۰/۰۲۹	۰/۲۹۳	۳/۶۲	۷/۳۱
۴	امولان	۶	۷	۹/۵	۳/۷۴	۰/۰۴	۰/۳۰۸	۸/۱	۱۳/۶
۵	امولان	۶	۵	۶	۳/۳۶	۰/۰۴۱	۰/۴۵۷	۷/۵۲	۱۲/۴۲
۶	امولان	۶	۵	۶	۰/۹۶	۰/۰۴	۰/۳۹۹	۲/۲	۴/۵۶
۷	امولان و آنفو	۶	۵	۶	۲/۳۴	۰/۰۳۷	۰/۲۵۶	۲/۶	۶/۲
۸	آنفو	۶	۵	۶	۲/۹۶	۰/۰۴	۰/۲۵۶	۳/۰۲	۶/۶۹
۹	امولان	۱۰	۷	۹	۳/۲۵	۰/۰۱۹	۰/۳۱۷	۶/۳۴	۱۰/۷۷
۱۰	آنفو	۶	۵	۶	۵/۲۸	۰/۰۴	۰/۴۲۴	۴/۵۲	۱۱/۲۱
۱۱	امولان	۱۰	۷	۹	۶/۳۹	۰/۰۱۹	۰/۳۶۹	۶/۵۵	۱۱/۸۵
۱۲	امولان	۹/۵	۷	۹	۴/۷۲	۰/۰۱۹	۰/۳۴۳	۶/۷۲	۱۴/۱۳
۱۳	امولان و آنفو	۹	۷	۹	۱/۳۹	۰/۰۱۹	۰/۳۳۴	۳/۸۲	۶/۲۸
۱۴	امولان	۱۰	۷	۹	۶/۰۷	۰/۰۱۹	۰/۳۹۸	۵/۶۸	۹/۶۲
۱۵	امولان	۹/۵	۷	۹	۳	۰/۰۱۹	۰/۴۶۹	۹/۳۹	۲۳/۳۲
۱۶	آنفو	۶	۵	۶	۱/۲۰	۰/۰۲۴	۰/۳۸۱	۱۰/۴۶	۲۵/۷۳
۱۷	آنفو	۹/۵	۷	۹	۴/۸۹	۰/۰۴	۰/۴۵۷	۵/۵۱	۹/۰۸
۱۸	امولان	۹/۵	۷	۹	۷/۰۴	۰/۰۱۹	۰/۴۳۶	۱۰/۳۹	۲۴/۴۹
۱۹	امولان	۹/۵	۷	۹	۷/۱۴	۰/۰۱۹	۰/۴۵۳	۹/۱۱	۲۴/۵۸
۲۰	امولان	۹/۵	۷	۹	۲/۰۷	۰/۰۱۹	۰/۳۲۹	۶/۷۲	۱۴/۱۳

* ترکیب ۸۰ درصد آنفو و ۲۰ درصد امولایت فله‌ای

جدول ۴: پایگاه داده برداشت شده مربوط به واحد بارگیری

انفجار	یک سیکل بارگیری جام دستگاه (ثانیه)	کارکرد دستگاه (دقیقه بر مترمکعب)	خرابی (دقیقه بر مترمکعب)	آمادگی دستگاه (دقیقه بر مترمکعب)	جابجایی (دقیقه بر مترمکعب)	بارگیری ویژه (ساعت بر مترمکعب)
۱	۳۳/۰۶	۰/۰۰۵	۰/۳۵۳	۰/۱۸۰	۰/۰۰۹	۰/۰۰۸
۲	۴۸/۲۳	۰/۰۰۵	۰/۰۳۸	۰/۰۵۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵
۳	۱۸/۴۰	۰/۰۰۵	۰/۰۶۱	۰/۰۹۷	۰/۰۱۵	۰/۰۰۶
۴	۳۰/۹۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۴۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳
۵	۳۲/۱۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۹	۰/۰۳۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱
۶	۲۰/۸۶	۰/۰۰۴	۰/۰۲۴	۰/۰۷۱	۰/۰۱۳	۰/۰۰۵
۷	۳۲/۹۲	۰/۰۰۲	۰/۰۱۲	۰/۰۵۹	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲
۸	۱۴/۳۸	۰/۰۰۵	۰/۰۷۹	۰/۲۰۴	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹
۹	۳۹/۵۰	۰/۰۰۲	۰/۰۱۱	۰/۰۳۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲
۱۰	۳۵/۲۸	۰/۰۰۲	۰/۰۴۱	۰/۰۵۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳
۱۱	۳۳/۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۱۴	۰/۰۵۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳
۱۲	۴۸/۲۳	۰/۰۰۵	۰/۳۲۴	۰/۱۷۷	۰/۰۱۱	۰/۰۰۷
۱۳	۳۵/۲۹	۰/۰۰۲	۰/۰۲۱	۰/۰۶۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳
۱۴	۳۹/۱۹	۰/۰۰۴	۰/۰۳۱	۰/۰۵۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵
۱۵	۴۵/۶۷	۰/۰۰۶	۰/۲۱۲	۰/۱۱۴	۰/۰۲۰	۰/۰۰۸
۱۶	۳۰/۳۰	۰/۰۰۷	۰/۰۴۴	۰/۲۱۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶
۱۷	۳۳/۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۱۵	۰/۰۵۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲
۱۸	۵۱/۱۵	۰/۰۰۴	۰/۰۱۴	۰/۰۹۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵
۱۹	۴۳/۸۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰	۰/۰۸۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵
۲۰	۳۷/۱۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۲۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲



شکل ۳: فرآیند تجزیه و تحلیل تصویر در Split-Desktop

۴-۱- ارتباط یک سیکل بارگیری با پارامترهای انفجار و خردشدگی عملیات انفجار

به منظور تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی و غیرخطی چندگانه لگاریتمی، توانی و نمایی استفاده شد. قطر چال، نسبت طول به عرض بلوک انفجاری و D_{80} به عنوان متغیرهای مستقل و C_1 متغیر وابسته در نظر گرفته شد. نتایج این تحلیل و آنالیز واریانس با روش‌های فوق در جدول ۵ نشان داده شده است (مدل‌های پیش‌بینی ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵). در مدل‌های پیشنهادی ضریب همبستگی مقدار بالایی دارد که بیانگر ارتباط معنادار متغیرهای مستقل با یک سیکل بارگیری جام دستگاه بارگیری (C_1) است. همچنین بر اساس آزمون F مدل‌های به دست آمده قابل قبول است. به طوری که متغیر یک سیکل بارگیری جام دستگاه بارگیری (C_1) بیشتر متاثر از خردشدگی ناشی از عملیات انفجار و ابعاد بلوک انفجاری بوده است. بهترین و بدترین یک سیکل بارگیری جام دستگاه بارگیری (C_1) دستگاه‌های معدن مس سرچشمه به ترتیب برابر با ۱۴/۳۸ و ۵۱/۱۵ ثانیه بوده است که در آن D_{50} به ترتیب ۳/۰۲ و ۱۰/۳۹ سانتی‌متر و D_{80} ، ۶/۶۹ و ۲۴/۴۹ سانتی‌متر شده است.

نسبت طول به عرض بلوک انفجاری (R_{LW}) یکی از پارامترهای مهم است که ارتباط تنگاتنگی با واحدهای مختلف معدنکاری دارد که در بهینه‌سازی عملیات انفجار و بهبود سیکل دستگاه بارکننده باید در اولویت قرار گیرد با توجه به مدل‌های پیشنهادی بالا قطر چال نیز از پارامترهای موثر بر هر سیکل بارگیری جام دستگاه بارکننده است که به منظور کاهش هزینه و زمان بارگیری به ازای هر تن سنگ خردشده

۴-۲ ارزیابی کارایی ماشین‌آلات بارگیری معدن مس سرچشمه

به منظور تحلیل آماری از نرم‌افزار SPSS^۵ که یک برنامه آماری است، استفاده شد. این نرم‌افزار یکی از برنامه‌های کاربردی در زمینه تجزیه و تحلیل‌های آماری است. با بررسی متغیر وابسته و مستقل می‌توان رابطه بین هر یک از آنها را با هم به دست آورد و از روند تغییرات آنها نسبت به هم مطلع شد. این موضوع کمک می‌کند تا دقت، صحت و روند کلی تغییرات با تئوری‌های مطرح در پیش‌بینی و بررسی خردایش ناشی از عملیات انفجار بر روی کارایی ماشین‌آلات مورد مقایسه قرار گیرد. ارایه مدل‌های رگرسیونی به کمک برازش‌های خطی چندپارامتری بر روی داده‌های ارایه شده در جدول‌های ۳ و ۴ انجام گرفت. در اینجا هدف از روش برازش خطی چند پارامتری، تعیین اولویت پارامترهای موثر بر کارایی دستگاه بارگیری است. پارامترهای شامل سیکل بارگیری جام دستگاه بارگیری و بارگیری ویژه عنوان پارامترهای وابسته در نظر گرفته شده و مابقی پارامترهای اشاره شده در پایگاه داده‌ای، به عنوان پارامترهای مستقل در نظر گرفته شدند. برای مقایسه دقت پیش‌بینی رگرسیون غیرخطی از آزمون F استفاده شده است. در آزمون Sig ، اگر مقدار Sig به دست آمده در سطح اعتماد ۹۵ درصد از ۵ درصد کمتر باشد، نشانه این است که دقت تخمین برای رابطه به دست آمده قابل قبول است [۴۹]. مدل‌های مختلف خطی، امتحان شده‌اند و مدل با بیشترین ضریب تعیین و ساده‌ترین حالت به عنوان بهترین رابطه انتخاب شده است.

جدول ۵: رابطه رگرسیون و نتایج آنالیز واریانس یک سیکل بارگیری با پارامترهای طراحی انفجار و خردشدگی عملیات انفجار

Predict model						
1	$C_1 = 1.843 + 2.750D + 1.112R_{LW} + 0.543D_{80}$					
2	$C_1 = -30.092 + 50.498\log D + 8.936\log R_{LW} + 14.\log D_{80}$					
3	$C_1 = -25.107 + 51.265\log D + 8.425\log R_{LW} + 13.705\log D_{50}$					
4	$C_1 = 16.462 + 0.291D^2 + 0.296R_{LW}^2 - 4.445 \times 10^{-9}V_b^2$					
5	$C_1 = 2.756 + e^{1.363 \times 10^{-5}R_{LW}} + 3.053D + 0.613D_{80}$					
Model No.	Analysis of variance (ANOVA)					
	R	R ²	Adj. R ²	Std. error	F change	Sig F change
1	0.853	0.727	0.676	5.549	14.235	0.000
2	0.845	0.715	0.661	5.676	13.365	0.000
3	0.831	0.690	0.632	5.917	11.876	0.000
4	0.893	0.797	0.759	4.791	20.917	0.000
5	0.836	0.699	0.642	5.832	12.382	0.000

$C_1(S)$, D (inch), R_{LW} , D_{50} (cm), D_{80} (cm), V_b (m³)

بر روی کارایی ماشین‌آلات بارگیری بخش استخراج معدن مس سرچشمه بررسی شد. به این منظور پارامتر نسبت طول به عرض بلوک انفجاری (R_{LW}) و پارامترهای کارکرد (O_1)، خرابی (F_1)، آمادگی (R_1) و جابه‌جایی دستگاه‌های بارگیری (M_1) معرفی، اندازه‌گیری و مورد استفاده قرار گرفت. پارامتر نسبت طول به عرض بلوک انفجاری (R_{LW}) در اکثر مدل‌های پیشنهادی وجود دارد. این پارامتر تاثیر بسزایی در کارایی ماشین‌آلات بخش بارگیری معدن داشته است. مدل‌های برای کارایی ماشین‌آلات بارگیری بخش استخراج معدن مس سرچشمه پیشنهاد شد. ضریب همبستگی بسیار بالای یک سیکل بارگیری جام دستگاه بارگیری (C_1) برابر با ۰٫۷۲۷ به دست آمد. ضریب همبستگی ۰٫۸ برای بارگیری ویژه (S_1) در کل بلوک‌های انفجاری نشان دهنده، تاثیرپذیری بسیار بالا برای بارگیری ویژه (S_1) از خردشدگی ناشی از عملیات انفجار است که اگر خردشدگی ناشی از عملیات انفجار متناسب با دستگاه بارگیری باشد، بارگیری بلوک انفجاری مورد نظر به آسانی انجام خواهد گرفت که نتیجه آن آمادگی بیشتر (خرابی کمتر دستگاه بارگیری) و جابه‌جایی کمتر دستگاه بارگیری است.

۶- سپاس‌گزاری

نویسندگان مقاله از شرکت ملی صنایع مس ایران قدردانی به عمل می‌آورند.

باید متناسب با دستگاه بارگیری باشد. در شکل ۴، ارتباط بین C_1 اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای هر یک از مدل‌ها نشان داده شده است. همچنین تابع توزیع داده‌ها نرمال است.

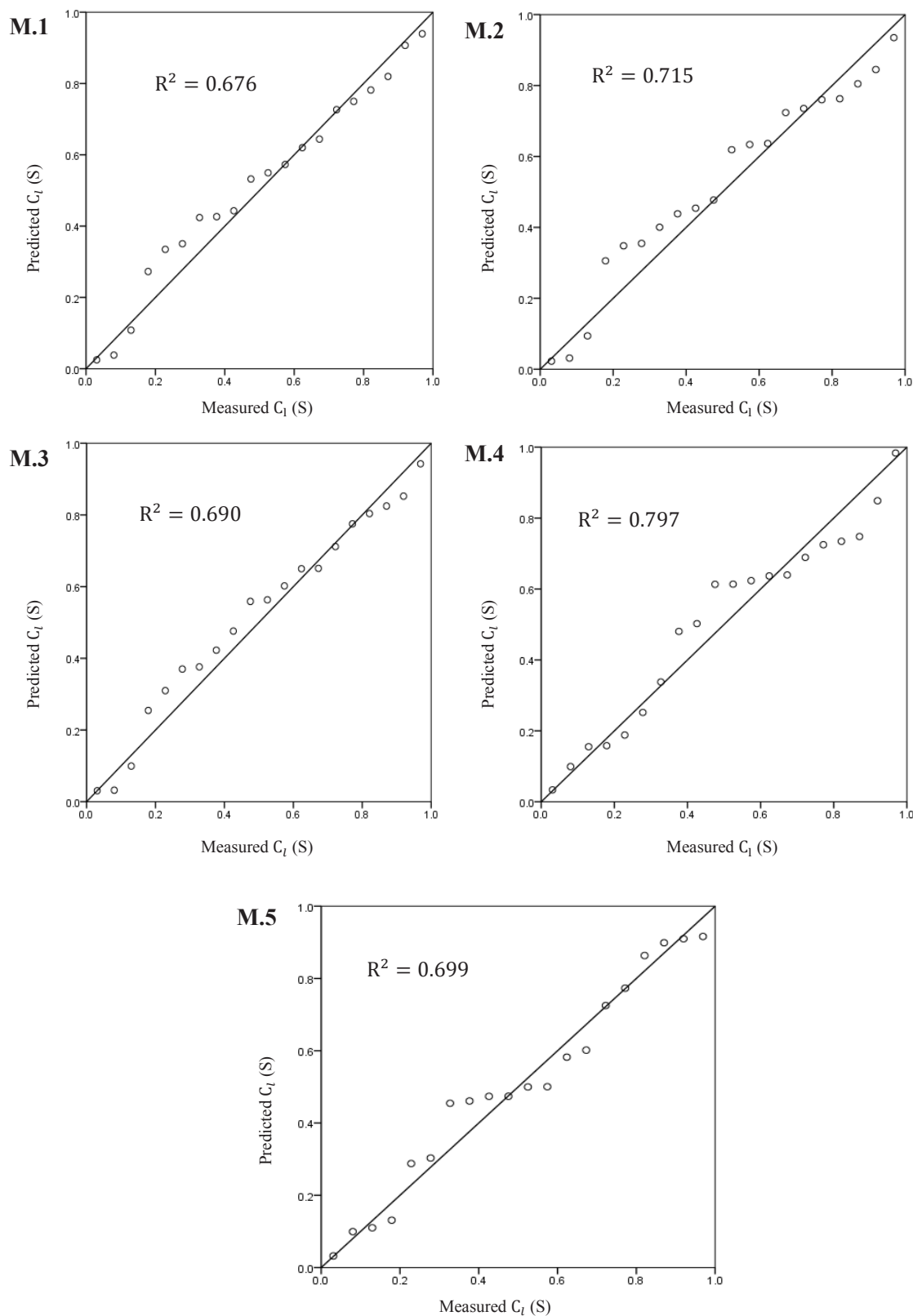
۴-۲- ارتباط بارگیری ویژه با کارایی دستگاه بارگیری

به منظور پیش‌بینی ارتباط بارگیری ویژه (S_1) به عنوان متغیر وابسته و متغیرهای مستقل شامل آمادگی و جابه‌جایی دستگاه بارگیری با روش رگرسیون لگاریتمی انجام گرفت. بر این اساس ضریب همبستگی ۰٫۸ برای بارگیری ویژه (S_1) در کل بلوک‌های انفجاری به دست آمد. ضرایب تعیین و همبستگی در جدول ۶ آورده شده است.

در رابطه با ارتباط بارگیری با خردشدگی ناشی از عملیات انفجار می‌توان گفت اگر خردشدگی ناشی از عملیات انفجار متناسب با دستگاه بارگیری باشد، بارگیری بلوک انفجاری مورد نظر به آسانی انجام می‌شود که در نتیجه آمادگی بیشتر (خرابی کمتر دستگاه بارگیری) و جابه‌جایی کمتر دستگاه بارگیری را به دنبال خواهد داشت که منجر به تولید افزایش راندمان دستگاه بارگیری در بلوک انفجاری مورد نظر و کاهش هزینه‌های تولید خواهد بود.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تاثیر خردشدگی ناشی از عملیات انفجار



شکل ۴: مقایسه بین C_1 اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده برای مدل‌های ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹

جدول ۶: رابطه رگرسیون و نتایج آنالیز واریانس بارگیری ویژه

Predict model						
6	$S_1 = 0.017 + 0.005\log R_1 + 0.003\log M_1$					
Model No.	Analysis of variance (ANOVA)					
	R	R ²	Adj. R ²	Std. error	F change	Sig F change
6	0.895	0.8	0.777	0.001	34.04	0.000

۷- مراجع

- [1] تاجی، م؛ ۱۳۸۸؛ "توسعه مدل ارزیابی جهت بهینه‌سازی عملیات انفجار معدن روباز"، رساله‌ی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران.
- [2] Morin, M., and AFicarazzo, F. (200). "Monte Carlo simulation as a tool to predict blasting fragmentation based on the Kuz – Ram model". Computers & Geosciences, 32: 352–359.
- [3] Mackenzie, A. S. (1967). "Optimum Blasting. Twenty-Eighth Annual Mining Symposium". University of Minnesota, Minneapolis, 181–188.
- [4] da Gama, C. D. (1990). "Reduction of costs and environmental impacts in quarry rock blasting". Proceedings of 3rd International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, Brisbane, 26–31 Aug, 5–8, Publ Parkville: AusIMM, May 1992, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts, 29(3): A176.
- [5] da Gama, C.D., and Lopez Jimeno, C. (1993). "Rock fragmentation control for blasting cost minimization and environmental impact abatement". Proceedings Of FRAGBLAST 4, Fragmentation by blasting, 273-280.
- [6] Nielsen, K., and Malvik, T. (1999). "Grindability enhancement by blast-induced microcracks". Powder Technology, 105: 52–56.
- [7] Nielsen, K. (1987). "Model studies of loading capacity as a function of fragmentation from blasting". Proceedings of 3rd Mini- Symposium on Explosives and Blasting Research, 71 – 80.
- [8] Nielsen, K. and Lownds, C. M. (1997). "Enhancement of taconite crushing and grinding through primary blasting". International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 34: 226.e1-226.e14.
- [9] Taqieddin, S. A. (1989) "Evaluation of the efficiency of a blasting operation designed for a dragline strip mining process". Mining Science and Technology, 8: 59–64.
- [10] Stagg, M. S., Otterness, R. E., and Siskind, D. E. (1992). "Effects of blasting practices on fragmentation". Proc 33rd US Symposium on Rock Mechanics, Santa Fe, 313–322.
- [11] Stagg, M., Rholl, S., Otterness, R., and Smith, N. (1990). "Influence of shot design parameters on fragmentation". Proceedings FRAGBLAST _90, Conference, Brisbane, 311–317.
- [12] Eloranta, J. W. (1993). "Practical Blast Evaluation at The Minntac Mine proceedings of the nineteenth conference of Explosives and Blasting Technique". San Diego, California, International Society of Explosives Engineers, Cleveland, Ohio, 101-107.
- [13] Eloranta, J. W. (1994). "Stemming Selection for Large-Diameter Blast Holes". Proceedings of the twentieth conference of Explosives and Blasting Technique, Austin, Texas, International Society of Explosives Engineers, Cleveland, Ohio, 255-272.
- [14] <http://www.Mrel.com/>. (2008). "drill to mill for mines". Pdf, April, 23.
- [15] Eloranta, J. W. (1997). "The Efficiency of Blasting versus Crushing and Grinding". Proceedings of the Twenty Third Annual Conference on Explosives and Blasting Technique, Las Vegas, Nevada, February, International Society of Explosive Engineers, 157-163.
- [16] Lopez, C. J., Lopez, E. J., and Carcedo, F. J. A. (1995). "Drilling and blasting of rocks". A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 391.
- [17] Fuerstenau, M. C., Chi, G., and Bradt, R. C. (1995). "Optimization of Energy Utilization and Production Costs in Mining and Ore Preparation". XIX International Mineral Processing Congress, San Francisco, California. Oct, 161-164.
- [18] Cunningham, C. V. B. (2005). "The Kuz-Ram fragmentation model – 20 years on". Proceedings of 3rd EFEE World conference on explosives and blasting, September, Brighton, U.K, 201-210.

- [30] Kojovic, T. (2005). "Influence of aggregate stemming in blasting on the SAG mill performance". Minerals Engineering, 18: 1398-1404.
- [31] Singh, S. P., and Narendrula, R. (2006). "Factors affecting the productivity of loaders in surface mines". International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 20: 20-32.
- [32] Bremer, D., Ethier, R., and Lilly, D. (2007). "Factors Driving Continuous Blasting Improvement at the Lafarge Ravena Plant". International Society of Explosives Engineers – 33rd Annual Conference on Blasting Technique.
- [33] <http://www.AOG.com>. (2009). "drill to mill for mines". pdf/dix12 k71/ Sep, 28.
- [34] Taji, M., Ataei, M., Goshtasbi, K., and Osanloo, M. (2012). "A New Approach for Open Pit Mine Blasting Evaluation". Journal of Vibration and Control, 12: 1738-1752.
- [35] Beyglou Ali, H. (2012). "Improvement of blast-induced fragmentation and crusher efficiency by means of optimized drilling and blasting in Aitik". Master's thesis, Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering, Sweden.
- [36] Segarra, P. (2013). "Experimental analysis of fragmentation, vibration and rock movement in open pit blasting". PhD Thesis, OAI.
- [37] Strelec, S., Gazdek, M., and Mesec, J. (2014). "Blasting design for obtaining desired fragmentation". Portal znanstvenih jasopisa republic hrvatske, 79-96.
- [38] Kwangmin, K. (2014). "Blasting Design Using Fracture Toughness and Image Analysis of the Bench Face and Muckpile". Master's Thesis, Mining and Minerals Engineering.
- [39] Gaunt, J., Symonds, D., McNamara, G., Adiyansyah, B., L Kennelly, L., Sellers, E. J., and Kanchibotla, S. S. (2015). "Optimization of Drill and Blast for Mill Throughput improvement at Ban Houayxai mine: A case study". Proceedings Of FRAGBLAST 11, Fragmentation by blasting, 307-314.
- [40] Hakami, A., Mansouri, H., Ebrahimi, M. A. F., Dehghan, M. R., and Faramarzi, F. (2015). "Study of the Effect Blast Pattern Design on Autogenous and Semi-autogenous Mill Throughput at Gole-e-Gohar Iron Ore Mine: A case study". Proceedings Of FRAGBLAST 11, Fragmentation by blasting, 315-319.
- [41] Hawke, S. J., and Dominguez, L. A. (2015). "A Simple Technique for Using Haigh Energy: A case study". Proceedings Of FRAGBLAST 11, Fragmentation by blasting, 321-326.
- [19] Cunningham, C. V. B. (2004). "Electronic Detonators: Growing Success in Transforming Rock breaking". Proceedings of the thirtieth conference of Explosives and Blasting Technique, Orlando, Florida.
- [20] Adler, J., Du Mouza, J., and Arnould, M. (1996). "Evaluation of blast fragmentation efficiency and its prediction by multivariate analysis procedures". International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 33: 189-196.
- [21] Moody, L., Cunningham, C., and Lourens, H. (1996). "Measuring the effect of blasting fragmentation on hard rock quarrying operations". Proceedings of FRAGBLAST5, Fragmentation by Blasting, Montreal, Quebec, Canada, 353-359.
- [22] Eloranta, J. W. (2001). "Improve Milling through Better Powder Distribution". Proceedings of the twenty-seventh conference of Explosives and Blasting Technique, Orlando.
- [23] Eloranta, J. W. (2001). "Optimized Iron Ore Blast Designs for SAG/AG Mills". Proceedings of the International Conference on Autogenous and Semiautogenous Grinding Technology held, Vancouver, B. C., Canada, 1: 262-270.
- [24] Kanchibotla, S. S., Valery W., and Morrell, S. (1999). "Modelling fines in blast fragmentation and its impact on crushing and grinding". Proceedings Explo-99 Conf. Kalgoorlie.
- [25] Kanchibotla, S. S., Morell, S, Valery, W., and Loughlin, P. (1998). "Exploring the Effects of Blast Design on SAG Mill Throughput at KCGM". Mine to Mill Conference, At Brisbane, Australia, Brisbane, Qld, 153-158.
- [26] <http://www.calderworkman.com/>. (2008). "optimum+ Costs+ Blasting, A literature review". Workman-Davies, C.L., 2001. An Analysis of Blasting Profitability and Productivity, Hunter Valley, NSW, Oct., 28-31, 23 April, 41-45.
- [27] Grundstrom, C., Kanchibotla, S. S., Jankovic, A., and Thornton, D. (2001). "Blast Fragmentation for Maximising the Sag Mill Throughput at Porgera Gold Mine". Proceedings of the Twenty-Seventh Annual Conference on Explosives and Blasting Technique, Orlando, USA.
- [28] Hamdi, E, and du Mouza J. (2005). "A methodology for rock characterization and classification to improve blast results". International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 42:177-194.
- [29] Mosher, J. B. (2005). "Comminution circuits for gold ore processing Developments". Mineral Processing, 15: 253-277.

- Proceedings Of FRAGBLAST 11, Fragmentation by blasting, 409-416.
- [۴۷] مجتمع مس سرچشمه؛ ۱۳۹۳؛ "گزارش طرح توسعه معدن مس سرچشمه"، مهندسی معدن مس سرچشمه.
- [۴۸] جهانی، م؛ منصوری، ح؛ ابراهیمی فرسنگی، م؛ غیائی، م؛ پور زمانی، ا؛ ۱۳۹۲؛ "مقایسه نتایج حاصل از نرم افزار آنالیز تصویری **GoldSize** و **Split-Desktop** برای تعیین دانه بندی جبهه کار خرد شده"، اولین کنفرانس بین المللی مهندسی معدن، فرآوری مواد معدنی، متالورژی و محیط زیست، دانشگاه زنجان.
- [۴۹] میرزاده، م؛ ۱۳۸۸؛ "تجزیه و تحلیل آماری با نرم افزار SPSS"، ناشر تایماز، ۳۹۸ صفحه.
- [42] Rasa, D, La., Caron, K., Valery, W., Diaz, R., and Mamani, H. (2015). "Blast Fragmentaion Impacts on Downstream Processing at Goldfields Cerro Corona: A case study". Proceedings Of FRAGBLAST 11, Fragmentation by blasting, 333-341.
- [43] Marin, T, Melo, E., Seccatore, J., Cardu, M., Galvão, F., Rezende, A., Bettencourt, J., and De Tomi, G. (2015). "The Effect of Drilling and Blasting Performance on Fragmentation Quarry and Time for Loading, Secondary Breakge and Crushing: A case study". Proceedings Of FRAGBLAST 11, Fragmentation by blasting, 355-361.
- [44] Silva, A. C, Martins, P. A. A., Silva, E. M. S., Fonseca, A. L. S Ferrari, A. J. D., Cunha, E. B., Silva, V. M., Matthew, V. O., and Vilela, D. E. T. (2015). "Fragmentation Optimisation-Aadopting Mine-to-Mill for Reducing Costs and Increasing Productivity: A case study". Proceedings Of FRAGBLAST 11, Fragmentation by blasting, 363-368.
- [45] Singh, S. P., and Doorselaere, D. V. (2015). "The Relationship between Blasting Parameters and Muck Pile Configuration: A case study". Proceedings Of FRAGBLAST 11, Fragmentation by blasting, 369-374.
- [46] Esen, S., and Nagarajan, M. (2015). "Muck Pile Shaping for Draglines and Dozers at Surface: A case study".

^۱ Nonel

^۲ Cordtex

^۳ Primer

^۴ Booster

^۵ Statistics Package for Social Sciences (SPSS)