مدلسازی ریاضی جهت تعیین ابعاد بهینه کوپ استخراجی در معدن تراورتن آتشکوه

محمدرضا مفیدی[۱]، عباس آقاجانی بزازی[۲]، حمید عابدزاده[۳]

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته مهندسی استخراج معدن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات؛
mofidi.mohammadreza@yahoo.com
[۲]عضو هیأت علمی گروه مهندسی معدن، دانشگاه کاشان، a_aghajani_bazzazi@kashanu.ac.ir
[۳] عضو هیئت علمی گروه مهندسی معدن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کهنوج؛ siiinaabed41@gmail.com

چکیده

کوپ‌دهی از جمله پارامترهای مهم در سوددهی حاصل از اجرای عملیات استخراج در معادن سنگ‌های ساختمانی است که به منظور بهره‌برداری بهینه از این معادن توجه به این پارامتر امری مهم و ضروری است. زاویه بهینه برش از جمله پارامترهای کلیدی است که دارای تأثیر مستقیمی بر بهبود امر کوپ‌دهی است. این پارامتر با نرخ برش در ارتباط است که در این راستا بررسی مشخصات سنگ و دستگاه برش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این تحقیق با هدف بهره‌برداری بهینه از معدن تراورتن آتشکوه واقع در شهرستان محلات که اجرای عملیات استخراج در آن توسط روش سیم‌برش الماسه انجام می‌شود، صورت گرفته است. در مرحله اول، یازده نمونه مختلف از سنگ‌های ساختمانی جمع‌آوری شد و پارامترهای فیزیکی و مکانیکی آن‌ها با بهره‌گیری از آزمایش‌های مهندسی سنگ (آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی سنگ) با رعایت استانداردهای انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ ثبت شدند. در مرحله بعد با استفاده از نرم افزار SPSS18 رابطه‌ای جهت محاسبه نرخ برش ارائه شد و سپس با استفاده از قانون دوم نیوتن، مقادیر نیروی بهینه برش افقی و عمودی مشخص شدند و به کمک آن‌ها زوایای بهینه برش نیز محاسبه شدند. استفاده از مدل پیشنهادی در این تحقیق می‌تواند سبب کسب سود بیشینه در معدنکاری شود.

واژه‌های کلیدی: کوپ‌دهی، سیستم سیم برش الماسه، زاویه بهینه برش، نرم‌افزار SPSS18، معدن تراورتن آتشکوه.

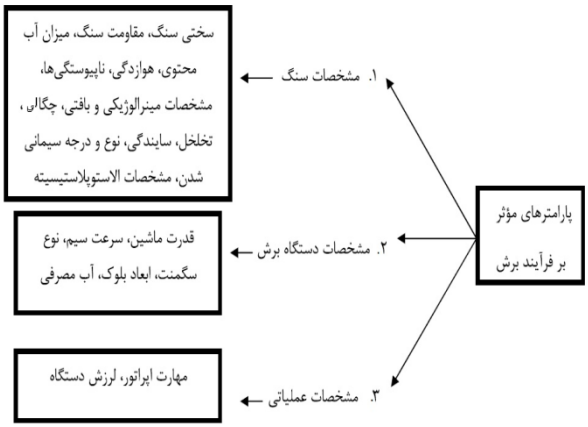
۱- مقدمه

هدف اصلی بهره‌برداری از معادن، کسب سود بیشینه است [۱]. این مهم زمانی حاصل می‌شود که دو مقوله طراحی و برنامه‌ریزی تولید با رویکرد بهینه‌سازی، مطالعه و بررسی شوند [۲]. سیستم سیم برش الماسه از سال ۱۹۷۸ میلادی تاکنون به منظور استخراج سنگ‌های ساختمانی مورد استفاده قرار گرفته است [۳]. این سیستم اولین بار در معدن مرمریت Carrara به کار گرفته شد [۴]. معدن تراورتن آتشکوه از جمله مهم‌ترین معادن سنگ ساختمانی ایران است که اجرای عملیات استخراج در آن توسط دستگاه سیم برش الماسه انجام می‌شود. از جمله مشکلات مشاهده شده در بهره‌برداری از این معدن، کاهش کیفیت سنگ استخراجی از لحاظ کوپ‌دهی و اتمام ذخیره است. بنابراین بررسی عوامل مؤثر در کوپ‌دهی می‌تواند کمک شایانی به بهره‌برداری بهینه از این معدن نماید. در این مقاله سعی شد با استفاده از مطالعات آماری و با بررسی عوامل مؤثر بر مقوله کوپ‌دهی، رابطه معناداری جهت محاسبه نرخ برش سنگ و محاسبه زاویه بهینه برش از روی آن در معدن تراورتن آتشکوه ارائه شود. برای این منظور نخست مقوله کوپ‌دهی و میزان تولید به همراه پارامترهای مؤثر بر آن‌ها بررسی شدند و در ادامه با جمع‌آوری ۱۱ نمونه مختلف از سنگ‌های ساختمانی و با استفاده از آزمایش‌های مهندسی سنگ (آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی سنگ) و رعایت استانداردهای انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ، خواص فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های جمع‌آوری شده به ثبت رسید. در مرحله بعد با استفاده از آزمون‌های آماری (آزمون صفر و یک)، اقدام به ارائه یک مدل ریاضی جهت محاسبه نرخ برش در معدن تراورتن آتشکوه شد و با استفاده از قانون دوم نیوتن، مقدار بهینه زوایای برش افقی و عمودی به‌منظور بهبود در امر کوپ‌دهی مشخص شد.

۲-مواد و روش‌ها

۲-۱-پارامترهای مؤثر بر امر برش سنگ

اجرای عملیات استخراج مبتنی بر فرآیند برش را می‌توان در ۳ بخش اصلی شامل الف) مشخصات فیزیکی، ب) مشخصات مکانیکی و ج) مشخصات ساختاری و محیطی تجزیه و تحلیل کرد.



شکل (۱): عوامل مؤثر بر فرآیند کوپ‌دهی [۵]

با توجه به پارامترهای بیان شده در شکل ۱ می‌توان به دید روشنی از قابلیت برش سنگ توسط دستگاه‌های سنگ‌بر رسید. در این تحقیق، ۵ پارامتر چگالی، تخلخل، سختی اشمیت، مقاومت فشاری تک محوری و مقاومت کششی غیرمستقیم علاوه بر کاربرد فراوان ، به‌عنوان عوامل فیزیکی و مکانیکی مؤثر در امر کوپ‌دهی و میزان تولید با فرض همگن بودن محیط ساختاری، پیشنهاد و استفاده شدند.

۲-۲-آزمایش‌های مهندسی سنگ

به‌منظور بررسی ارتباط میان مشخصات سنگ و نرخ برش، آزمایش‌های مهندسی سنگ (آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی سنگ) و روابط آماری انجام شدند. برای این منظور از ۱۱ نمونه از سنگ‌های ساختمانی در معادن تراورتن محلات، نمونه‌برداری شد و کلیه آزمایش‌های مهندسی سنگ با رعایت استانداردهای انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ، انجام شدند. به‌منظور بررسی و پیش‌بینی نرخ برش سنگ‌های تزئینی مورد مطالعه، نرخ برش حاصل از اجرای عملیات برش توسط دستگاه سیم برش الماسه مدل دنافنون با توان ۴۵ کیلووات بر اساس تولید در واحد زمان (متر مربع بر ساعت) برای هر نمونه سنگ در معادن تراورتن محلات، تعیین شد. نتایج مربوط به آزمایش‌های مهندسی و مطالعات میدانی سنگ‌های مورد مطالعه به ثبت رسیده است و در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول (۱): نتایج آزمایش‌های مهندسی و مطالعات میدانی سنگ‌های مورد مطالعه

نام نمونه	$CR\ (\frac{m^2}{h})$	$\rho\ (\frac{gr}{cm^3})$	n (%)	SHV	UCS (MPa)	BTS (MPa)
تراورتن آتشکوه	۱۰	۲/۷۹	۰/۱	۵۳/۶	۸۴/۶	۳
تراورتن باغ ملک	۶	۲/۸	۰/۶	۵۲/۶	۹۸/۹	۶/۶
تراورتن تخت جمشید	۱۰/۶	۲/۸	۰/۳	۵۳/۷	۹۵	۶/۵
تراورتن حاجی آباد-منطقه۳	۱۰	۲/۸	۰/۴۲	۵۲/۶	۶۳/۲۳	۲/۵
تراورتن عباس آباد	۶/۲	۲/۸۱	۰/۵۱	۵۷/۸	۶۷	۴/۷
تراورتن دره بخاری	۹/۷	۲/۸	۰/۲۶	۵۵/۶	۸۲/۵	۶
تراورتن دره انجیری	۹/۳	۲/۷۸	۰/۳	۵۴/۵	۸۷	۷
تراورتن آبنوره	۵/۵۱	۲/۸	۰/۳	۵۷/۱	۱۲۴	۸/۷
تراورتن گزعنبر	۳/۴۹	۲/۷۹	۰/۱	۵۸/۳	۱۳۹/۵	۱۲/۴
تراورتن چوبین و خورهه	۳/۶۶	۲/۸	۰/۱۶	۵۷/۲	۱۳۲/۶	۱۱/۶
تراورتن چاه دریا	۲/۱۹	۲/۸۲	۰/۱	۵۸/۶	۱۸۸/۵	۱۳

CR: نرخ برش، ρ: چگالی، n: درصد تخلخل، SHV: سختی اشمیت، UCS: مقاومت فشاری تک محوری، BTS: مقاومت کششی غیرمستقیم

۲-۳-مطالعات آماری

به‌منظور ارائه مدل ریاضی جهت محاسبه نرخ برش، مطالعات آماری بر روی نتایج آزمایش‌های مهندسی سنگ انجام شد. مطالعات آماری در دو بخش برازش تک متغیره و برازش چند متغیره انجام شد.

۲-۳-۱-برازش تک متغیره

در این بخش از تحقیق، ارتباط میان مشخصات سنگ و نرخ برش توسط آنالیز برازش تک متغیره انجام شد. در مجموع داده‌ها با توابع خطی، معکوس، لگاریتمی و نمایی بررسی و برازش شدند و با توجه به نتایج به‌دست آمده از جداول برازش تک متغییره، مشخص شد که پارامترهای فیزیکی بر روی نرخ برش تأثیر ندارند اما پارامترهای مکانیکی بر روی نرخ برش تأثیر دارند. در نهایت بهترین تابع با توجه به بیشترین ضریب تعیین برای هر یک از مشخصات سنگ به طور جداگانه انتخاب شد (جدول ۲).

جدول (۲): برازش تک متغیره میان مشخصات سنگ با نرخ برش

مدل / پارامتر	خطی	معکوس	لگاریتمی	نمایی
	ضریب تعیین	ضریب تعیین	ضریب تعیین	ضریب تعیین
چگالی	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۹
درصد تخلخل	۰/۱۰	۰/۱۶	۰/۱۹	۰/۲۵
مقاومت فشاری تک محوری	۰/۶۷	۰/۵۴	۰/۶۳	۰/۷۲
سایش لوس آنجلس	۰/۵۷	۰/۵۸	۰/۵۷	۰/۵۱
سختی اشمیت	۰/۸۴	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۷۵
مقاومت کششی	۰/۷۱	۰/۴۵	۰/۶۱	۰/۶۲

۲-۳-۲-برازش چند متغیره

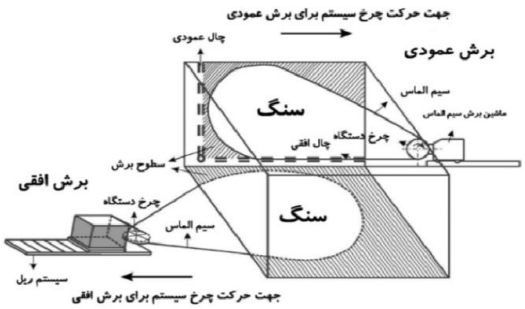
در این بخش از تحقیق به‌منظور بررسی ارتباط دقیق‌تر میان نرخ برش و مشخصات سنگ، برازش چند متغیره با کمک نرم افزار SPSS18 انجام شد. در این راستا از تحلیل رگرسیونی گام به گام استفاده شد که در ادامه بهترین رابطه با ضریب تعیین ۰/۹۰ به صورت زیر ارائه شد:

$$CR = 0.0992\,SH - 0.029\,UCS + 65.543 \quad (۱)$$

در رابطه (۱) CR: نرخ برش ($\frac{m^2}{h}$)، SHV: سختی اشمیت و UCS: مقاومت فشاری تک محوری (MPa) است.

۲-۴-تعیین زوایای بهینه برش

در اجرای عملیات برش سنگ توسط دستگاه سیم برش الماسه، این دستگاه بر روی ریل سوار می‌شود و می‌تواند به جلو یا عقب حرکت کند. کشش سیم در حین کار توسط حرکت دستگاه روی ریل، تنظیم می‌شود، بدین صورت که وقتی که سیم الماسه روی سنگ قرار گرفت و شروع به کار کرد، دستگاه به آرامی به سمت عقب حرکت می‌کند و در نتیجه باعث می‌شود که سیم با کشش بیشتری با سنگ تماس حاصل نماید و در اثر عمل سایش، برش سنگ انجام می‌شود. این دستگاه قادر به ایجاد برش سنگ به صورت عمودی و افقی است [۵].



شکل (۲): طریقه ایجاد برش عمودی افقی در سنگ توسط دستگاه سیم برش الماسه [۵]

۳-یافته‌ها

در راستای اجرای عملیات برش عمودی، اگر نیروی بهینه لازم جهت برش با نماد f_1 نشان داده شود و با توجه به این موضوع که ابعاد بهینه بلوک استخراجی در معدن آتشکوه به صورت (X=2.5m ,Y=2m ,Z=1.8m) است، بنابراین با توجه به روابط تجزیه نیروها، می‌توان نوشت:

$$10 = 0.0992(53.6) - 0.029\left(\frac{f_1}{A_1}\right) + 65.543 \quad (۲)$$

$$A_1 = 2(m)\times 1.8(m) = 3.6(m^2) \quad (۳)$$

با توجه به روابط ۲ و ۳ مقدار نیروی بهینه برش عمودی برابر با f_1=294.23 (N) است.

با توجه به قانون دوم نیوتن و در نظرگیری نیروی کشش سیم (T) برابر با ۱۱۰ Kgf و θ به‌عنوان زاویه بهینه برش عمودی، روابط زیر حاصل می‌شوند:

$$-f_1\cos\theta - T = m.a \quad (۴)$$

$$m = 2.5(m)\times 1.8(m)\times 2.79\left(\frac{t}{m^3}\right) = 25.11(t) = 25110(kg) \quad (۵)$$

با در نظرگیری زمان بهینه برش عمودی به میزان ۱ ساعت (۳۶۰۰ ثانیه)، روابط زیر حاصل می‌شوند:

$$V = \frac{X}{t} \Rightarrow V = \frac{1.8+2}{3600} = 0.001\left(\frac{m}{\sec}\right) \quad (۶)$$

$$a = \frac{v}{t} \Rightarrow a = \frac{0.001}{3600} = 0.0000003\left(\frac{m}{\sec^2}\right) \quad (۷)$$

با توجه به رابطه ۴ مقدار θ برابر با ۹۲ درجه است.

همچنین با اجرای این رویکرد مقدار مقدار نیروی بهینه برش افقی (α) برابر با ۹۰/۰۷ درجه است

۴.-نتایج و بحث

با جمع‌آوری یازده نمونه مختلف سنگ تزئینی و انجام آزمایشات مکانیک سنگ بر روی آن‌ها و با استفاده از نرم‌افزار SPSS 18 و تحلیل رگرسیونی، مشخص گردید که پارامترهای فیزیکی سنگ همچون چگالی و تخلخل تأثیر چندانی بر نرخ برش ندارند. لیکن پارامترهای مکانیکی سنگ همچون مقاومت فشاری تک محوری، مقاومت کششی برزیلی، چکش اشمیت و ساینده‌گی لوس آنجلس تأثیر به‌سزایی را در نرخ برش دارند که از میان آن‌ها میزان تأثیر مقاومت فشاری تک محوری و چکش اشمیت بر روی نرخ برش نسبت به سایر پارامترهای مکانیکی سنگ بیشتر است. با توجه به روابط فیزیکی بین نیروها می‌توان مقدار نیروی کششی سیم الماسه را به‌دست آورد که با رعایت آن از پاره شدن سیم الماسه و مخاطرات ایمنی جلوگیری می‌شود.

۵-نتیجه‌گیری

در این تحقیق سعی شد تا با انجام آزمایش‌های مهندسی سنگ و مطالعات آماری ارتباط میان نرخ برش و مشخصات سنگ بررسی شود تا به کمک محاسبه نرخ برش مقدار بهینه زوایا برش به‌عنوان یک پارامتر کلیدی در امر کوپ‌دهی مشخص شود.برای این منظور ۱۱ نمونه مختلف از سنگ‌های ساختمانی از معادن تراورتن محلات انتخاب شدند و نرخ برش آن‌ها توسط دستگاه سیم برش الماسه مدل دنافنون با توان ۴۵ کیلووات ثبت شد و سپس ۵ مشخصه سنگ شامل چگالی، تخلخل، مقاومت فشاری تک محوری، مقاومت کششی و سختی اشمیت تعیین شدند. بعد از تمامی این مراحل، مطالعات آماری بر روی نتایج انجام شد و مشخص شد که مشخصه‌های فیزیکی سنگ بر روی نرخ برش تأثیری ندارند اما پارامترهای مکانیکی سنگ بر روی آن تأثیرگذار هستند. سپس رابطه‌ای جهت محاسبه نرخ برش بیان شد و از روی آن و به کمک قانون دوم نیوتن، مقادیر بهینه زوایای برش عمودی و افقی به ترتیب برابر با ۹۲ درجه و ۹۰/۰۷ درجه به‌دست آمد. با رعایت مقدار زوایای بهینه برش می توان ابعاد بهینه کوپ استخراجی را محاسبه کرد.

مراجع

[1] Kutchka. *Extensions to an Efficient Optimization Model for Long-Term Production Planning at LKAB's kiruna Mine.* Colorado School of Mines. 2002.

[2] J Abdollahisharif;E Bakhtavar;A Alipour;M Mokhtarian. *Geological Modeling and Short-Term Production Planning Of Dimension Stone Quarries Based On Market Demand*. Journal Geological Society Of india,pp:420-428. 2012.

[3] Ghislain N. *The Use of Diamond Wire in marble quarries*. In: Peresentation at first seminar on diamensional stone and mining activity. 1989.

[4] Jain S.C;Rathore S.S;Jain H.K. *Investigation the Effect of Machine Parameters on Cutting Performance of Diamond Wire Saw Machine in Cutting of Marble bench*. International Journal of Engineering Research&Technology. 2013.

[5] Almasi Najmedin;Khademian Amir. *Influence of cutting wire tension on travertine cutting rate*. In: Peresentation at 24th International Mining Congress,Turkey,pp:1096-1102. 2015.