

بررسی ارتباط میان پارامترهای مقاومتی سنگ و شدت جریان مصرفی در فرایند برش سنگ‌های ساختمانی

گلسا صادق اسلام^{۱*}، رضا میکائیل^۱، محمد عطایی^۲ و صالح قادرنژاد^۱

۱- دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی ارومیه

۲- دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود

* sadegheslam.uut@gmail.com

چکیده

پیش‌بینی شدت جریان مصرفی در فرایند برش سنگ‌های ساختمانی، می‌تواند یکی از گام‌های مهم و اساسی برای دست‌یابی به شرایط بهینه از دیدگاه مصرف انرژی در صنعت برش سنگ باشد. لذا بررسی ارتباط میان مشخصات عملیاتی دستگاه و قطعه کار با میزان انرژی مصرفی ماشین‌امری لازم و ضروری می‌باشد. در مقاله حاضر سعی شده است تا با استفاده از مطالعات آماری مدل دقیقی برای پیش‌بینی شدت جریان مصرفی دستگاه‌های برش ارائه شود. بدین منظور در گام نخست، مطالعات آزمایشگاهی تحت شرایط مختلف عملیاتی در عمق‌های مختلف برش و نرخ-های مختلف پیشروی بر روی ۱۲ نمونه سنگ نرم و سخت با کمک یک دستگاه برش در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد. در ادامه مطالعات آزمایشگاهی نمونه‌های سنگی برای تعیین مشخصات مقاومتی به آزمایشگاه مکانیک سنگ انتقال داده شدند و پس از تعیین مقاومت فشاری تک محوری نمونه‌ها، مطالعات آماری در نرم افزار SPSS انجام پذیرفت. بدین ترتیب مدل‌های آماری جدیدی برای پیش‌بینی شدت جریان مصرفی دستگاه برش با توجه به مشخصات مقاومت فشاری تک محوری، عمق برش و نرخ پیشروی قطعه کار به عنوان متغیر مستقل ارائه شدند. مدل‌های آماری پیشنهاد شده در این تحقیق می‌تواند با قابلیت اطمینان بالا و خطای کم برای تخمین شدت جریان مصرفی در فرایند برش مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: شدت جریان مصرفی، مشخصات ماشین، مقاومت فشاری تک محوری، مطالعات آماری

۱- مقدمه

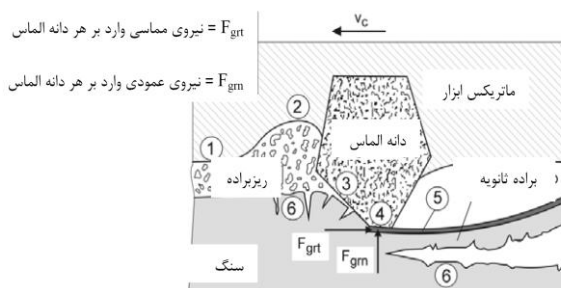
امروزه دیسک‌های برش دهنده سنگ در کارخانه‌های تولید سنگ‌های ساختمانی به‌طور قابل توجهی مورد استفاده قرار می‌گیرند. شناخت کامل سنگ‌های ساختمانی و ارزیابی توانایی اجرایی دستگاه‌های برش در کارخانه‌های فرآوری، طراحی و برنامه‌ریزی تولید را به سمت بهبود سرعت فرآوری و افزایش تولید سوق می‌دهد. نیاز به تولید بیشتر، کیفیت عالی و رقابت مؤثر در بازارهای جهانی مستلزم استفاده از تکنولوژی و ابزارهای پیشرفته در بخش استخراج و فرآوری سنگ می‌باشد. به‌کارگیری صحیح این وسایل از یک سو و شناخت و بررسی دقیق عملکرد آن‌ها از سوی دیگر می‌تواند به نحو چشم‌گیری در بالا بردن بازدهی و کیفیت سنگ‌های فرآوری شده کمک کند. تاکنون مطالعات نسبتاً خوبی در مقیاس‌های مختلف صنعتی و آزمایشگاهی در زمینه قابلیت برش سنگ‌ها صورت گرفته شده است (Burgess, ۱۹۷۸; Birle and Ratterman, ۱۹۸۶; Wright and Cassapi ۱۹۸۷; Jennings and Wright ۱۹۸۹; Clausen et al. ۱۹۹۶; Tonshoff et al. ۲۰۰۲; Eyuboglu et al. ۲۰۰۳; Wei et al ۲۰۰۳; Ersoy and Atici, ۲۰۰۴; Gunaydin et al ۲۰۰۴; Kahraman et al. ۲۰۰۴; Özçelik et al ۲۰۰۴; Delgado et al. ۲۰۰۵; Ersoy et al. ۲۰۰۵; Buyuksagis and Goktan, ۲۰۰۵; Kahraman et al. ۲۰۰۶; Fener et al. ۲۰۰۷; Tutmez et al. ۲۰۰۷; Özçelik ۲۰۰۷; Buyuksagis, ۲۰۰۷; Kahraman et al. ۲۰۰۷; Mikaeil et al. ۲۰۰۸; Atici and Ersoy, ۲۰۰۹; Ataei et al. ۲۰۱۱; Mikaeil et al. ۲۰۱۳). (۲۰۱۱a, b; c and d; Mikaeil et al. ۲۰۱۲; Mikaeil et al. ۲۰۱۳). در این میان برخی از محققین به بررسی پارامترهای سنگ و برخی هم به بررسی مشخصات طرح

برش و برخی دیگر نیز به بررسی پارامترهای عملیاتی در زمینه فرایند برش پرداختند. از میان تمامی عوامل موثر در فرایند برش سنگ، مشخصات فیزیکی و مکانیکی سنگ از مهمترین پارامترهایی بوده‌اند که در حدود بیش از نیمی از مطالعات مورد بررسی قرار گرفته شدند.

در این مقاله سعی می‌شود با استفاده از مطالعات آماری به بررسی ارتباط میان مشخصات مقاومتی سنگ و مشخصات عملیاتی دستگاه برش با میزان شدت جریان مصرفی دستگاه برش پرداخته شود. برای این منظور، نخست مکانیزم برش سنگ و پارامترهای موثر در قابلیت برش سنگ مورد بررسی قرار گرفت و در ادامه مطالعات آزمایشگاهی بر روی ۱۲ نمونه سنگ ساختمانی انجام شد. در ادامه مدل‌های آماری برای پیش بینی شدت جریان مصرفی دستگاه ارائه شدند. در نهایت، نتایج حاصل از این تحقیق با استفاده از آزمون‌های آماری (آزمون‌های t و F) مورد بررسی قرار گرفت.

۲- فرآیند برش سنگ

به طور کلی فرایند برش سنگ با استفاده از تجهیزات الماسی را می‌توان در طی دو مرحله به طور خلاصه به صورت زیر بیان کرد. مرحله نخست از فرایند برش سنگ را می‌توان در نتیجه حرکت سگمنت‌های الماسی بر روی سطح برش و به دنبال آن تشکیل تراشه سنگ در نتیجه نفوذ دانه‌های الماس در داخل سنگ دانست. در طی این فرایند، دانه الماس با خراشیدن و شکافتن سطح برش موجب تشکیل تراشه و ایجاد سطح جدید برای دانه الماس بعدی می‌شود. هنگامی که سنگ توسط ابزار الماسی تحت برش قرار می‌گیرد تعامل مکانیکی میان ابزار و سنگ، نیروهای فرایند را ایجاد می‌کنند که عمدتاً ناشی از فاکتورهایی نظیر تغییر شکل الاستیکی و پلاستیکی در سنگ، اصطکاک میان دانه الماس و ماتریس با سنگ و تراشه‌های حاصل از برش می‌باشد. این تغییرات نیرو به همراه پستی و بلندی‌های موجود در سطح قطعه کار، بی‌نظمی‌های ضخامت براده، شکسته شدن و لایه لایه شدن براده‌ها، اصطکاک بین سطوح و ... باعث تغییر در شرایط برش می‌شود. شکل ۱ نمای شماتیکی از یک دانه الماس در حال برش و تعامل نیروهای موجود میان دانه الماس و سطح خراشیده. شده از سنگ را نشان می‌دهد.



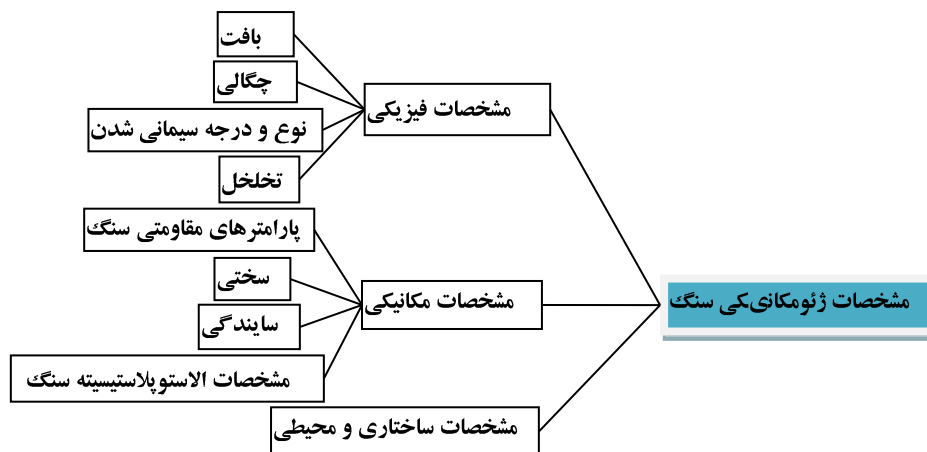
- ۱- ناحیه اصطکاک بین ریز براده‌ها و ماتریکس ابزار ۴- ناحیه اصطکاک بین سنگ و دانه الماس
- ۲- ناحیه سایش یافته توسط ریز براده‌ها و براده‌ها ۵- ناحیه تغییر شکل پلاستیک
- ۳- ناحیه تشکیل براده اولیه ۶- ناحیه تغییر شکل الاستیک

شکل ۱ - تعامل نیروهای موجود میان دانه الماسه و سطح خراشیده شده از سنگ (Ersoy et al. ۲۰۰۵)

۳- مشخصات مقاومتی سنگ

به طور کلی پارامترهای موثر در فرآیند برش سنگ را می‌توان در سه بخش اصلی شامل الف) مشخصات قطعه کار یا سنگ ب) مشخصات برش شامل پارامترهای عملیاتی و مشخصات طرح برش و ج) مشخصات مدیریتی از قبیل مهارت اپراتور و شرایط محیطی کار مورد تجزیه و

تحلیل قرار داد. از میان این پارامترها، پارامترهای عملیاتی و مشخصات طرح برش به عنوان پارامترهای قابل کنترل و یا پارامترهای وابسته و پارامترهای مربوط به مشخصات سنگ، به عنوان پارامترهای غیر قابل کنترل یا پارامترهای مستقل در فرآیند برش سنگ مطرح می‌باشند. هر کدام از این دسته پارامترها به نحو خاصی در کارآیی و توان تولید فرآیند برش تأثیرگذار می‌باشند که در این میان با فرض ثابت بودن شرایط برش (شرایط دستگاه و تجهیزات برش و مهارت اپراتور)، مشخصات سنگ از اهمیت بالایی در میزان عملکرد برش برخوردار می‌باشد. مشخصات سنگ یکی از پارامترهای مؤثر در فرآیند برش به خصوص در فرآیند تشکیل تراشه می‌باشد. سنگ به عنوان میزبان عملیات برش، از نقش حیاتی در فرآیند برش و تولید برخوردار است. مشخصات سنگ تعیین کننده شرایط، کیفیت و کمیت اندرکنش میان سنگ و ماشین بوده لذا مکانیزم تشکیل براده و پیشروی ابزار را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. با توجه به گستردگی مشخصات ژئومکانیکی سنگ به منظور سهولت در تجزیه و تحلیل و مطالعه این پارامترها، آن‌ها را می‌توان در سه گروه مشخصات فیزیکی، مکانیکی و مشخصات ساختاری تقسیم‌بندی کرد. شکل ۲ پارامترهای مؤثر در فرآیند برش سنگ را نشان می‌دهد.



شکل ۲- پارامترهای مؤثر در فرآیند برش

مقاومت، میزان پایداری سنگ در مقابل تنش‌های خارجی است. هنگامی که استحکام یا مقاومت سنگ افزایش می‌یابد تشکیل تراشه ثانویه مشکل‌تر شده و به دنبال آن نیروهای برشی بیشتری برای تشکیل مقدار مشخصی از تراشه نیاز است. یکی از پارامترهای مقاومتی سنگ، مقاومت فشاری می‌باشد. مقاومت فشاری را می‌توان به عنوان مهم‌ترین و پرکاربردترین ویژگی سنگ‌ها دانست. به دلیل اهمیت و نقش مقاومت در رفتارهای مهندسی سنگ، مقاومت فشاری در اکثر طبقه‌بندی‌های مهندسی سنگ و در کاربردهای گسترده مکانیک سنگ وارد شده و جز لاینفک قضاوت‌های مهندسی در مورد یک سنگ و یک توده سنگ می‌باشد. بررسی‌های آماری بر روی پارامترهای مؤثر در فرآیند برش سنگ که تاکنون توسط محققین در مجلات معتبر علمی به چاپ رسیده‌اند، نشان داد که از میان پارامترهای بررسی شده مربوط به مشخصات سنگ، پارامترهای مقاومت فشاری تک محوری در بیش از ۶۵ درصد مطالعات مورد بررسی قرار گرفته‌است. شاید اهمیت مقاومت فشاری به خاطر تعدد پارامترهایی باشند که در آن مؤثرند. بدین معنی که از آنجایی که پارامترهای مختلفی در مقاومت یک سنگ تأثیر دارند، لذا مقاومت فشاری سنگ‌ها می‌تواند نماینده کلیه این پارامترها در سنگ باشد. عوامل مؤثر در مقاومت فشاری سنگ‌ها را می‌توان مرتبط با عواملی همچون نوع کانی‌های تشکیل دهنده و شرایط استقرار آن‌ها در نمونه سنگ، درجه هوازدگی یا آلتراسیون سنگ‌ها، نیروی بین مولکولی ذرات تشکیل دهنده آن‌ها، وجود عواملی مانند درزه و شکاف در سنگ‌ها، خواص الاستیکی، پلاستیکی و آنیزوتروپی سنگ‌ها

و جهت و میزان نیروهای وارده بر سنگ‌ها دانست (اصانلو، ۱۳۸۶). لذا چنانچه ذکر شد مقاومت فشاری می‌تواند به عنوان یک کمیت مناسب برای ارزیابی کلیه پارامترهای فوق در سنگ‌ها باشد.

۴- مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی

به منظور طراحی و ارائه یک مدل آماری برای پیش‌بینی شدت جریان مصرفی دستگاه برش، آزمایشات متنوعی در شرایط مختلف عملیاتی بر روی ۱۲ نمونه سنگ ساختمانی انجام شد. جمع آوری داده‌های آماری در دو بخش به صورت آزمایشگاهی و صحرایی صورت پذیرفت. به منظور بررسی رفتار نمونه سنگ‌ها در شرایط مختلف عملیاتی (ماشین کاری) دستگاه برشی در مقیاس آزمایشگاهی ساخته شد. مشخصات دستگاه برش به همراه مشخصات قطعه کار و ابزار برش در ادامه آورده شده است.

دستگاه برش به گونه‌ای طراحی و ساخته شد که امکان تغییر پارامترهای ماشین کاری از قبیل عمق برش و نرخ پیشروی، با تغییرات جزئی در ماشین میسر باشد. اجزاء مختلف این دستگاه شامل بستر دستگاه (متشکل از دو ریل راهنما برای میز متحرک ماشین)، قسمت فوقانی شاسی (محل قرارگیری محور اصلی ماشین) و قسمت تحتانی شاسی (برای جمع‌آوری گل، آب و براده‌های حاصل از برش) می‌باشد (شکل ۳). در طی انجام آزمایش، میزان شدت جریان مصرفی دستگاه توسط یک آمپرسنج دقیق در شرایط مختلف ماشین کاری شامل نرخ‌های مختلف پیشروی (۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ سانتی‌متر بر دقیقه) و عمق‌های مختلف برش (۱۵، ۲۲، ۳۰ و ۳۵ میلی‌متر) ثبت و اندازه‌گیری شد. در تمامی آزمایش‌ها برش در حالت موافق (جهت حرکت قطعه کار هم راستا با چرخش دیسک) و از آب به عنوان سیال خنک‌کننده استفاده شد.

به منظور بررسی ارتباط میان مشخصات مقاومتی نمونه سنگ، عمق برش و نرخ پیشروی با میزان مصرف انرژی، دومین بخش از مطالعات آزمایشگاهی بر روی نمونه سنگ‌های مورد مطالعه انجام شد. برای این منظور در مجموع از ۱۲ نمونه سنگ ساختمانی شامل ۵ نمونه سنگ سخت و ۷ نمونه سنگ نرم در کشور نمونه‌برداری به عمل آمد و در آزمایشگاه میزان مصرف انرژی در شرایط مختلف عملیاتی اندازه‌گیری و ثبت شد. به منظور انجام مطالعات آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های سنگی، در مجموع از سنگ‌های موجود در ۱۲ معدن نمونه‌برداری به عمل آمد. در جدول ۱ اسامی معادن نمونه‌برداری شده نشان داده شده است. با توجه به حجم آزمایش‌ها و دقت مورد نیاز، کلیه آزمایش‌ها تحت استانداردهای انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ و با دقت بالا انجام گرفت (معماریان، ۱۳۸۱، فهیمی‌فر، ۱۳۸۰). نتایج آزمایش‌های مکانیک سنگی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: نتایج مطالعات آزمایشگاهی و میدانی



شکل ۳ - نمایی از دستگاه برش

جدول ۲- مشخصات دیسک‌های استفاده شده در آزمایش‌های برش

UCS (MPa)	نوع و نام سنگ	نام معدن	درصد وزنی الماس در باند	اندازه مش کریستال الماسی	نوع دیسک
۱۴۲	گرانیت قرمز	قلعه خرگوشی	۳۰ درصد تا ۴۰ درصد	۴۰/۵۰	سخت بر
۱۷۳	گرانیت مشکی	چایان	۲۵ درصد تا ۳۰ درصد	۳۰/۴۰	نرم بر
۱۴۵	گرانیت سفید	نهبندان			
۱۳۳	گرانیت شکلاتی خرمدره	خوش طینت			
۱۲۵	گرانیت مروارید	گرانیت خاتم			
۷۱/۵	مرمریت کرم هرسین	ذوالفقار علی (ع)			
۷۴/۵	مرمریت صورتی انارک	گل سنگ			
۵۳	تراورتن قرمز	آذرشهر			
۶۱/۵	تراورتن حاجی آباد	حاجی آباد			
۶۳	تراورتن دره بخاری	دره بخاری			
۷۳	مرمریت صصلالی	صصلالی			
۷۴/۵	مرمریت صورتی هفتومان	هفتومان			

در آزمایش‌های برش از دو دیسک فلزی سخت بر و نرم بر به قطر ۴۱ cm و ضخامت ۲/۷ mm استفاده شده است. سگمنت‌های الماسی با ابعاد ۳×۱۰×۴۰ mm و به تعداد ۲۸ عدد در پیرامون بدنه فولادی لحیم شده‌اند. مشخصات دیسک‌های استفاده شده در آزمایش‌های برش در جدول ۲ آورده شده است.

۵- مطالعات آماری

در این بخش از تحقیق مطالعات آماری بر روی نتایج آزمایشگاهی به منظور بررسی ارتباط میان شدت جریان مصرفی دستگاه برش با مشخصات مقاومتی نمونه سنگ‌ها و پارامترهای عملیاتی، با کمک نرم افزار SPSS انجام شد و در ادامه رابطه‌های آماری با توجه به آزمون‌های آماری مورد ارزیابی قرار گرفتند. رابطه‌های حاصل از مطالعات آماری به صورت زیر ارائه شده اند.

$$I_H = \frac{D_c^{0.508} \times F_r^{0.678} \times UCS^{0.665}}{10^{2.515}} \quad (1)$$

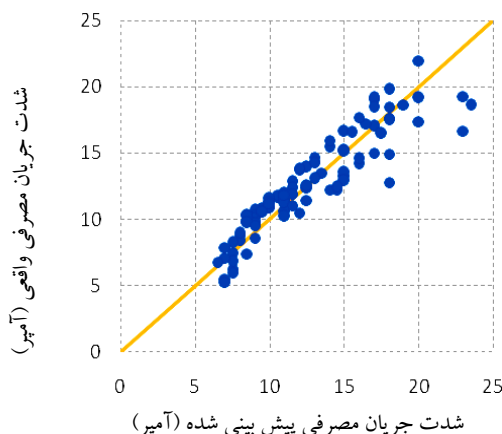
$$I_S = \frac{D_c^{0.545} \times F_r^{0.432} \times UCS^{0.441}}{10^{1.561}} \quad (2)$$

در رابطه‌های ارائه شده I_S معرف شدت جریان مصرفی دستگاه‌های برش بر حسب آمپر برای نمونه سنگ‌های نرم، I_H معرف شدت جریان مصرفی دستگاه‌های برش بر حسب آمپر برای نمونه سنگ‌های سخت، D_c عمق برش بر حسب میلی‌متر، F_t معرف نرخ پیشروی بر حسب سانتی متر بر دقیقه و در نهایت UCS مقاومت فشاری تک محوری می‌باشد. در تمامی رابطه‌های بالا شدت جریان مصرفی دستگاه به عنوان پارامتر وابسته و مشخصات عملیاتی یا ماشین کاری و مشخصات مقاومتی نمونه سنگ عنوان پارامترهای مستقل در نظر گرفته شدند. به منظور بررسی و کنترل رابطه‌های به دست آمده از آزمون‌های آماری استفاده گردید. بدین ترتیب برای کنترل معنی‌داری رابطه از آزمون F و برای کنترل معنی‌داری هر یک از متغیرهای مستقل، از آزمون t استفاده شده است. مقادیر هر یک از پارامترهای فوق به طور جداگانه برای هر رابطه با استفاده از نرم افزار آماری SPSS تعیین شد. نتایج حاصل از بررسی‌های آماری (ضریب همبستگی و آزمون‌های F و t) در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به این که مقدار F به دست آمده از جدول توزیع با سطح اعتماد ۹۹ درصد بزرگتر از مقدار F

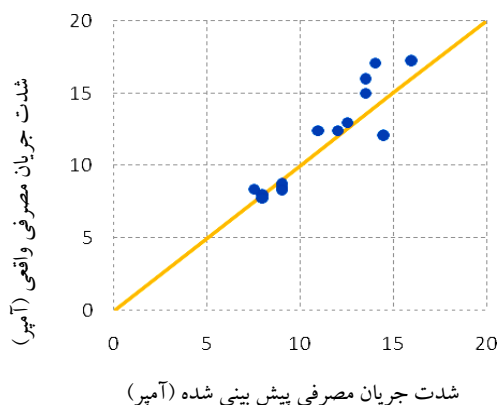
به دست آمده از رابطه می باشد. لذا می توان فرضیه صفر را که بیان می کند رابطه خطی بین متغیر وابسته (آهنگ برش) و متغیرهای مستقل (مشخصات سنگ) وجود ندارد را رد کرده و نتیجه گیری کرد که حداقل یکی از ضرایب رگرسیون صفر نمی باشد. پس از کنترل معنی داری کلی رابطه با آزمون t معنی داری هر یک از متغیرهای مستقل با آزمون t کنترل می شود. با استفاده از این آزمون می توان فرضیه صفر بودن هر یک از ضرایب متغیرهای مستقل را مورد بررسی قرار داد. از آن جا که مقدار t حاصل از جدول توزیع مربوطه با سطح اعتماد ۹۰ درصد بزرگتر از مقدار t های به دست آمده از متغیرهای مستقل می باشد. لذا می توان فرضیه صفر بودن ضرایب متغیرهای مستقل را رد کرد. از جمله نکات مهمی که می بایست در تحلیل های آماری به ویژه در ارائه رابطه های آماری به آن توجه داشت وجود ضرایب منطقی یا به عبارت دیگر پیروی رابطه از طبیعت ذاتی فرایند می باشد. در روابط ارائه شده در این تحقیق مقادیر ضرایب منطقی موجود در روابط با منطق علمی موضوع همخوانی داشته و از دیدگاه ضرایب منطقی قابل قبول می باشند. یکی دیگر از روش های ارزیابی رابطه های آماری پراکندگی نقاط پیش بینی شده و واقعی نسبت به خط نیم ساز ۱:۱ می باشد. پراکندگی نقاط پیش بینی شده نسبت به مقادیر واقعی شدت جریان مصرفی دستگاه برش برای دو دسته از داده ها (داده های آموزش و تست) در شکل های ۴ تا ۷ نشان داده شده است. هرچه تراکم این نقاط نسبت به خط نیم ساز بیشتر باشند رابطه از دقت بهتری برخوردار می باشد. با توجه به توضیحات ارائه شده می توان چنین استنباط کرد که روابط ارائه شده از دقت خوبی در تخمین و پیش بینی مقدار شدت جریان مصرفی برخوردار می باشند.

جدول ۳: نتایج حاصل از بررسی های آماری برای پیش بینی نرخ برش

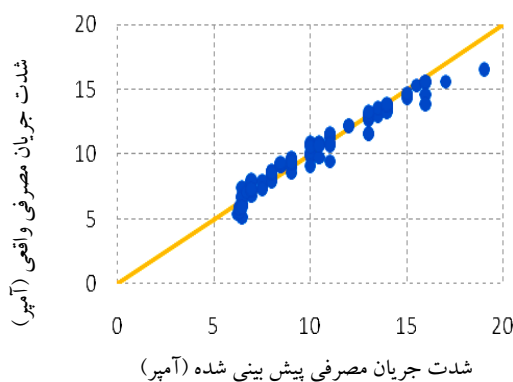
رابطه	پارامترها	ضرایب توانی	خطای معیار	F	F جدول	T	t جدول	R
(۱)	عدد ثابت	-۲/۵۱۵	۰/۳	۱۶۱/۸۲۷	۵/۵۶	-۸/۳۹۶	۱/۶۶	۰/۹۱۷
	D_c	۰/۶۷۸	۰/۰۵			۱۳/۴۲۸		
	F_r	۰/۵۰۸	۰/۰۲۷			۱۸/۸۶۹		
	UCS	۰/۶۶۵	۰/۱۳			۵/۱۱۵		
(۲)	عدد ثابت	-۱/۵۶۱	۰/۱۲۳	۴۷۷/۱۶۰	۵/۵۶	-۱۲/۶۸۹	۱/۷۶	۰/۹۷
	D_c	۰/۵۴۵	۰/۰۲۴			۲۲/۸۶۸		
	F_r	۰/۴۳۲	۰/۰۱۴			۳۱/۴۶۱		
	UCS	۰/۴۴۱	۰/۰۶۲			۷/۱۲۹		



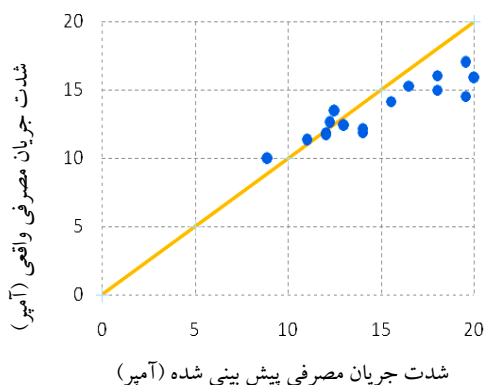
شکل ۴: پراکندگی نقاط پیش بینی شده و واقعی نسبت به خط نیم ساز ۱:۱ (برای نمونه سنگ های سخت-رابطه ی ۱)



شکل ۵: پراکندگی نقاط پیش بینی شده و واقعی نسبت به خط نیم ساز ۱:۱ (برای داده های آزمایش نمونه سنگ های سخت-رابطه ی ۱)



شکل ۶: پراکندگی نقاط پیش بینی شده و واقعی نسبت به خط نیم ساز ۱:۱ (برای نمونه سنگ های نرم -رابطه ی ۲)



شکل ۷: پراکندگی نقاط پیش بینی شده و واقعی نسبت به خط نیم ساز ۱:۱ (برای داده های آزمایش نمونه سنگ های نرم-رابطه ی ۲)

۶- بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق سعی گردید تا با انجام آزمایش های دقیق و مطالعات آماری ارتباط میان شدت جریان مصرفی دستگاه برش با پارامترهای عملیاتی و مشخصات سنگ مورد بررسی قرار گیرد. برای این منظور ۱۲ نمونه سنگ ساختمانی از خانواده سنگ های سخت و نرم انتخاب شدند و میزان شدت جریان مصرفی دستگاه برش در شرایط مختلف ماشین کاری در آزمایشگاه ثبت شد. سپس نمونه ها برای انجام

آزمایشات به آزمایشگاه مکانیک سنگ انتقال داده شدند و میزان مشخصات مقاومتی نمونه‌ها در آزمایشگاه تعیین شدند. بعد از تمامی این مراحل مطالعات آماری بر روی جامعه آماری انجام شد. نتایج حاصل از برآزش‌های چند متغیره نشان داد که در هر دو گروه از سنگ‌های مورد مطالعه با افزایش مشخصات مقاومتی سنگ و پارامترهای ماشین کاری مقدار شدت جریان مصرفی دستگاه افزایش پیدا می‌کند. دلیل این امر را می‌توان به خاطر افزایش مقاومت مرزی دانه‌ها و ماتریس سنگ و به دنبال آن کاهش قدرت تراشه برداری دانه الماس دانست. در طی انجام این تحقیق روابط به دست آمده از مطالعات آماری به کمک تست‌های آماری t و F برای کنترل و معنی داری رابطه و ضرایب مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از این بررسی‌ها نشان داد که می‌توان با یک سطح اطمینان بالا و ضریب همبستگی خوب میزان شدت جریان مصرفی دستگاه‌های برش را با توجه به مشخصات ماشین کاری و مشخصات مقاومتی نمونه سنگ مورد ارزیابی و پیش بینی کرد.

منابع

- اصانلو، م، (۱۳۸۶)، "روشهای حفاری"، چاپ سوم، مرکز نشر صدرا، ص ۴۹۴.
- فهمی‌فر، ا، سروش، ح، (۱۳۸۰)، "آزمایش‌های مکانیک سنگ، مبانی نظری و استانداردها (جلد اول: آزمون‌های آزمایشگاهی)"، انتشارات شرکت سهامی آزمایشگاه‌های فنی و مکانیک خاک.
- معماریان، حسین، (۱۳۸۱)، "زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک"، انتشارات دانشگاه تهران.
- Ataei, M., Mikaeil, R., Sereshki, F. and Ghaysari, N., (۲۰۱۱). Predicting the production rate of diamond wire saw using statistical analysis. *Arabian Journal of Geosciences*, Accepted for publication.
- Atici U, Ersoy A. (۲۰۰۹). Correlation of specific energy of cutting saws and drilling bits with rock brittleness and destruction energy. *journal of materials processing technology*, ۲۰۹, ۲۶۰۲-۲۶۱۲.
- Birle J. D., Ratterman E., (۱۹۸۶). An approximate ranking of the sawability of hard building stones based on laboratory tests, *Dimensional Stone Magazine*, July-August, ۳-۲۹.
- Burgess R. B., (۱۹۷۸). Circular sawing granite with diamond saw blades. In: *Proceedings of the Fifth Industrial Diamond Seminar*, ۳-۱۰.
- Clausen R., Wang C. Y., Meding M., (۱۹۹۶). Characteristics of acoustic emission during single diamond scratching of granite. *Industrial Diamond Review*, ۳, ۹۶-۹.
- Buyuksagis I.S. (۲۰۰۷). Effect of cutting mode on the sawability of granites using segmented circular diamond sawblade. *Journal of Materials Processing Technology*, ۱۸۳, ۳۹۹-۴۰۶.
- Ersoy A., Atici U., (۲۰۰۴). Performance characteristics of circular diamond saws in cutting different types of rocks, *Diamond Relat. Mater.* ۱۳, ۲۲-۳۷.
- Eyuboglu A.S., Ozcelik Y., Kulaksiz S., Engin I.C., (۲۰۰۳). Statistical and microscopic investigation of disc segment wear related to sawing Ankara andesites, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* ۴۰, ۴۰۵-۴۱۴.
- Fener M, Kahraman S, & Ozder M.O, (۲۰۰۷). Performance Prediction of Circular Diamond Saws from Mechanical Rock Properties in Cutting Carbonate Rocks. *Rock Mech. Rock Engng.* ۴۰ (۵), ۵۰۵-۵۱۷
- Gunaydin O., Kahraman S., Fener M., (۲۰۰۴). Sawability prediction of carbonate rocks from brittleness indexes. *J. South Afr. Inst. Min. Metall.* ۱۰۴, ۲۳۹-۲۴۴.
- Jennings M., Wright D., (۱۹۸۹). Guidelines for sawing stone, *Industrial Diamond Review*, ۴۹, ۷۰-۷۵.
- Kahraman S, Fener M, Gunaydin O., (۲۰۰۴). Predicting the sawability of carbonate rocks using multiple curvilinear regression analysis. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, ۴۱, ۱۱۲۳-۱۱۳۱.
- Kahraman S., Ulker U., Delibalta S., (۲۰۰۷). A quality classification of building stones from P-wave velocity and its application to stone cutting with gang saws. *J. South Afr. Inst. Min. Metall.* ۱۰۷, ۴۲۷-۴۳۰.
- Mikaeil R., Ataei M., Hoseinie S.H., (۲۰۰۸). Predicting the production rate of diamond wire saws in carbonate rocks cutting, *Industrial Diamond Review (IDR)*. ۳, ۲۸-۳۴.

- Mikaeil, R., Yousefi, R., Ataei, M. and Abasian Farani, R., (۲۰۱۱a). Development of a New Classification System for Assessing of Carbonate Rock Sawability, Archives of Mining Sciences. ۵۶(۱), pp ۵۷-۶۸.
- Mikaeil R., M. Ataei, R. Yousefi, (۲۰۱۱b). Correlation of production rate of ornamental stone with rock brittleness indexes. Arabian Journal of Geosciences.
- Mikaeil R., Yousefi R., Ataei M., (۲۰۱۱c). Sawability Ranking of Carbonate Rock Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process and TOPSIS Approaches. Scientia Iranica, Transactions B: Mechanical Engineering ۱۸ (۲۰۱۱c) ۱۱۰۶-۱۱۱۵.
- Mikaeil R., Ozcelik Y., Ataei M., Yousefi R., (۲۰۱۱d). Correlation of Specific Ampere Draw with Rock Brittleness Indexes in Rock Sawing Process. Arch. Min. Sci., Vol. ۵۶, No ۴, p. ۷۴۱-۷۵۲.
- Mikaeil R., Ataei M., Yousefi R., (۲۰۱۲). Evaluating the Power Consumption in Carbonate Rock Sawing Process by Using FDAHP and TOPSIS Techniques, Efficient Decision Support Systems: Practice and Challenges – From Current to Future / Book ۲", ISBN ۹۷۸-۹۵۳-۳۰۷-۴۴۱-۲., pp ۴۷۸.
- Mikaeil R., Ozcelik Y., Ataei M., Yousefi R., (۲۰۱۳). Ranking the sawability of ornamental stone using Fuzzy Delphi and multi-criteria decision-making techniques. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. ۵۸ ۱۱۸-۱۲۶.
- Özçelik Y. (۲۰۰۷). The effect of marble textural characteristics on the sawing efficiency of diamond segmented frame saws. Industrial Diamond Review, ۲, ۶۵-۷۰.
- Tutmez B., Kahraman S., Gunaydin O., (۲۰۰۷). Multifactorial fuzzy approach to the sawability classification of building stones. Construction and Building Materials ۲۱, ۱۶۷۲-۱۶۷۹.
- Wei X., Wang C. Y., Zhou Z-H., (۲۰۰۳). Study on the fuzzy ranking of granite sawability. J. Mater. Process Technol. ۱۳۹, ۲۷۷-۸۰.
- Wright and Cassapi, (۱۹۸۵). Factors influencing stone sawability, Industrial Diamond Review, ۲, ۸۴-۸۷.