

بررسی تأثیر شکل هندسه درزه در برآورد زبری درزه سنگ با استفاده از مطالعات آماری

علیرضا طالبی نژاد^{۱*}، سید محمد اسماعیل جلالی^۲، رضا خالو کاکایی^۳

۱- دانشجوی دکتری استخراج معدن، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود

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

۳- استاد دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود

پذیرش: ۹۷/۰۷

دریافت: ۹۷/۰۴

چکیده

محققین متعددی تلاش نموده‌اند که با ساده‌سازی و فرضیات مختلف به بررسی تأثیر زبری درزه حین بارگذاری بپردازند. برخی محققین همچون بارتن^۱ و لابسچر^۲ نسبت به ارائه مدل‌های بصری اقدام نمودند و هدف استفاده و تطبیق زبری سطح درزه سنگ با مدل‌های ارائه شده و برآورد میزان زبری سطح درزه سنگ بوده است. برخی از محققین نیز همچون تسه^۳ و کرودن^۴، میرز^۵ و ال‌سودانی^۶ از روش‌های آماری به کمک پارامترهای کمی به بیان زبری سطح درزه سنگ پرداختند. روش‌های بصری باوجود اینکه ساده و سریع هستند، اما با خطای قضاوت شخص و عدم امکان بررسی ارجحیت زبری یک سطح نسبت به سطح دیگر همراه می‌باشند و برآورد زبری درزه سنگ را با خطا مواجه می‌نماید. در روش‌های کمی، استفاده از یک پارامتر کمی نمی‌تواند به‌صورت صحیح بیانگر مشخصات زبری درزه سنگ باشد. در این مقاله با استفاده از برداشت‌های میدانی انجام شده از وضعیت سطوح درزه سنگ و اطلاعات گردآوری شده از سطوح موجود در منابع، نسبت به تعریف اشکال محتمل هندسی درزه سنگ برای ۲۰۳ نمونه اقدام شده است. اشکال محتمل هندسی موردبررسی قرار گرفته و اشکال با کاربرد بیشتر در قالب ۲۰ مدل هندسی به‌عنوان مدل‌های هندسی معرف تعریف شدند. با استفاده از پارامترهای کمی تعیین زبری همچون R_p ، R_q و Z_2 و SF ، مدل‌های هندسی معرف مورد ارزیابی و طبقه‌بندی قرار گرفتند. در این طبقه‌بندی، با استفاده از شکل درزه (شباهت سطح درزه به مدل‌های هندسی معرف) و مدنظر قرار دادن پارامتر ارتفاع سطح درزه (K) به برآورد صحیح‌تری از میزان زبری درزه می‌توان دست‌یافت.

واژگان کلیدی

درزه سنگ، زبری، پارامترهای کمی زبری، مدل‌های هندسی معرف

۱- مقدمه

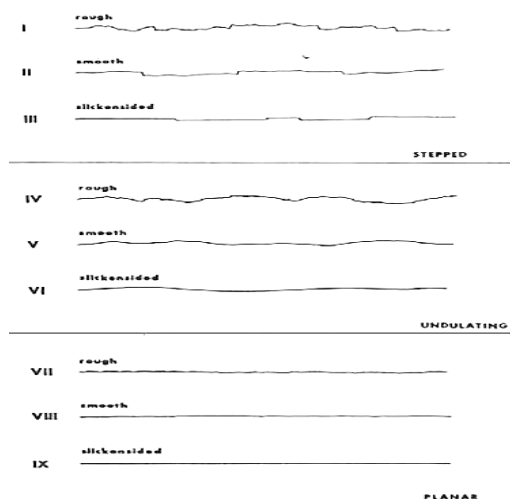
شبیه‌سازی‌های احتمالاتی هندسه توده سنگ را اکثراً با مدنظر قرار دادن توابع توزیع پارامترهای هندسی همچون فاصله‌داری، جهت‌داری، موقعیت و بازشدگی می‌توان انجام داد. یکی از پارامترهای هندسی درزه که تأثیر بسیار زیادی بر مقاومت برشی درزه‌های توده سنگ دارد، زبری است. میزان زبری درزه،

پارامتر بسیار مهمی در تعیین پاسخ مکانیکی و هیدرومکانیکی توده سنگ است. مقاومت برشی، رفتار تغییر شکل و خصوصیات جریان در درزه‌های سنگی به میزان زیادی به شرایط زبری سطح درزه بستگی دارد. در شبیه‌سازی هندسی توده سنگ، از عدد زبری درزه JRC استفاده می‌شود که این ضریب به‌نوبه خود دارای عدم قطعیت‌های بسیاری است. مقاومت برشی،

چند متری است. در صورتی که دو سطح در تماس کامل بوده و نسبت به هم گیرداری داشته باشند، حین جابجایی برشی با توجه به ابعاد بزرگشان بریده نمی‌شوند و اتساع در آن‌ها اتفاق می‌افتد. مقیاس کوچک نیز برای ابعاد چندین سانتی‌متر تعریف می‌شود که طی جابجایی برشی بریده می‌شوند مگر اینکه سطح زبر ناپیوستگی دارای مقاومت بالایی باشد و یا اینکه میزان تنش وارده به سطح درزه کم باشد. بنابراین، اتساع نیز در این حالت (زبری‌های کوچک مقیاس) امکان‌پذیر است [۴].

لابسچر، برای طبقه‌بندی ژئومکانیکی توده‌سنگ در طراحی معدن، یکسری عبارات توصیفی برای تعیین زبری سطح ناپیوستگی را توسط عامل‌هایی که پایداری فضای زیرزمینی را دسته‌بندی می‌نماید ارائه نموده است. بخشی از تعاریف ارائه‌شده توسط لابسچر بر اساس مقاطع پیشنهادی ISRM (1978) است. در این حالت زبری به دو بخش زیر تقسیم می‌گردد. زبری‌هایی که در مقیاس‌های مختلف مشاهده می‌شود و زبری‌هایی که قابل مشاهده نیستند اما قابل لمس توسط انگشت هستند [۵].

هک و همکارانش^{۱۲} یک رابطه تجربی بین زبری مشاهده‌ای و لمسی و بر اساس مقاطع معروف ارائه‌شده توسط ISRM (1981) و لابسچر (۱۹۹۰)، اصطکاک سطح ناپیوستگی حاصل از زبری برای طبقه‌بندی احتمالاتی پایداری شیب توسعه دادند.



شکل ۱: مقاطع زبری ارائه‌شده توسط ISRM (1978)

هک زبری را به دو دسته زبری کوچک مقیاس و بزرگ مقیاس طبقه‌بندی نمود. زبری بزرگ مقیاس در نمونه‌های سطحی با مساحت بزرگ‌تر از ۲۰ در ۲۰ سانتی‌متر و کوچک‌تر از ۱ در ۱ متر تعیین می‌شود و به پنج رده موج‌دار، نیمه موج‌دار، انحناء بالا، انحناء کم و سطح صاف طبقه‌بندی می‌گردد. زبری لمسی

تغییر شکل‌پذیری و هدایت هیدرولیکی ناپیوستگی‌های سنگ به‌طور عمده وابسته به زبری سطوح ناپیوستگی است. برآورد صحیح زبری سطح ناپیوستگی در رده‌بندی توده‌سنگ نقش تعیین‌کننده دارد [۱].

۲- زبری درزه‌سنگ

ساده‌ترین روش تعیین زبری، استفاده از روش‌های بصری است. در این روش‌ها، زبری طبیعی درزه با مقاطع استاندارد و مقادیر زبری مربوطه مقایسه می‌شود و عدد زبری مربوط به مشابه‌ترین مقطع به‌عنوان عدد زبری تعیین می‌شود. در برداشت‌های اولیه زبری سطح درزه از این روش ساده استفاده می‌شود. با وجود اینکه این روش‌ها بسیار ساده هستند و بر پایه مشاهده فرد و قضاوت وی صورت می‌پذیرند، در حال حاضر نیز در تعیین زبری سطح ناپیوستگی توده‌سنگ استفاده می‌شوند. اولین مدل ارائه‌شده توسط بارتن^{۱۳} در سال ۱۹۷۷ ارائه‌شده است. بارتن و چوبی^{۱۴} در سال ۱۹۷۷ مقاطع استاندارد زبری درزه را پیشنهاد نمودند و یک رابطه تجربی (رابطه ۱) حاصل از بررسی مقاومت برشی سطح شکستگی‌ها را ارائه نمودند [۳ و ۲].

$$\frac{\tau_{peak}}{\sigma_n} = \tan \left[JRC * \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) + \phi_r \right] \quad (1)$$

که در آن، τ_{peak} برابر با مقاومت برشی بیشینه، σ_n تنش نرمال مؤثر وارد بر سطح درزه، JRC ^{۱۵} ضریب زبری درزه، JCS ^{۱۶} مقاومت فشاری سطح درزه و ϕ_r زاویه اصطکاک باقیمانده است. زبری درزه به‌صورت بصری با ده مقطع استاندارد مقایسه شده و هر کدام که شرایط نزدیک‌تری را به زبری واقعی داشته باشند به‌عنوان عدد زبری مربوطه انتخاب می‌شوند. مقادیر JRC از صفر تا ۲۰ از زبری‌های کم شروع شده و به زبرترین درزه ختم می‌شود. در این رابطه طول درزه‌های بیش از ۱۰ سانتی‌متر به طول درزه‌های مقاطع استاندارد وابسته می‌گردد.

به دلیل سادگی روش ارائه‌شده و برآورد راحت‌تر پارامترهای رابطه ۱ روش ارائه‌شده توسط بارتن در پروژه‌های مهندسی کاربرد زیادی دارد. اما به دلیل ضعف‌هایی همچون خطای شخص در انتخاب نمونه مقاطع استاندارد و لزوم داشتن تبحر در انتخاب عدد زبری می‌تواند منجر به نتایج مطلوب نگردد.

انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ^{۱۷} در سال ۱۹۷۸، مقاطع استاندارد را برای تعیین زبری سطح درزه توسعه داده است. تعاریف ارائه‌شده زبری به عبارات توصیفی بر اساس دو مقیاس مشاهده‌ای محدود گردیده است. مقیاس متوسط برای ابعاد

بیشتری نسبت به پارامترهای پیشین برخوردار است. در رابطه ۵ این پارامتر ارائه شده است [۹ و ۸].

$$Z_2 = 1/L \sum_{i=1}^{N-1} \left[\frac{(y_{i+1}-y_i)^2}{X_{i+1}-X_i} \right]^{1/2} \Delta s \quad (5)$$

این پارامتر وابسته به مقیاس و مناسب برای زبری‌های دست‌نخورده است. شاخص‌های دیگر همچون اندیس زبری مقطع (R_p) برای اولین بار توسط السودانی ارائه شده است که طبق رابطه ۶ برابر با نسبت طول واقعی سطح درزه به طول تصویر شده آن می‌باشد [۱۰].

$$R_p = L_t/L \quad (6)$$

که در آن L_t طول واقعی سطح درزه می‌باشد. از دیگر پارامترهای استفاده شده زاویه میانگین i است که بیانگر زاویه بین نقاط ارتفاعی سطح زبر می‌باشد. پارامتر SF با عنوان تابع ساختاری نیز توسط سایلز و توماس^{۱۸} پیشنهاد شده است [۱۱]. رابطه ۷ بیانگر نحوه تعیین این پارامتر می‌باشد.

$$SF = 1/L \sum_{i=1}^{N-1} (y_{i+1}-y_i)^2 \Delta x \quad (7)$$

محققین مختلف سعی بر ارائه رابطه بین پارامترهای موجود و ضریب زبری درزه داشتند. میرز و همکاران مقاطع دهگانه را استفاده نمودند و مقادیر JRC آن‌ها را به R_p ربط دادند که رابطه خطی با ضریب همبستگی ۰/۹۸۴ برای آن به دست آمد [۱۲]. یو و وایساده همچنین مقدار JRC را با استفاده از R_p برآورد نمودند [۸]. در این خصوص، مطالعات نشان می‌دهد که پارامترهایی که بیانگر شیب مقطع هستند (Z_2 ، زاویه i و R_p) رابطه قوی با JRC دارند. همچنین یانگ و همکاران نیز رابطه بین Z_2 و JRC را ارائه نموده‌اند [۹]. به‌طور کلی ۴۷ رابطه بین پارامترهای مختلف و ضریب زبری درزه JRC ارائه شده است. طی بررسی انجام شده توسط لی و ژانگ در میان پارامترهای کمی عنوان شده، روابط ارائه شده برای Z_2 و SF دارای بیشترین ضریب همبستگی می‌باشند [۱۳].

نتایج مطالعات نشان‌گر این است که تنها یک پارامتر آماری برای کمی‌سازی زبری سطح درزه کافی نیست و لازم است پارامترهای بیشتری (خصوصیات هندسی زبری) در برآورد کمی زبری وارد شوند. باوجوداینکه محققین روابط مختلفی بین پارامترهای عنوان شده و ضریب زبری درزه ارائه نمودند بااین حال ذاتاً این پارامترها نمی‌توانند خصوصیات زبر سطح درزه را به‌صورت کامل ارائه نمایند. چراکه با بررسی روابط این پارامترها مشخص می‌شود که به ازای مقادیر ثابتی از این

توسط لمس انگشت متمایز می‌شود و به سه دسته زبر، نرم و صیقلی تقسیم می‌گردد. زبری کوچک مقیاس قابل مشاهده نیز [۶] در سه دسته پله‌ای، موج‌دار و صفحه‌ای تعریف می‌شود علاوه بر روش‌های بصری مذکور، محققین متعددی برای کمی‌سازی زبری سطح ناپیوستگی راهکارهای مختلفی را ارائه کرده‌اند. از این‌رو، محققین بسیاری همچون تسه و کرودن، کرون^{۱۳} و موگنسترون^{۱۴}، ریوز^{۱۵} و میرز و همکارانش از روش‌های آماری مختلف برای برآورد ضریب زبری درزه JRC ارائه شده توسط بارتن که به‌طور عمده در پروژه‌های مهندسی بکار می‌رود، استفاده نمودند.

پارامترهای کمی مختلفی برای برآورد زبری درزه ارائه شده است. از مهم‌ترین روش‌های برآورد کمی زبری، استفاده از روش‌های آماری است. عواملی همچون بزرگی دامنه، طول موج، شیب و غیره از جمله پارامترهایی هستند که در بررسی‌های آماری زبری درزه مورد مطالعه قرار می‌گیرند. میزان زبری کامل درزه (K) بیانگر اختلاف ارتفاع نقاط پیشینه و کمینه سطح زبر می‌باشد. از جمله پارامترهای دیگر خط مرکزی میانگین (CLA) می‌باشد که توسط تسه و کرودن ارائه شده است. رابطه ۲ بیانگر خط مرکزی میانگین است [۷].

$$CLA = 1/L \sum_{i=1}^{N-1} |Y_i| \Delta s \quad (2)$$

در این رابطه L طول تصویر شده پروفیل زبری، N تعداد نقاط نمونه‌برداری، Y ارتفاع نقاط بر روی فواصل نمونه‌برداری و Δs بیانگر فواصل نمونه‌برداری است. پارامتر آماری دیگر، برآورد ریشه میانگین مربعات نقاط نمونه‌برداری Rq است که توسط تسه و کرودن ارائه شد. در رابطه ۳ نحوه تعیین این پارامتر ارائه شده است [۷].

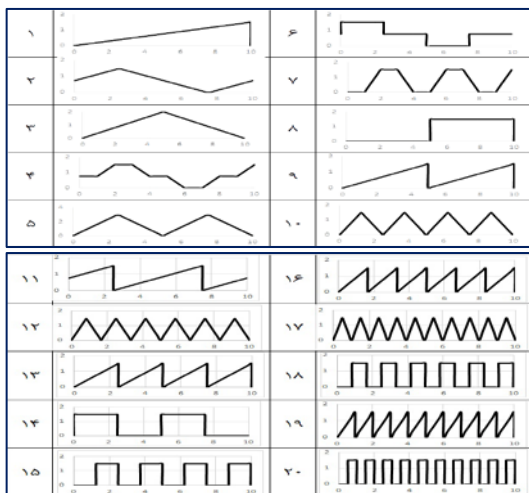
$$Rq = \left[1/M \sum_{i=1}^{N-1} y^2 \Delta s \right]^{1/2} \quad (3)$$

که M در آن تعداد فواصل نمونه‌برداری است. پارامتر مقدار مربع میانگین (MSV) نیز همچنین توسط تسه و کرودن ارائه شد. در رابطه ۴ پارامتر عنوان شده ارائه شده است [۷].

$$MSV = 1/L \sum_{i=1}^{N-1} y^2 \Delta s \quad (4)$$

پارامتر دیگر در تعیین آماری زبری درزه مشتق اول ریشه میانگین مربعات ارتفاع ناهمواری‌ها (Z_2) می‌باشد که در مقالات محققینی همچون تسه و کرودن، یو وایساده^{۱۶} و یانگ^{۱۷} ارائه شده است. این پارامتر در تعیین زبری درزه از اعتبار

شایان ذکر است برای دستیابی به مدل‌های هندسی معرف، سطوح درزه سنگ در بعد ارتفاع ۱۰ برابر شده به‌طوری‌که ابعاد ارتفاعی سطح درزه بزرگنمایی شده و بتوان خطوط و شکل‌های شاخص همچون مستطیل و مثلث بر روی آن منطبق نمود. سپس بر اساس سطوح ایجادشده، شکل‌هایی که بیشترین فراوانی را داشتند به‌عنوان شکل‌های هندسی (مدل‌های هندسی معرف) پیشنهاد شدند. در مرحله بعد این مدل‌ها، از نظر تعداد دندان و شیب سطوح اولویت‌بندی شدند. همچنین برای مدل‌های هندسی معرف، پارامترهای کمی زبری نیز مورد محاسبه قرار گرفته و اولویت داده‌شده در مرحله قبل بار دیگر کنترل شده است. با توجه به شکل ۲، با افزایش شماره مربوط به مدل‌های هندسی معرف مشاهده می‌شود که شیب و تعداد دندان‌ها به تدریج افزایش می‌یابند. شایان ذکر است برخی مدل‌های هندسی معرف متقارن نیستند و در این مدل‌ها همچون مدل شماره ۱ و ۹ مبنای مطالعه (جهت برش) در جهت شیب و به سمت راست مدل است.



شکل ۲: مدل‌های هندسی معرف سطح زبر

مدل‌های هندسی معرف برای طول ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده‌اند. برای هر کدام از مدل‌های ارائه‌شده، شش ارتفاع کلی (پارامتر K) در نظر گرفته شده است. مقادیر ارتفاع کلی در هر یک از مدل‌ها ۰/۰۶۲۵، ۰/۱۲۵، ۰/۲۵، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ سانتی‌متر تعریف شده است. ارتفاع بیشینه یعنی عدد ۱/۵ سانتی‌متر بر اساس برداشت‌های انجام‌شده و نتایج مطالعات محققین پیشین بوده و مقادیر ارتفاعی کمتر برای پوشش توزیع ارتفاعی نمونه‌های درزه سنگ تعیین شده است. با در نظر گرفتن شش ارتفاع برای هر مدل، به این ترتیب ۱۲۰ مدل هندسی معرف برای پوشش شکل‌های هندسی محتمل در طول ۱۰

پارامترها، ضریب زبری درزه متغیری گاه تا دو برابر مقدار کمینه به دست آمده است. این تغییرات بیانگر این است که پارامترهای تعریف‌شده به دلیل ضعف ذاتی در بیان زبری درزه نمی‌توانند مبین مقدار زبری واقعی درزه باشند. هدف از ارائه مقاله حاضر ۱- بررسی آماری اشکال سطوح زبر درزه سنگ ۲- تعریف اشکال هندسی معرف بر اساس مطالعات آماری اشکال ۳- استفاده از پارامترهای کلی همچون شیب کلی، ارتفاع کلی و تعداد دندان‌های اشکال هندسی و همچنین پارامترهای کمی تعیین زبری برای برآورد اولویت‌دهی اشکال از نظر میزان زبری ۴- کالیبره نمودن اشکال هندسه معرف با استفاده از داده‌های زیاد در دسترس از مقاطع واقعی زبر دارای عدد زبری JRC و ۵- ارائه مدل زبری با لحاظ پارامترهای کمی و شکل سطح درزه است.

۳- نمونه‌های زبر درزه سنگ و مدل‌های هندسی معرف

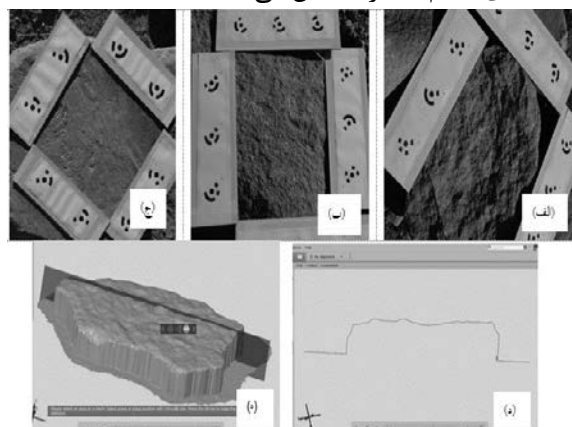
منظور از مدل‌ها یا شکل‌های هندسی معرف، دستیابی به انواع شکل‌های هندسی از زبری سطح است که بتواند معرف یا جایگزین سطوح برداشت‌شده درزه سنگ باشد. همان‌طور که توضیح داده شد، به دلیل وجود برخی از ضعف‌ها در پارامترهای زبری موجود و عدم امکان تعریف جامعی از زبری، در این بخش از مقاله شکل‌های هندسی محتمل در سطوح زبر درزه مورد بررسی قرار گرفته و مدل‌های هندسی زبری معرف بر این اساس ارائه شده‌اند. برای ارائه مدل‌های هندسی معرف چهار روند بررسی مورد استناد قرار گرفته است. اول، استفاده از پارامترهای کلی همچون مقادیر شیب عمومی، ارتفاع کلی و تعداد دندان‌ها است که در مدل‌های هندسی معرف برای دستیابی به روند افزایشی در مقادیر زبری، مقادیر این عوامل نیز افزایش یافته است. دوم، بررسی روند افزایش ناهموازی (زبری) مدل‌های هندسی معرف با استفاده از پارامترهای زبری موجود (همچون SF ، Z_2 و R_q و R_p) که پارامترهای عنوان‌شده جزو معتبرترین پارامترهای ارائه‌شده برای برآورد کمی زبری درزه سنگ می‌باشند، سوم، اعتبارسنجی روند افزایش زبری مدل‌های هندسی معرف با استفاده از مقادیر ضریب زبری سطوح زبر واقعی است و در نهایت برای ارائه مدل‌های هندسی معرف، شکل سطوح زبر واقعی که نتایج ضریب زبری آن‌ها تحت آزمایش برش برآورد شده است، مورد بررسی قرار گرفته است. مدل‌های ۲۰ گانه هندسی معرف در شکل ۲ ارائه شده‌اند.

با بررسی انجام شده در مورد مقاطع زبر درزه سنگ، متشکل از ۱۱۲ نمونه درزه سنگ (ارائه شده توسط محققین پیشین) و ۹۱ نمونه درزه سنگ (برداشت شده طی این تحقیق) مشخص شد که ۱۹۵ نمونه درزه سنگ برداشت شده از مجموع ۲۰۳ نمونه درزه سنگ از مدل های هندسی معرف ارائه شده (۹۶ درصد) تبعیت می نمایند.

۴- روش تحقیق

در این مقاله، ابتدا با توجه به شکل های هندسی موجود در سطوح درزه سنگ نسبت به تعریف مدل های هندسی معرف اقدام شده است. مدل های هندسی معرف بر اساس میزان شیب و ارتفاع کلی و تعداد دندان های موجود از مقادیر کم تا مقادیر بیشتر مرتب شدند. از پارامترهای کمی تعیین زبری همچون پارامترهای R_q ، R_p ، SF ، Z_2 برای تعیین مقادیر زبری و اولویت بندی مدل های هندسی معرف استفاده شد. پارامترهای کمی عنوان شده در مقایسه با سایر پارامترهای کمی از اهمیت بیشتری برخوردار هستند. پارامترهای عنوان شده به تنهایی نمی توانند بیانگر زبری واقعی سطح درزه باشند و برای این منظور مثال هایی از موارد نقض و ایرادات وارد بر استفاده این پارامترها در تعیین ضریب زبری درزه در ادامه تشریح می شود. برای اعتبارسنجی مدل، نسبت به گردآوری نمونه هایی از سطح زبر اقدام شده است که مقادیر ضریب زبری درزه JRC آن ها مشخص باشد. نمونه های سطح زبر مذکور به لحاظ شکل هندسی به ۲۰ مدل هندسی معرف انطباق داده شده است. در نتیجه برای هر کدام از مدل های هندسی معرف، چند نمونه سطح زبر واقعی تطبیق داده شده است. پارامترهای کمی به دست آمده از نمونه های زبر واقعی با پارامترهای کمی حاصل از مدل های هندسی معرف مقایسه شده اند. با توجه به انطباق ایجاد شده بین مدل های معرف و نمونه های زبر واقعی، از مقادیر ضریب زبری درزه مربوط به نمونه های واقعی برای ارائه روابط بین مدل های هندسی معرف و ضریب زبری درزه (JRC) استفاده شده است. از این رو، با استفاده از روش تحلیلی و بررسی آماری داده های موجود و برداشت شده از سطوح زبر و با اعتبارسنجی مدل های ارائه شده با مقادیر ضریب زبری درزه از پارامترهای کمی و شکل هندسی سطوح در تعیین عدد زبری استفاده می گردد (شکل ۴).

سانتی متری نمونه های درزه سنگ انتخاب شده است. همانطور که گفته شد مدل های هندسی معرف با نمونه های سطوح درزه واقعی تطبیق داده شده است. برای این منظور، نسبت به گردآوری داده های زبر سطوحی که توسط محققین مختلف تحت آزمایش برش قرار گرفته بودند، اقدام شده است. با مدنظر قرار دادن طول مدل های هندسی معرف (۱۰ سانتی متر)، اعتبارسنجی مدل ها با استفاده از نمونه های زبر واقعی که تحت برش قرار گرفته و نتایج عدد زبری آن ها توسط محققین مختلف استخراج شده است، میسر خواهد شد. نمونه های واقعی سطح زبر درزه سنگ، استخراج شده توسط بارتن و چوبی (۱۹۷۷) برای بررسی مقاومت برشی درزه سنگ، مطالعات آزمایشگاهی باندیس (۱۹۸۰) به منظور بررسی تأثیر مقیاس در مقاومت برشی و تغییر شکل درزه سنگ، مطالعات انجام شده توسط بارتن و باندیس (۱۹۸۳) و مطالعات آزمایشگاهی گراسلی (۲۰۰۱) که مجموعاً ۱۱۲ نمونه را تشکیل می دادند، مبنای بررسی مدل های هندسی معرف در این تحقیق قرار گرفته است [۲، ۳ و ۱۴]. همچنین، به منظور بررسی آماری شکل مدل های هندسی معرف، از ۹۱ نمونه زبر درزه سنگ نیز که طی این تحقیق از سنگ های آذرین و رسوبی با طول ۱۰ سانتی متر برداشت شده، استفاده شده است. نمونه های درزه سنگ با استفاده از دوربین عکاسی و به روش فتوگرامتری برد کوتاه برداشت شده است. پس از ایجاد شبکه فتوگرامتری برد کوتاه نسبت به ایجاد مقاطع دویعدی از سطح درزه سنگ اقدام نموده و در نهایت مختصات درزه استخراج شده است [۱۵ و ۱۶]. شکل ۳ برداشت های انجام شده را نمایش می دهد.



شکل ۳: برداشت به روش فتوگرامتری برد کوتاه بر روی (الف) درزه سنگ گرانیث، (ب) درزه سنگ گرانیث نوع هورنبلند، (ج) درزه ماسه سنگ، (د) ایجاد مقطع با استفاده از نرم افزار Agisoft و GOM (ه) استخراج مقاطع زبر درزه سنگ

است، نشان داده شده است. با بررسی نمودار پراکندگی نتایج بین پارامترهای کمی همچون R_p , R_q , Z_2 , SF , CLA و MSV با مقدار عددی JRC مشاهده می شود که پراکندگی نتایج حاصله زیاد است. به عنوان مثال پراکندگی نتایج به دست آمده بین مقدار R_p و JRC نشان می دهد که در مقدار عددی R_p برابر با $1/0.3$ ضریب زبری درزه مقادیری بین بازه ۷ تا ۱۴ حاصل می شود. البته این بازه در مقادیر دیگر این پارامتر دامنه کمتری را به خود اختصاص می دهد. پراکندگی نقاط به دست آمده بین مقدار عددی R_q , SF و Z_2 نیز پراکندگی محسوسی را نشان می دهد. با توجه به نمودارهای شکل ۵-ب و شکل ۵-ج به ترتیب به ازای R_q برابر با ۲، مقدار عددی ضریب زبری درزه بین ۸ تا ۱۶ و به ازای Z_2 برابر با ۰/۵ بازه متناسب برای ضریب زبری درزه بین ۸ تا ۱۳ به دست می آید. گستره بازه به دست آمده برای پارامترهای مذکور، منجر به خطای محاسبات مقاومت برشی درزه می شود. با وجود اینکه روابط ارائه شده بین مقادیر پارامترهای کمی و JRC اغلب سعی شده است به صورت برازش بهترین خط بین نقاط پراکندگی حاصل شود، با این حال ضرایب همبستگی مطلوبی که بتواند خطاهای موجود را کاهش دهد به دست نمی آید. ضریب همبستگی در نمودار نقاط پراکندگی پارامترهای R_p , R_q , Z_2 و SF نسبت به JRC به ترتیب ۰/۷۷، ۰/۷۶، ۰/۸۶ و ۰/۸۷ به دست آمده است. روابط ارائه شده برای R_p به صورت رابطه درجه ۲ و روابط مربوط به R_q , Z_2 و SF به صورت لگاریتمی می باشد. بنابراین صرف استفاده از روابط بین پارامترهای کمی و ضریب زبری درزه نمی تواند بیان کننده صحیحی از وضعیت زبری درزه باشد. علت اصلی این موضوع، ضعف های ذاتی پارامترهای کمی موجود می باشد. این پارامترها نمی توانند به طور هم زمان ارتفاع و شیب کلی سطح درزه، ارتفاع و شیب های موضعی سطح درزه، اختلاف ارتفاع نقاط سطح درزه، پله داری و وضعیت عمومی سطح درزه را بیان نمایند. در ادامه برخی دیگر از نمونه های نقض و معایب پارامترهای کمی تعیین زبری در این مقاله بررسی شده که تعدادی از این نمونه ها ارائه می شود. برای دو سطح ارائه شده در شکل ۶ (الف و ب)، مقدار پارامتر Z_2 برابر با ۰/۳۲ به دست می آید. در شکل ۶، L در محور طولی معرف طول درزه و h در محور عرضی نمودار معرف ارتفاع درزه است. بر اساس رابطه تسه و کرودن، مقدار JRC برای دو سطح مذکور مقادیر عددی ۱۰/۷ و ۱۵ به ترتیب به دست می آید.

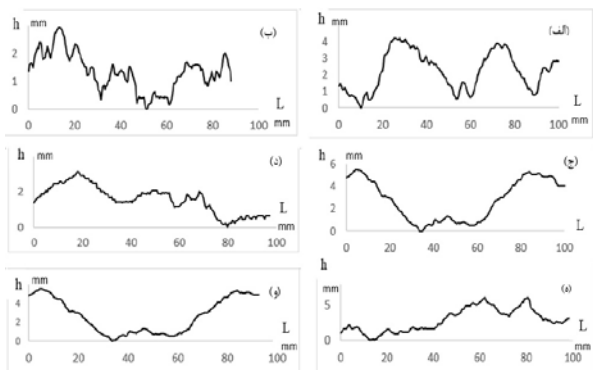


شکل ۴: روند نمای تحقیق

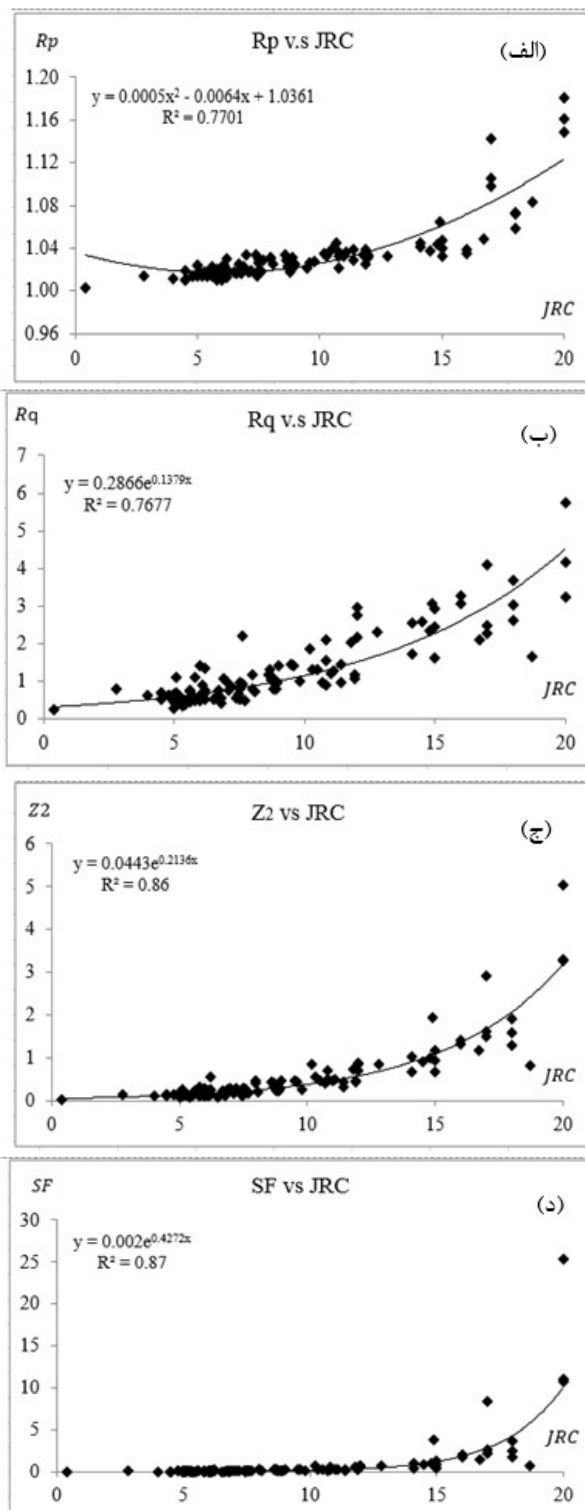
۵- نتایج و بحث

مطالعات کمی سازی سطح زبر درزه سنگ توسط ال سودانی، میرز، سایلز و توماس، یانگ، ونگ^{۱۹}، بارتن و دیکوادرز^{۲۰}، یو و وایساده، گراسلی^{۲۱} و تاتون^{۲۲} و تسه و کرودن، بر پایه داده های سطح زبر و به صورت روابط مختلف بین پارامتر کمی موردنظر و ضریب زبری درزه ارائه شده است. پارامترهای تأثیرگذار در محتوی این روابط شامل اعمال ریاضی بر روی پارامترهایی همچون ارتفاع و شیب نقاط نمونه برداری و در روابط باعتبار بیشتر از اعمال پارامترهای اختلاف ارتفاع بین نقاط نمونه برداری می باشد. به عنوان مثال با مقادیر ثابتی از پارامتر CLA در بررسی آماری سطوح زبر مقادیر JRC متفاوتی به دست می آید. هم پارامترهای ساده همچون CLA و هم پارامترهایی بااهمیت بیشتر همچون SF , Z_2 و R_p و R_q عموماً با افزایش مقادیر JRC افزایش می یابند اما این موضوع به معنای این نیست که با مقدار ثابتی از پارامترهای مذکور همیشه محدوده ثابتی از ضریب زبری درزه به دست خواهد آمد. برای بیان این موضوع، سطوح زبر درزه سنگ نمونه های گردآوری شده مختصات دهی شده و مقادیر کمی زبری (R_p , R_q , Z_2 و SF) نسبت به ضریب زبری درزه برای تمامی نمونه های موجود محاسبه شد. نتایج حاصل در شکل ۵ که بیانگر رابطه بین ضریب زبری درزه و پارامترهای کمی نامبرده

حاصل می‌گردد. به‌عنوان نمونه دیگر پارامتر R_q برای دو سطح شکل ۶ (ه، و) برابر با ۲/۱ به‌دست‌آمده است که نتایج متناظر عددی زبری درزه برای دو سطح برابر با ۱۰/۸ و ۱۶/۷ حاصل‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بازه تغییراتی که می‌تواند در نتایج منجر به مقاومت برشی درزه تأثیرگذار باشد، زیاد است. برای امکان لحاظ تأثیر شکل سطح زبر، ارتفاع کلی سطوح به همراه پارامترهای کمی، ۲۰ مدل هندسی معرف تعریف‌شده است (شکل ۷). پارامترهای کمی زبری، برای شش ارتفاع کلی مختلف برای هر یک از مدل‌های هندسی معرف، این مدل‌ها تقریباً اکثریت شکل‌های موجود در سطح درزه‌های سنگی در مقیاس اندازه‌گیری نمونه‌های با طول ۱۰ سانتی‌متری را پوشش می‌دهند. در مدل‌های هندسی معرف از بالا به پایین شیب سطح ناپیوستگی و تعداد دندانه‌ها افزایش می‌یابد و شکل دندانه‌ها از مثلی به مستطیلی تغییر پیدا می‌کند. در این مقاله، کنترل دیگری برای بررسی صحت افزایش روند زبری در مدل‌های ۲۰ گانه هندسه معرف، با استفاده از پارامترهای کمی زبری همچون R_p ، R_q ، Z_2 و SF انجام‌شده است. روند افزایش مقادیر زبری مدل‌های هندسی معرف توسط پارامترهای مذکور تأیید می‌گردد. به‌عبارت‌دیگر مقادیر پارامترهای R_p ، R_q ، Z_2 و SF برای هرکدام از هندسه‌های معرف محاسبه‌شده و بر اساس مقادیر افزایش این پارامترها، ترتیب افزایش ناهمواری‌ها (زبری) مدل‌های هندسی معرف مشخص‌شده است. هر یک از پارامترهای کمی تعیین زبری، ترتیب و توالی خاصی از مدل‌های هندسی معرف را نشان می‌دهند. به‌عنوان مثال برای دو پارامتر Z_2 و SF ترتیب مدل‌های هندسی به‌صورت شکل ۷ و ۸ نشان داده‌شده است.



شکل ۶: برخی نمونه‌های نقض در پارامترهای کمی تعیین زبری همچون Z_2 ، SF و R_q - محور طولی معرف طول درزه و (h) محور عرضی معرف ارتفاع درزه

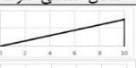
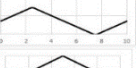
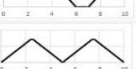
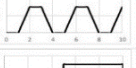
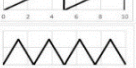
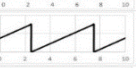
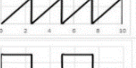
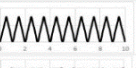
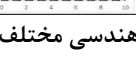


شکل ۵: (الف) پراکندگی داده‌های بین R_q و JRC ، (ب) پراکندگی داده‌های بین R_p و JRC ، (ج) پراکندگی داده‌های بین Z_2 و JRC و (د) پراکندگی داده‌های بین SF و JRC

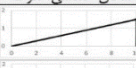
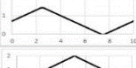
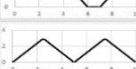
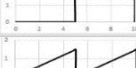
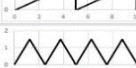
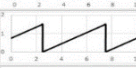
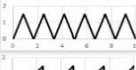
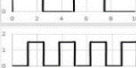
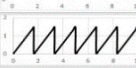
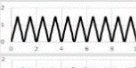
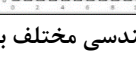
برای دو سطح ارائه‌شده در شکل ۶ (ج و د) مقدار عددی SF برابر با ۰/۴۴ به‌دست‌آمده است که بر اساس رابطه ارائه‌شده توسط یو و وایساده مقدار JRC برای دو سطح ۵/۸ و ۱۰/۸

K بیانگر فاصله بین مرتفع‌ترین و کم‌ارتفاع‌ترین نقطه سطح درزه‌سنگ است. پارامتر K برای پوشش سطوح درزه با شکل یکسان اما با ارتفاع‌های مختلف است که با افزایش ارتفاع آن میزان افزایش در زبری درزه نیز مشهود است.

همین ترتیب با جزئی تغییرات در مورد سایر پارامترهای کمی مورد بحث در این مقاله نیز رعایت شده است. مقادیر پارامترهای R_p ، R_q ، Z_2 و SF به ازای میزان زبری کامل (K) مختلف و برای مدل‌های هندسی معرف در شکل ۹ نشان داده شده است.

ردیف	پارامتر SF	میزان زبری کامل (K) بر حسب سانتی متر				
		۱.۵۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۰.۵۰۰۰	۰.۲۵۰۰	۰.۱۲۵۰
۱		۰.۰۰۰۹۴	۰.۰۰۰۴۱	۰.۰۰۰۱۰	۰.۰۰۰۰۳	۰.۰۰۰۰۱
۲		۰.۰۰۰۳۳۶	۰.۰۰۰۱۵۴	۰.۰۰۰۰۳۸	۰.۰۰۰۰۱۰	۰.۰۰۰۰۰۲
۳		۰.۰۰۰۳۶۰	۰.۰۰۰۱۶۰	۰.۰۰۰۰۴۰	۰.۰۰۰۰۱۰	۰.۰۰۰۰۰۳
۴		۰.۰۰۱۱۲۵	۰.۰۰۰۵۰۰	۰.۰۰۰۱۲۵	۰.۰۰۰۰۳۱	۰.۰۰۰۰۰۸
۵		۰.۰۰۱۳۸۷	۰.۰۰۰۶۱۴	۰.۰۰۰۱۵۴	۰.۰۰۰۰۳۸	۰.۰۰۰۰۱۰
۶		۰.۰۰۴۵۰۰	۰.۰۰۲۰۰۰	۰.۰۰۰۵۰۰	۰.۰۰۰۱۲۵	۰.۰۰۰۰۳۱
۷		۰.۰۰۴۵۰۰	۰.۰۰۲۰۰۰	۰.۰۰۰۵۰۰	۰.۰۰۰۱۲۵	۰.۰۰۰۰۳۱
۸		۰.۰۰۰۶۰۰	۰.۰۰۰۴۰۰	۰.۰۰۰۲۰۰	۰.۰۰۰۱۰۰	۰.۰۰۰۰۵۰
۹		۰.۰۰۲۶۵۱	۰.۰۰۰۵۲۴	۰.۰۰۰۱۳۳	۰.۰۰۰۰۲۳	۰.۰۰۰۰۰۲
۱۰		۰.۰۰۵۲۵۰	۰.۰۰۲۲۱۸	۰.۰۰۰۵۳۷	۰.۰۰۰۱۳۳	۰.۰۰۰۰۲۳
۱۱		۰.۰۰۲۷۴۶	۰.۰۰۰۵۴۲	۰.۰۰۰۱۳۳	۰.۰۰۰۰۲۳	۰.۰۰۰۰۰۲
۱۲		۰.۰۰۴۰۸۸	۰.۰۰۰۸۰۷	۰.۰۰۰۲۰۰	۰.۰۰۰۰۵۰	۰.۰۰۰۰۱۰
۱۳		۰.۰۰۳۱۴۲	۰.۰۰۰۶۲۱	۰.۰۰۰۱۳۳	۰.۰۰۰۰۲۳	۰.۰۰۰۰۰۲
۱۴		۰.۰۰۱۸۰۰	۰.۰۰۰۸۰۰	۰.۰۰۰۲۰۰	۰.۰۰۰۰۵۰	۰.۰۰۰۰۱۰
۱۵		۰.۰۰۲۷۰۰۵	۰.۰۰۱۲۰۰۱	۰.۰۰۰۳۰۰	۰.۰۰۰۰۷۵	۰.۰۰۰۰۱۸۸
۱۶		۰.۰۰۲۵۴۷۳	۰.۰۰۱۱۲۳۵	۰.۰۰۰۲۷۹۴	۰.۰۰۰۰۶۹۸	۰.۰۰۰۰۱۷۴
۱۷		۰.۰۰۳۱۴۰۰	۰.۰۰۱۲۹۵۸	۰.۰۰۰۳۰۹۰	۰.۰۰۰۰۷۶۳	۰.۰۰۰۰۱۹۰
۱۸		۰.۰۰۳۵۳۰۲	۰.۰۰۱۶۰۰۲	۰.۰۰۰۴۰۰۰	۰.۰۰۰۱۰۰۰	۰.۰۰۰۰۲۵۰
۱۹		۰.۰۰۴۴۵۵۴	۰.۰۰۱۹۵۵۶	۰.۰۰۰۴۸۵۲	۰.۰۰۱۲۱۱	۰.۰۰۰۰۳۰۳
۲۰		۰.۰۰۵۴۰۱۲	۰.۰۰۲۴۰۰۲	۰.۰۰۰۶۰۰۰	۰.۰۰۱۵۰۰	۰.۰۰۰۰۳۷۵

شکل ۸: روند مقادیر پارامتر SF در مدل‌های هندسی مختلف با مقادیر مختلف K

ردیف	پارامتر Z2	میزان زبری کامل (K) بر حسب سانتی متر				
		۱.۵۰۰۰	۱.۰۰۰۰	۰.۵۰۰۰	۰.۲۵۰۰	۰.۱۲۵۰
۱		۰.۰۱۵۳	۰.۰۱۰۱	۰.۰۰۵۰	۰.۰۰۲۵	۰.۰۰۱۳
۲		۰.۰۲۹۴	۰.۰۱۹۶	۰.۰۰۹۸	۰.۰۰۴۹	۰.۰۰۲۴
۳		۰.۰۳۰۰	۰.۰۲۰۰	۰.۰۱۰۰	۰.۰۰۵۰	۰.۰۰۲۵
۴		۰.۰۵۳۰	۰.۰۳۵۴	۰.۰۱۷۷	۰.۰۰۸۸	۰.۰۰۴۴
۵		۰.۰۵۸۸	۰.۰۳۹۲	۰.۰۱۹۶	۰.۰۰۹۸	۰.۰۰۴۹
۶		۱.۰۰۶۱	۰.۰۷۰۷	۰.۰۳۵۴	۰.۰۱۷۷	۰.۰۰۸۸
۷		۱.۰۰۶۱	۰.۰۷۰۷	۰.۰۳۵۴	۰.۰۱۷۷	۰.۰۰۸۸
۸		۰.۰۳۸۷	۰.۰۳۱۶	۰.۰۲۲۴	۰.۰۱۵۸	۰.۰۱۱۲
۹		۰.۰۸۱۴	۰.۰۳۶۲	۰.۰۱۹۰	۰.۰۰۹۵	۰.۰۰۴۷
۱۰		۱.۰۱۴۶	۰.۰۳۴۵	۰.۰۳۶۶	۰.۰۱۸۲	۰.۰۰۹۱
۱۱		۰.۰۸۲۹	۰.۰۳۶۸	۰.۰۰۹۲	۰.۰۰۲۳	۰.۰۰۰۶
۱۲		۱.۰۰۱۱	۰.۰۴۴۹	۰.۰۱۱۲	۰.۰۰۲۸	۰.۰۰۰۷
۱۳		۰.۰۸۸۶	۰.۰۳۹۴	۰.۰۰۹۸	۰.۰۰۲۵	۰.۰۰۰۶
۱۴		۲.۱۲۱	۱.۴۱۴	۰.۷۰۷	۰.۰۳۵۴	۰.۰۱۷۷
۱۵		۲.۵۹۸	۱.۶۳۲	۰.۸۶۶	۰.۴۳۳	۰.۲۱۷
۱۶		۲.۵۲۴	۱.۶۷۶	۰.۸۳۶	۰.۴۱۸	۰.۲۰۹
۱۷		۲.۸۰۲	۱.۸۰۰	۰.۸۷۹	۰.۴۴۷	۰.۲۱۸
۱۸		۲.۹۷۱	۲.۰۰۰	۱.۰۰۰	۰.۵۰۰	۰.۲۵۰
۱۹		۳.۳۳۷	۲.۲۱۱	۱.۱۰۱	۰.۵۵۰	۰.۲۷۵
۲۰		۳.۶۷۵	۲.۴۵۰	۱.۲۲۵	۰.۶۱۲	۰.۳۰۶

شکل ۷: روند مقادیر پارامتر Z_2 در مدل‌های هندسی مختلف با مقادیر مختلف K

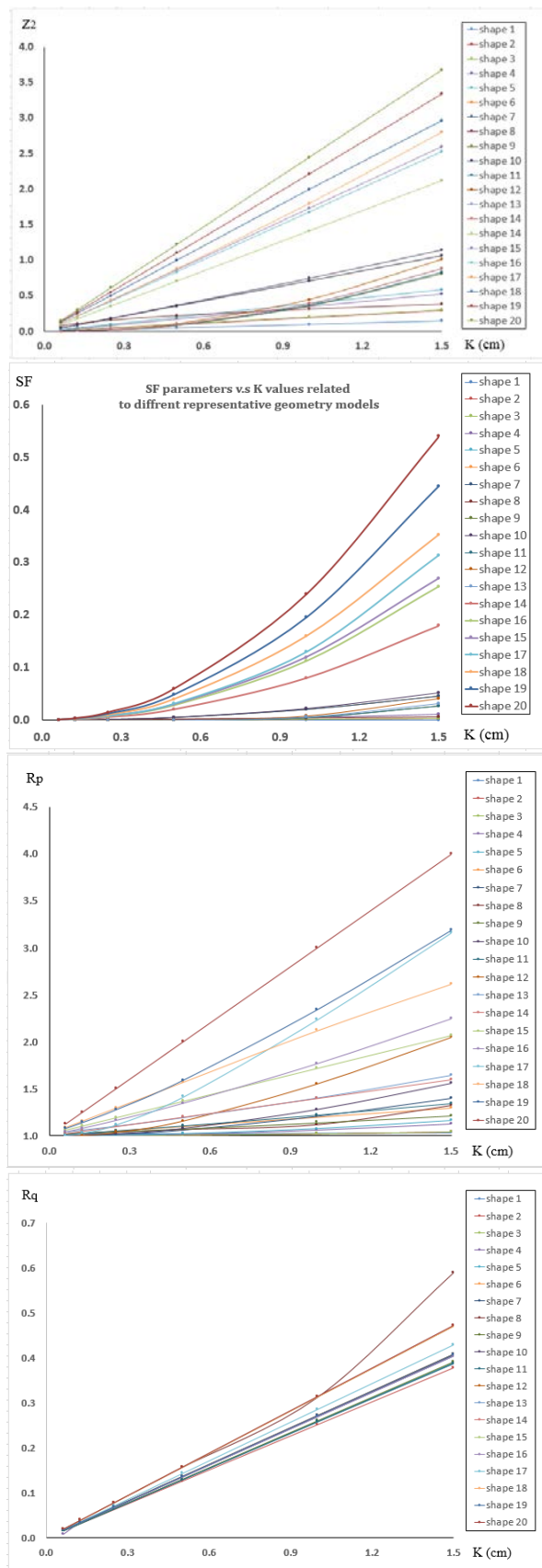
در شکل مذکور تأثیر شکل هندسی درزه مشهود است و لزوم استفاده عامل شکل درزه به همراه سایر پارامترهای کمی را بیان می‌نماید. از مدل هندسی اول تا بیستم مقادیر پارامترهای کمی زبری افزایش می‌یابند. مقادیر پارامترهای Z_2 , R_p و SF در مدل‌های هندسی یک تا بیست گاه تا حدود ۷ تا ۸ برابر افزایش می‌یابد.

افزایش مقادیر پارامتر R_q در مدل‌های هندسی به صورت محدودتر است و در نهایت به میزان ۵۰ درصد افزایش می‌یابد.

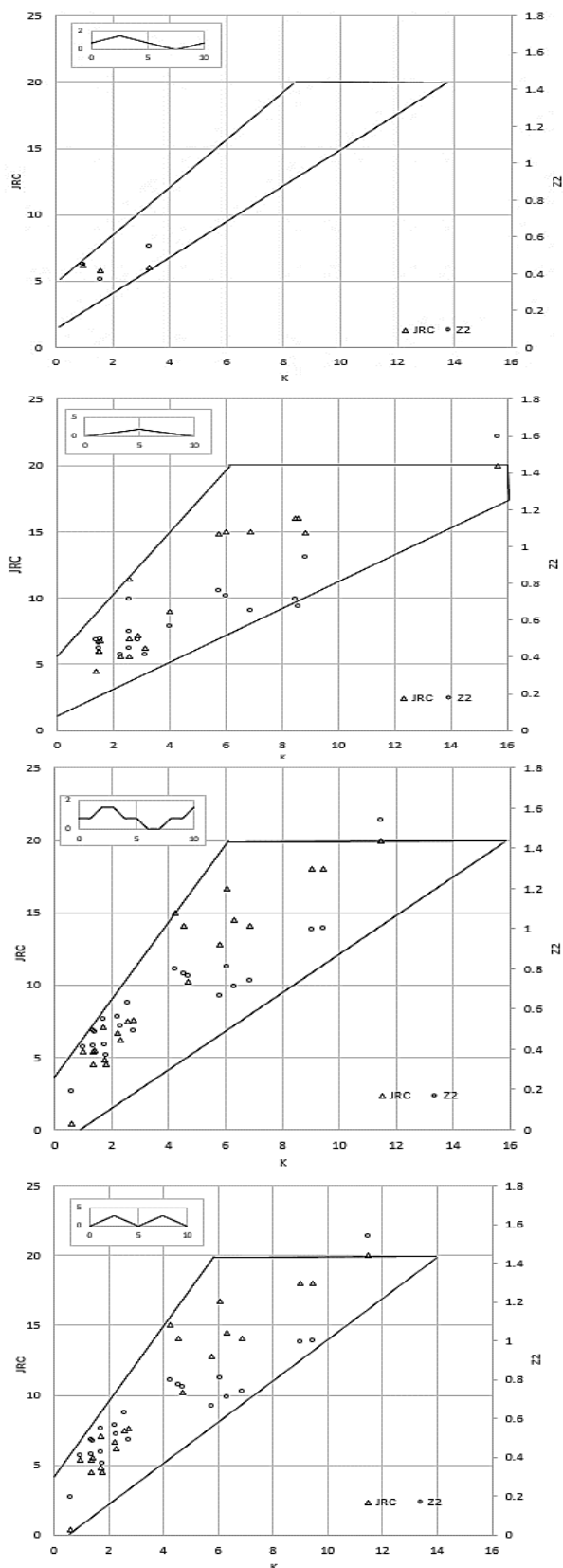
برای اعتباردهی به شکل‌های تئوریک (مدل‌های هندسی) از ۱۱۲ نمونه سطح زبر واقعی که مقادیر JRC آن‌ها تحت آزمایش برش استخراج شده، استفاده شده است. شکل کلی نمونه‌های زبر واقعی با اشکال تئوریک تعریف شده (مدل‌های هندسی معرف) تطبیق داده شده‌اند. برای اکثر مدل‌های هندسی معرف، نمونه‌های زبر واقعی به خوبی تطبیق داده شده‌اند و برای تعداد محدودی از مدل‌های هندسی معرف، معادل واقعی خوبی به دست نیامده است.

علت عدم تطبیق نمونه‌های زبر واقعی برای برخی مدل‌های محدود، نبود مقادیر عدد زبری درزه متناظر برای آن مدل‌هاست. کمبود اطلاعات بیشتر در مدل‌های هندسی با مقادیر K زیاد و تعداد دندان‌های بیشتر است. از بین ۱۱۲ هندسه به دست آمده از سطوح زبر ۱۰۵ نمونه با مدل تئوریکی تطبیق داده شده‌اند. نمونه‌ای از برخی تطبیقات نمونه سطح درزه سنگ با مدل‌های هندسی معرف در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

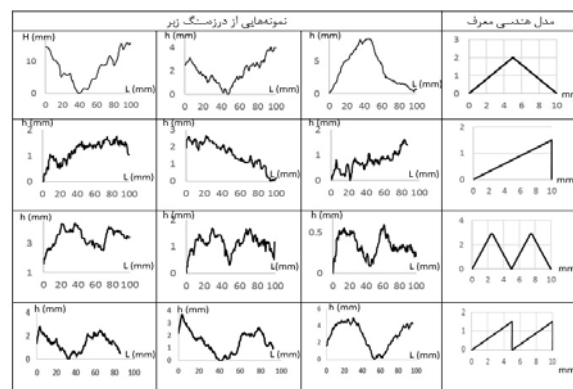
در شکل ۱۰، L معرف طول درزه و h معرف ارتفاع درزه است. بعد از تطبیق نمونه‌های سطح زبر واقعی با مدل‌های هندسی معرف، برای هر کدام از مدل‌های هندسی معرف تعدادی از نمونه‌های سطح زبر واقعی به دست می‌آید. برای این نمونه‌ها نتایج پارامترهای کمی (همچون Z_2 , SF , R_p و R_q)، میزان زبری کامل (K) و مقدار ضریب زبری درزه JRC برای هر کدام از شکل‌های هندسی مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۹. تأثیر مدل‌های هندسی معرف در مقادیر پارامترهای کمی زبری (الف) Z_2 ، (ب) SF ، (ج) R_p و (د) R_q

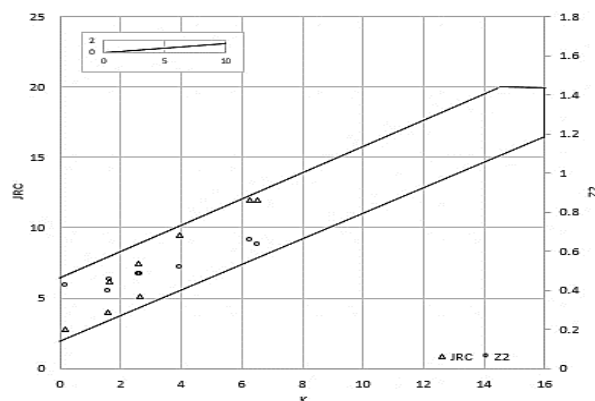


ادامه شکل ۱۱: مقادیر Z_2 , K (محور افقی) و JRC (محور قائم) برای هر کدام از مدل های هندسی معرف

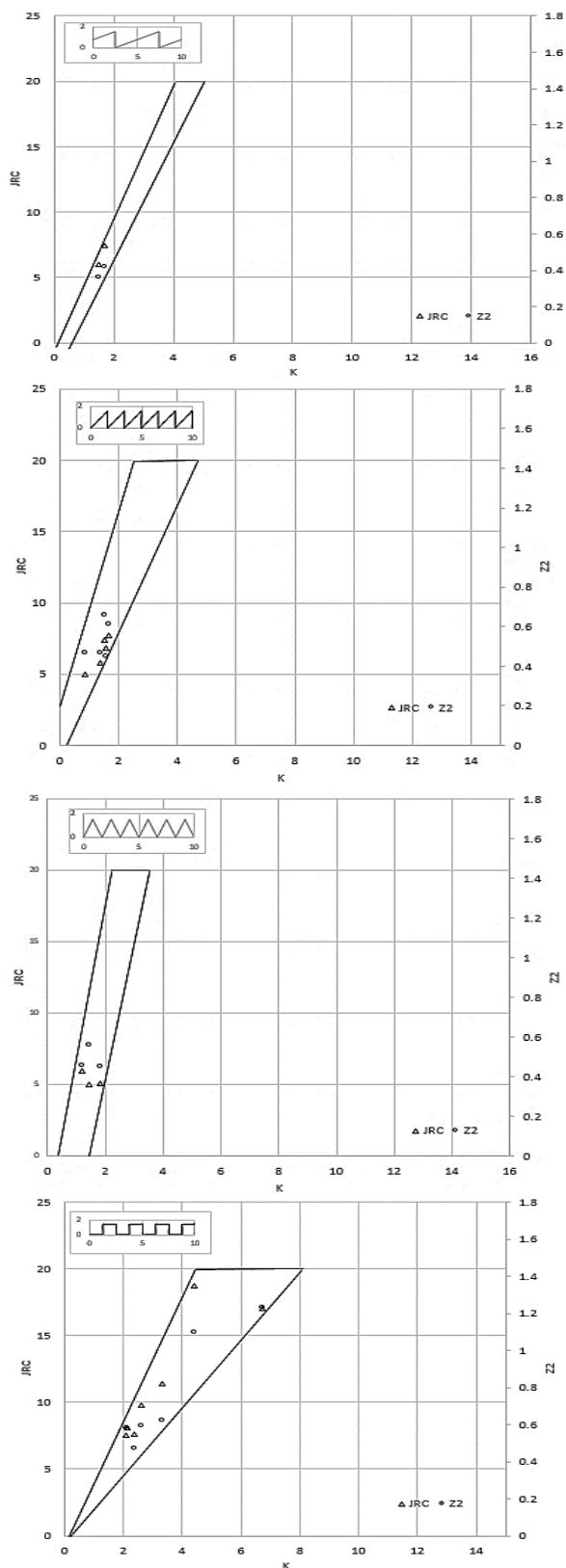


شکل ۱۰: تطبیق نمونه های سطح زیر با مدل های هندسی معرف برای مدنظر قراردادن اثر شکل و پارامترهای کمی در تعیین زبری درزه سنگ

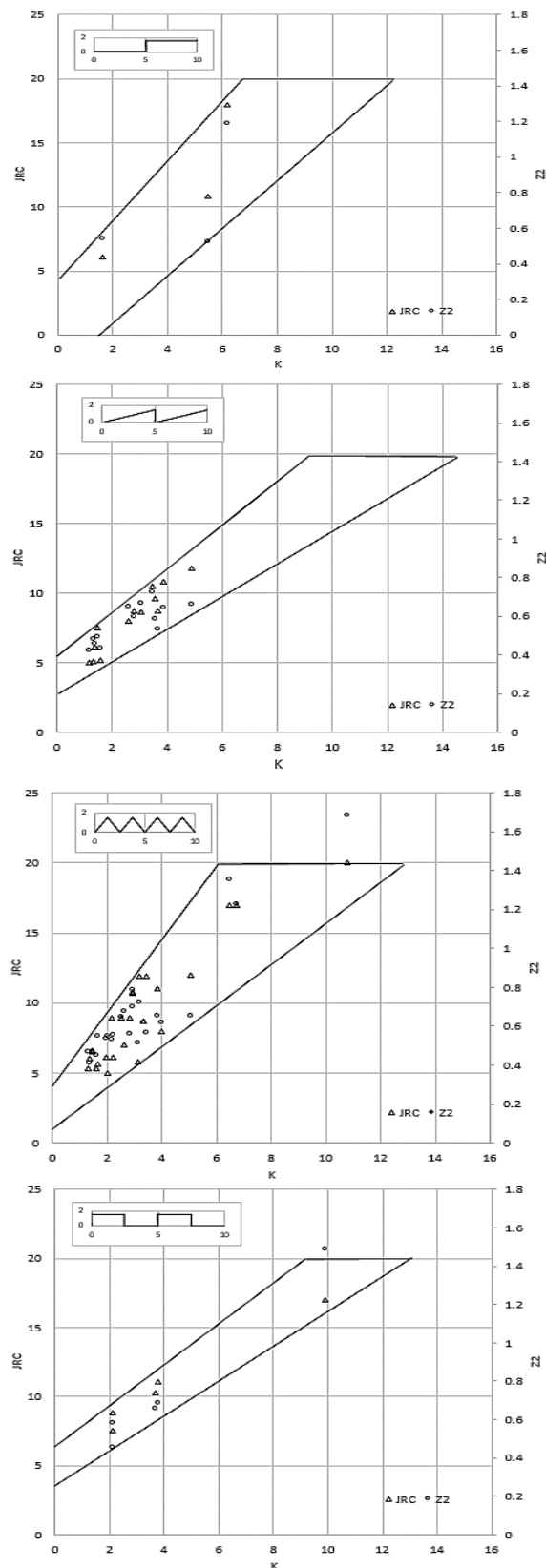
نتایج نشان می دهد که مقادیر ضریب زبری درزه در مدل های هندسی مختلف متفاوت بوده و همانند روند استخراج شده برای ۲۰ مدل هندسی معرف، مقادیر ضریب زبری درزه برای مدل های ۱ تا ۲۰ افزایش یافته است. بنابراین تأثیر مهم نوع شکل سطح بر میزان زبری درزه با استفاده از مقادیر ضریب زبری درزه اعتبار می یابد. در شکل ۱۱، نمودار پارامتر Z_2 نسبت به K و JRC برای هر کدام از مدل های هندسی معرف ارائه شده است. همان طور که در نمودارهای شکل ۱۱ دیده می شود، با افزایش شماره مدل های هندسی معرف از یک تا ۲۰، محدوده مقادیر در نمودارها به سمت چپ متمایل می شود و شیب کلی محدوده نقاط بیشتر می شود. این موضوع مؤید تأثیر شکل هندسی درزه بر مقادیر زبری درزه بوده و لزوم استفاده از شکل هندسی درزه به همراه پارامترهای کمی دیگر را بیان می کند. روابط تجربی متناظر برای هر مدل هندسی معرف در شکل ۱۲ ارائه شده است.



شکل ۱۱: مقادیر Z_2 , K (محور افقی) و JRC (محور قائم) برای هر کدام از مدل های هندسی معرف



ادامه شکل ۱۱: مقادیر K (محور افقی) و JRC (محور قائم) برای هر کدام از مدل‌های هندسی معرف



ادامه شکل ۱۱: مقادیر K (محور افقی) و JRC (محور قائم) برای هر کدام از مدل‌های هندسی معرف

تک پارامتری (صرفاً استفاده از پارامترهای کمی) را کاهش می‌دهد و در این حالت با توجه به تمایز و انفکاک سطوح زبر درزه‌سنگ بر اساس مدل‌های هندسی معرف، خطاهای حاصل از بازه گسترده مقادیر JRC نسبت به پارامتر کمی زبری مشخص، محدود شده است.

رابطه	شکل	ردیف
$JRC = 2.5611 \ln(k) + 5.3956$		۱
$JRC = 6.5635 \ln(k) + 2.6826$		۲
		۳
		۴
$JRC = 4.3173 \ln(k) + 4.3283$		۵
$JRC = 6.8514 \ln(k) + 2.4875$		۶
		۷
		۸
$JRC = 11.585 \ln(k) + 1.3027$		۹
		۱۰
$JRC = 5.6871 \ln(k) + 3.6575$		۱۱
$JRC = 3.8192 \ln(k) + 5.3432$		۱۲

شکل ۱۲: اشکال هندسی معرف و روابط تجربی متناظر

با توجه به بررسی انجام‌شده بایستی ترکیبی از پارامترها به همراه تفکیک شکل عمومی سطح ناپیوستگی شامل شیب، ارتفاع و دندانه استفاده شود. در تعیین زبری سطوح زبر، با تعیین شکل هندسی کلی سطح و تطبیق آن با اشکال هندسی معرف تعریف‌شده، می‌توان از پارامترهای کمی نظیر SF ، Z_2 و R_p استفاده نمود.

به عبارت دیگر برای استفاده مناسب از پارامترهای کمی تعیین زبری، ابتدا می‌بایست شکل عمومی سطح درزه‌سنگ با یکی از شکل‌های هندسی معرف تعریف‌شده در این مقاله تطبیق داده‌شده و پس از مشخص شدن گروه شکلی آن از پارامتر کمی زبری استفاده نمود. در این حالت خطاهای حاصل از بازه گسترده مقادیر JRC نسبت به پارامتر کمی زبری مشخص، محدود خواهد شد.

۶- نتیجه‌گیری

با بررسی نمودار پراکندگی نتایج بین پارامترهای کمی همچون R_p ، R_q ، Z_2 ، SF ، CLA و MSV با مقدار عددی JRC مشاهده می‌شود که پراکندگی نتایج حاصله زیاد است. بررسی انجام‌شده در مورد پارامترهای مذکور نشان می‌دهد که این پارامترها به تنهایی نمی‌توانند معرف زبری سطح درزه‌سنگ باشند و بازه گسترده‌ای از مقدار عددی JRC را نتیجه می‌دهند که برای محاسبه مقاومت برشی درزه‌ها در طراحی پروژه‌های قرارگرفته در محیط‌های سنگی خطای بالایی ایجاد می‌نماید. نتایج نشان می‌دهد صرف استفاده از داده‌های پارامترهای کمی نمی‌تواند منجر به برآورد درستی از زبری درزه باشد و نیاز است از عوامل دیگری برای دستیابی به مقادیر ضریب زبری درزه همچون عامل شکل و ارتفاع کلی در تخمین زبری درزه‌سنگ استفاده شود. روابط ارائه‌شده در این تحقیق با دخالت دادن عامل شکل، ارتفاع کلی و پارامترهای کمی زبری درزه پیشنهاد شده است و ضعف موجود ناشی از استفاده از عوامل

۷- مراجع

- [15] Sturzenegger, M., Stead, D. Close range Terrestrial digital photogrammetry and terrestrial laser scanning for discontinuity characterization on rock cuts, *Engineering Geology* 2009, 106, 163-182.
- [16] Unala, M., Yakarb, M., & Yildizb, F. Discontinuity surface roughness measurement techniques and evaluation of digital photogrammetric method. XXth ISPRS congress. Istanbul. 2004.
- [17] Nilsson, M., Edelfro, C., Shorrock, G. Small scale joint surface roughness evaluation using digital photogrammetry. ISRM International Symposium Eurock, 2012.
- [18] Bandis S.C. Engineering properties and characterization of rock discontinuities. *Comprehensive rock engineering*, vol. 1, Hudson (ed), Pergamon press, pp 1-54.
- [19] Rasouli V., Harrison J. P. In-plane analysis of fracture surface roughness: anisotropy and scale effect in anisotropy. *Rock mechanics in the national interest*, Ellsworth, et al. (eds), Swets & Zeitlinger, 2001, pp.777-783.
- [20] Muralha J., Pinto da Cunha A. Analysis of scale effects in joint mechanical behavior. *Scale Effects in Rock Masses*, Pinto da Cunha (ed.) Balkema, 191-200. 1990.
- [1] Kulatilake PHSW, Shou G, Huang T H, Morgan R M. New peak shear strength criteria for an isotropic rock joints. *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr* 1995; 32:673-97.
- [2] Barton N. Review of a new shear-strength criterion for rock joints. *Eng Geol* 1973;7:287-332.
- [3] Barton N, Choubey V. The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock Mech* 1977; 10:1-54.
- [4] Brown ET. Rock characterization testing and monitoring (ISRM suggested methods). Oxford: Pergamon; 1981.
- [5] Laubscher, D. H. (1990). A geomechanics classification system for the rating of rock mass in mine design. *JS Afr. Inst. Metall*, 90(10), 267-273.
- [6] Hack, H. R. G. K. (1998): Slope stability probability classification (2nd edition). International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), No. 43, Enschede, The Netherlands, 258pp.
- [7] Tse R, Cruden DM. Estimating joint roughness coefficients. *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr* 1979; 16:303-7.
- [8] Yu XB, Vayssade B. Joint profiles and their roughness parameters. *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr* 1991; 28:333-6.
- [9] Yang ZY, LoSC, DiCC. Reassessing the joint roughness coefficient (JRC) estimation using Z_2 . *Rock Mech Rock Eng* 2001; 34:243-51.
- [10] El-Soudani SM. Profilometric analysis of fractures. *Metallography* 1978; 11:247-336.
- [11] Sayles RS, Thomas RR. The spatial representation of surface roughness by means of the structure functions, a practical alternative to correlation. *Wear* 1977; 42:263-76.
- [12] Maerz NH, Franklin JA, Bennett CP. Joint roughness measurement using shadow profilometry. *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr* 1990; 27:329-43.
- [13] Li Y, Zhang Y. Quantitative estimation of joint roughness coefficient using statistical parameters. *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr* 77 (2015) 27-35.
- [14] Grasselli, G. Shear Strength of Rock Joints based on Quantified Surface Description. Ph.D. Thesis n.2404. 2001.

¹ Barton

² Laubscher

³ Tse

⁴ Cruden

⁵ Meyers

⁶ El-Sudani

⁸ Chouby

⁹ Joint Roughness Coefficient

¹⁰ Joint Compressive Strength

¹¹ ISRM

¹² Hack et al.

¹³ Crune

¹⁴ Mognestrone

¹⁵ Rives

¹⁶ Yu and Vayssade

¹⁷ Yang

¹⁸ Sayles and Tomas

¹⁹ Wang

²⁰ Dequadros

²¹ Grasselli

²² Tatton

Investigation of the Effect of Shape of Single Rock Joint in Estimation of Roughness by Using Statistical Study

A. Talebinezhad^{1*}; S. M. E. Jalali²; R. Khaloo Kakaei³

¹PhD student, Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology

²Associate Professor, Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology

³Professor, Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology

Received: Jun. 2018

Accepted: Sep. 2018

KEYWORDS

Rock joint, Roughness, Quantitative roughness parameters, Representative geometry model

ABSTRACT

Several researchers tried to investigate the rock joint roughness by simplification and applying related assumptions. In Barton and Laubscher's presented methods, the rock joint has to be compared visually with typical models which related to predefined number of roughness. Tse, Cruden, Meyerz and El-Sudani used statistical methods considering quantitative estimations. Visual methods are simple and user friendly but they are subjected to errors which are related to judge in achieving best fits and

distinction of the amount of roughness of one joint to another. In quantitative methods, applying one quantitative parameter can not accurately express all specification of joint roughness. In this paper, by gathering rock joint surface data including 203 samples from site investigations and literature, it's tried to define all probable geometry of rock joints. The shapes of probable geometries have been investigated and shapes with more frequency introduced in 20 geometry model named representative geometry model (RGM). The representative geometry models have been evaluated and categorized based on quantitative parameters, namely Rq, Rp, Z2 and SF. In this category, by comparing the rock joint surface with RGM's and considering parameter K, a more accurate estimation of Joint roughness coefficient can be achieved.

Summary

Several shapes extracted from statistical analysis on 203 rock joints are simulated to 20 types of shape. These shapes have been categorized based on general parameters like slopes, heights and number of cogs of rock joints and also by using quantitative parameters. These shapes have been compared based on the JRC parameters in 112 rock joints. Accordingly, shape-specific formula was proposed for estimation of the joint roughness coefficient.

Introduction

Accurate determination of mechanical and hydraulic properties of fractured rock mass is essential for design, performance and safety assessment in all civil and environmental engineering projects. Since the surface roughness of fractures plays an important role in rock mass characteristics, it has been critically important for researchers to establish a suitable and accurate method to characterize rock fracture surface roughness. A variety of parameters has been proposed. The rock joint roughness coefficient (JRC) has been widely used for the estimation of the peak shear strength of rock joints. The JRC value presented joint roughness in the range from 0 (smooth) to 20 (rough) in ten standard profiles. Many researchers also investigated the applicability of various conventional statistical parameters for calculating the JRC. The JRC has some limitations because of quality of judgment in identifying appropriate profiles compared to projects rock joint profiles and Statistical parameters have uncertainties because of their intrinsic weakness in presenting specification of roughness of rock joints. In order to achieve better results, it is important to consider the shape of rock joint in estimation of roughness.

Methodology and Approaches

By investigating rock joints profiles collected from previous researches and profiles gathered from different rock joint



samples which achieved by close range photography methods in this research, 20 geometry models have been proposed. General parameters like main slopes, heights and roughness quantitative parameters were used to make priority in geometry models. In order to authenticate to geometry models, they are compared to rock joints profiles which their JRC parameters have been specified. For each geometry model, a formula has been proposed. In this paper, by statistical studies of rock joints surface, a shape based category has been proposed. By selecting appropriate shape of rock joint and related formula, the most appropriate joint roughness coefficient has been achieved.

Results and Conclusions

Investigating of quantitative roughness parameters shows that these parameters singly can't represent real specification of roughness of rock joints. The results of the studies show that the joint roughness coefficient can be estimated more appropriately by considering shapes of surfaces of rock joints. By presented category in this paper, the shape of 10 cm rock Joints profiles compared with one of geometry models and the best one can be select. Then based on the height of profile and one of quantitative parameters like Z2 and related diagrams the value of JRC can be estimated. By the presented method main factors like the shape, quantitative parameters and height of rock joint accompanied to achieve more accurate JRC value.

*Corresponding Author, sadegh.mine87@yahoo.com