برآورد مقاومت سنگ درزه‌دار با استفاده از ضریب درزه‌داری و مقایسهٔ آن با رابطهٔ موجود

*حسن مومیوند، میرعلی محمدی: دانشکده فنی دانشگاه ارومیه

تاریخ: دریافت ۹۰/۴/۱ **پذیرش** ۹۱/۴/۱۱

چکیده

ناپیوستگی‌ها دارای ویژگی‌هایی مانند جهت‌یابی، تعداد دسته و فراوانی هستند که می‌توانند در مقاومت سنگ مؤثر واقع شوند. نمونه‌های سنگ آهک به‌ترتیب دارای یک، دو و سه‌دسته ناپیوستگی متقاطع، فراوانی‌های مختلف و زاویهٔ شیب صفحه ناپیوستگی‌ها با جهت افقی برابر با ۰، ۳۰، ٤٥، ٦۰ و ۹۰ درجه آماده‌سازی شدند. با افزایش تعداد دسته ناپیوستگی و فراوانی آن‌ها تعداد قطعات به‌صورت تصاعدی افزایش یافت، به‌طوری‌که تعدادی از نمونه‌های دارای سه دسته ناپیوستگی که یکی از دسته‌های آن‌ها دارای چهار ناپیوستگی موازی بود از ۲۰ قطعه سنگ تشکیل می‌شدند و مصداق سنگ به شدت درزه‌دار بودند. ضریب درزه‌داری و مقاومت فشاری یک‌محوری نمونه‌ها و زاویهٔ اصطکاک در امتداد سطح درزه در برش مستقیم تعیین شدند. مقاومت فشاری یک‌محوری نمونه‌های دارای یک، دو و سه دسته ناپیوستگی در جهت افقی یا قائم کم‌تر از مقاومت نمونه سنگ سالم بود. مقاومت یک‌محوری سنگ دارای ناپیوستگی به‌ویژه وقتی که جهت یافتگی ٦۰ درجه نسبت به حالت افقی بود، به مقدار بسیار کمی نزدیک می‌شد. این شدت کاهش مقاومت برای نمونه‌های دارای دو و سه دسته ناپیوستگی متقاطع و عمود برهم در زاویهٔ جهت یافتگی ناپیوستگی‌ها با حالت افقی برابر ۳۰ درجه نیز اتفاق افتاد. تحلیل نتایج نشان داد که رابطهٔ بین نسبت مقاومت فشاری یک محوری نمونه‌های درزه‌دار به مقاومت فشاری یک‌محوری سنگ سالم (ضریب ناهم‌سان‌گردی) و ضریب درزه‌داری (J_f) حاصل از این تحقیق با رابطهٔ ارائه شده توسط رامامورتی دارای تفاوت است. ویژگی‌های ناپیوستگی‌ها توأماً نقش اساسی در مقاومت تودهٔ سنگ دارند.

واژه‌های کلیدی: تعداد دسته ناپیوستگی، مقاومت، ناهم‌سان‌گردی، ضریب درزه داری

*نویسنده مسئول h.moomivand@urmia.ac.ir

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.2.7.4]

مقدمه

تودهٔ سنگ جسمی جامد پیوسته، همگن و هم‌سان‌گرد نیست و دارای انواع ناپیوستگی‌ها است. طی دهه‌های گذشته محققان کشورهای مختلف تلاش‌های زیادی در زمینهٔ تأثیر برخی ویژگی‌های ناپیوستگی‌ها در مقاومت سنگ انجام داده‌اند. به‌رغم انجام پژوهش‌های ارزنده‌ای در مورد تأثیر ویژگی‌هایی مانند جهت‌یابی و فراوانی ناپیوستگی‌ها در مقاومت سنگ به‌وسیلهٔ محققانی مانند جیگر [۱]، [۲]، بینیاوسکی [۳]، فیرهورس و واورسیک [٤]، آرورا [٥]، کُلاک و اُنلو [٦]، براون و ترالُپ [۷]، اینشتین و هیرچفلد [۸]، لاما [۹]، لیندهلم و همکاران [۱۰]، جیگر و کُک [۱۱]، یاجی [۱۲]، شئوری و همکاران [۱۳]، رأی [۱٤]، رامامورتی و آرورا [۱٥]، رامامورتی [۱٦]، [۱۷]، کاراکو و همکاران [۱۸]، امیت و سینگ [۱۹]، هنوز تأثیر تعدادی ناپیوستگی‌های متقاطع در مقاومت سنگ درزه‌دار به‌علت سخت و طاقت‌فرسا بودن موضوع، کم‌تر به طور جدی بررسی شدند. در این تحقیق علاوه بر تأثیر جهت‌یابی ناپیوستگی‌ها، تأثیر دسته ناپیوستگی‌های متقاطع دارای فراوانی مختلف در مقاومت سنگ مورد پژوهش قرار گرفته است. با افزایش تعداد دسته ناپیوستگی‌ها و فراوانی آن‌ها، سنگ به‌سمت توده‌های خرد شده میل می‌کند. بررسی تأثیر ویژگی بارز تعداد دسته ناپیوستگی‌های متقاطع دارای فراوانی مختلف که مصداق تمایز میزان خردشدگی توده‌های سنگ از سنگ یک پارچه است، در برآورد مقدار ضریب درزه‌داری و نسبت مقاومت فشاری یک‌محوری سنگ‌درزه دار به مقاومت فشاری یک‌محوری سنگ سالم (ضریب ناهم‌سان‌گردی) و در نتیجه پارامترهای معیارهای شکست سنگ مانند رامامورتی [۱٦] می‌تواند نقش مهمی داشته باشد.

ضریب درزه‌داری

ضریب درزه‌داری (J_f) متشکل از ترکیب تأثیر سه عامل شامل ضریب جهت‌یافتگی درزه (n)، فراوانی درزه در متر طول (J_n) و پارامتر مقاومت درزه (r) بدین شرح است [۱٦].

$$J_f = \frac{J_n}{n \times r} \qquad (۱)$$

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.2.7.4]

$$r = \frac{\tau_j}{\sigma_{nj}} = \tan\phi'_j \qquad (۲)$$

که در آن

τ_j = مقاومت برشی در امتداد درزه؛

σ_{nj} = تنش عمود بر سطح درزه؛

ϕ'_j = مقدار معادل زاویهٔ اصطکاک سطح درزه.

پارامتر مقاومت درزه (r) از طریق آزمایش برش مستقیم در امتداد درزه با استفاده از زوج داده‌های مقاومت برشی (τ_j) و تنش عمود بر سطح درزه (σ_{nj}) از رابطهٔ (۲) به‌دست می‌آید. مقادیر ضریب جهت‌یافتگی درزه‌ها (n) با استفاده از جدول ارائه شده به‌وسیلهٔ رامامورتی [۱۶] تعیین می‌شود و فراوانی درزه‌ها (J_n) نیز در متر طول تعیین می‌شود [۱۶]. ضریب درزه‌داری (J_f) را می‌توان به‌ازای هر متر عمق تودهٔ سنگ محاسبه کرد و مقادیر بزرگ‌تر ضریب درزه‌داری نشان‌دهندهٔ ضعیف‌تر بودن تودهٔ سنگ است. ضریب درزه‌داری برای سنگ سالم صفر است و برای سنگ به شدت درزه‌دار می‌تواند در هر متر بیش از ۵۰۰ باشد. رامامورتی [۱۶] رابطهٔ بین ضریب ناهم‌سان‌گردی را به‌صورت نسبت مقاومت فشاری یک‌محوری نمونه‌های درزه‌دار به مقاومت فشاری یک‌محوری سنگ سالم (σ_{cj}) و ضریب درزه‌داری (J_f) بدین شرح ارائه کرده است.

$$\frac{\sigma_{cj}}{\sigma_{ci}} = exp\left(-0.008J_f\right) \qquad (۳)$$

آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش‌ها و تحلیل نتایج

مصالح و تجهیزات مورد نیاز آماده‌سازی نمونه‌ها شامل: بلوک‌های سنگ آهک همگن که بتوان نمونه‌های مناسبی از آن‌ها تهیه کرد، اره بزرگ الماسه برای بریدن نمونه‌های بزرگ، دستگاه کرگیری برای تهیهٔ مغزه‌های استوانه‌ای، ارهٔ کوچک الماسه مغزه بر (دستگاه کُربر) برای ایجاد نمونه‌های استاندارد و دارای جهت‌یابی، فراوانی و دسته‌های مختلف ناپیوستگی متقاطع در این تحقیق هستند. بخش‌های مختلف نمونه‌های دارای یک دستهٔ ناپیوستگی، دو دستهٔ

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.2.7.4]

ناپیوستگی، سه دسته ناپیوستگی متقاطع منفرد و سه دسته ناپیوستگی متقاطع که یک دسته آن‌ها دارای ٤ ناپیوستگی موازی است و هر بخش در پنج حالت دارای زاویهٔ شیب صفحه ناپیوستگی‌ها با جهت افقی به‌ترتیب ۰، ۳۰، ٤٥، ٦۰ و ۹۰ درجه آماده‌سازی شدند. بخشی از نمونه‌ها که دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع که یک دسته آن‌ها دارای ٤ ناپیوستگی موازی و دارای زاویهٔ شیب صفحه ناپیوستگی‌ها با جهت افقی به‌ترتیب ۰، ۳۰، ٤٥، ٦۰ و ۹۰ است در شکل‌های (۱، ۲، ۳، ٤ و ٥) نشان داده شده‌اند. هر یک از نمونه‌های شکل‌های (۱، ۲، ۳، ٤ و ٥) متشکل از ۲۰ قطعه در کنارهم است. برای جلوگیری از هم‌پاشیدگی قطعاتِ بعضی از نمونه‌ها، در زمان آماده‌سازی برای آزمایش اطراف آن‌ها با نوار چسب پلاستیکی شفاف باندپیچی شد. آماده‌سازی چنین نمونه‌هایی موضوعی بسیار سخت و طاقت‌فرسا بود که به‌رغم مشکل بودن به مرحلهٔ اجرا درآمد.

آزمایش مقاومت برشی مستقیم به‌منظور تعیین مقادیر زاویهٔ اصطکاک سطح ناپیوستگی براساس استاندارد انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ انجام شد [۲۰]. با استفاده از نتایج مقاومت برشی (τ_j) و تنش عمودی (σ_{nj}) بر صفحه ناپیوستگی‌ها حاصل از آزمایش مقاومت برشی مستقیم، پارامتر مقاومت درزه (تانژانت زاویه اصطکاک سطح درزه (ϕ'_j) بدین شرح تعیین شد.

$$tan\phi'_j = \frac{\tau_j}{\sigma_{nj}} = 0.717 \qquad (٤)$$

$$\phi'_j = tan^{-1}\left(\frac{\tau_j}{\sigma_{nj}}\right) = 35.62^{o} \qquad (٥)$$

رابطه بین مقاومت برشی (τ_j) و تنش عمودی (σ_{nj}) در شکل ٦ نشان داده شده است. مقدار پارامتر مقاومت درزه $r=\tan\phi'_j$ برابر ۰/۷۱۷ است. مقادیر فراوانی (J_n) و ضریب جهت‌یافتگی درزه (n) برای انواع نمونه‌ها نیز تعیین شدند. پس از آن ضریب درزه‌داری همهٔ نمونه‌ها (J_f) تعیین شد.

رابطهٔ بین ضریب درزه‌داری (J_f) در واحد متر و زاویهٔ جهت‌یافتگی ناپیوستگی‌ها با حالت افقی برای نمونه‌های مختلف در شکل ۷ نشان داده شده است. با افزایش دسته درزه‌ها ضریب درزه‌داری افزایش می‌یابد. نمونه‌های دارای سه‌دسته ناپیوستگی متقاطع که یک دسته آن‌ها

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.2.7.4]

دارای ٤ عدد ناپیوستگی موازی است، دارای بیش‌ترین مقدار ضریب درزه‌داری هستند و این نقش مهم تعداد دسته ناپیوستگی‌ها در میزان سست شدگی سنگ را نشان می‌دهد.

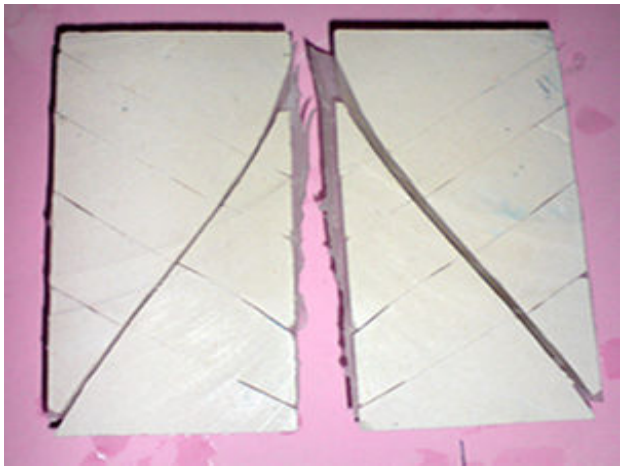
مقاومت فشاری یک‌محوری نمونه‌های آماده‌سازی شده بر اساس استاندارد انجمن امریکایی آزمون مواد اندازه‌گیری شد [۲۱]. سنگ فاقد ناپیوستگی (سنگ سالم) مقاومت متعارفی از خود نشان می‌دهد. مقاومت یک‌محوری نمونه‌های دارای یک، دو و سه دسته ناپیوستگی که دسته‌های آن‌ها در جهت افقی یا قائم بودند کم‌تر از مقاومت نمونه سنگ سالم نشان داد. مقاومت یک‌محوری سنگ دارای ناپیوستگی به‌ویژه وقتی که جهت یاقتگی ٦۰ درجه نسبت حالت افقی بود، حدوداً به مقدار صفر نزدیک می‌شد. این شدت کاهش مقاومت برای نمونه‌های دارای دو و سه دسته ناپیوستگی متقاطع و عمود برهم در زاویه جهت‌یافتگی ناپیوستگی‌ها با حالت افقی برابر ۳۰ درجه نیز اتفاق افتاد. افزایش تعداد دسته ناپیوستگی‌ها و فراوانی آن‌ها نیز باعث کاهش مقاومت شد.



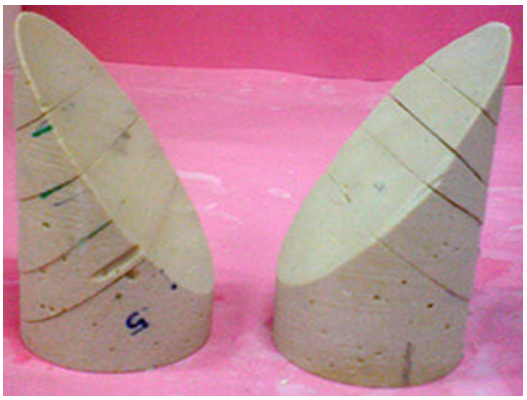
شکل ۱. دودسته ناپیوستگی قائم و عمود برهم و یک‌دسته در جهت افقی و دارای ٤ ناپیوستگی موازی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.2.7.4]



شکل ۲. دو دسته ناپیوستگی عمود برهم دارای زوایای ۳۰ و ٦۰ درجه و در جهت مخالف هم‌دیگر، دسته ناپیوستگی با زاویهٔ ۳۰ درجه دارای ٤ ناپیوستگی موازی و نمونه در جهت دسته قائم برای نمایش از وسط باز شده است.



شکل ۳. نمونه دارای دو دسته ناپیوستگی عمود بر هم هر یک دارای زاویهٔ ٤٥ درجه و در جهت مخالف هم‌دیگر یکی از دسته‌ها دارای ٤ ناپیوستگی موازی و نمونه آماده برای ایجاد یک دسته قائم است

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.2.7.4]



الف) نیم رخ ناپیوستگی‌ها در صفحه قائم در داخل نمونه ب) نیم رخ ناپیوستگی‌ها در جهت قائم در بیرون نمونه

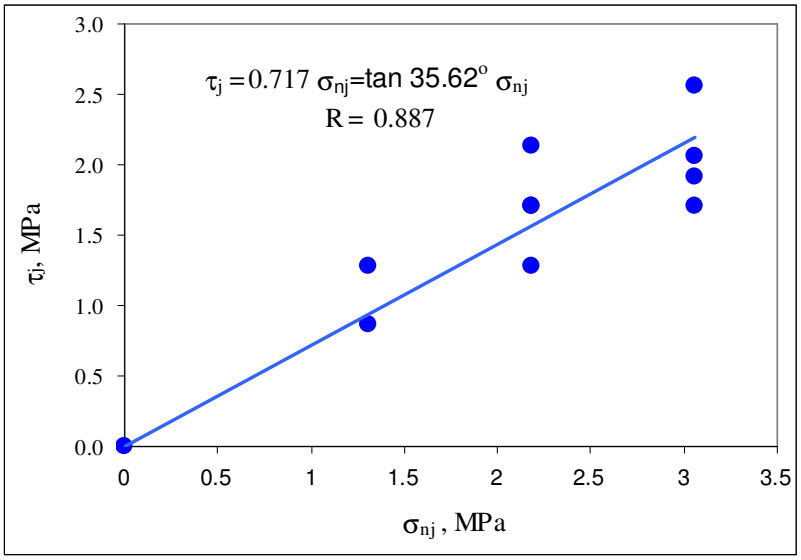
شکل ٤. نمونه دارای دو دسته ناپیوستگی عمود بر هم با زوایای ۳۰ و ٦۰ درجه و در جهت مخالف هم‌دیگر، دسته ناپیوستگی با زاویهٔ ٦۰ درجه دارای ٤ ناپیوستگی موازی و نمونه درجهت دسته قائم برای نمایش از وسط جدا شده است.



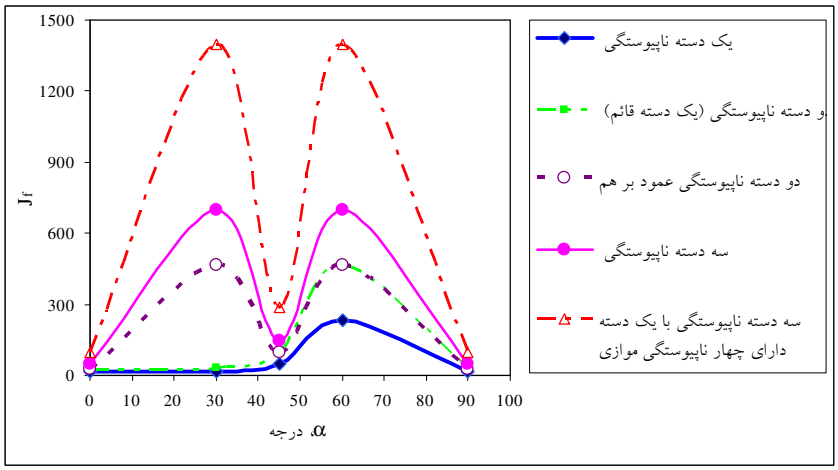
شکل ٥. نمونه دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع و عمود برهم، یکی دسته ناپیوستگی با زاویهٔ ۹۰ درجه دارای ٤ ناپیوستگی موازی است و در جهت دسته قائم برای نمایش از وسط باز شده است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.2.7.4]



شکل ٦. رابطه بین مقاومت برشی (τ_j) و تنش عمودی (σ_{nj}) بر صفحهٔ ناپیوستگی



شکل ۷. رابطه بین ضریب درزه‌داری (J_f) در واحد متر و زاویهٔ جهت‌یافتگی ناپیوستگی‌ها با حالت افقی (α) برای نمونه‌های دارای یک، دو و سه دسته ناپیوستگی و فراوانی مختلف

نمونه‌های دارای یک، دو و سه دسته ناپیوستگی که دسته‌های آن‌ها در جهت افقی یـا قـائم بودند، تحت بار یک‌محوری به‌صورت برش در بدنه سالم شکسته شدند. نمونه‌های دارای سه

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.2.7.4]

دسته ناپیوستگی متقاطع و عمود برهم و در جهت افقی و قائم با یک دسته دارای ٤ ناپیوستگی موازی پس از آزمایش تحت بار یک محوری انبساط عرضی قابل ملاحظه‌ای در وسط نیز داشتند. برای نمونه‌های دارای یک دسته ناپیوستگی که زاویهٔ جهت یافتگی آن‌ها برابر ٤٥ و ٦٠ درجه بود، شکست در صفحه ناپیوستگی‌ها به‌صورت لغزشی اتفاق افتاد. نمونه دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع و عمود برهم شامل یک دستهٔ قائم، دو دسته ناپیوستگی عمود برهم دارای زوایای ۳۰ و ٦٠ درجه و در جهت مخالف هم‌دیگر و دسته ناپیوستگی با زاویهٔ ۳۰ درجه دارای ٤ ناپیوستگی موازی پس از آزمایش تحت بار یک محوری ابتدا شکست لغزشی در صفحه ناپیوستگی دارای زاویهٔ ٦٠ درجه اتفاق افتاد، سپس قطعات بالای صفحه ٦٠ درجه که بر اثر دو دسته ناپیوستگی دارای زاویهٔ ۳۰ و ٦٠ درجه تشکیل شده به‌صورت واژگونی جدا شده و سقوط کردند (شکل ۸) اما قطعات سنگ صدمه چندانی ندیدند.

رابطهٔ بین نسبت مقاومت فشاری یک‌محوری نمونه‌های درزه‌دار به مقاومت فشاری یک‌محوری سنگ سالم (σ_{cj}) و ضریب درزه‌داری ($\mathbf{J_f}$) برای نتایج این تحقیق که تأثیر دسته ناپیوستگی‌های متقاطع نیز اعمال شده است، توسط برنامهٔ دیتافیت[۱] تعیین گردید [۲۲]. رابطهٔ به‌دست آمده با رابطهٔ ارائه شده به‌وسیلهٔ رامامورتی [١٦] در شکل ۹ با هم مقایسه شدند. با اعمال دسته ناپیوستگی‌های متقاطع دارای فراوانی مختلف ضریب ۰/۰۰۸- در رابطهٔ رامامورتی (رابطهٔ ۳) به ۰/۰١٦- کاهش می‌یابد (شکل ۹). رابطهٔ ارائه شده به‌وسیلهٔ رامامورتی [١٦] با نتایج حاصل از این تحقیق متفاوت است، چون ناپیوستگی‌های دارای دو و سه دسته متقاطع، فراوانی مختلف و زاویهٔ جهت یافتگی ۰، ۳۰، ٤٥، ٦٠ و ۹۰ درجه که در این تحقیق بررسی شده‌اند نقش اساسی در مقاومت تودهٔ سنگ دارند.

۱. DataFit

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.2.7.4]



شکل ۸ . شکست نمونه دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع و عمود برهم شامل یک دسته قائم دارای زاویه ۹۰ درجه، دودسته ناپیوستگی عمود بر هم دارای زوایای ۳۰ و ٦۰ درجه با حالت افقی و در جهت مخالف هم‌دیگر و ناپیوستگی با زاویهٔ ۳۰ درجه دارای ٤ ناپیوستگی موازی در آزمایش مقاومت فشاری یک‌محوری

نتیجه‌گیری

۱. ضریب درزه‌داری متأثر از جهت‌یابی، تعداد دسته ناپیوستگی‌ها و فراونی آن‌ها است.

۲. مقاومت فشاری یک‌محوری نمونه‌های دارای یک، دو و سه دسته ناپیوستگی که دسته‌های آن‌ها در جهت افقی یا قائم هستند کم‌تر از مقاومت سنگ سالم است.

۳. مقاومت یک‌محوری سنگ دارای ناپیوستگی با جهت یافتگی ٦۰ درجه حدوداً به مقدار صفر نزدیک می‌شود. این شدت کاهش مقاومت برای نمونه‌های دارای دو و سه دسته ناپیوستگی متقاطع و عمود برهم در زاویهٔ جهت‌یافتگی ناپیوستگی‌ها با حالت افقی برابر ۳۰ درجه نیز اتفاق می‌افتد.

٤. نمونه‌های دارای یک، دو و سه دسته ناپیوستگی که دسته‌های آن‌ها در جهت افقی یا قائم هستند، به‌صورت برش در بدنه سالم شکسته می‌شوند. اما نمونه‌های دارای سه دسته

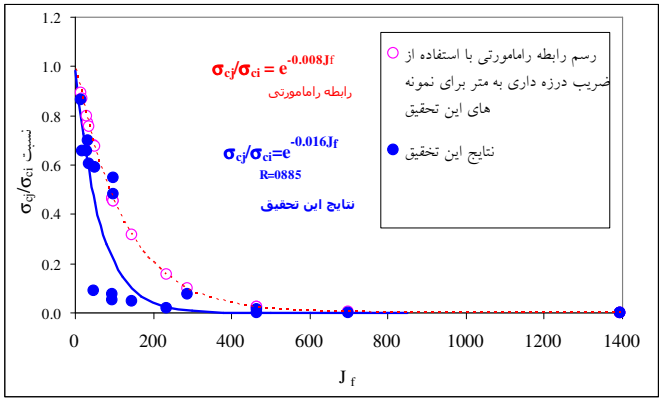
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.2.7.4]

ناپیوستگی متقاطع و عمود برهم و در جهت افقی و قائم با یک دسته دارای ٤ ناپیوستگی موازی انبساط عرضی قابل ملاحظه‌ای در وسط نیز دارا هستند.

۵. در نمونه‌های دارای یک دسته ناپیوستگی دارای زاویهٔ جهت یافتگی آن‌ها برابر ٤۵ و ٦۰ درجه، شکست در صفحه ناپیوستگی‌ها به‌صورت لغزشی اتفاق می‌افتد.

٦. نمونه دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع و عمود برهم شامل یک دسته قائم، دو دسته ناپیوستگی عمود بر هم دارای زوایای ۳۰ و ٦۰ درجه و در جهت مخالف هم‌دیگر و دسته ناپیوستگی با زاویه ۳۰ درجه دارای ٤ ناپیوستگی موازی ابتدا شکست لغزشی در صفحه ناپیوستگی دارای زاویه ٦۰ درجه اتفاق می افتد، سپس قطعات بالای صفحه ٦۰ درجه به صورت واژگونی سقوط می‌کنند.

۷- رابطهٔ بین ضریب ناهم‌سان‌گردی و ضریب درزه‌داری (J_f) برای نتایج این تحقیق که تأثیر دسته ناپیوستگی‌های متقاطع نیز اعمال شده است با رابطهٔ ارائه شده به‌وسیلهٔ رامامورتی متفاوت است. پارامترهای معیار شکست تودهٔ سنگ درزه‌دار رامامورتی تحت تنش سه‌محوری نیز با استفاده از نسبت σ_{cj} حاصل از ضریب درزه‌داری (رابطهٔ ۳) برآورد می‌شوند. برآورد پارامترهای معیار شکست تودهٔ سنگ درزه‌دار رامامورتی با استفاده از (رابطهٔ ۳) دارای خطا است.



شکل ۹. مقایسه رابطه بین نسبت مقاومت فشاری یک محوری سنگ درزه دار به مقاومت فشاری یک محوری سنگ سالم (σ_{cj}) و ضریب درزه‌داری (J_f) برای نتایج این تحقیق و رابطهٔ ارائه شده به‌وسیلهٔ رامامورتی [١٦]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.2.7.4]

تقدیر و تشکر

از آقای مهندس محمد رضا ساعی برای تلاش بسیار زیاد و زحمات طاقت فرسا در کمک به‌عملی نمودن آماده‌سازی و آزمایش نمونه‌های سنگ درزه‌دار تحت تنش‌های سه‌محوری در آزمایشگاه مکانیک سنگ دانشگاه ارومیه تشکر و سپاسگزاری می‌شود.

منابع

1. Jaeger J. C., "Shear failure of anisotropic rock", Geol. Mag. Vol. 1 (1960) 65-72.
2. Jaeger J. C., "Friction of rocks and stability of rock slopes", Geotechnique, 21(2) (1971) 97-143.
3. Bieniawski Z. T., "Mechanism of brittle fracture of rock: Part II experimental study", Int J Rock Mech Min Sci Abstr & Geomech Abst 4, (1967) 407-423.
4. Fairhurst C., Wawersik W. R., "A study of brittle rock fractures in laboratory compression experiments", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts. Vol. 7 (1970) 561-575.
5. Arora V. K., "Strength and deformational behaviour of jointed rocks", Ph.D thesis Indian Institute of Technology, Delhi, India (1987).
6. Colak K., Unlu T., "Effect of transverse anisotropy on the Heok-Brwon strength parameter 'mi' for intact rock", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 41 (2004) 1045-1052.
7. Brown E. T., Trollope D. H., "Strength of model of jointed rock", J ASCE; 96 (SM2) (1970) 685-704.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.2.7.4]

8. Einstein H. H., Hirschfeld R. C., "Model studies in mechanics of jointed rocks, J ASCE 99 (1973) 229-248.

9. Lama R. D., "The uniaxial compressive strength of jointed rock", Muller L. Festschrift, Institute of soil mechanics and rock mechanics, University of Karlsruhe (1974).

10. Lindholm U. S., Yeakley L. M., Nagy A., "The dynamic strength and fracture properties of Dresser Basalt", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, Vol. 11, No. 5 (1974) 181-191.

11. Jaeger J. C., Cook N. G. W, "Fundamentals of Rock Mechanics", (3rd ed.) London: Chapman and Hall (1979).

12. Yaji R. K., "Shear strength and deformation response of jointed rocks", Ph. D. thesis, Indian Institute of Technology, Delhi (1984).

13. Sheorey P. R., Biswas A. K., Choubey V. D., "An empirical failure criterion for rocks and jointed rock masses", Engineering Geology, Vol. 26 (1989) 141-159.

14. Roy N., "Engineering behavior of rock masses through study of jointed models", Ph. D. thesis, Indian Institute of Technology, Delhi (1993).

15. Ramamurthy T., Arora V. K., "Strength predictions for jointed rocks in confined and unconfined states, Int. J. Rock Mech. and Min. Sci., 31:1 (1994) 9-22.

16. Ramamurthy T., "Shear strength response of some geological materials in triaxial compression", Int. J. Rock Mech. Min, 38 (2001) 683-697.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.2.7.4]

17. Ramamurthy T., "Joint factor concept in solving rock engineering problem, In: proceedings of the 5th Asian Rock Mechanics Symposium", November 24-26, Tehran (2008)147-148.

18. Karaku H., Ulusay R., Isik N. S., "Empirical models and numerical analysis for assessing strength anisotropy based on block punch index and uniaxial compressiontests", International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 47 (2010) 657-665.

19. Amit K. V., *Singh* T. N., "Modeling of a jointed rock mass under triaxial conditions", Arab J Geosci., 3 (2010) 91-103.

20 ISRM, "Suggested methods for determination of direct shear strength", Rock Characterization Testing and Monitoring, ed. by Brown, ET. (1981) 135-137.

21. ASTM, "Standard test method for uniaxial compressive strength of intact core specimens", ASTM Annual Book of Standards, D2938-95 (1997) 279-281.

22. DataFit, "Data fitting by linear and multiple non-linear regression", P.O. Box 1743, Macquarie Centre, N. S. W. 2113, Australia (1992).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1390.5.2.7.4]