

## برآورد مقاومت سنگ درزه دار با استفاده از ضرب درزه داری و مقایسه آن با رابطه موجود

\*حسن مومنوند، میرعلی محمدی: دانشکده فنی دانشگاه ارومیه

تاریخ: دریافت ۹۰/۴/۱۱ پذیرش ۹۱/۴/۱۱

### چکیده

ناپیوستگی‌ها دارای ویژگی‌های مانند جهت‌یابی، تعداد دسته و فراوانی هستند که می‌توانند در مقاومت سنگ مؤثر واقع شوند. نمونه‌های سنگ آهک به ترتیب دارای یک، دو و سه دسته ناپیوستگی متقطع، فراوانی‌های مختلف و زاویه شیب صفحه ناپیوستگی‌ها با جهت افقی برابر با  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  و  $60^\circ$  درجه آماده‌سازی شدند. با افزایش تعداد دسته ناپیوستگی و فراوانی آن‌ها تعداد قطعات به صورت تصاعدی افزایش یافت، به‌طوری‌که تعدادی از نمونه‌های دارای سه دسته ناپیوستگی که یکی از دسته‌های آن‌ها دارای چهار ناپیوستگی موازی بود از  $20^\circ$  قطعه سنگ تشکیل می‌شدند و مصدق سنگ به شدت درزه دار بودند. ضرب درزه داری و مقاومت فشاری یک‌محوری نمونه‌ها و زاویه 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 یافتنگی  $60^\circ$  درجه نسبت به حالت افقی بود، به مقدار بسیار کمی نزدیک می‌شد. این شدت کاهش مقاومت برای نمونه‌های دارای دو و سه دسته ناپیوستگی متقطع و عمود برهم در زاویه جهت یافتنگی ناپیوستگی‌ها با حالت افقی برابر  $30^\circ$  درجه نیز اتفاق افتاد. تحلیل نتایج نشان داد که رابطه بین نسبت مقاومت فشاری یک‌محوری نمونه‌های درزه دار به مقاومت فشاری یک‌محوری سنگ سالم (ضرب ناهمسانگردی) و ضرب درزه داری ( $J_f$ ) حاصل از این تحقیق با رابطه ارائه شده توسط راما‌مورتی دارای تفاوت است. ویژگی‌های ناپیوستگی‌ها توأم نقش اساسی در مقاومت توده سنگ دارند.

**واژه‌های کلیدی:** تعداد دسته ناپیوستگی، مقاومت، ناهمسانگردی، ضرب درزه داری

[h.moomivand@urmia.ac.ir](mailto:h.moomivand@urmia.ac.ir)

\*نویسنده مسئول

## مقدمه

توده سنگ جسمی جامد پیوسته، همگن و هم‌سان‌گرد نیست و دارای انواع ناپیوستگی‌ها است. طی دهه‌های گذشته محققان کشورهای مختلف تلاش‌های زیادی در زمینه تأثیر برخی ویژگی‌های ناپیوستگی‌ها در مقاومت سنگ انجام داده‌اند. بدین‌جهت انجام پژوهش‌های ارزنده‌ای در مورد تأثیر ویژگی‌هایی مانند جهت‌یابی و فراوانی ناپیوستگی‌ها در مقاومت سنگ به وسیله محققانی مانند جیگر [۱]، [۲]، بینیاوسکی [۳]، فیرهورس و واورسیک [۴]، آرورا [۵]، گلک و آنلو [۶]، براون و ترالپ [۷]، اینشتین و هیرچفلد [۸]، لاما [۹]، لیندھلم و همکاران [۱۰]، جیگر و گُک [۱۱]، یاجی [۱۲]، شوری و همکاران [۱۳]، رُائی [۱۴]، رامامورتی و آرورا [۱۵]، رامامورتی [۱۶]، [۱۷]، کاراکو و همکاران [۱۸]، امیت و سینگ [۱۹]، هنوز تأثیر تعدادی ناپیوستگی‌های متقطع در مقاومت سنگ درزه‌دار به علت سخت و طاقت‌فرسا بودن موضوع، کم‌تر به طور جدی بررسی شدند. در این تحقیق علاوه بر تأثیر جهت‌یابی ناپیوستگی‌ها، تأثیر دسته ناپیوستگی‌های متقطع دارای فراوانی مختلف در مقاومت سنگ مورد پژوهش قرار گرفته است. با افزایش تعداد دسته ناپیوستگی‌ها و فراوانی آن‌ها، سنگ به‌سمت توده‌های خرد شده می‌کند. بررسی تأثیر ویژگی بارز تعداد دسته ناپیوستگی‌های متقطع دارای فراوانی مختلف که مصدق تمايز میزان خردشدنی توده‌های سنگ از سنگ یک پارچه است، در برآورد مقدار ضریب درزه‌داری و نسبت مقاومت فشاری یک محوری سنگ درزه دار به مقاومت فشاری یک محوری سنگ سالم (ضریب ناهم‌سان‌گردی) و در نتیجه پارامترهای معیارهای شکست سنگ مانند رامامورتی [۱۶] می‌تواند نقش مهمی داشته باشد.

## ضریب درزه‌داری

ضریب درزه‌داری ( $J_f$ ) متشکل از ترکیب تأثیر سه عامل شامل ضریب جهت‌یافتنگی درزه ( $n$ )، فراوانی درزه در متر طول ( $J_n$ ) و پارامتر مقاومت درزه ( $r$ ) بدین شرح است [۱۶].

$$J_f = \frac{J_n}{n \times r} \quad (1)$$

$$r = \frac{\tau_j}{\sigma_{nj}} = \tan \phi'_j \quad (2)$$

که در آن

$\tau_j$  = مقاومت برشی در امتداد درزه؛

$\sigma_{nj}$  = تنش عמוד بر سطح درزه؛

$\phi'_j$  = مقدار معادل زاویه اصطکاک سطح درزه.

پارامتر مقاومت درزه (۲) از طریق آزمایش برش مستقیم در امتداد درزه با استفاده از زوج داده های مقاومت برشی ( $\tau_j$ ) و تنش عמוד بر سطح درزه ( $\sigma_{nj}$ ) از رابطه (۲) به دست می آید. مقادیر ضریب جهت یافته درزه ها (n) با استفاده از جدول ارائه شده به وسیله رامامورتی [۱۶] تعیین می شود و فراوانی درزه ها ( $J_n$ ) نیز در متر طول تعیین می شود [۱۶]. ضریب درزه داری ( $J_f$ ) را می توان به ازای هر متر عمق توده سنگ محاسبه کرد و مقادیر بزرگ تر ضریب درزه داری نشان دهنده ضعیفتر بودن توده سنگ است. ضریب درزه داری برای سنگ سالم صفر است و برای سنگ به شدت درزه دار می تواند در هر متر بیش از ۵۰۰ باشد. رامامورتی [۱۶] رابطه بین ضریب ناهم سان گردی را به صورت نسبت مقاومت فشاری یک محوری نمونه های درزه دار به مقاومت فشاری یک محوری سنگ سالم ( $\sigma_c$ ) و ضریب درزه داری ( $J_f$ ) بدین شرح ارائه کرده است.

$$\frac{\sigma_{cj}}{\sigma_{ci}} = \exp(-0.008J_f) \quad (3)$$

### آماده سازی نمونه ها، انجام آزمایش ها و تحلیل نتایج

مصالح و تجهیزات مورد نیاز آماده سازی نمونه ها شامل: بلوک های سنگ آهک همگن که بتوان نمونه های مناسبی از آنها تهیه کرد، اره بزرگ الماسه برای بریدن نمونه های بزرگ، دستگاه کرگیری برای تهیه مغزه های استوانه ای، اره کوچک الماسه مغزه بر (دستگاه گربر) برای ایجاد نمونه های استاندارد و دارای جهت یابی، فراوانی و دسته های مختلف ناپیوستگی متقطع در این تحقیق هستند. بخش های مختلف نمونه های دارای یک دسته ناپیوستگی، دو دسته

ناپیوستگی، سه دسته ناپیوستگی متقاطع منفرد و سه دسته ناپیوستگی متقاطع که یک دسته آن‌ها دارای ۴ ناپیوستگی موازی است و هر بخش در پنج حالت دارای زاویهٔ شبیه صفحه ناپیوستگی‌ها با جهت افقی به ترتیب ۰، ۴۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه آماده‌سازی شدند. بخشی از نمونه‌ها که دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع که یک دسته آن‌ها دارای ۴ ناپیوستگی موازی و دارای زاویهٔ شبیه صفحه ناپیوستگی‌ها با جهت افقی به ترتیب ۰، ۴۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ است در شکل‌های (۱، ۲، ۳، ۴ و ۵) نشان داده شده‌اند. هر یک از نمونه‌های شکل‌های (۱، ۲، ۳، ۴ و ۵) مشکل 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 باندیپیچی شد. آماده‌سازی چنین نمونه‌هایی موضوعی بسیار سخت و طاقت‌فرسا بود که به رغم مشکل بودن به مرحلهٔ اجرا درآمد.

آزمایش مقاومت برشی مستقیم به منظور تعیین مقادیر زاویهٔ اصطکاک سطح ناپیوستگی براساس استاندارد انجمان بین‌المللی مکانیک سنگ انجام شد [۲۰]. با استفاده از نتایج مقاومت برشی ( $\tau$ ) و تنش عمودی ( $\sigma_{nj}$ ) بر صفحه ناپیوستگی‌ها حاصل از آزمایش مقاومت برشی مستقیم، پارامتر مقاومت درزه (تانزانت زاویهٔ اصطکاک سطح درزه ( $\phi'$ ) بدین شرح تعیین شد.

$$\tan \phi'_j = \frac{\tau_j}{\sigma_{nj}} = 0.717 \quad (4)$$

$$\phi'_j = \tan^{-1} \left( \frac{\tau_j}{\sigma_{nj}} \right) = 35.62^\circ \quad (5)$$

رابطهٔ بین مقاومت برشی ( $\tau$ ) و تنش عمودی ( $\sigma_{nj}$ ) در شکل ۶ نشان داده شده است. مقدار پارامتر مقاومت درزه  $r = \tan \phi' = 0.717$  است. مقادیر فراوانی ( $J_n$ ) و ضریب جهت‌یافتنگی درزه ( $n$ ) برای انواع نمونه‌ها نیز تعیین شدند. پس از آن ضریب درزه‌داری همه نمونه‌ها ( $J_f$ ) تعیین شد.

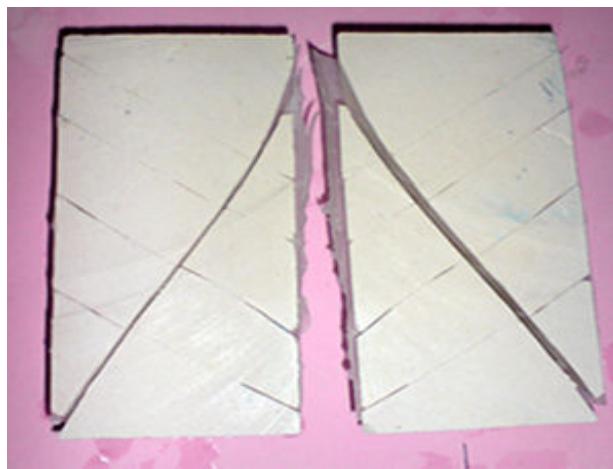
رابطهٔ بین ضریب درزه‌داری ( $J_f$ ) در واحد متر و زاویهٔ جهت‌یافتنگی ناپیوستگی‌ها با حالت افقی برای نمونه‌های مختلف در شکل ۷ نشان داده شده است. با افزایش دسته درزه‌ها ضریب درزه‌داری افزایش می‌یابد. نمونه‌های دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع که یک دسته آن‌ها

دارای ۴ عدد ناپیوستگی موازی است، دارای بیشترین مقدار ضریب درزه داری هستند و این نقش مهم تعداد دسته ناپیوستگی ها در میزان سست شدگی سنگ را نشان می دهد.

مقاومت فشاری یک محوری نمونه های آماده سازی شده بر اساس استاندارد انجمان امریکایی آزمون مواد اندازه گیری شد [۲۱]. سنگ فاقد ناپیوستگی (سنگ سالم) مقاومت متعارفی از خود نشان می دهد. مقاومت یک محوری نمونه های دارای یک، دو و سه دسته ناپیوستگی که دسته های آن ها در جهت افقی یا قائم بودند کمتر از مقاومت نمونه سنگ سالم نشان داد. مقاومت یک محوری سنگ دارای ناپیوستگی به ویژه وقتی که جهت یا قتگی ۶۰ درجه نسبت حالت افقی بود، حدوداً به مقدار صفر نزدیک می شد. این شدت کاهش مقاومت برای نمونه های دارای دو و سه دسته ناپیوستگی متقطع و عمود برهم در زاویه جهت یافتنگی ناپیوستگی ها با حالت افقی برابر ۳۰ درجه نیز اتفاق افتاد. افزایش تعداد دسته ناپیوستگی ها و فراوانی آن ها نیز باعث کاهش مقاومت شد.



شکل ۱. دودسته ناپیوستگی قائم و عمود برهم و یک دسته در جهت افقی و دارای ۴ ناپیوستگی موازی



شکل ۲. دو دسته ناپیوستگی عمود بر هم دارای زوایای  $30^{\circ}$  و  $60^{\circ}$  درجه و در جهت مخالف همدیگر، دسته ناپیوستگی با زاویه  $30^{\circ}$  درجه دارای ۴ ناپیوستگی موازی و نمونه در جهت دسته قائم برای نمایش از وسط باز شده است.



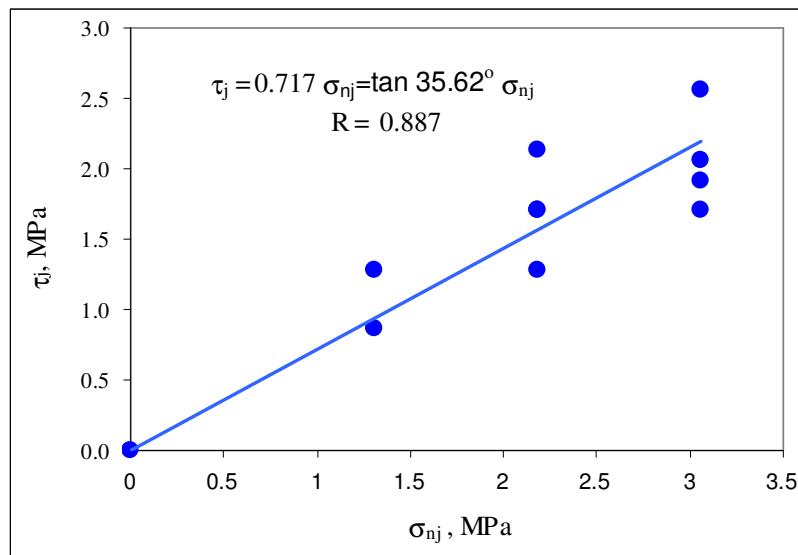
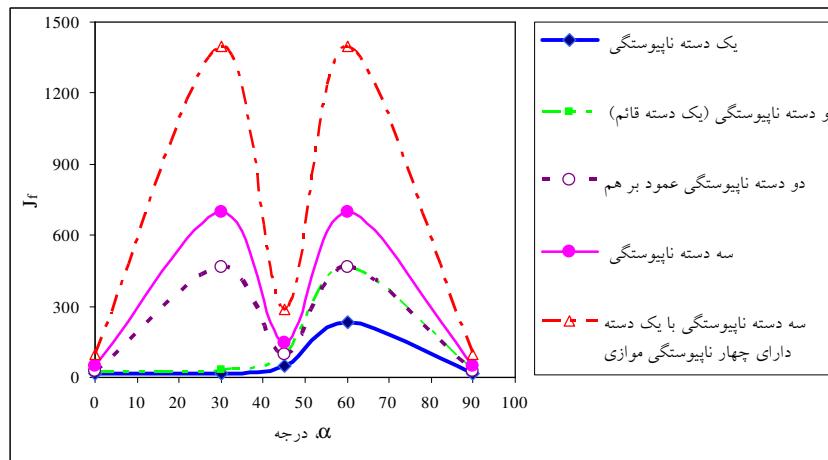
شکل ۳. نمونه دارای دو دسته ناپیوستگی عمود بر هم هر یک دارای زاویه  $45^{\circ}$  درجه و در جهت مخالف همدیگر یکی از دسته‌ها دارای ۴ ناپیوستگی موازی و نمونه آماده برای ایجاد یک دسته قائم است



الف) نیم رخ ناپیوستگی ها در صفحه قائم در داخل نمونه ب) نیم رخ ناپیوستگی ها در جهت قائم در بیرون نمونه شکل ۴. نمونه دارای دو دسته ناپیوستگی عمود بر هم با زوایای  $30^{\circ}$  و  $60^{\circ}$  درجه و در جهت مخالف هم دیگر، دسته ناپیوستگی با زاویه  $60^{\circ}$  درجه دارای ۴ ناپیوستگی موازی و نمونه درجهت دسته قائم برای نمایش از وسط جدا شده است.



شکل ۵. نمونه دارای سه دسته ناپیوستگی متقطع و عمود برهم، یکی دسته ناپیوستگی با زاویه  $90^{\circ}$  درجه دارای ۴ ناپیوستگی موازی است و در جهت دسته قائم برای نمایش از وسط باز شده است.

شکل ۶. رابطه بین مقاومت برشی ( $\tau_j$ ) و تنش عمودی ( $\sigma_{nj}$ ) بر صفحه ناپیوستگی

شکل ۷. رابطه بین ضریب درزه‌داری ( $J_f$ ) در واحد متر و زاویه جهت یافتنگی ناپیوستگی‌ها با حالت افقی ( $\alpha$ ) 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 یا قائم بودند، تحت بار یک محوری به صورت برش در بدنه سالم شکسته شدند. نمونه‌های دارای سه

دسته ناپیوستگی متقاطع و عمود برهم و در جهت افقی و قائم با یک دسته دارای ۴ ناپیوستگی موازی پس از آزمایش تحت بار یک محوری انبساط عرضی قابل ملاحظه ای در وسط نیز داشتند. برای نمونه های دارای یک دسته ناپیوستگی که زاویه جهت یافتگی آنها برابر ۴۵ و ۶۰ درجه بود، شکست در صفحه ناپیوستگی ها به صورت لغزشی اتفاق افتاد. نمونه دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع و عمود برهم شامل یک دسته قائم، دو دسته ناپیوستگی عمود برهم دارای زوایای ۳۰ و ۶۰ درجه و در جهت مخالف هم دیگر و دسته ناپیوستگی با زاویه ۳۰ درجه دارای ۴ ناپیوستگی موازی پس از آزمایش تحت بار یک محوری ابتدا شکست لغزشی در صفحه ناپیوستگی دارای زاویه ۶۰ درجه اتفاق افتاد، سپس قطعات بالای صفحه ۶۰ درجه که بر اثر دو دسته ناپیوستگی دارای زاویه ۳۰ و ۶۰ درجه تشکیل شده به صورت واژگونی جدا شده و سقوط کردند (شکل ۸) اما قطعات سنگ صدمه چندانی ندیدند.

رابطه بین نسبت مقاومت فشاری یک محوری نمونه های درزه دار به مقاومت فشاری یک محوری سنگ سالم ( $\sigma_c$ ) و ضریب درزه داری ( $J_f$ ) برای نتایج این تحقیق که تأثیر دسته ناپیوستگی های متقاطع نیز اعمال شده است، توسط برنامه دیتا فیت<sup>۱</sup> تعیین گردید [۲۲]. رابطه به دست آمده با رابطه ارائه شده به وسیله رامامورتی [۱۶] در شکل ۹ با هم مقایسه شدند. با اعمال دسته ناپیوستگی های متقاطع دارای فراوانی مختلف ضریب  $-0.008$  در رابطه رامامورتی (رابطه ۳) به  $-0.16$  کاهش می یابد (شکل ۹). رابطه ارائه شده به وسیله رامامورتی [۱۶] با نتایج حاصل از این تحقیق متفاوت است، چون ناپیوستگی های دارای دو و سه دسته متقاطع، فراوانی مختلف و زاویه جهت یافتگی  $0, 30, 45, 60$  و  $90$  درجه که در این تحقیق بررسی شده اند نقش اساسی در مقاومت توده سنگ دارند.

<sup>۱</sup>. DataFit



شکل ۸. شکست نمونه دارای سه دسته ناپیوستگی متقطع و عمود برهم شامل یک دسته قائم دارای زاویه  $90^\circ$  درجه، دو دسته ناپیوستگی عمود بر هم دارای زوایای  $30^\circ$  و  $60^\circ$  درجه با حالت افقی و در جهت مخالف همدیگر و ناپیوستگی با زاویه  $30^\circ$  درجه دارای ۴ ناپیوستگی موازی در آزمایش مقاومت فشاری یکمحوری

### نتیجه‌گیری

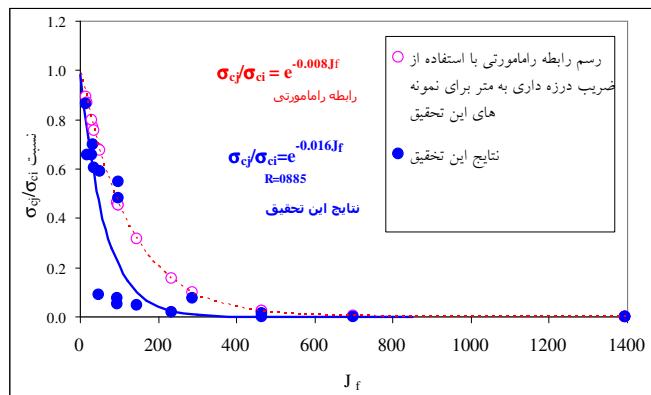
۱. ضریب درزه‌داری متأثر از جهت‌یابی، تعداد دسته ناپیوستگی‌ها و فراونی آن‌ها است.
۲. مقاومت فشاری یکمحوری نمونه‌های دارای یک، دو و سه دسته ناپیوستگی که دسته‌های آن‌ها در جهت افقی یا قائم هستند کمتر از مقاومت سنگ سالم است.
۳. مقاومت یکمحوری سنگ دارای ناپیوستگی با جهت یافتگی  $60^\circ$  درجه حدوداً به مقدار صفر نزدیک می‌شود. این شدت کاهش مقاومت برای نمونه‌های دارای دو و سه دسته ناپیوستگی متقطع و عمود برهم در زاویه جهت یافتگی ناپیوستگی‌ها با حالت افقی برابر  $30^\circ$  درجه نیز اتفاق می‌افتد.
۴. نمونه‌های دارای یک، دو و سه دسته ناپیوستگی که دسته‌های آن‌ها در جهت افقی یا قائم هستند، به صورت برش در بدنه سالم شکسته می‌شوند. اما نمونه‌های دارای سه دسته

ناپیوستگی متقاطع و عمود برهم و درجه افقی و قائم با یک دسته دارای ۴ ناپیوستگی موازی انسباط عرضی قابل ملاحظه ای در وسط نیز دارا هستند.

۵. در نمونه های دارای یک دسته ناپیوستگی دارای زاویه جهت یافته گی آنها برابر ۴۵ و ۶۰ درجه، شکست در صفحه ناپیوستگی ها به صورت لغزشی اتفاق می افتد.

۶. نمونه دارای سه دسته ناپیوستگی متقاطع و عمود برهم شامل یک دسته قائم، دو دسته ناپیوستگی عمود بر هم دارای زوایای ۳۰ و ۶۰ درجه و درجه مخالف هم دیگر و دسته ناپیوستگی با زاویه ۳۰ درجه دارای ۴ ناپیوستگی موازی ابتدا شکست لغزشی در صفحه ناپیوستگی دارای زاویه ۶۰ درجه اتفاق می افتد، سپس قطعات بالای صفحه ۶۰ درجه به صورت واژگونی سقوط می کنند.

۷- رابطه بین ضریب ناهمسانگردی و ضریب درزه داری ( $J_f$ ) برای نتایج این تحقیق که تأثیر دسته ناپیوستگی های متقاطع نیز اعمال شده است با رابطه ارائه شده به وسیله رامامورتی متفاوت است. پارامترهای معیار شکست توده سنگ درزه دار رامامورتی تحت تنش سه محوری نیز با استفاده از نسبت  $\sigma_{cj}/\sigma_{ci}$  حاصل از ضریب درزه داری (رابطه ۳) برآورد می شوند. برآورد پارامترهای معیار شکست توده سنگ درزه دار رامامورتی با استفاده از (رابطه ۳) دارای خطای است.



شکل ۹. مقایسه رابطه بین نسبت مقاومت فشاری یک محوری سنگ درزه دار به مقاومت فشاری یک محوری سنگ سالم ( $\sigma_{cj}$ ) و ضریب درزه داری ( $J_f$ ) برای نتایج این تحقیق و رابطه ارائه شده به وسیله راماامورتی [۱۶]

### تقدیر و تشکر

از آقای مهندس محمد رضا ساعی برای تلاش بسیار زیاد و زحمات طاقت فرسا در کمک به عملی نمودن آماده‌سازی و آزمایش نمونه‌های سنگ درزدار تحت تنشی‌های 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-Brown 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.

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", (3<sup>rd</sup> 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.

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).