

## تأثیر گسل خوردگی متفاوت راستالغز و معکوس بر نسبت حجمی و مقاومت تک محوری بلوک‌های سنگی موجود در پهنه‌های گسله‌ی پورکان و نمک در جنوب البرز مرکزی

مرضیه داورپناه<sup>۱</sup>، علی یساقی<sup>۲\*</sup>، شهریار صادقی<sup>۳</sup>

دریافت مقاله: ۹۰/۱۰/۰۷ پذیرش مقاله: ۹۳/۰۸/۰۷

### چکیده

مقاومت سنگ‌ها در طراحی و ساخت سازه‌هایی همچون تونل‌ها و سدها اهمیت فراوانی دارد. دگرریختی حاصل از پهنه‌های گسله‌ی شکننده که سبب تخریب مکانیکی سنگ‌ها می‌شود عامل اصلی در کاهش مقاومت آن‌ها است. گسله سنگ‌های شکننده جز سنگ‌های مخلوط محسوب می‌شوند به این معنا که دارای بلوک‌های سنگی به نسبت بزرگ و مقاومی هستند که درون یک زمینه‌ی ریزدانه و دارای بافت ضعیف‌تر قرار گرفته است. نسبت حجمی این بلوک‌ها بر مقاومت کلی گسله سنگ موثر است. در این تحقیق گسله سنگ‌های موجود در دو پهنه‌ی گسله‌ی شکننده‌ی پورکان و نمک با سازوکار معکوس و راستالغز و میزان جابه‌جایی متفاوت در جنوب البرز مرکزی مورد مطالعه قرار گرفت و مقاومت تک محوری و نسبت حجمی بلوک‌های آن‌ها بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد نسبت حجمی و توزیع اندازه‌ی بلوک‌ها در گسله سنگ‌های مورد مطالعه تابع روابط فرکتالی است. نسبت حجمی و مقاومت تک محوری بلوک‌های پهنه‌ی گسله‌ی پورکان از پیشانی به سمت خارج از پهنه‌ی گسله تغییرات منظمی را آنگونه که مورد انتظار است نشان نمی‌دهد در حالی که در پهنه‌ی گسله‌ی نمک این تغییرات با نظم مشخصی از داخل به خارج از پهنه‌ی گسله قابل مشاهده است، این امر با میزان جابه‌جایی ایجاد شده توسط گسل، عرض پهنه‌ی گسله و حضور ریز گسل‌ها و همچنین ترکیبات سنگ‌شناسی متفاوت در پهنه‌های گسله در ارتباط می‌باشد.

**کلید واژه‌ها:** مقاومت گسله سنگ - سنگ واجد بلوک و زمینه - پهنه‌ی گسله‌ی شکننده

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی تکتونیک، دانشگاه تربیت مدرس

۲. دانشیار گروه زمین شناسی تکتونیک، دانشگاه تربیت مدرس [Yassaghi@modares.ac.ir](mailto:Yassaghi@modares.ac.ir)

۳. دانشجوی دکتری، گروه زمین شناسی تکتونیک، دانشگاه تربیت مدرس

\* مسئول مکاتبات

## ۱. مقدمه

مقاومت و دگرریختی توده‌ی سنگ در طراحی و ساخت سازه‌هایی همچون تونل‌ها، سدها، پی‌های ساختمانی و ترانشه‌ها اهمیت فراوانی دارد. جدی‌ترین مشکلات در رابطه با مهندسی توده‌ی سنگ، دگرریختی ایجاد شده توسط پهنه‌های گسلی شکنده می‌باشد (Riedmuller et al., 2001). مکانیسم دگرریختی غالب در پهنه‌های شکنده، تخریب مکانیکی است که منجر به خرد شدگی، کاهش اندازه‌ی دانه‌ها و اتساع توده‌ی سنگ می‌شود و این عمل، خود، کاهش مقاومت توده‌ی سنگ را به دنبال دارد (Riedmuller et al., 2001).

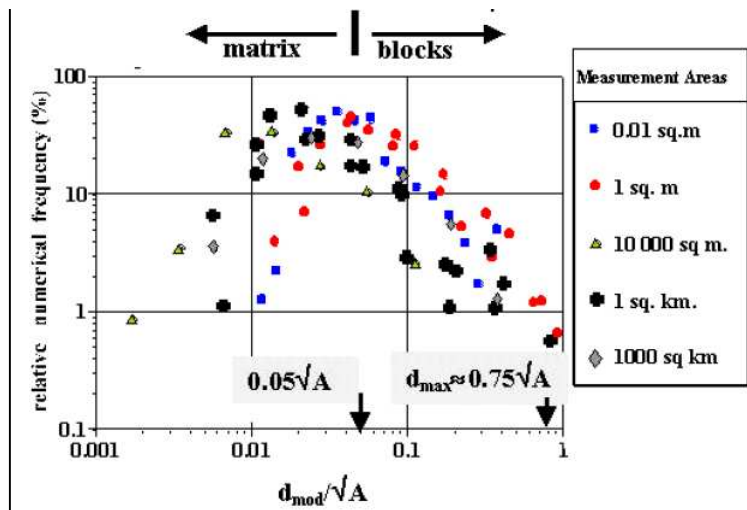
مشکلات ژئوتکنیکی مرتبط با گسل‌های شکنده، ناشی از ناهمگنی و تغییر ناگهانی در اجزای سنگی قوی و ضعیف است. لغت نامه‌ی زمین‌شناسی حاوی بیش از ۱۰۰۰ واژه و لغت (ملائز، کاتاکلاسیت، ایستستروم، گسله سنگ و...) برای توصیف سنگ‌های مخلوط و قطعه‌ای است که شرایط تشکیل آن‌ها را شرح می‌دهد (Passchier and Trouw, 1998)، اما به هنگام احداث سازه بر روی این سنگ‌های ناهمگن، شناسایی و تخمین ویژگی‌های مکانیکی آنها در مقایسه با نحوه‌ی تشکیل، از درجه‌ی اهمیت بیشتری برخوردار است (Riedmuller et al., 2001). به همین دلیل (Medely 1994) اصطلاح bimrock (block in matrix rock) را به مفهوم "سنگ واجد بلوک و زمینه" و به عنوان واژه‌ای مستقل از نحوه‌ی تشکیل، برای مخلوط‌های سنگی همچون سنگ‌های موجود در پهنه‌های گسلی شکنده معرفی کرد. به این معنا که این سنگ‌ها دارای بلوک‌های به نسبت بزرگ و مقاومی هستند که درون یک زمینه‌ی ریز دانه و ضعیف‌تر قرار گرفته است (شکل ۱). وی عقیده دارد که اندازه‌ی بلوک‌ها در یک bimrock در محدوده‌ی ۰/۰۵ تا ۰/۷۵ ریشه‌ی دوم مساحت دربرگیرنده‌ی آن‌ها قرار می‌گیرد (شکل ۲). این نتیجه به این صورت حاصل شد که وی بیشینه‌ی اندازه‌ی قابل مشاهده از حدود ۱۹۰۰ بلوک را از نقشه‌های زمین‌شناسی و رخنمون ملائز فرانسیسکن اندازه‌گیری کرد. مساحت‌های دربرگیرنده‌ی بلوک‌ها از نظر بزرگی در ۵ رده قرار می‌گرفت و اندازه‌ی بلوک‌ها نیز از حد میلی‌متر تا ده‌ها کیلومتر متغیر بود (شکل ۲). وی باتقسیم اندازه‌ی بلوک‌ها در مقیاس‌های مختلف به

ریشه‌ی دوم مساحت دربرگیرنده‌ی آن‌ها، توزیع اندازه‌ی بلوک‌ها را به صورت یک عدد بدون بعد استخراج کرد. برای هر مساحت در نظر گرفته شده فراوانی نسبی بلوک‌ها را با تقسیم تعداد بلوک‌ها در هر دسته به تعداد کل بلوک‌ها به دست آورد و در نهایت توزیع اندازه‌ی بلوک‌ها را نسبت به فراوانی نسبی آن‌ها بر روی نمودار هیستوگرام لگاریتمی ترسیم نمود (شکل ۲).



شکل ۱. بلوک‌های سنگی سخت با اندازه‌های متفاوت از سانتی متر تا ده‌ها متر که توسط زمینه‌ی دانه ریز احاطه شده‌اند. پهنه‌ی گسلی سان آندریاس، کالیفرنیا، شمالی. برگرفته از (Medely, 2008).

همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود بر خلاف تفاوت‌های قابل ملاحظه در اندازه‌ی بلوک‌ها، توزیع اندازه‌ی بلوک‌های منفرد در مقیاس‌های متفاوت، بسیار مشابه است. قله‌ی منحنی در بالای ۵ درصد ریشه‌ی دوم مساحت دربرگیرنده قرار می‌گیرد جایی که فراوانی نسبی بلوک‌ها بین ۳۰ و ۵۰ درصد است. در سمت چپ قله‌ی منحنی، فراوانی نسبی بلوک‌ها کاهش می‌یابد زیرا اندازه‌ی بلوک‌ها آنقدر کوچک می‌شود که قابل اندازه‌گیری نیست (Medely, 1994) (شکل ۲). در سمت راست قله‌ی منحنی و در جایی که توزیع اندازه‌ی بلوک‌ها ۱ می‌شود، بزرگترین بلوک‌ها حضور دارند به این معنا که بزرگترین بلوک ممکن در ملائز فرانسیسکن در همه‌ی مقیاس‌ها، به تقریب با ریشه‌ی دوم مساحت در نظر گرفته شده برابر است ولی از آنجا که بیش از ۹۹ درصد از بلوک‌ها از ۷۵ درصد ریشه‌ی دوم مساحت دربرگیرنده کوچکترند، این اندازه به عنوان بزرگترین مقدار برای اندازه‌ی بلوک‌ها در نظر گرفته می‌شود (Medely, 1994).



شکل ۲. تلفیق هیستوگرام‌های لگاریتمی توزیع اندازه‌ی بلوک‌ها از ۱۹۰۰ بلوک در ملانژ فرانسیسکن که در محدوده‌ی میلی‌متر تا کیلومتر قرار دارند. برگرفته از (Medely, 2002). معرف تقسیم اندازه‌ی بلوک‌ها بر ریشه‌ی دوم مساحت در برگیرنده‌ی آن‌ها است.

مخلوط‌های بی‌نظم و درهم در نظر گرفته می‌شد که مطالعه‌ی آن‌ها را با مشکل مواجه می‌ساخت اما (Lindquist 1991) نشان داد که این مخلوط‌های سنگی بر خلاف درهم ریختگی ظاهریشان دارای نظم خاصی می‌باشند. وی بیان کرد که نسبت حجمی و توزیع فراوانی بلوک‌ها در یک ملانژ، تابع روابط فرکتالی است و توزیع فراوانی بلوک‌های یک ملانژ از روابط معکوس تبعیت می‌کند به این مفهوم که با افزایش اندازه‌ی بلوک‌ها از تعداد آن‌ها کاسته می‌شود. (Lindquist 1991) با پلات کردن اندازه‌ی بلوک‌ها نسبت به فراوانی بر روی محورهای لگاریتمی، نمودار خطی با شیب منفی به دست آورد و مقدار مطلق این شیب را "بعد فرکتال" نامید. بر اساس مفهوم هندسه‌ی فرکتال، انتظار می‌رود که بعد فرکتال در همه‌ی قطعات حاصل از یک سنگ واجد بلوک و زمینه، بی‌توجه به اندازه‌ی قطعات، یکسان باشد. فرکتالی بودن نسبت حجمی و توزیع اندازه‌ی دانه‌ها در سنگ‌های واجد بلوک و زمینه سبب می‌شود که بتوان نسبت حجمی بلوک‌ها را در مقیاس‌های کوچک به دست آورد و به مقیاس‌های بزرگتر تعمیم داد (Medely, 1994). هدف از مطالعه‌ی حاضر، بررسی تأثیر گسل خوردگی با سازوکار متفاوت معکوس و راستالغز، بر نسبت حجمی و مقاومت

مقاومت کلی سنگ‌های واجد بلوک و زمینه از مقاومت زمینه به تنهایی بیشتر است زیرا حضور بلوک‌ها در درصد‌های حجمی معین بر ویژگی‌های مکانیکی این سنگ‌ها تأثیرگذار است (Lindquist & Goodman, 1994). به همین رو و به منظور بررسی پارامترهای مقاومتی سنگ‌های واجد بلوک و زمینه، تعیین درصد حجمی بلوک‌های آن‌ها اهمیت فراوانی دارد (Medely, 1994). کارهای گسترده‌ی آزمایشگاهی بر روی مدل فیزیکی ملانژها نشان داد که مقاومت مدل فیزیکی ملانژ با افزایش نسبت حجمی بلوک‌ها افزایش می‌یابد (Lindquist & Goodman, 1994). این نتیجه برای نسبت‌های حجمی ۷۵-۲۵ درصد به دست آمد ولی هنگامی که نسبت حجمی بلوک‌ها کمتر از این مقدار است، مقاومت کلی bimrock همان مقاومت ماتریکس است. در نسبت‌های حجمی بالاتر از ۷۵ درصد، افزایش نسبت حجمی بلوک‌ها نقشی در افزایش مقاومت کلی bimrock ندارد، در این حالت مخلوط‌های سنگی واجد بلوک و زمینه به عنوان توده سنگ‌های بلوکی با درزه‌های گسترده و پرشده در نظر گرفته می‌شوند و برای شناسایی آنها روش‌های مهندسی معمول برای فابریک سنگ به کار گرفته می‌شود (Lindquist & Goodman, 1994). پیش‌تر از این ملانژها به عنوان



شکل ۳. نمونه‌ای از کادرهای تهیه شده به منظور

تصویربرداری در مقیاس واحد

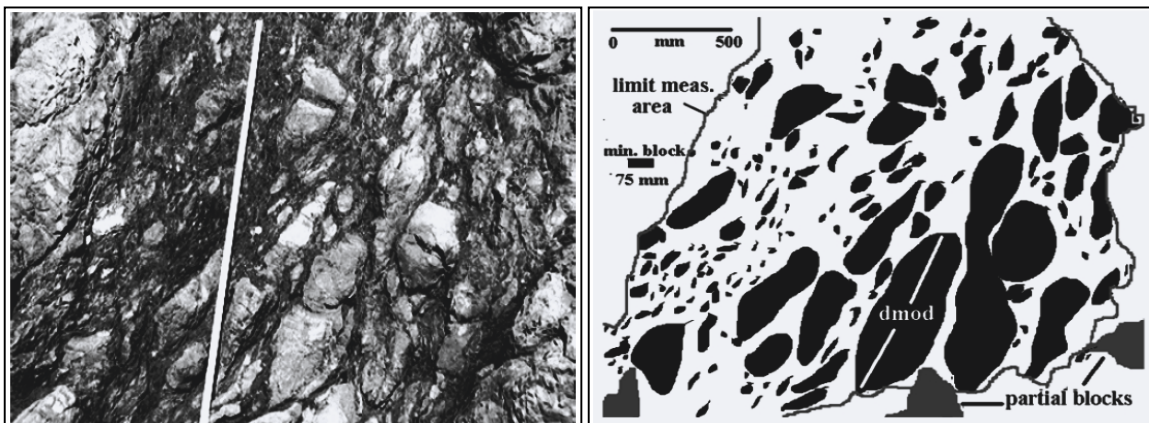
این کار به تعیین وجود یا عدم وجود روابط فرکتالی در درصد حجمی و توزیع اندازه‌ی بلوک‌ها نیز کمک خواهد کرد. به طور معمول برای تعیین درصدحجمی بلوک‌ها در یک سنگ واجد بلوک و زمینه، سه روش اندازه‌گیری: یک بعدی، دوبعدی و سه بعدی به کار می‌رود، هر سه روش نتیجه‌ی یکسانی به دست می‌دهد ولی از این میان، روش دو بعدی کاربرد بیشتری دارد.

در این روش از رخنمون سنگ‌های واجد بلوک و زمینه، نقشه و یا عکس‌های با مقیاس مشخص تهیه می‌شود و با استفاده از نرم‌افزار پردازش تصاویر (Image Analysis) نسبت سطحی بلوک‌ها در دو بعد محاسبه می‌شود (شکل ۴).

تک‌محوری بلوک‌های سنگی موجود در پهنه‌های گسله‌ی شکننده می‌باشد. گسل‌های راستالغز در مقایسه با انواع معکوس، دارای پهنه‌های کم عرض‌تری هستند و پیش‌بینی می‌شود این امر بر میزان دگرریختی و خردشدگی و در نتیجه بر میزان مقاومت گسله سنگ‌های آن‌ها اثرگذار باشد. همچنین اثبات وجود یا عدم وجود روابط فرکتالی در درصد حجمی و توزیع اندازه‌ی بلوک‌ها در گسله‌سنگ‌ها، هدف دیگری است که در این تحقیق دنبال شده است. به همین منظور پهنه‌های گسله‌ی شکننده‌ی نم‌رک و پورکان به ترتیب با سازوکار راستالغز و معکوس در جنوب البرز مرکزی و در شمال خاور شهرستان کرج، مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲. روش مطالعه

در این تحقیق عکس‌های با مقیاس مشخص از رخنمون گسله سنگ‌های پهنه‌های گسله‌ی پورکان و نم‌رک تهیه شد و با استفاده از روش آنالیز دو بعدی، درصد حجمی بلوک‌های آنها تخمین زده شد. به منظور دستیابی به نتایج متمرکزتر در این زمینه، سه کادر در مساحت‌های ۱۵۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ سانتی‌متر مربع تهیه شد و به عنوان مساحتی واحد برای عکس‌برداری از پهنه‌های گسله در مقیاس رخنمون، مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۳).



شکل ۴. راست) تصویر از رخنمون ملائز در کالیفرنای شمالی. نوار مقیاس سفید رنگ در عکس، ۱/۵ متر طول دارد. چپ) بلوک‌های سنگی تفکیک شده‌ی شکل راست توسط نرم افزار پردازش تصاویر. dmod به معنای بزرگترین طول قابل مشاهده از بلوک است. دقت کنید که بلوک‌هایی که به طور کامل در تصویر قرار ندارند (Partial blocks) در محاسبه منظور نمی‌شوند (Medely, 1994 & 2001).

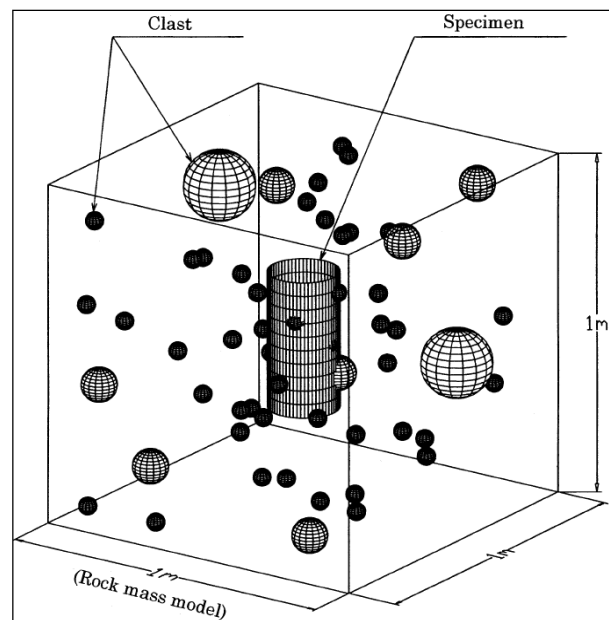
نمونه‌برداری صورت پذیرفت و مقاومت تک‌محوری آن‌ها از طریق آزمون بار نقطه‌ای (ISRM, 1985) در آزمایشگاه تعیین شد. آزمایش بار نقطه‌ای از آن جهت انتخاب گردید که در مقایسه با سایر آزمایش‌های تعیین مقاومت، بستگی کمتری به تغییرات اندازه و شکل نمونه دارد. شایان ذکر می‌باشد که به دلیل وجود شکستگی‌های فراوان در برخی از بلوک‌های سنگی مورد تحقیق امکان تهیه نمونه‌ی استوانه‌ای آن‌ها در آزمایشگاه وجود نداشت. با استفاده از معیار Broch & Franklin (1972) که متکی بر رابطه‌ی تجربی میان شاخص بار نقطه‌ای  $(Is(50))_{50}$  و مقاومت تراکمی تک‌محوری نمونه‌ی سنگ است، مقاومت تک‌محوری نمونه‌های مورد مطالعه محاسبه گردیده است. همچنین محدوده‌ی مقاومتی نمونه‌های سنگی نیز مطابق با طبقه‌بندی مقاومتی سنگ‌ها (Bieniawski, 1974) تعیین شد. به علاوه به منظور بررسی تأثیر ترکیب سنگ‌شناسی بر مقاومت تک‌محوری نمونه‌های سنگی، مقاطع نازک آن‌ها تهیه شد و بافت و درصد بلورهای موجود در آن‌ها نیز مورد مطالعه قرار گرفت (جدول ۱).

### ۳. پهنه‌های گسلی

#### ۳-۱. پهنه‌ی گسلی پورکان

گسل پورکان با روند شمال باختر- جنوب خاور و جهت شیب شمال خاوری در منطقه‌ی مورد مطالعه رخمون دارد (شکل ۶) و فعالیت آن تنها به سازند کرج که از مجموعه‌ی واحدهای آتشفشانی- رسوبی تشکیل شده است، محدود می‌شود به گونه‌ای که سبب رانده شدن عضوهای قدیمی‌تر این سازند بر روی انواع جوان‌تر شده است (امامی، ۱۳۷۲). این گسل پهنه‌ای در حدود ۳۰۰ متر را متأثر ساخته است. بر اساس شواهد ساختاری همچون لنزهای گسلی و چین‌های کشیدگی تشکیل شده در پهنه‌ی این گسل، سازوکار معکوس با مؤلفه‌ی بسیار کوچک راستالغز چپگرد برای این گسل

این نسبت از تقسیم مجموع مساحت بلوک‌ها بر مساحت دربرگیرنده‌ی بلوک‌ها (مساحت مرجع) حاصل می‌شود. در عمل تخمین نسبت حجمی بلوک‌ها در یک bimrock که یک ویژگی سه بعدی است تا حد زیادی به اندازه‌گیری یک بعدی (طول برخورد مغزه و بلوک در حفاری‌های اکتشافی) و دو بعدی (نقشه‌ها و عکس‌های تهیه شده از رخمون) وابسته است (Medly & Goodman, 1994; Medly 1994 2001). وجود تعادل میان نسبت‌های خطی، سطحی و حجمی به وسیله‌ی قانون استریولوژی قابل توضیح است (Underwood 1970). اگرچند صفحه با یک جسم که شامل کره‌هایی با اندازه‌های متفاوت است تلاقی پیدا کند، توزیع فراوانی کره‌ها را می‌توان با روش استریولوژی و با استفاده از توزیع فراوانی دایره‌های تشکیل شده روی صفحه‌ها به دست آورد (Saotome, et al., 2002) (شکل ۵). به این مفهوم که نسبت حجمی کره‌ها به تقریب با نسبت سطحی آنها برابر است.



شکل ۵. مدل نمادین از یک برش (breccia). برخورد استوانه‌ی نمونه با بلوک‌های موجود، سبب تشکیل دوایری در سطح استوانه شده است. برگرفته از (Saotome, et al., 2002).

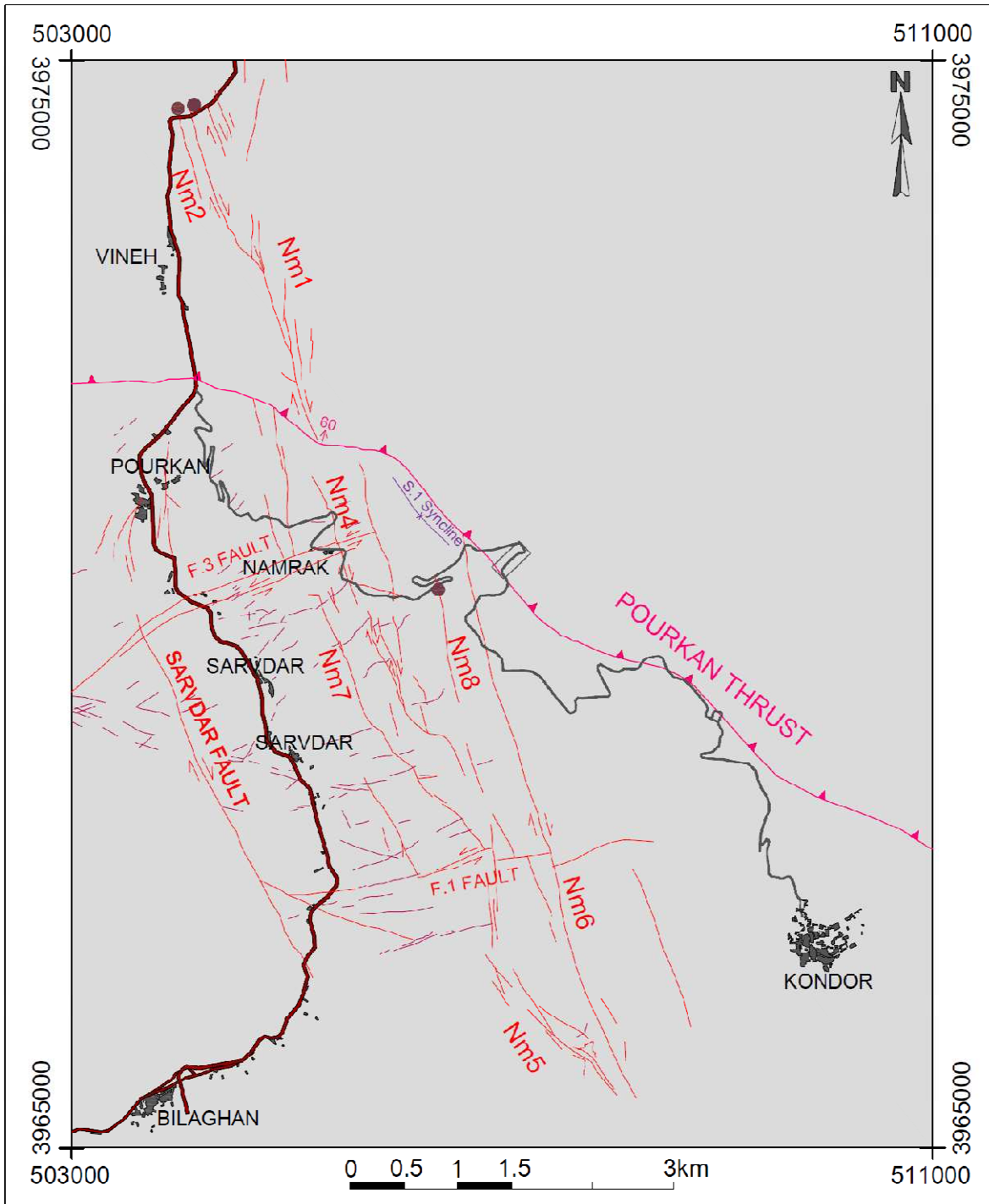
در این تحقیق علاوه بر محاسبه‌ی نسبت حجمی بلوکی، از بلوک‌های موجود در پهنه‌های گسلی مورد تحقیق،

تک‌محوری این بلوک‌ها نیز در محدوده‌های بسیار متفاوتی قرار دارد (شکل ۹).

### ۲-۳. پهنه‌ی گسله‌ی نم‌مرک

گسل نم‌مرک با روند شمال-شمال باختر، جنوب-جنوب خاور از شمال روستای وینه در کنار جاده‌ی کرج-چالوس تا باختر روستای کندر امتداد دارد (شکل ۶). این پهنه‌ی گسله یک سامانه‌ی گسلی راست‌الغز راست‌گرد می‌باشد که متشکل از قطعات گسله با هندسه‌ی رله‌ای (relay) است (صادقی، ۱۳۸۸) و سبب جابه‌جایی زیر عضوهای سازند کرج شده است. این قطعات گسله دارای پهنه‌ای بسیار کم عرض و در حد چند متر می‌باشند. بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهد که توزیع دگرریختی در این قطعات از الگوی خاصی پیروی می‌کند به طوری که هر پهنه‌ی گسله دارای سه بخش متشکل از "گوژ گسله"، "قسمت خرد شده" و "بخش متأثر" می‌باشد (شکل ۱۰). پهنای گوژ گسله به طور معمول از حد چند ده سانتی‌متر متجاوز نیست. آنچه مسلم است از بخش گوژ گسله به سوی بخش متأثر، کاهش خرد شدگی در گسله سنگ‌ها را شاهد هستیم (جدول ۲ و شکل ۱۰). بخش گوژ گسله خردشدگی بسیار زیادی دارد و اندازه‌ی قطعات سنگی در آن بسیار کوچک است به طوری که گسله سنگ‌های این بخش در صورت نمونه‌برداری، خرد می‌شوند به همین دلیل نمونه‌برداری از این بخش با هدف تعیین پارامترهای مکانیکی امکان‌پذیر نیست. در بخش‌های خرد شده و متأثر، اندازه‌ی قطعات سنگی به طرز چشمگیری افزایش نشان می‌دهد (جدول ۲ و شکل ۱۰). به منظور نیل به هدف این مطالعه، قطعات گسلی  $Nm_1$ ،  $Nm_2$  و  $Nm_8$  از سیستم گسلی نم‌مرک انتخاب گردید (شکل ۶) و در مورد هر قطعه، از سه بخش خرد شده، متأثر و خارج از پهنه‌ی گسله، نمونه‌برداری صورت پذیرفت.

تحلیل گردیده است (داورپناه، ۱۳۹۰). جهت بررسی مقاومت تک‌محوری، ترکیب سنگ‌شناسی و همچنین نسبت حجمی بلوک‌های موجود در گسله سنگ‌های پهنه‌ی این گسل، از پیشانی پهنه به سمت خارج از پهنه و در فواصل به تقریب منظم، از رخنمون سنگ‌های موجود در ۹ ایستگاه در داخل و ۱ ایستگاه در خارج از پهنه، با کادرهای تهیه شده از قبل در سه مساحت مختلف، تصویر برداری صورت گرفت. درصد حجمی بلوک‌ها، مقاومت تک‌محوری و ترکیب سنگ‌شناسی نمونه‌های سنگی برداشت شده از هر رخنمون در جدول (۱) ارائه شده است. شکل (۷) برش زمین‌شناسی بزرگ مقیاس از پهنه‌ی گسله‌ی پورکان را نشان می‌دهد که مکان ایستگاه‌های برداشت بر روی آن مشخص شده است. بررسی‌های میدانی مبین آن است که در گسله سنگ‌های ایستگاه‌های  $Pr_1$  و  $Pr_2$  حالت سنگ‌های مخلوط و واجد بلوک و زمینه مشاهده نمی‌شود و لایه‌بندی اولیه‌ی سنگ تا حدودی محفوظ مانده است. با توجه به موقعیت محل برداشت نمونه‌های  $Pr_1$  و  $Pr_2$  در شکل (۷)، زبان‌های گسلی و یا گسل پس‌راند با جابه‌جایی قابل توجه در محل برداشت این نمونه‌ها وجود ندارد. در گسله سنگ‌های مابقی ایستگاه‌ها در پهنه‌ی گسله‌ی پورکان، حالت سنگ‌های واجد بلوک و زمینه قابل مشاهده می‌باشد. در ایستگاه‌های  $Pr_3$  تا  $Pr_7$ ، نسبت حجمی بلوک‌های سنگی بیش از ۷۵ درصد است در حالی که این نسبت در ایستگاه‌های  $Pr_8$  و  $Pr_9$  به ترتیب به ۵۰ و ۶۰ درصد کاهش یافته است (جدول ۱). بر این اساس نسبت حجمی بلوک‌های سنگی در ایستگاه‌های برداشت با فاصله از پهنه‌ی ریز گسل‌های موجود در پهنه‌ی گسله‌ی پورکان در ارتباط می‌باشد (شکل ۸). با توجه به داده‌های ارائه شده در جدول (۱) ملاحظه می‌شود که که بلوک‌های موجود در پهنه‌ی گسله‌ی پورکان ترکیب سنگ‌شناسی متفاوتی دارند و میزان بلور، شیشه و قطعات سنگی در آن‌ها متفاوت می‌باشد. مقاومت



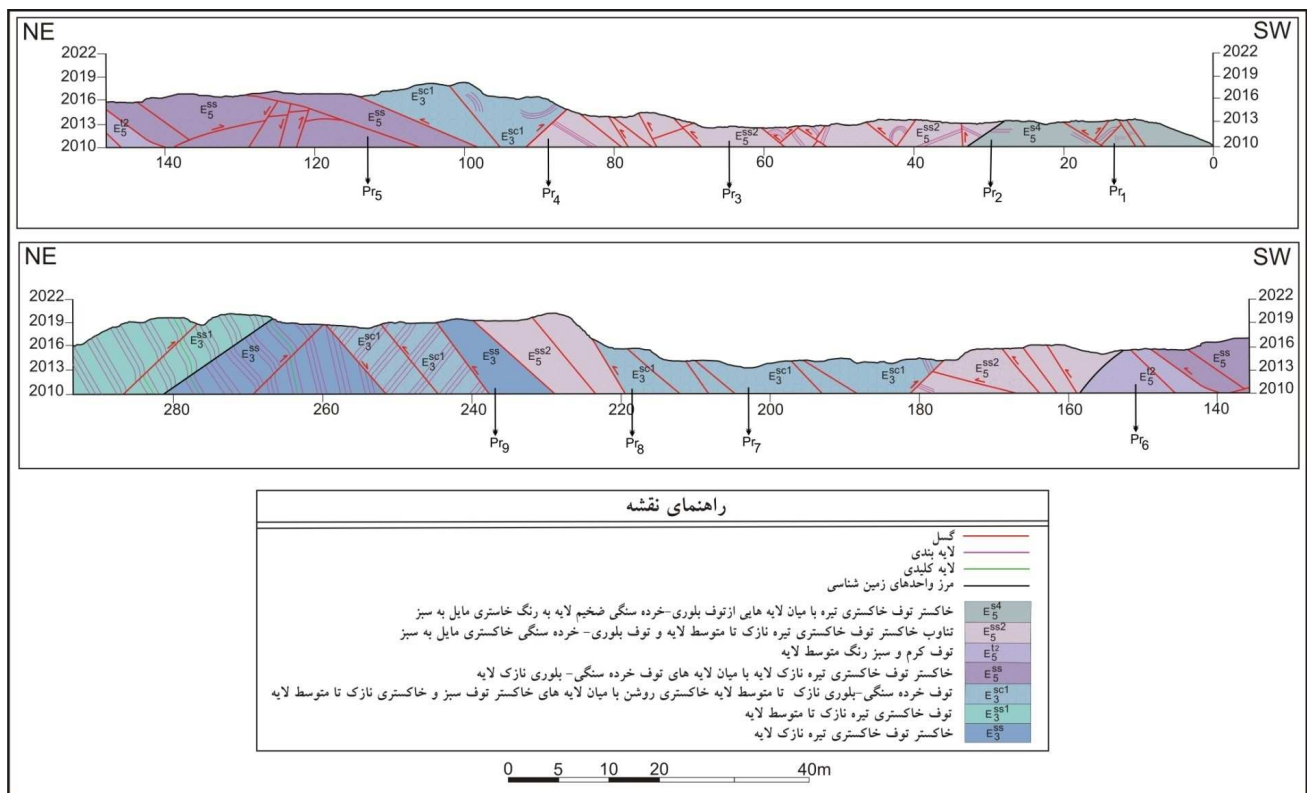
شکل ۶. نقشه‌ی نشان دهنده‌ی موقعیت گسل‌های معکوس و راستالغز در منطقه‌ی مورد مطالعه. دواپر موجود، مکان برداشت نمونه‌های سنگی از گسله‌های  $Nm_1$ ،  $Nm_2$  و  $Nm_8$  از پهنه‌ی گسلی نمک را نشان می‌دهد. مستطیل مکان شکل (۷) را نشان می‌دهد

درصد حجمی بلوک‌ها در بخش خرد شده بیش از ۷۵ درصد است و در بخش متأثر نیز اندازه‌ی بلوک‌ها از ۷۵ درصد ریشه‌ی دوم مساحت در نظر گرفته شده تجاوز می‌کند

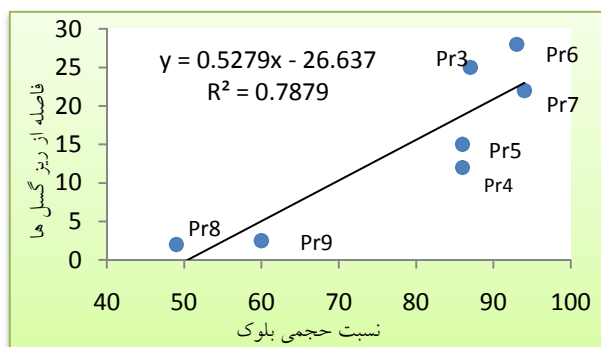
همچنین به منظور محاسبه‌ی درصد حجمی بلوک‌ها، از گسله سنگ‌های موجود در دو بخش خرد شده و متأثر تصاویر با سه مقیاس مشخص تهیه شد. برای هر سه قطعه‌ی گسلی،

مقاومتی پایین تری دارند (جدول ۳). ترکیب سنگ شناسی بلوک های داخل و خارج از پهنه برای هر سه قطعه ی گسله شامل قطعات سنگی (lithic) درشت است ولی در رابطه با پهنه ی گسله ی  $Nm_8$  آثاری از تجزیه شدگی و جانشینی با کانی های ثانویه نیز مشاهده می شود (جدول ۳).

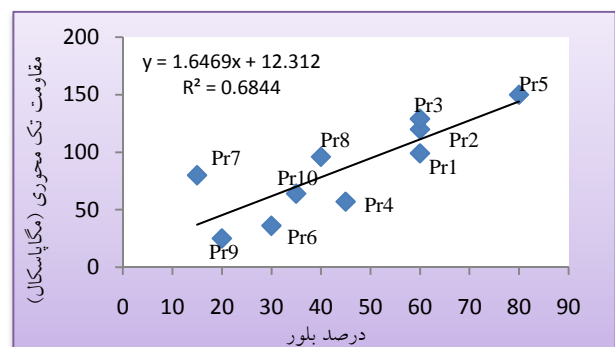
(جدول ۲). در آزمایشگاه نیز مقاومت تک محوری بلوک های داخل و خارج از پهنه برای این قطعات گسله تعیین شد (جدول ۳). محدوده ی مقاومتی بلوک های گسله سنگ های دو قطعه ی گسله ی  $Nm_1$  و  $Nm_2$  در بخش متأثر و خرد شده متوسط است در حالی که محدوده ی مقاومتی در خارج از پهنه بالا می باشد ولی بلوک های پهنه ی گسله ی  $Nm_8$  محدوده ی



شکل ۷. برش ساختاری از پهنه ی گسله ی پورکان در شمال روستای کندر. مکان برداشت نمونه های سنگی روی شکل مشخص شده است. مکان این برش بر روی شکل ۶ مشخص شده است



شکل ۹. رابطه ی مقاومت تک محوری با درصد بلور موجود در بلوک های پهنه ی گسله ی پورکان



شکل ۸. رابطه ی نسبت حجمی بلوک ها با فاصله از ریز گسل ها در پهنه ی گسله ی پورکان



۴ از پیشانی پهنه به طرف خارج از پهنه، میزان دگرریختی ناشی از جنبش گسل کاسته شود و مقاومت گسله سنگ‌های موجود افزایش یابد. ویژگی‌های مقاومتی بلوک‌های موجود در پهنه‌ی گسلی پورکان از پیشانی به سمت خارج از پهنه‌ی گسله، تغییرات منظمی را آن‌گونه که مورد انتظار است نشان

نمی‌دهد (جدول ۱). علاوه بر این به طرف خارج از پهنه‌ی گسله (ایستگاه‌های  $Pr_8$  و  $Pr_9$ ) نسبت حجمی بلوک‌ها کاهش یافته است که خود نشان دهنده‌ی افزایش خرد شدگی است (جدول ۱).

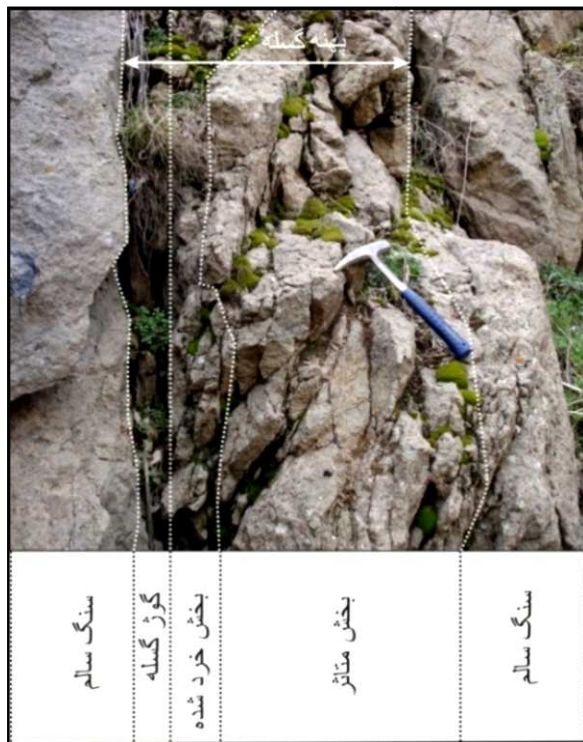
جدول ۱. مشخصات بلوک‌های سنگی پهنه‌ی گسلی پورکان به تفکیک ایستگاه‌های برداشت

محدوده‌ی مقاومتی	مقاومت فشاری تک‌محوری (Mpa)	نسبت بلوک‌ها (درصد)	تشریح در مقطع نازک	فاصله از قاعده‌ی پهنه (متر)	مختصات		ایستگاه
					X	Y	
بالا	۹۹	-	۶۰٪ بلور	۴۲	۵۰۷۰۱۲	۳۹۷۰۳۴۲	$Pr_1$
بالا	۱۲۰	-	۶۰٪ بلور	۶۰	۵۰۷۰۲۵	۳۹۷۰۳۵۷	$Pr_2$
بالا	۱۲۹	۸۷	۶۰٪ بلور + ۲۰٪ قطعات سنگی	۹۵	۵۰۷۰۲۵	۳۹۷۰۳۶۲	$Pr_3$
متوسط	۵۷	۸۶	۴۵٪ بلور + ۱۵٪ شیشه	۱۱۸	۵۰۷۰۴۶	۳۹۷۰۳۷۵	$Pr_4$
بالا	۱۵۰	۸۶	۸۰٪ بلور	۱۴۲	۵۰۷۰۶۳	۳۹۷۰۳۸۰	$Pr_5$
کم	۳۶	۹۳	۴۵٪ قطعات سنگی + ۳۰٪ درصد بلور	۱۸۲	۵۰۷۰۹۰	۳۹۷۰۴۰۶	$Pr_6$
متوسط	۸۰	۹۴	۶۰٪ قطعات سنگی + ۱۵٪ بلور	۲۳۳	۵۰۷۱۲۹	۳۹۷۰۴۴۳	$Pr_7$
بالا	۹۶	۴۹	۴۵٪ شیشه + ۴۰٪ کانی‌های رسی	۲۴۸	۵۰۷۱۴۶	۳۹۷۰۴۶۳	$Pr_8$
کم	۲۵	۶۰	۵۰٪ قطعات سنگی + ۲۰٪ بلور	۲۶۸	۵۰۷۱۶۳	۳۹۷۰۴۷۳	$Pr_9$
متوسط	۶۴	-	۴۰٪ شیشه + ۳۵٪ کانی‌های رسی	۳۳۰	۵۰۷۲۳۴	۳۹۷۰۵۸۶	$Pr_{10}$

#### ۴. بحث

به طور کلی در یک پهنه‌ی گسلی شکننده انتظار می‌رود که چنین تغییرات نامنظم دگرریختی در پهنه‌ی گسلی شکننده‌ی پورکان به حضور ریز گسل‌ها اعم از زبانه‌های گسلی و یا پس راندگی‌ها نسبت داده شده است (شکل ۷)، به همین دلیل در حرکت از پیشانی پهنه به سمت خارج از پهنه‌ی گسلی پورکان مشاهده می‌شود که در مجاورت ریز گسل‌های موجود در پهنه به ویژه در بخش فرادیواره‌ای آن‌ها میزان خرد شدگی افزایش می‌یابد و خود باعث کاهش نسبت حجمی بلوک‌ها می‌شود (شکل ۷ و ۸). علاوه بر این حضور ریز گسل‌ها سبب قرارگیری واحدهای سنگ‌شناسی متفاوت در پهنه‌ی گسلی پورکان شده است که این امر نیز عاملی موثر در مقاومت متفاوت بلوک‌ها به حساب می‌آید (شکل ۷ و ۹). گسله سنگ‌های پهنه‌ی گسلی پورکان اگر چه همگی جزء توف‌های سازند کرج محسوب می‌شوند ولی مقادیر

متفاوتی از بلور، قطعات سنگی و شیشه در ترکیب آن‌ها حضور دارد (جدول ۱) به نظر می‌رسد که با کاهش میزان بلور و افزایش شیشه و قطعات سنگی در ترکیب بلوک‌ها، مقاومت آن‌ها نیز کاهش می‌یابد. بلوک‌های سنگی  $Pr_1$ ،  $Pr_2$ ،  $Pr_3$  و  $Pr_5$  با مقدار بلور فراوان در رده‌ی سنگ‌های با مقاومت بالا جای می‌گیرند در حالی که در ایستگاه‌های  $Pr_4$ ،  $Pr_6$ ،  $Pr_7$ ،  $Pr_8$  و  $Pr_9$  که در ترکیب بلوک‌های سنگی آن‌ها میزان قطعات سنگی و شیشه نسبت به درصد بلور افزایش می‌یابد، از میزان مقاومت آن‌ها کاسته می‌شود و در رده‌ی سنگ‌های مقاومت پایین و متوسط قرار می‌گیرند (جدول ۱ و شکل ۹). نقش ترکیب سنگ‌شناسی به ویژه در مورد سنگ‌های خارج از پهنه‌ی گسلی پورکان بارزتر است چرا که بر خلاف نبود خردشدگی ناشی از جنبش گسل، مقاومت سنگ‌های این بخش در حد متوسط می‌باشد (جدول ۱ و شکل ۹). رابطه میان مقاومت تراکمی تک‌محوری و ترکیب سنگ‌شناسی توف‌های



شکل ۱۰. پهنه‌ی گسله‌ی نمک (قطعه‌ی  $Nm_1$ ، شکل ۶) که بخش‌های گور گسله، خرد شده، متأثر و سنگ سالم در آن تفکیک شده است.

کرج پیشتر نیز توسط Yassaghi et. al, (2005) نشان داده شده است. نسبت بلوک‌های سنگی در گسله‌های پهنه‌ی گسله‌ی پورکان به جز در دو ایستگاه  $pr_8$  و  $pr_9$  بیش از ۷۵ درصد می‌باشد. به عقیده‌ی Lindquist & Goodman (1994) برای درصدهای حجمی بلوکی بزرگتر از ۷۵ درصد، مقاومت سنگ با افزایش درصد حجمی بلوک‌ها تغییری نشان نمی‌دهد. بنابراین انتظار می‌رود که گسله‌های ایستگاه‌های  $pr_1$  تا  $pr_7$  به لحاظ مقاومتی و مطابق با طبقه‌بندی Bieniawski (1974) در محدوده‌ی مقاومتی یکسانی واقع شوند ولی داده‌های به دست آمده در این تحقیق حاصل از آزمایش‌های مقاومت بار نقطه‌ای صورت پذیرفته تنها بر روی بلوک‌های این گسله سنگ‌ها است و نه کل سنگ واجد بلوک و زمینه، بنابراین اظهار نظر قطعی‌تر در این رابطه مستلزم تعیین مقاومت مغزه‌های حاوی سنگ واجد بلوک و زمینه است. گسله‌های ایستگاه‌های  $pr_8$  و  $pr_9$  به ترتیب نسبت‌های حجمی بلوکی ۴۹ و ۶۰ درصد دارند و در محدوده‌ی ۲۵-۷۵ درصد قرار دارند.

جدول ۲. مقایسه‌ی اندازه‌ی بلوک‌ها در دو بخش متأثر و خرد شده از پهنه‌ی گسله‌ی نمک

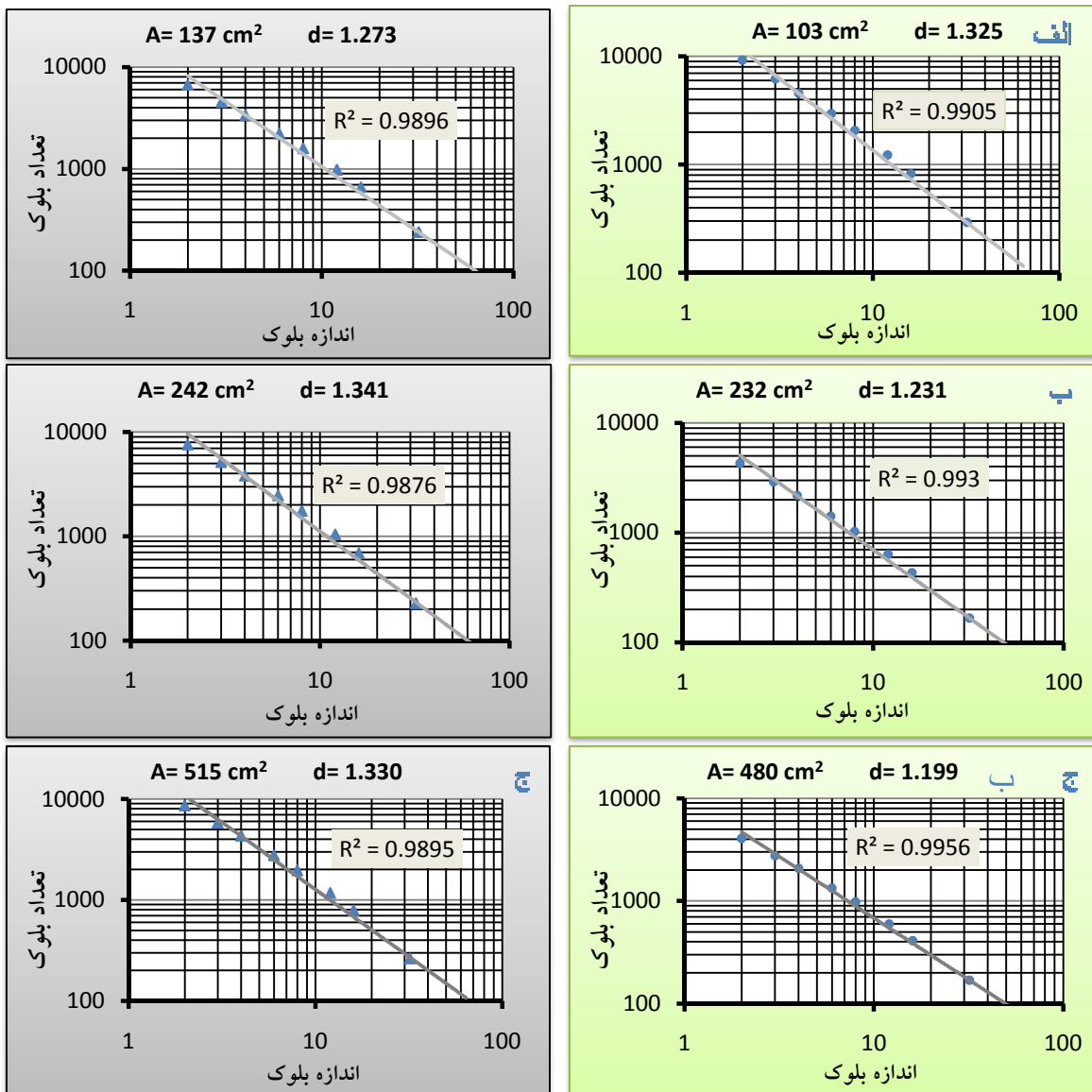
نام گسل	مساحت مرجع (سانتی‌متر مربع)	مساحت مرجع $0/05$ مجذور (سانتی‌متر)	مساحت مرجع $0/75$ مجذور (سانتی‌متر)	بیشینه‌ی اندازه‌ی بلوک (سانتی‌متر)	کمینه‌ی اندازه‌ی بلوک (سانتی‌متر)	میانگین اندازه‌ی بلوک (سانتی‌متر)	
						$Nm_1$	$Nm_2$
متأثر	۱۷۵	۰/۶۶	۹/۹۲	۲۰/۳	۶/۳	۱۳/۳	$Nm_1$
	۲۲۰	۰/۷۴	۱۱/۱۲	۱۰/۷	۳	۶/۸۵	
خرد شده	۱۲۵	۰/۵۶	۸/۳۸	۹/۱۵	۳/۴	۹/۶۵	$Nm_2$
	۱۳۱	۰/۵۷	۸/۵۸	۷/۴	۰/۵۸	۳/۹۹	
متأثر	۱۳۲	۰/۵۷	۸/۶۲	۸/۷	۰/۶۵	۴/۶۷	$Nm_8$
	۹۴	۰/۴۹	۷/۲۷	۴	۰/۴۹	۲/۲۴	

فراوانی بلوک‌های سنگی گسله سنگ‌ها با افزایش اندازه‌ی آنها کاهش می‌یابد همچنین بعد فرکتال محاسبه شده در سه مقیاس مورد مطالعه یکسان می‌باشد. ارزیابی افزایش مقاومت گسله سنگ‌ها با افزایش نسبت حجمی بلوک‌های آن‌ها برای گسله سنگ‌های با نسبت حجمی بلوکی ۴۹ به ۶۰، برابر با آنچه که Lindquist & Goodman (1994) اظهار داشته‌اند به

از آنجا که گسله سنگ‌های این بخش به عنوان bimrock تلقی می‌شوند، نمودارهای لگاریتمی مربوط به توزیع اندازه‌ی بلوک‌های آن‌ها در سه مقیاس تعریف شده، ترسیم شد و بعد فرکتال برای هر سه مقیاس محاسبه شد (شکل ۱۱). نتیجه‌ی حاصل از ترسیم هیستوگرام‌های لگاریتمی در توافق با نتیجه‌ی است که توسط Lindquist (1991) به دست آمد و بیان می‌کند

تک‌محوری نمونه‌های سنگی ملاحظه می‌شود به گونه‌ای که مقدار مقاومت از خارج از پهنه‌ی گسله به سمت بخش متأثر و سپس خرد شده کاهش نشان می‌دهد (جدول ۲). مقاومت بلوک‌های سنگی پهنه‌ی گسلی نمرک نیز تا حد قابل توجهی به ترکیب سنگ‌شناسی وابسته است چرا که بلوک‌های سنگی بخش خرد شده و متأثر در دو پهنه‌ی  $Nm_1$  و  $Nm_2$  جایی که ترکیب سنگ‌شناسی شامل قطعات درشت سنگی است، در رده‌ی سنگ‌های با مقاومت متوسط جای می‌گیرند (جدول ۳).

دلیل در دست نبودن مغزه‌ی حفاری از گسله‌سنگ‌های این بخش، عملی نبوده است. میزان جابه‌جایی صورت گرفته در پهنه‌ی قطعات گسلی نمرک در مقایسه با گسل پورکان کمتر است چرا که این گسل خوردگی‌ها تنها در یک زیر عضو از سازند کرج رخ داده است به طوری که سنگ‌های داخل و خارج از پهنه‌ی گسله دارای ترکیب سنگ‌شناسی یکسانی می‌باشند (جدول ۳). در مورد این گسل، در هر سه پهنه‌ی گسلی در نظر گرفته شده، تغییرات منظمی از خارج از پهنه‌ی گسله به سمت داخل آن در مقاومت تراکمی



شکل ۱۱. هیستوگرام لگاریتمی توزیع اندازه‌ی بلوک‌های سنگی گسله‌سنگ‌های  $Pr_8$  (ستون سمت راست) و  $Pr_9$  (ستون سمت چپ) در سه مقیاس مختلف (الف) ۱۵۰ و (ب) ۳۰۰ و (ج) ۶۰۰ سانتی‌متر مربع. A: مساحت مرجع، d: بعد فرکتال

مقایسه با سنگ‌های خارج از پهنه‌های گسلی  $Nm_1$  و  $Nm_2$  که در رده‌ی سنگ‌های با مقاومت بالا جای دارند، کاهش مقاومت قابل توجهی نشان می‌دهند (جدول ۳) که خود موید تاثیر ترکیب سنگ‌شناسی در تغییرات مقاومت تراکمی تک‌محوری بلوک‌های قطعات گسلی نمرک می‌باشد.

ولی در مورد پهنه‌ی گسلی  $Nm_8$  که در ترکیب سنگ‌شناسی خود شواهدی از تجزیه شدگی را نشان می‌دهند و سیمان شدگی بسیار ضعیفی دارند، بلوک‌های سنگی این دو بخش به ترتیب در گروه سنگ‌های با مقاومت خیلی پایین و پایین قرار دارند (جدول ۳). سنگ‌های خارج از پهنه‌ی گسلی  $Nm_8$  در گروه سنگ‌های با مقاومت متوسط جای می‌گیرند و در

جدول ۳. مقاومت تراکمی تک‌محوری و ترکیب سنگ‌شناسی نمونه‌های سنگی پهنه‌ی گسلی نمرک

نمونه	مقاومت فشاری تک محوری (Mpa) و محدوده‌ی مقاومتی			ترکیب سنگ‌شناسی
	خرد شده	متأثر	سالم	
$Nm_1$	۶۱	۷۵	۱۲۲	بیش از ۸۰٪ قطعات درشت سنگی، ۱۰٪ بلور (فلدسپار، کوارتز، کانی‌های اپک)
	متوسط	متوسط	بالا	
$Nm_2$	۵۶	۶۶	۱۳۰	بیش از ۸۰٪ قطعات درشت سنگی، ۱۰٪ بلور (فلدسپار، کوارتز)
	متوسط	متوسط	بالا	
$Nm_8$	۴	۳۲	۵۰	۵۰٪ قطعات سنگی تجزیه شده، ۲۵٪ بلور (فلدسپار، کوارتز، پیروکسن)، ۱۰٪ کلسیت ثانویه
	خیلی کم	کم	متوسط	

#### ۵. نتیجه‌گیری

مقاومت بلوک‌های موجود در پهنه‌ی گسلی پورکان به دلیل تغییرات سنگ‌شناسی توده سنگ‌های درگیر در گسل خوردگی، متغیر است و در رابطه با کاهش مقاومت آن‌ها نمی‌توان به نتیجه کلی رسید در حالی که در پهنه‌ی گسلی نمرک که توده سنگ‌های گسل خورده ترکیب سنگ‌شناسی یکسانی را نشان می‌دهند این کاهش مقاومت از بخش متأثر به بخش خرد شده مشخص می‌باشد. نسبت حجمی بلوک‌ها در پهنه‌ی گسلی پورکان با نزدیک شدن به ریز گسل‌های موجود در این پهنه‌ی گسلی کاهش می‌یابد. بررسی نمودارهای هیستوگرام لگاریتمی نشان می‌دهد که درصد حجمی بلوک‌ها و توزیع دانه‌بندی آن‌ها در سه مقیاس مورد مطالعه یکسان است و تابع روابط فرکتالی می‌باشد. به علاوه توزیع دانه‌بندی بلوک‌های آن‌ها از قانون توانی معکوس پیروی می‌کند چرا که با کاهش اندازه‌ی بلوک‌ها بر تعداد آن‌ها افزوده می‌شود. بر این اساس می‌توان نسبت حجمی بلوک‌ها در گسلی سنگ‌های پهنه‌ی گسلی پورکان را در مقیاس‌های کوچک محاسبه کرد و به مقیاس‌های بزرگتر تعمیم داد. اگر چه نسبت حجمی

بلوک‌های گسلی سنگ‌های پهنه‌ی گسلی نمرک از سنگ سالم به طرف بخش متأثر و خرد شده کاهش می‌یابد ولی این نسبت در موارد مطالعه شده بیش از ۷۵ درصد می‌باشد بر همین اساس و طبق تعریف نمی‌توان آن‌ها را در رده‌ی سنگ‌های واجد بلوک و زمینه جای داد. بر اساس شواهد موجود، سازوکار گسل که بر میزان جابه‌جایی صورت گرفته در سنگ‌های گسل خورده موثر است در مقاومت تراکمی تک‌محوری و نسبت حجمی بلوک‌های سنگی سنگ‌های موجود در دو پهنه‌ی گسلی پورکان و نمرک نقش دارد چرا که این میزان جابه‌جایی ایجاد شده توسط گسل، بر عرض پهنه‌ی گسلی که عاملی مهم در نایکسان بودن شدت دگرریختی است مؤثر می‌باشد. این امر خود سبب ایجاد نسبت‌های حجمی متفاوت بلوکی و همچنین مقاومت‌های متفاوت بلوک‌های موجود در دو پهنه‌ی گسلی شکننده‌ی معکوس و راستالغز با میزان جابه‌جایی‌های متفاوت در منطقه-ی مورد مطالعه شده است. در این تحقیق به دلیل در دست نبودن مغزه‌ی حفاری مناسب از گسلی سنگ‌های مورد مطالعه، امکان بررسی ارتباط میان مقاومت کلی این گسلی سنگ‌ها و نسبت حجمی بلوک‌های موجود در آن‌ها وجود نداشت.

## منابع

- امامی، م.، ۱۳۷۲. نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تهران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- داورپناه، م.، یساقی، ع.، صادقی، ش.، ۱۳۸۹. تحلیل جنبشی گسله‌های پورکان و نمرک در جنوب البرز مرکزی. بیست و نهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- داورپناه، م.، ۱۳۹۰. تحلیل سازوکار گسله‌های پورکان و نمرک و مقایسه‌ی مقاومت تک‌محوری گسله‌های سنگ‌های آن‌ها. پایان‌نامه‌ی دوره‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- صادقی، ش.، ۱۳۸۸. تحلیل ساختاری گسل‌های امتداد لغز پهنه‌ی ترشیری جنوبی البرز (شمال خاور کرج). بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- Bieniawski, Z.T., 1974. The point load test in geotechnical practice. *Journal of Engineering Geology*, 9: 1-11.
- Broch, E., Franklin, J.A., 1972. The point-load strength test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 9: 669-697.
- ISRM 1985. Suggested methods for determining point load strength. *International Society for Rock Mechanics*.
- Lindquist, E.S., 1991. *Fractals-Fractures and Franciscan, Rock Mechanics*. Department of Civil Engineering, University of California.
- Lindquist, E.S., Goodman, R.E., 1994. The strength and deformation properties of a physical model mélange. *Proceeding of First North American Rock Mechanics Symposium (NARMS)*, pp. 843-850.
- Medley, E.W., 1994. Using stereological methods to estimate the volumetric proportion of blocks in mélanges and similar block-in-matrix rocks (bimrocks). *Proceeding of 7th International IAEG Congress, Lisbon, Portugal*, A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 1031-1040.
- Medley, E.W., and Goodman, R.E., (1994). Estimating the block volumetric proportion of mélanges and similar block-in-matrix rocks (bimrocks); *Proceeding of First North American Rock Mechanics Symposium (NARMS)*, A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 851-858.
- Medley, E.W., (2001). Orderly characterization of chaotic Franciscan melanges: *Felsbau Journal for Engineering geology, Geomechanics and Tunneling*, 19(4): 20-33.
- Medley, E.W., 2002. Estimating blocks size distributions of melanges and similar block-in-matrix rocks (bimrocks), *Proceedings of 5th North American Rock Mechanics Symposium (NARMS)*, Toronto, Canada, pp. 509-606.
- Medley, E.W., 2008. Engineering the Geological Chaos of Franciscan, *Proceeding of 42th USA Rock Mechanics Symposium & 2th USA - Canada Rock Mechanics Symposium*, San Francisco, California.
- Passchier, C.W., Trouw, R.A.J. 1998. *Microtectonics*. Springer Publication, 283p.
- Riedmüller, G., Brosch, F.J., Klima, K., Medley, E.W., 2001. Engineering geological characterization of brittle faults and classification of fault rocks. *Felsbau Journal for Engineering geology, Geomechanics and Tunneling*, 19(4): 13-19.
- Saotome, A., Yoshinaka, R., Osada, M., Sugiyama, H., 2002. Constituent material properties and clast-size distribution of volcanic breccias. *Journal of Engineering Geology*, 64: 1-17.
- Underwood, E.E., 1970, *Quantitative Stereology*, Addison-Wesley Publ. Co, Reading Mass., 273p.

---

Yassaghi, A., Salari-Rad, H., Kanani-Moghadam, H., 2005. Geomechanical evaluations of Karaj tuffs for rock tunneling in Tehran-Shomal Freeway, Iran. *Journal of Engineering Geology*, 77, 83-98.