

تعیین شکنندگی پدیدوتیت‌ها با استفاده از خصوصیات فیزیکی و مکانیکی (مطالعه موردی: هرسین، استان کرمانشاه)

محمدحسین قبادی^۱، مهرداد امیری^{۲*} و فرهاد آلیانی^۳

۱، ۲ و ۳- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

نویسنده مسئول: a.mehrdad1372@yahoo.com*

دریافت: ۹۶/۱۲/۲۳ پذیرش: ۹۷/۳/۱۹

چکیده

پارامترهای مقاومتی سنگ علی‌الخصوص شکنندگی یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های کنترل‌کننده رفتار ماده سنگ است. شکنندگی تابعی از مقاومت است که نشان‌دهنده استحکام سنگ در مقابل تغییر شکل در محدوده الاستیک می‌باشد. آسیب سنگ تا حد زیادی تابع خواص سنگ می‌باشد. با توجه به این که شکنندگی در پروژه‌های مهندسی سنگ اهمیت به سزایی دارد و روش‌های مستقیم برای اندازه‌گیری شکنندگی استاندارد نشده‌اند. در این پژوهش با استفاده از آزمون سرعت موج p ، دانسیته خشک، جذب آب، آزمون چکش‌اشمیت، بار نقطه‌ای و همین‌طور مقاومت فشاری تک‌محوری و کشش برزیلی بر روی ۱۰ بلوک از پدیدوتیت‌های واقع در هرسین، استان کرمانشاه، ضمن تعیین مفاهیم شکنندگی ارتباط پارامترهای شکنندگی با خصوصیات فیزیکی و مکانیکی تعیین گردیده است. براساس نتایج بدست آمده، رابطه منطقی و قابل قبولی بین دانسیته خشک و آزمایش سرعت صوت با شکنندگی سنگ وجود ندارد. بیش‌ترین انطباق بین آزمایش درصد جذب آب، آزمایش چکش‌اشمیت و آزمایش بار نقطه‌ای به ترتیب با مقادیر شاخص شکنندگی BI ، BI و $B3$ می‌باشد. که میزان همبستگی این شاخص‌ها به ترتیب $r(0.76)$ ، $r(0.79)$ و $r(0.98)$ می‌باشد. در واقع خصوصیات مکانیکی این سنگ‌ها نسبت به خصوصیات فیزیکی انطباق بیش‌تری را با شاخص شکنندگی نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پدیدوتیت، هرسین، شکنندگی، خصوصیات فیزیکی، خصوصیات مکانیکی

۱- مقدمه

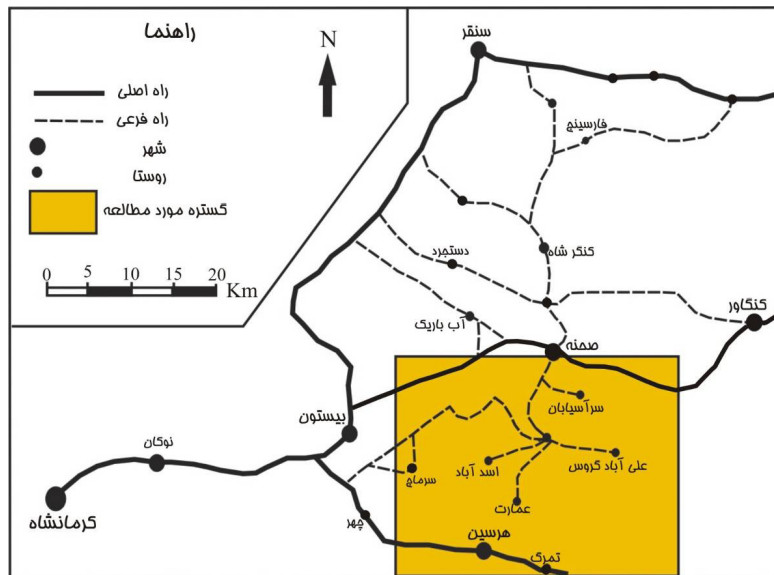
بین مقادیر (BTS) و (UCS) و $(IS50)$ وجود دارد (کتابی، ۱۳۹۱). بنابراین می‌توان انتظار داشت که بین شاخص شکنندگی و $(IS50)$ ارتباط وجود داشته باشد. در حال حاضر برای اندازه‌گیری مستقیم شکنندگی سنگ روش استاندارد ارایه نشده است ولی می‌توان با روش‌های غیرمستقیم نسبت به تعیین شاخص شکنندگی سنگ اقدام کرد (آلتینداگ، ۲۰۰۲). شکنندگی و آسیب سنگ بستگی به نوع سنگ (سنگ‌شناسی)، ترکیب سنگ، دما، تخلخل و رطوبت دارد. از این رو می‌توان با توجه به این پارامترها که شکنندگی سنگ را تحت تاثیر قرار می‌دهد، به تخمین شکنندگی سنگ‌ها پرداخت. در این پژوهش به تخمین شکنندگی ۱۰ بلوک از پدیدوتیت واقع در هرسین، استان کرمانشاه بر اساس سرعت موج، نسبت جذب آب، دانسیته خشک، چکش‌اشمیت و بار نقطه‌ای پرداخته شده است.

شکنندگی یکی از ویژگی‌های کنترل‌کننده رفتار ماده سنگ است. این عامل در پروژه‌های مهندسی سنگ، سازه‌های زیرزمینی و حفاری توده‌های سنگی (معادن) کاربرد دارد. با این حال به دلیل مشکلات موجود در ارایه مفهوم شکنندگی و روش اندازه‌گیری دقیق آن بین محققین مختلف، استفاده کاربردی آن در حفاری سنگ‌ها محقق نشده است (آلتینداگ، ۲۰۰۲). از دهه ۱۹۷۱ تاکنون مفهوم شکنندگی سنگ توسط محققین بسیاری توصیف شده است. شکنندگی، حاصل شکست همراه با تغییر شکل سنگ است. مقدار شاخص شکنندگی سنگ به طور غیر مستقیم با استفاده از مقادیر مقاومت کششی برزیلی (BTS) و مقاومت فشاری تک‌محوری (UCS) قابل اندازه‌گیری است (آلتینداگ، ۲۰۱۰). به دست آوردن مقادیر (BTS) و (UCS) مستلزم صرف هزینه و وقت زیادی می‌باشد. این مقادیر می‌تواند به سادگی توسط آزمایش بار نقطه‌ای محاسبه گردد. یک ارتباط منطقی

۲- موقعیت جغرافیایی و اقلیم

شهرستان هرسین در ۴۴ کیلومتری جنوب‌شرقی استان کرمانشاه واقع شده است که از جنوب به شهرستان دلفان استان لرستان، از شمال به شهرستان صحنه، از غرب به شهرستان کرمانشاه و از شرق به نهاوند محدود می‌شود. مرکز این شهرستان شهر هرسین است. این شهرستان از دو بخش مرکزی (به مرکزیت شهر هرسین) و بیستون (به مرکزیت شهر بیستون) تشکیل شده است. ارتفاع این شهر از سطح دریا ۱۵۴۹ متر است. فاصله هرسین از تهران ۵۶۶ کیلومتر است. طول جغرافیایی هرسین ۴۷

درجه و ۳۵ دقیقه و عرض جغرافیایی آن ۳۴ درجه و ۱۶ دقیقه نسبت به نصف‌النهار گرینویچ است. هرسین منطقه کوهستانی است که ارتفاعات موجود این شهرستان را محصور کرده و بیش‌تر در جهت شمال‌غربی و جنوب شرقی امتداد یافته است. دامنه‌های کم‌شیب، دره‌های عریض، جلگه‌های آبرفتی و سراب‌ها از مهم‌ترین ویژگی‌های طبیعی منطقه هرسین به شمار می‌رود (آقابیانی، ۱۳۸۳). در شکل ۱ نقشه جغرافیایی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۱. نقشه جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه

در شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است

۴- روش پژوهش

به‌منظور بررسی ارتباط بین ویژگی‌های فیزیکی و شکنندگی پریدوتیت‌های منطقه هرسین، تعداد ۱۰ بلوک مناسب انتخاب و به آزمایشگاه انتقال داده شده‌اند. بر این اساس از نمونه‌های سنگی جمع‌آوری شده، تعداد ۸۰ مغزه استوانه‌ای به قطر ۵۴ میلی‌متر تهیه و آزمایش‌های فیزیکی- مکانیکی مطابق با دستورالعمل ISRM و ASTM بر روی آن‌ها انجام شده است.

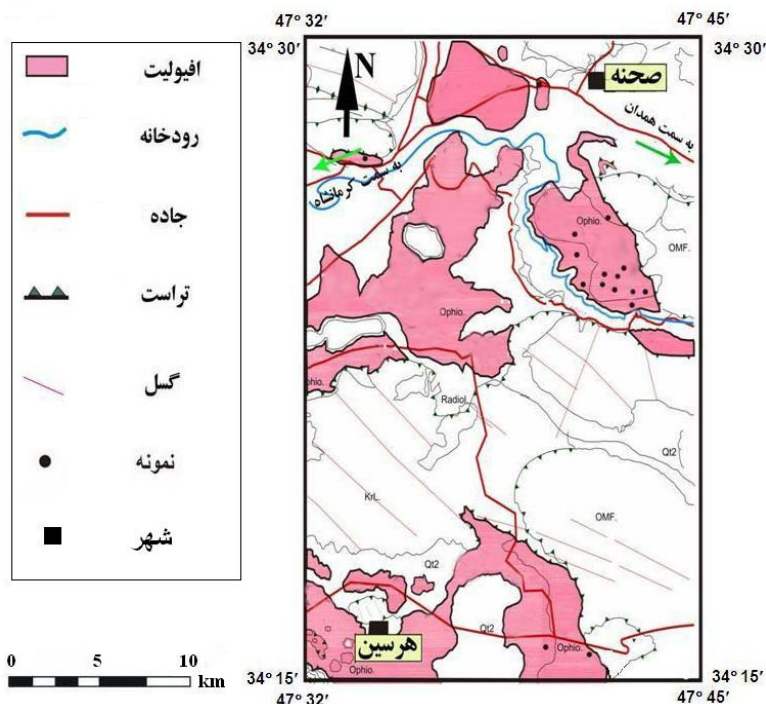
۳- زمین‌شناسی منطقه

منطقه هرسین از نظر موقعیت زمین‌شناسی در محدوده زون زاگرس واقع بوده است که مشتمل بر واحدهای سنگی گوناگون از زون‌های سنندج سیرجان و زاگرس چین‌خورده می‌باشد. واحدها عمدتاً نابرجا می‌باشد و از نظر رخساره با هم متفاوت هستند. واحدهای سنگی موجود در این ورقه عبارت است از:

۱- واحدهای چین‌های زون زاگرس چین‌خورده و رانده شده.

۲- واحدهای چین‌های زون سنندج سیرجان:

الف: مجموعه افیولیتی، ب: واحدهای رسوبی سنندج-سیرجان، ج: واحدهای رسوبی آتشفشانی سنوزوییک، د: واحدهای رسوبی بیستون، ه: واحدهای رسوبی دگرگونی سنقر کنگاور (آقابیانی، ۱۳۸۳).



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه [اقباس از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰:هرسین]

۵- مطالعات آزمایشگاهی

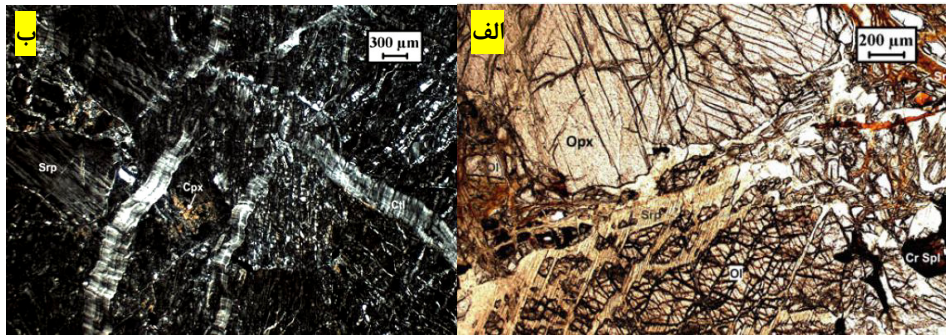
بررسی مقطع نازک سنگ

مطالعات مختلف نشان داده‌اند که ویژگی‌های فیزیکی سنگ‌ها نه تنها تحت تاثیر مجموعه کانی‌شناسی و جهت‌یابی کانی‌ها در نمونه سنگی است، بلکه عواملی هم چون ریزترک‌ها نیز، در این ویژگی‌ها تاثیر گذار است. به همین علت این قسمت به مطالعه نمونه‌های میکروسکوپی (شکل ۳) اختصاص یافته است. در شکل ۳ مقطع نازک این سنگ‌ها نشان داده شده که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد. هم‌چنین در شکل ۴ نمایی از پریدوتیت‌های هرسین نشان داده شده است.

پریدوتیت‌های هرسین از نوع هارزبورژیت می‌باشد. رنگ هارزبورژیت در نمونه دستی سبز بوده که در بعضی نقاط به سیاهی می‌گراید. وجود بلورهای درخشان انستاتیت و برنزیت در زمینه سیاه رنگ این نمونه‌ها، آن‌ها را از دونیت‌های سرپانتینیزه متمایز می‌سازد. به طور کلی توده‌های هارزبورژیتی تحت تاثیر عملکرد گسل‌های تراستی دچار شکستگی شده و در محل شکستگی‌ها آزبست تشکیل شده است.

ترکیب کانی‌شناسی این سنگ‌ها شامل الیوین (۸۵ - ۷۰ درصد)، ارتوپپروکسن (۲۵ - ۱۰ درصد)، کلینوپپروکسن

و اسپینل غنی از کروم (۵-۲ درصد) می‌باشد. الیوین‌ها، غنی از منیزیم، ارتوپپروکسن‌ها در محدوده انستاتیت - برنزیت، کلینوپپروکسن دیوپسیدی - اوژیت دیوپسیدی و اسپینل غنی از کروم هستند. به طور کلی بافت آن‌ها میلونیتی و پورفیروکلاستیک است که حالت خردشدگی و تبلور مجدد را می‌توان در بلورهای الیوین مشاهده نمود. پورفیروکلاست‌ها عمدتاً از ارتوپپروکسن‌ها تشکیل یافته‌اند که دارای اکسولوشن‌هایی از کلینوپپروکسن، ساختار کینگ‌باند و خمیدگی هستند. الیوین و ارتوپپروکسن سرپانتینی‌شده، به طوری‌که الیوین به کریزوتیل، آنتی‌گوریت و یا لیزاردیت تبدیل شده و رگه‌های آزبستی را در امتداد شکستگی‌ها تشکیل داده‌اند. نوع سرپانتین حاصل از ارتوپپروکسن، باستیت است. برخی از بلورهای الیوین با خاموشی موجی، خواص دگرشکلی از خود به نمایش می‌گذارند. گاهی تیغه‌های جدایشی کلینوپپروکسن در ارتوپپروکسن در نمونه‌های هارزبورژیتی دچار خمیدگی گشته‌اند (شکل ۳). احتمالاً کانی‌های فرمنیزین به خصوص الیوین و پیروکسن که خاصیت شکنندگی کمی در مقایسه با کوارتز و فلدسپات‌ها دارند، بر روی خواص شکنندگی سنگ موثر بوده که در ادامه به بررسی این موضوع پرداخته شده است.



شکل ۳. تصویر میکروسکوپی از پریدوتیت (هارزبورژیت) و کانی‌های تشکیل‌دهنده در نور (الف) ppl و نور (ب) xpl opx: ارتوپروکسن، cpx: کلینو پروکسن، srp: سرپانتین، cr spl: اسپینل کروم‌دار)



شکل ۴. نمایی از پریدوتیت‌های هر سین (دید به سمت شمال)

شکندگی

شکندگی از مفاهیم مهم در مکانیک سنگ می‌باشد. اما تاکنون برای تعریف شکندگی سنگ بین محققین مختلف اتفاق نظر وجود ندارد (آلتینداگ، ۲۰۱۰). شکندگی را می‌توان به عنوان مقادیر اندک طول شدگی ذرات، جدایش شکستگی^۱ نسبت بالاترین مقاومت فشاری به کششی در نظر گرفت (کهرمان و آلتینداگ، ۲۰۰۴). در این پژوهش، برای ۸۰ مغزه استوانه‌ای تهیه شده از پریدوتیت‌های مورد مطالعه، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی از قبیل مقاومت فشاری تک‌محوری، مقاومت کشش برزیلین، آزمایش بارنقطه‌ای و چکش‌اشمیت تعیین شده است. برای تعیین شاخص شکندگی در نمونه‌ها، از چهار نسبت مختلف استفاده شده است. جدول ۱ مفاهیم شکندگی استفاده شده در این پژوهش را نمایش می‌دهد.

محاسبه شاخص شکندگی

برای بیان شاخص شکندگی از رابطه زیر استفاده شده است که با استفاده از مقدار مقاومت فشاری تک‌محوری سنگ محاسبه انجام می‌شود (گوکتان و ایلماز، ۲۰۰۵).

$$BI=2.065 + K(\log \sigma_c)^2$$

در این رابطه BI شاخص شکندگی، σ_c مقاومت فشاری تک‌محوری بر حسب KPa و K ضریبی است که مقدار آن با توجه به نوع سنگ از ۱۷/۰ تا ۶۵۹/۰ متغیر می‌باشد (کهرمان و آلتینداگ، ۲۰۰۴). مقدار K از جدول ۲ قابل محاسبه است که برای سنگ‌های گروه e مانند پریدوتیت برابر ۰/۶۵۹ می‌باشد.

پس از تعیین σ_c مقاومت فشاری تک‌محوری و ضریب K از طریق رابطه ۵ مقدار BI بدست می‌آید. در جدول ۳ مقادیر طبقه‌بندی این پارامتر ارائه شده است. در جدول ۴ نتایج آزمون‌های آزمایشگاهی از قبیل: مقاومت فشاری تک‌محوری، مقاومت برزیلین، بار نقطه‌ای و چکش‌اشمیت آورده شده است. در جدول ۵ میانگین ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌ها و ضرایب شکست همراه با پارامترهای شاخص شکندگی ذکر گردیده است.

با توجه به مقادیر به دست آمده از آزمون مقاومت فشاری تک‌محوری و مقاومت کششی برزیلین، پارامترهای

¹ - fracture failure

محاسبه شده و مورد بررسی قرار گرفته است. نمودار روابط خصوصیات فیزیکی و مکانیکی با هریک از پارامترهای شکست در شکل‌های ۵ تا ۹ آورده شده است.

شکست برای هر پریدوتیت طبق روابط ۱ تا ۵ محاسبه گردید. سپس به منظور مطالعه روابط بین شاخص شکنندگی محاسبه شده با برخی ویژگی‌های مکانیکی، رابطه هر یک از شاخص‌ها با مقادیر ویژگی‌های مکانیکی

جدول ۱. مفاهیم شکنندگی مورد استفاده در این پژوهش

$B_1 = \frac{\sigma_c}{\sigma_t}$	(هانکا و داس، ۱۹۷۴)	رابطه (۱)
$B_2 = \frac{\sigma_c - \sigma_t}{\sigma_c + \sigma_t}$	(هانکا و داس، ۱۹۷۴)	رابطه (۲)
$B_3 = \frac{\sigma_c \times \sigma_t}{2}$	(آلتینداگ، ۲۰۰۲)	رابطه (۳)
$B_4 = (\sigma_c \times \sigma_t)^{0.72}$	(باریلی و سویر، ۲۰۱۱)	رابطه (۴)
<p>B_1, B_2, B_3, B_4 شاخص‌های شکنندگی هستند σ_c و σ_t به ترتیب مقاومت فشاری تک‌محوری و مقاومت کششی سنگ بر حسب مگا پاسکال می‌باشد.</p>		

جدول ۲. رده‌بندی سنگ‌ها بر اساس ضریب K (هانکا و داس، ۱۹۷۴)

K	نوع ماده	گروه سنگ‌ها
۰/۱۷	مواد کربناتی یا با رخ بلوری به خوبی توسعه یافته (به عنوان مثال، سنگ آهک، دولومیت و سنگ مرمر)	گروه a
۰/۲۳۱	مواد آرزلیتی (به عنوان مثال، گلستگ، شیل، خاک رس)	گروه b
۰/۲۷۰	مواد آرنایتی با بلورهای قوی و رخ با توسعه ضعیف بلوری (به عنوان مثال، ماسه‌سنگ و سنگ شنی محتوی کوارتز)	گروه c
۰/۲۷۶	مواد بلوری آذرین پلی‌مینرال ریز دانه (به عنوان مثال آندزیت، دلریت، دیاباز و ریولیت)	گروه d
۰/۶۵۹	مواد دگرگونی و آذرین پلی‌مینرال درشت دانه (برای مثال گرانیت، گابرو، گنیس)	گروه e

جدول ۳. رده‌بندی سنگ‌ها بر اساس شاخص شکنندگی (هوک، ۱۹۸۲)

توصیف	شاخص شکنندگی (BI)	رده سنگ
خیلی شکننده	$BI > 25$	۱
شکننده	$15 < BI < 25$	۲
متوسط شکننده	$10 < BI < 15$	۳
کمی شکننده	$BI < 10$	۴

جدول ۴. نتایج خصوصیات مکانیکی پریدوتیت‌های مورد مطالعه

نمونه	UCS (MPa)	BTS (MPa)	چکش‌اشمیت	بار نقطه‌ای
۱	۵۳/۰۵	۴/۵۴	۴۵	۲/۰۲
۲	۵۶/۸۴	۶	۵۰	۵/۱۶
۳	۵۱/۳۶	۶/۷۳	۴۹	۵/۴۹
۴	۴۷/۰۷	۶/۰۴	۴۴	۴/۵۶
۵	۴۸/۸۴	۶/۴۱	۴۲	۵/۳۱
۶	۴۸/۲۹	۶/۰۴	۵۲	۲/۴۹
۷	۵۰/۱۰	۵/۱۶	۵۱	۴/۷۱
۸	۵۴/۶۱	۵/۴۰	۵۲	۲/۱۷
۹	۵۳/۴۷	۶/۲۶	۵۰	۵/۸۶
۱۰	۵۰/۱۰	۶/۴۵	۴۳	۶/۰۸

جدول ۵. میانگین ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌ها و ضرایب شکست

شماره نمونه	دانسیتیه خشک (gr/cm^3)	I_v (%)	V_p (m/s)	B_1	B_2	B_3	B_4	BI
۱	۲/۷۲	۰/۱۲	۵۰۷۴	۸/۶۸	۰/۶۸	۱۵۷/۴۲	۵۷/۸۶	۴/۰۲۵
۲	۲/۶۷	۰/۱۰	۵۰۸۵	۸/۴۷	۰/۶۵	۱۵۵/۷۰	۶۰/۶۲	۴/۰۹۳
۳	۲/۶۵	۰/۱۱	۵۰۸۰	۷/۶۳	۰/۶۶	۱۵۸/۸۲	۶۰/۲۶	۳/۹۹۳
۴	۲/۶۴	۰/۰۸	۵۰۸۷	۷/۷۹	۰/۶۴	۱۵۶/۱۵	۵۸/۴۴	۳/۹۰۸
۵	۲/۷۱	۰/۰۸	۵۰۹۸	۷/۶۱	۰/۶۹	۵۳/۱۵	۶۲/۶۴	۳/۹۴۴
۶	۲/۷۴	۰/۰۹	۵۰۹۲	۸/۹۹	۰/۶۸	۱۵۵/۸۳	۵۹/۵۲	۳/۹۴۱
۷	۲/۷۲	۰/۱۰	۵۰۸۹	۹/۱۰	۰/۶۷	۱۵۹/۲۵	۵۸/۵۷	۳/۹۹۵
۸	۲/۷۱	۰/۱۱	۵۱۱۰	۹/۴۰	۰/۶۴	۱۵۷/۴۴	۶۰	۴/۰۰۵
۹	۲/۶۸	۰/۰۷	۵۰۷۰	۸/۵۴	۰/۶۹	۱۵۷/۳۶	۶۱/۷۳	۳/۹۹۸
۱۰	۲/۷۰	۰/۰۸	۵۰۹۲	۸/۷۶	۰/۷۰	۱۵۳/۵۷	۶۱/۰۸	۳/۹۴۴

سنگ‌ها به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد (فهیمی فر و سروش، ۱۳۸۰). در شکل ۵ ارتباط شاخص شکنندگی با آزمایش جذب آب بررسی شده است. در شکل ۵ الف بین شاخص شکنندگی با جذب آب انطباق مناسبی دیده می‌شود. در شکل ۵ ب و پ به ترتیب میزان جذب آب با شاخص شکنندگی همبستگی (r) ۶۴/۰ و ۵۷/۰ را نشان می‌دهد. در شکل ۵ ت و ث نیز میزان همبستگی به ترتیب (r) ۵۵/۰ و ۶۱/۰ وجود دارد. بنابراین اختلاف چندانی بین این حالت‌ها با شاخص‌های شکنندگی وجود ندارد. از آنجایی که در حالت عادی بین جذب آب با تخلخل رابطه مستقیم وجود دارد، می‌توان افزایش انطباق شکنندگی با آزمایش جذب آب در شکل‌های ۵ ب تا ۵ ت را ناشی از تخلخل کم سنگ مورد آزمایش ارزیابی نمود. در حالی که رابطه عکس نیز در صورت افزایش تخلخل و جذب آب بیشتر، با کاهش شکنندگی سنگ همراه خواهد بود.

آزمایش سرعت موج

این آزمون شامل ارسال امواج صوتی به داخل نمونه و اندازه‌گیری سرعت عبور آن‌ها می‌باشد. هم‌چنین سرعت انتقال امواج بستگی به سلامت سنگ و کیفیت آن دارد، بنابراین رابطه مستقیمی بین سرعت امواج صوتی و ثابت‌های الاستیک سنگ وجود دارد (فهیمی فر و سروش، ۱۳۸۰). در شکل ۶ ارتباط شاخص شکنندگی با آزمایش سرعت موج بررسی شده است. در شکل ۶ الف بین شاخص شکنندگی با سرعت موج انطباق نسبتاً مناسبی دیده می‌شود. در شکل ۶ ب تا ۶ ت میزان سرعت موج با شاخص شکنندگی همبستگی کمی را نشان

بیش‌ترین ضریب همبستگی بین آزمایش جذب آب با مقادیر شکنندگی (B_1 و BI) می‌باشد. که میزان همبستگی این شاخص‌ها به ترتیب (r) ۷۶/۰ و (r) ۶۴/۰ می‌باشد. البته بین آزمون چکش‌اشمیت و پارامتر BI همبستگی (r) ۷۹/۰ وجود دارد. ولی این همبستگی در دیگر پارامترهای شاخص شکنندگی با آزمایش چکش‌اشمیت وجود ندارد.

در آزمون چکش‌اشمیت پارامترهای B_1 و B_2 و B_3 و B_4 به ترتیب همبستگی (r) ۵۴/۰ و (r) ۳۵/۰ و (r) ۴۶/۰ و (r) ۴۷/۰ داشته که میزان انطباق کمی را نشان می‌دهند. در آزمون سرعت موج مقادیر شکنندگی (BI و B_4) با سرعت موج انطباق بیش‌تری را نشان می‌دهد در صورتی که با مقادیر (B_2 ، B_1 و B_3) انطباق کمتری را نشان می‌دهد.

در آزمایش بار نقطه‌ای بیش‌ترین انطباق با شاخص شکنندگی B_2 وجود دارد. میزان همبستگی آن (r) ۹۸/۰ می‌باشد. در صورتی که بقیه مقادیر انطباق کمتری را در حدود ۴۱ تا ۵۴ درصد را نشان می‌دهند.

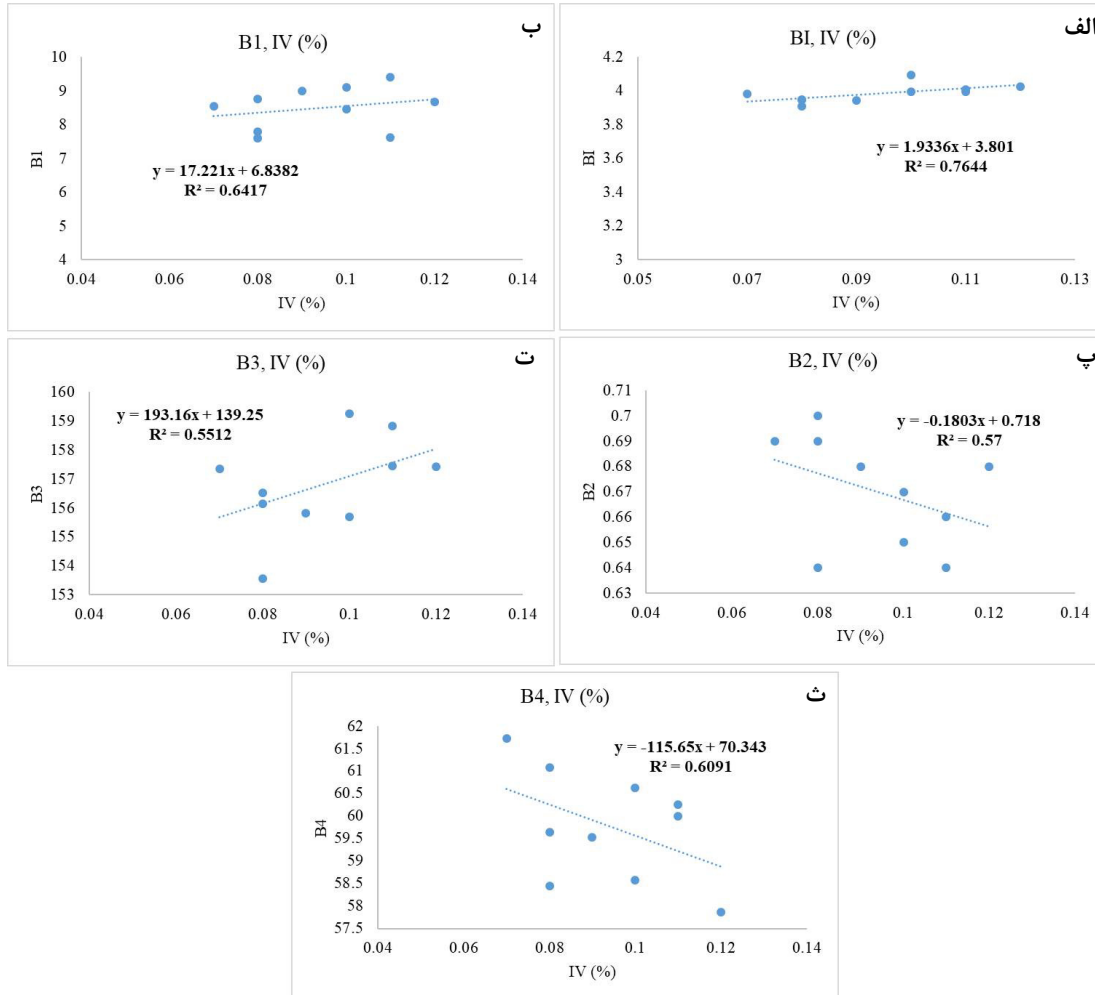
با توجه به مقادیر به دست آمده در جدول ۳ مقدار BI کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد، که نشان می‌دهد سنگ‌های پریدوتیتی در رده سنگ‌های با شکنندگی کم قرار می‌گیرند.

آزمایش جذب آب

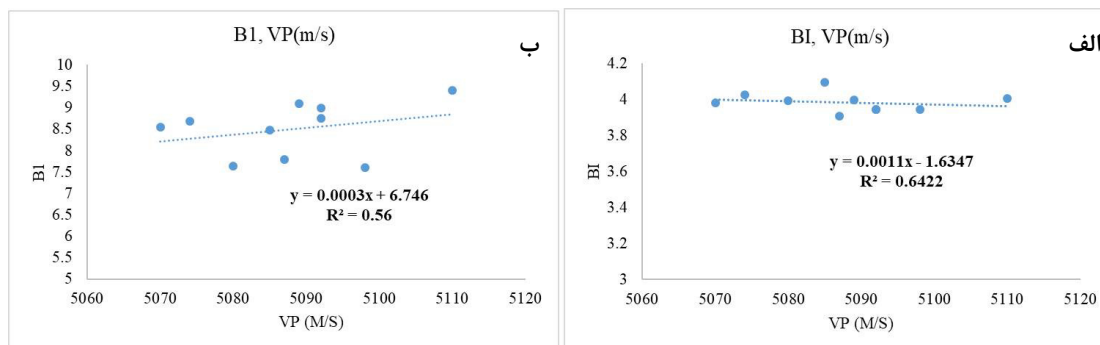
درصد جذب آب از نسبت وزن آب موجود در منافذ سنگ در حالت اشباع به وزن نمونه در حالت خشک بدست می‌آید. درصد جذب آب معیاری برای سنجش میزان تخلخل سنگ‌هاست که در مطالعه ویژگی‌های اولیه

آزمایش سرعت موج ندارد. در صورتی که در حالت عادی با افزایش شکنندگی میزان سرعت موج افزایش پیدا می‌کند.

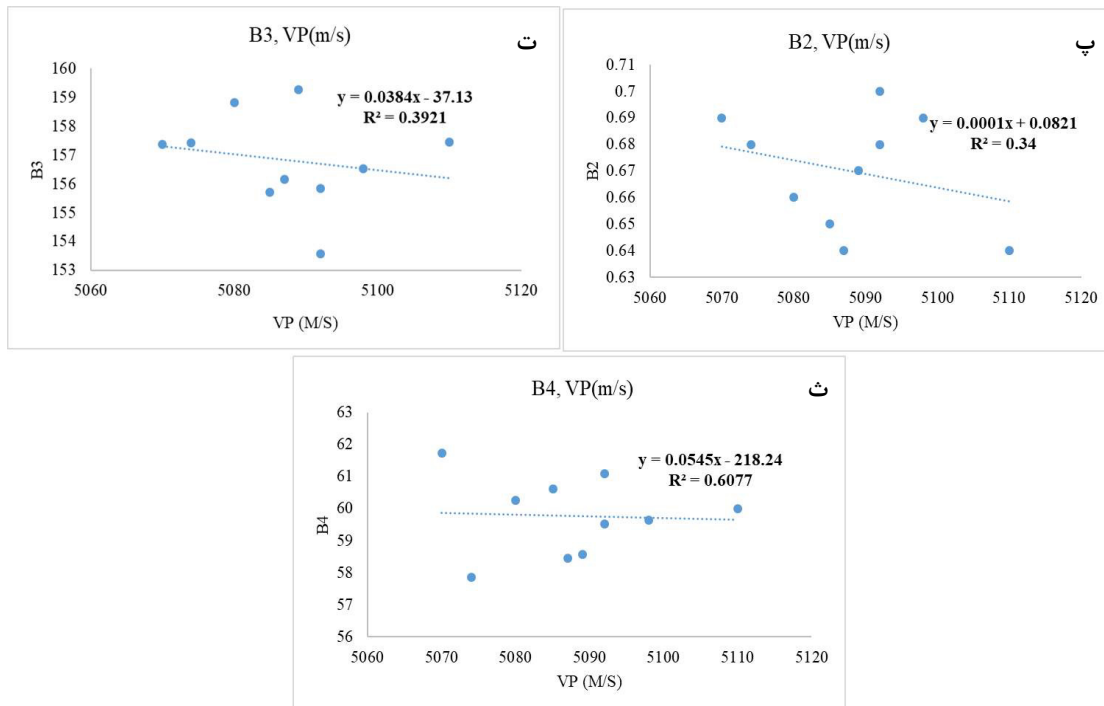
می‌دهد. در صورتی که در شکل ۶ میزان همبستگی بیشتری وجود دارد. میزان این همبستگی (r) ۶۰٪ می‌باشد. با توجه به این نمودارها می‌توان چنین اظهار نظر نمود که شاخص شکنندگی ارتباط معناداری با



شکل ۵. الف) ارتباط بین شاخص شکنندگی BI با IV در سنگ‌های پریدوتیتی. ب) ارتباط بین شاخص شکنندگی B1 با IV در سنگ‌های پریدوتیتی. پ) ارتباط بین شاخص شکنندگی B2 با IV در سنگ‌های پریدوتیتی ت) ارتباط بین شاخص شکنندگی B3 با IV در سنگ‌های پریدوتیتی ث) ارتباط بین شاخص شکنندگی B4 با IV در سنگ‌های پریدوتیتی



شکل ۶. الف) ارتباط بین شاخص شکنندگی BI با VP در سنگ‌های پریدوتیتی. ب) ارتباط بین شاخص شکنندگی B1 با VP در سنگ‌های پریدوتیتی



ادامه شکل ۶. پ) ارتباط بین شاخص شکنندگی B2 با VP در سنگ‌های پریدوتیتی. ت) ارتباط بین شاخص شکنندگی B3 با VP در سنگ‌های پریدوتیتی. ث) ارتباط بین شاخص شکنندگی B4 با VP در سنگ‌های پریدوتیتی

می‌شود. بعد از آزاد کردن، جرم تحت اثر بازتاب میله چکش (که هنوز در تماس با سطح بتن است) قرار می‌گیرد و مسافتی که توسط جرم طی می‌شود و برحسب درصدی از انبساط اولیه فنر بیان می‌شود، عدد بازتاب نامیده می‌شود. این مقدار توسط یک نشانه که در طول یک مقیاس مدرج است حرکت می‌کند، نشان داده می‌شود. عدد بازتاب یک اندازه مطلق است، چون به انرژی ذخیره شده در فنر و به اندازه جرم وابسته می‌باشد (فهیمی فر و سروش، ۱۳۸۰).

در شکل ۸ ارتباط شاخص شکنندگی با آزمایش چکش‌اشمیت بررسی شده است. در شکل ۸ الف ارتباط خیلی خوبی بین شاخص شکنندگی و آزمایش چکش‌اشمیت با ضریب همبستگی حدود $0.79(I)$ دیده می‌شود. این امر ناشی از تخلخل پایین سنگ‌های پریدوتیتی می‌باشد. در صورتی که در شکل‌های ۸ ب تا ۸ ث میزان شاخص شکنندگی با چکش‌اشمیت همبستگی زیادی را نشان نمی‌دهد. که میزان همبستگی این پارامترها از ۳۵ تا ۵۴ درصد می‌باشد. دلیل این امر احتمالاً ناشی از وجود کانی‌های فرومنین در سنگ‌های پریدوتیتی می‌باشد.

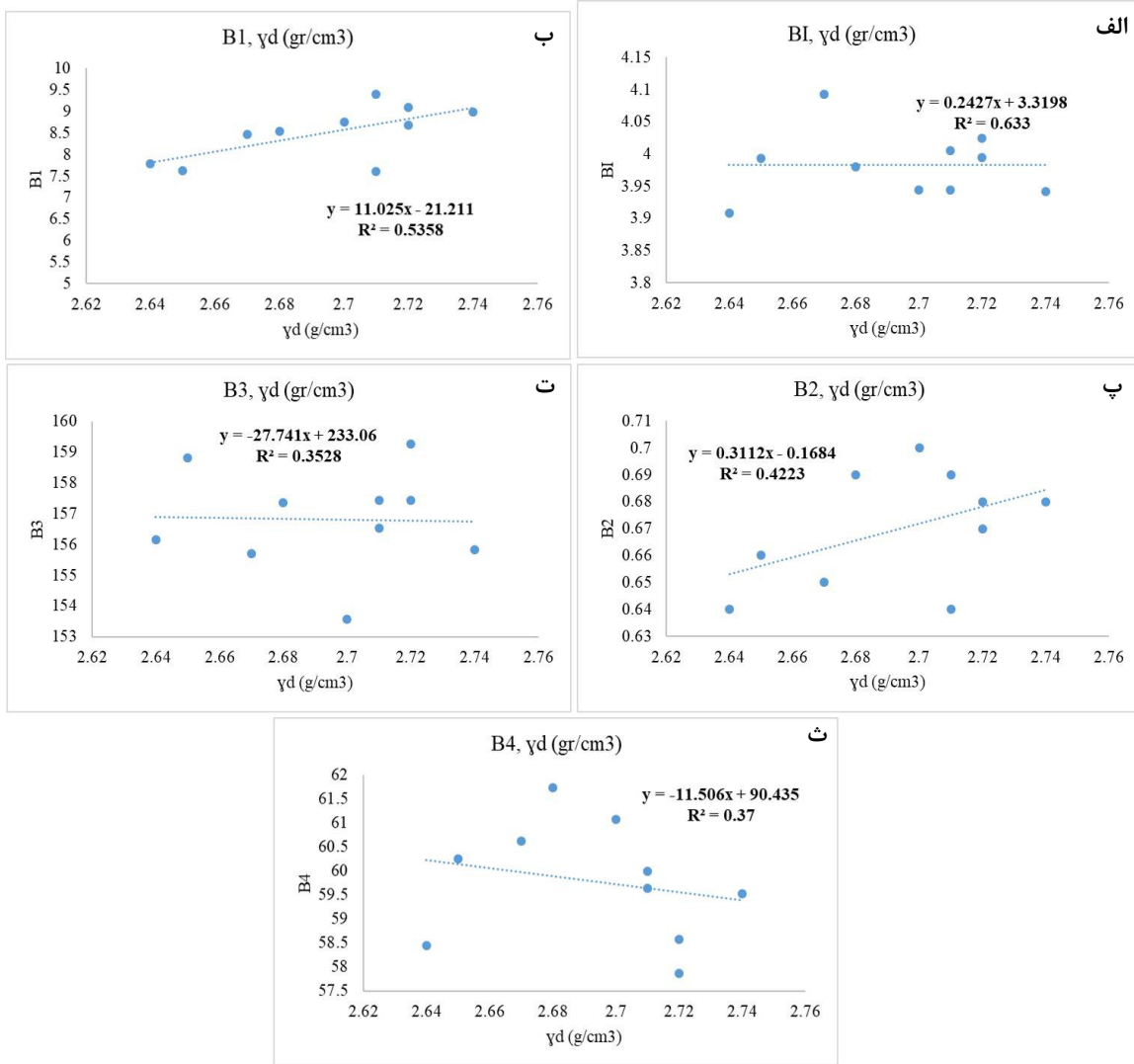
تعیین دانسیته خشک

وزن واحد حجم خشک یک نمونه سنگ از نسبت وزن خشک سنگ به حجم کل نمونه سنگ بدست می‌آید (فهیمی فر و سروش، ۱۳۸۰).

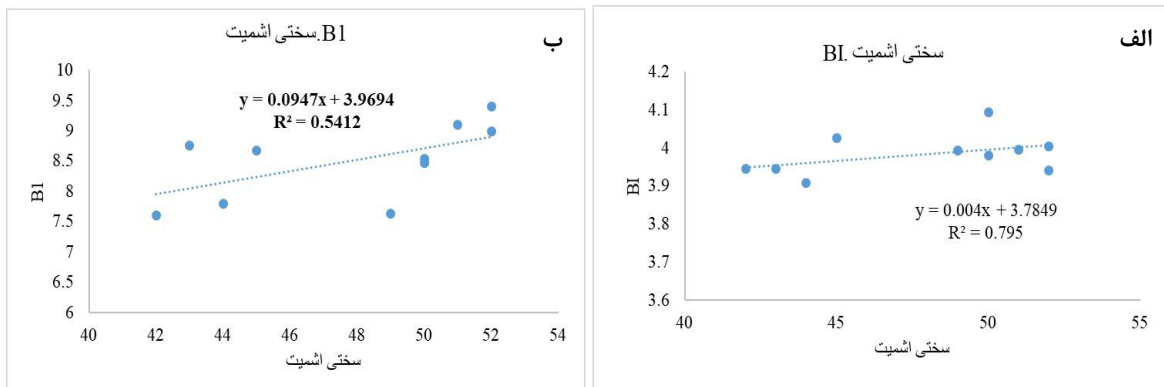
در شکل ۷ ارتباط شاخص شکنندگی با آزمایش دانسیته خشک بررسی شده است. در شکل ۷ الف بین شاخص شکنندگی با دانسیته خشک انطباق نسبتاً مناسبی دیده می‌شود. که میزان همبستگی دانسیته خشک با BI برابر $0.63(I)$ می‌باشد. در شکل ۷ ب تا ث میزان دانسیته خشک با شاخص‌های شکنندگی همبستگی زیادی را نشان نمی‌دهد. میزان همبستگی این پارامترها از ۳۵ تا ۵۳ درصد می‌باشد.

آزمایش چکش‌اشمیت

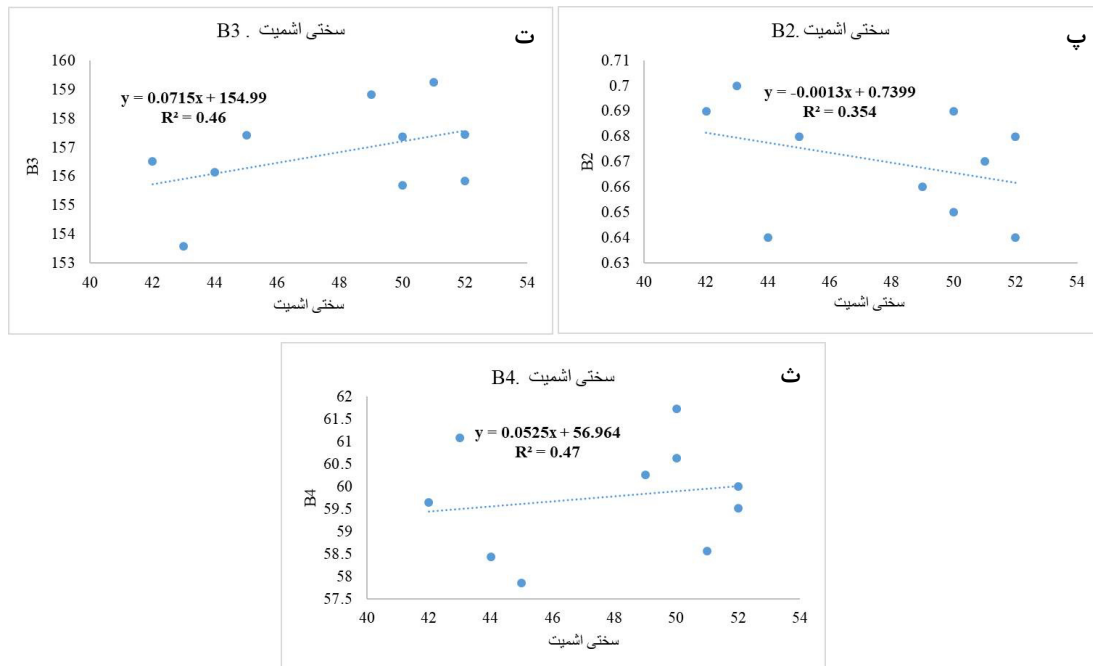
آزمایش بر اساس این اصل است که بازتاب یک جرم ارتجائی به سختی سطح در مقابل جرمی که به آن برخورد می‌کند وابسته است. در چکش‌اشمیت جرم متصل شده به فنر وجود دارد که با کشیدن فنر تا نقطه مشخصی، مقدار انرژی ثابتی به آن داده می‌شود. این کار با فشار دادن چکش به سطح صاف بتن یا سنگ انجام



شکل ۷. الف) ارتباط بین شاخص شکنندگی BI با γ_d در سنگ‌های پریدوتیتی. ب) ارتباط بین شاخص شکنندگی B1 با γ_d در سنگ‌های پریدوتیتی. پ) ارتباط بین شاخص شکنندگی B2 با γ_d در سنگ‌های پریدوتیتی. ت) ارتباط بین شاخص شکنندگی B3 با γ_d در سنگ‌های پریدوتیتی. ث) ارتباط بین شاخص شکنندگی B4 با γ_d در سنگ‌های پریدوتیتی



شکل ۸. الف) ارتباط بین شاخص شکنندگی BI با سختی اشمیت در سنگ‌های پریدوتیتی. ب) ارتباط بین شاخص شکنندگی B1 با سختی اشمیت در سنگ‌های پریدوتیتی



ادامه شکل ۸. پ) ارتباط بین شاخص شکنندگی B2 با سختی اشمیت در سنگ‌های پریدوتیتی. ت) ارتباط بین شاخص شکنندگی B3 با سختی اشمیت در سنگ‌های پریدوتیتی. ث) ارتباط بین شاخص شکنندگی B4 با سختی اشمیت در سنگ‌های پریدوتیتی

نمود که در مقاطع آزمایشگاهی به خاطر داشتن کانی‌هایی مثل سرپانتین، الیوین و پیروکسن (کیلینوپیروکسن و ارتوپیروکسن) هم‌چنین وجود رگه‌های آزیست در امتداد شکستگی‌های سنگ باعث ایجاد نقاط ضعف در سنگ‌های پریدوتیتی شده است. عملکرد گسل‌های تراستی باعث ایجاد شکستگی و تشکیل آزیست در توده سنگ‌های پریدوتیتی شده است. در نمودارهای آزمون دانسیته خشک خاصیت شکنندگی کاهش داشته به همین دلیل همبستگی کمی با شاخص‌های شکنندگی نشان می‌دهد.

در آزمون چکش‌اشمیت نیز به دلیل کاهش سختی سطح سنگ به دلیل وجود کانی‌های فرومنیزین مقادیر شکنندگی در سنگ کاهش یافته است. در صورتی که با وجود دانسیته بالای نمونه‌ها بایستی میزان شکنندگی سنگ‌ها افزایش می‌یافت.

ارتباط بین شاخص شکنندگی (BI) با هر کدام از آزمایش‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از این کار بررسی ارتباط شاخص شکنندگی سنگ پریدوتیتی با هر کدام از خصوصیات مکانیکی سنگ است. در صورت وجود همبستگی بالا می‌توان از آن آزمایش برای ارزیابی شکنندگی اولیه سنگ‌ها استفاده نمود.

آزمون بار نقطه‌ای

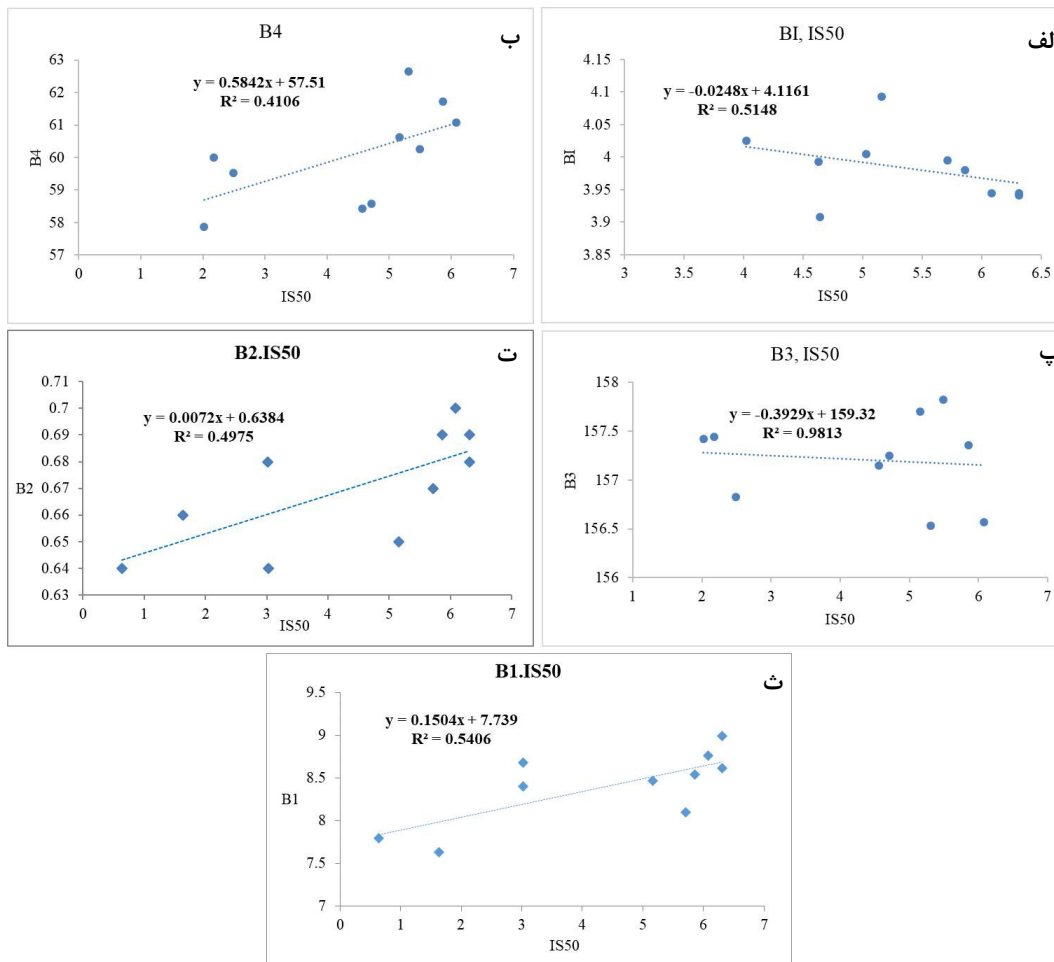
این آزمایش برای تعیین شاخص مقاومت بار نقطه‌ای سنگ به کار می‌رود و به دلیل قابل حمل بودن دستگاه می‌توان آن را در صحرا یا آزمایشگاه انجام داد. این آزمایش، تعیین یک شاخص مقاومتی می‌باشد که در طبقه‌بندی و تعیین خصوصیات سنگ استفاده می‌گردد (فهمی‌فر و سروش، ۱۳۸۰). در شکل ۹ پ بین شاخص شکنندگی با آزمایش بار نقطه‌ای ضریب همبستگی حدود $0.98/0$ دیده می‌شود. این امر را می‌توان ناشی از تخلخل پایین سنگ‌های پریدوتیتی دانست. در صورتی که در شکل‌های ۹ الف، ب، ت و ث میزان شاخص شکنندگی با آزمون بار نقطه‌ای همبستگی زیادی را نشان نمی‌دهد. که میزان همبستگی این پارامترها از ۴۱ تا ۵۴ درصد می‌باشد. با توجه به نحوه شکست این سنگ‌ها در آزمایشگاه می‌توان دلیل همبستگی کم پارامترهای شاخص شکنندگی را وجود کانی‌های فرومنیزین در سنگ‌های پریدوتیتی دانست.

بحث

با توجه به نتایج آزمون‌های آزمایشگاهی و تحلیل و بررسی نمودارهای رسم شده در مورد پریدوتیت‌های هرسین، استان کرمانشاه بدین‌گونه می‌توان اظهار نظر

استفاده کرد. البته تعیین دقیق میزان شکنندگی نیاز به انجام آزمایش‌هایی مانند: آزمایش پانچ نفوذی و DRI و ... می‌باشد. که در صورت حفاری در این نوع سنگ‌ها نیاز به تعیین این پارامترها ضروری می‌باشد.

بیش‌ترین انطباق بین شاخص شکنندگی (BI) با آزمایش چکش‌اشمیت به میزان $79/0(r)$ بوده و آزمایش جذب آب به میزان $76/0(r)$ می‌باشد و با بقیه آزمون‌ها همبستگی بالایی را نشان نمی‌دهد. می‌توان از آزمایش چکش‌اشمیت برای ارزیابی اولیه شکنندگی سنگ‌های پریدوتیتی



شکل ۹. الف) ارتباط بین شاخص شکنندگی BI با بار نقطه‌ای در سنگ‌های پریدوتیتی. ب) ارتباط بین شاخص شکنندگی B4 با بار نقطه‌ای در سنگ‌های پریدوتیتی. پ) ارتباط بین شاخص شکنندگی B3 با بار نقطه‌ای در سنگ‌های پریدوتیتی. ت) ارتباط بین شاخص شکنندگی B2 با بار نقطه‌ای در سنگ‌های پریدوتیتی. ث) ارتباط بین شاخص شکنندگی B1 با بار نقطه‌ای در سنگ‌های پریدوتیتی

می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که این میزان همبستگی ناشی از تداخل پایین این سنگ‌ها می‌باشد. در نتیجه می‌توان از آزمایش چکش‌اشمیت برای ارزیابی اولیه شکنندگی سنگ‌های پریدوتیتی استفاده کرد.
 ۳- در آزمون دانسیته خشک میزان همبستگی در تمام شاخص‌ها شکنندگی کمتر از ۶۳ درصد می‌باشد.
 ۴- در آزمون بار نقطه‌ای میزان همبستگی با شاخص شکنندگی B3 حدود $98/0(r)$ می‌باشد. در حالی‌که با

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش عبارت است از:
 ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی مانند دانسیته خشک و سرعت موج با شاخص‌های شکست سنگ‌های منطقه مورد مطالعه رابطه منطقی وجود نداشته است.
 ۲- در آزمون‌های جذب آب و چکش‌اشمیت پارامتر BI بیش‌ترین انطباق را نشان می‌دهد. میزان همبستگی این پارامترها به ترتیب $76/0(r)$ و $79/0(r)$ می‌باشد. در کل

- Dahl, F (2003) DRI, BWI, CLI Standards, NTNU, Angleggsdrift, Trondheim, Norway.
- Goktan, R.M. and Yilmaz Gunes N (2005) A new methodology for the analysis of the relationship between rock brittleness index and drag pick cutting efficiency. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 105 (10): 727-734.
- Ghobadi MH, Naseri F (2016) Rock Brittleness Prediction Using Geomechanical Properties of Hamkasi Limestone: Regression and Artificial Neural Networks Analysis, *JGeope*, 6 (1): 19-33.
- Hunka, V. & Das. B (1974) Brittleness determination of rocks by different methods, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abst*, 11: 389-392.
- Hoek, E (1983) Strength of jointed rock masses. *Geotechnique*, 33: 187-223.
- ISRM (1981) Basic geotechnical description of rock masses, International Society of rock mechanics Commission on the classification of rock and masses. *Int Rock Mech Min Sci Geomech*, 18: 85-110.
- ISRM (1981(b)) Suggested Methods. Rock characterization testing and monitoring, In: Brown ET, (Eds.) Oxford: Pergamon Press.
- Kahraman S. and Altindag R (2004) A brittleness index to estimate fracture toughness. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 41: 343-348.
- Yarali, O. & Soyer, E (2011) The effect of mechanical rock properties and brittleness on drillability, *Scientific Research and Essays*, 6(5): 1077-1088.
- Yarali Olgay and Soyer Eren (2013) Assessment of relationship between drilling rate index and mechanical properties of rocks. In: *Tunnelling and Underground Space Technology*, 33: 46-53.
- Yang Mou, Yingfeng-Meng, Gao Li, Lin Han & Yufei-Li (2014) Effect of Grain Size and Grain Content on the Hardness and Drillability of Rocks. *Sains Malaysiana*, 43 (1): 81-87.
- بقیه شاخص‌های شکنندگی همبستگی کمتر از ۵۴ درصد را نشان می‌دهد. این امر را می‌توان ناشی از تداخل پایین سنگ‌های پریدوتیتی دانست. در واقع نمی‌توان از آزمایش بار نقطه‌ای برای تعیین اولیه شاخص شکنندگی این سنگ‌ها استفاده نمود.
- ۵- با توجه به مقادیر BI به دست آمده می‌توان این‌گونه اظهار نظر نمود که سنگ‌های پریدوتیتی شکنندگی کمی داشته است. احتمالاً وجود کانی‌های فرومنیزین به خصوص الیوین و پیروکسن در این سنگ‌ها باعث کاهش خاصیت شکنندگی در سنگ‌های پریدوتیتی شده است.
- ۶- خصوصیات مکانیکی این سنگ‌ها نسبت به خصوصیات فیزیکی انطباق بیشتری را با شاخص شکنندگی سنگ نشان می‌دهد.

منابع

- آقائباتی، ع (۱۳۸۳) زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۷ ص.
- فهمی‌فرا، و سروش، ح (۱۳۸۰) آزمایش‌های مکانیک سنگ، مبانی نظری و استانداردها، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ اول.
- کتابی، ل (۱۳۹۱) تخمین شکنندگی میگماتیت‌ها با استفاده از شاخص بار نقطه‌ای، دومین همایش ملی زمین‌شناسی دانشگاه شهید بهشتی.
- نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ هرسین، استان کرمانشاه، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی.
- Altindag, R (2002) Assessment of some brittleness indexes in rock drilling efficiency, *Rock Mech. Rock Eng*, 43: 361-370.
- Altindag Rasit (2010) Assessment of some brittleness indexes in rock-drilling efficiency. *Rock Mech Rock Eng*. 43: 361- 370.
- ASTM (2001) Standard method for determination of the point load strength index of rock, ASTM Standards on Disc 04.08.; Designation D5731.
- ASTM (2001) Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens. D3967.
- Dearman, W. R (1995) Description and classification of weathered rocks for engineering purposes: the background to the BS5930:1981 proposals”, *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 28: 267-276.

Determination the Brittleness of peridotites Harsin, Kermanshah Province, (case study) using physical and mechanical properties

M. H. Ghobadi¹, M. Amiri^{2*} and F. Aliani^۳

1, 2, 3- Dept., of geology, Faculty of Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan

* a.mehrdad1372@yahoo.com

Received: 2018/3/14 Accepted: 2018/6/9

Abstract

Rock strength parameters, especially the Brittleness is one of the most important features controlling the behavior of the rock material. Brittleness is a function of strength, which indicates the rock strength against deformation in the elastic range. rock damage is largely the function of rock properties.

Given the Brittleness of engineering projects stones are crucial and direct methods for measuring the Brittleness not standardized, in this study using p-wave speed test, dry density, water absorption percent, Schmidt hammer test, Point Load Test and also Single Axial Compressive Strength Brazilian elasticity on 10 samples of peridotites located in Harsin, Kermanshah Province to determine the implications of Brittleness fracture parameters determined by physical and mechanical characteristics.

According to the results, there is no reasonable and acceptable relationship between dry density and sound speed tests with the brittle rock. The highest adaptation between water absorption test, Schmitt hammer test and point load test with brittleness indexes is BI, BI B3. That The correlation coefficient of these indices is 0.76(r), 0.79(r) and 0.98(r) Respectively.

In fact, the mechanical properties of these rocks toward the physical properties are more consistent with Brittleness index.

Keywords: Peridotite, Harsin, Brittleness, physical properties, mechanical properties