بررسی خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی پریدوتیت‌ها(مطالعهٔ موردی: شهرستان هرسین، استان کرمانشاه)

محمدحسین قبادی، مهرداد امیری، فرهاد آلیانی؛
دانشگاه بوعلی سینا، دانشکدهٔ علوم پایه

تاریخ: دریافت ۹۷/۰۵/۰٤ پذیرش ۹۷/۱۱/۱۲

چکیده

بخش اعظم شرق و جنوب شرق استان کرمانشاه از رخنمون پریدوتیت‌ها تشکیل‌شده است. شناخت ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی پریدوتیت‌های هرسین به شناخت عمومی زمین‌شناسی مهندسی محل کمک زیادی می‌کند. هدف این مقاله بررسی و معرفی خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی پریدوتیت‌های هرسین در استان کرمانشاه است. در این پژوهش، به‌منظور شناخت خصوصیات و رفتار مهندسی این سنگ‌ها، ۱۵ بلوک از پریدوتیت‌های هرسین انتخاب شد و برای انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی به آزمایشگاه انتقال داده شد. خصوصیات سنگ‌شناسی، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی پریدوتیت‌ها تعیین شده است. نمونه‌ها تحت آزمایش‌های سختی چکش اشمیت، دوام وارفتگی، شاخص بار نقطه‌ای، مقاومت فشاری تک‌محوری، مقاومت کشش برزیلی و سرعت موج قرار گرفته‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که تفاوت در خصوصیات سنگ‌شناسی و فیزیکی منجر به تغییر در خصوصیات مکانیکی آن‌ها شده است. با استفاده از آنالیزهای رگرسیون نرم‌افزار Excell، ارتباط بین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی پریدوتیت‌ها تعیین شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، میزان انطباق بیش‌تری بین نتایج خصوصیات مکانیکی در حالت خشک نسبت به اشباع وجود دارد. بیش‌ترین انطباق بین آزمایش مقاومت کششی برزیلی(BTS) با سختی اشمیت (SHV) در حالت خشک است که میزان ضریب تعیین(r^2) برابر ۰/۹۵ است.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات سنگ‌شناسی، خصوصیات فیزیکی، خصوصیات مکانیکی، پریدوتیت، هرسین.

*نویسنده مسئول a.mehrdad1372@yahoo.com

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.1.4.2]

مقدمه

پریدوتیت‌ها از سنگ‌های سری افیولیتی هستند. مباحث مربوط به سرزمین‌های افیولیتی و از جمله بررسی کاربردی کانی‌شناسی، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی پریدوتیت‌ها به‌دلیل اهمیت سنگ‌شناختی، زمین‌شناسی مهندسی و کاربردهایی که در صنایع دارد مورد علاقه زمین‌شناسان است. پریدوتیت‌ها به‌دلیل تنوع در ترکیب سنگ‌شناسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی بسیار متغیری دارند [٤٣]. به‌همین دلیل آگاهی از خصوصیات مقاومتی و تغییر شکل آن‌ها به پیش‌بینی رفتار مهندسی این سنگ‌ها کمک می‌کند. سال ۲۰۰۰ ارزیابی خصوصیات مکانیکی سنگ با استفاده از چکش اشمیت مورد توجه کاتز و همکاران[1] قرار گرفت. نامبردگان، روابطی را برای سنجش ویژگی‌های مکانیکی سنگ مانند مقاومت بر اساس عدد سختی‌اشمیت ارائه کردند [٣٤]. داکال و همکارانش[2] (۲۰۰۲) روابط بین دوام و شکفتگی سنگ را با خصوصیات کانی‌شناسی مورد توجه قرار دادند [۲۸]. قهرمان و همکاران[3] (۲۰۰۵) اثر تخلخل روی روابط بین مقاومت فشاری تک‌محوری و مقاومت بار نقطه‌ای را بررسی کردند [۳۵]. چانگ و همکاران[4] (۲۰۰٦) روابط تجربی بین مقاومت و خصوصیات فیزیکی سنگ ارائه کردند [٢٤]. در این پژوهش وابستگی مقاومت و دوام‌پذیری به درصد تخلخل، رابطهٔ بین خصوصیات کانی‌شناسی با مقاومت و دوام مشخص شده است. به‌علت گسترش زیاد سنگ‌های آذرین به‌ویژه پریدوتیت در زاگرس، شمال شرق و ایران مرکزی، توجه به خصوصیات سنگ‌شناسی، فیزیکی و مکانیکی آن‌ها ضروری است. احداث سازه در درون و یا روی پریدوتیت‌ها و انتخاب به‌منظور منابع قرضه سنگی به شناخت خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی آن وابسته است. در این مقاله ضمن بررسی صحرایی و آزمایشگاهی خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی پریدوتیت‌ها بررسی شده است.

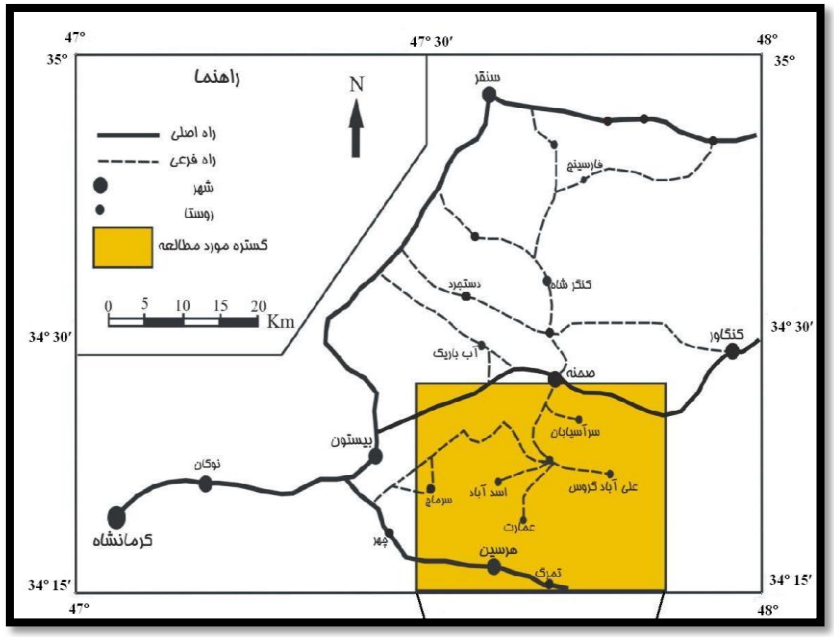
1. Katez and et al
2. Dhakal and et al
3. Kahraman and et al
4. Chang and et al

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.1.4.2]

موقعیت جغرافیایی و اقلیم

شهرستان هرسین در جنوب شرقی استان کرمانشاه واقع شده است که از جنوب به شهرستان دلفان در 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 ۱۵٤۹ متر است. فاصلهٔ هرسین از تهران ٥٦٦ کیلومتر است. طول جغرافیایی هرسین ٤۷ درجه و ۳٥ دقیقه و عرض جغرافیایی آن ۳٤ درجه و ۱٦ دقیقه نسبت به نصف‌النهار گرینویچ است. هرسین منطقه‌ای کوهستانی است، ارتفاعات موجود که بیش‌تر در جهت شمال غربی و جنوب شرقی امتداد یافته این شهرستان را محصور کرده‌اند. دامنه‌های کم‌شیب، دره‌های عریض، جلگه‌های آبرفتی و سراب‌ها از مهم‌ترین ویژگی‌های طبیعی منطقه هرسین به‌شمار می‌روند [۱]. در شکل ۱ نقشهٔ موقعیت جغرافیایی منطقهٔ بررسی شده نشان داده شده است.



شکل۱. نقشهٔ موقعیت جغرافیایی منطقهٔ بررسی شده

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.1.4.2]

زمین‌شناسی منطقه

منطقهٔ هرسین از نظر موقعیت زمین‌شناسی در محدودهٔ زون زاگرس واقع است که مشتمل بر واحدهای سنگی گوناگون از زون‌های سنندج- سیرجان و زاگرس چین‌خورده است. واحدها عمدتاً نابرجا است و از نظر رخساره باهم متفاوت هستند. واحدهای سنگی موجود در این ورقه عبارت است از:

۱. واحدهای چینه‌ای زون زاگرس چین‌خورده

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 [۱].

مجموعه افیولیتی کرمانشاه

افیولیت کرمانشاه یک کمپلکس افیولیتی در غرب ایران است که از سیستم کوهزایی زاگرس تبعیت می‌کند. این مجموعه افیولیتی نزدیک به انتهای شمال غربی رشته‌کوه زاگرس واقع گردیده است. این افیولیت‌ها بخشی از افیولیت زاگرس عمان است که آن نیز خود جزئی از کمربند افیولیتی آلپ- هیمالیا است. در واقع افیولیت‌های کرمانشاه، نی‌ریز و اسفندقه در ایران، هاتای، قزل داغ و کیلو در ترکیه و افیولیت‌های بارباسیت در سوریه پوسته اقیانوسی تتیسی هستند که در امتداد زون جوش‌خورده زاگرس- بتلیس، افیولیت‌های ایران- عمان در آسیا را به افیولیت ترودوس در مدیترانه متصل می‌کند. فرورانش افیولیت‌ها در زاگرس، در اثر برخورد جزایر قوسی با حاشیهٔ عربی صورت گرفته است. به این ترتیب بی‌نظمی موجود در حاشیه قاره را مرتبط با زایش افیولیت‌ها و برگشت مجدد آن‌ها به حاشیه قاره می‌دانند. این مسئله ممکن است ماهیت ناپیوسته زیر زون‌های افیولیتی، که تنها در کرمانشاه و نی‌ریز برون‌زد دارد را توضیح دهد [٦]، [٧]. افیولیت‌های کمربند زاگرس در امتداد بلافصل جنوب باختری راندگی اصلی زاگرس در دو بخش پهن و از هم جدا از مجموعه افیولیتی- رادیولاریتی رخنمون دارد که هر بخش به‌صورت کمانی و دارای تحدب به‌سمت جنوب‌غرب است. یکی کمان پشت‌کوه در کرمانشاه و دیگری کمان فارس در نی‌ریز

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.1.4.2]

[۷]. از نظر ترکیب و ساخت افیولیت‌های کرمانشاه و نی‌ریز با مجموعه افیولیتی- رادیولاریتی کوه‌های عمان و با افیولیت‌های حاشیه عربستان شباهت زیادی دارد و چنان‌که در بالا اشاره شد این دو کمان افیولیتی بخشی از نوار افیولیتی به‌طول تقریبی ۳۰۰۰ کیلومتر است که به‌طور متوسط از سوریه شروع و پس از گذر از جنوب ترکیه و زاگرس به عمان می‌رود [۷]. به نظر برو (۱۹۸۹) فرارانش افیولیت‌های کرمانشاه به آشکوب ماستریشتین محدود می‌شود [٦]. در حالی‌که به نظر حلم (۱۹۷٦) و ریکو (۱۹۷٤)، نقل از (محجل و همکاران، ۲۰۰۳)، فرارانش افیولیت‌های نی‌ریز مربوط به آشکوب کامپانین است. افیولیت‌ها در منطقه کرمانشاه در ناحیهٔ صحنه و هرسین رخنمون دارند و تحت عنوان (افیولیت‌های صحنه- هرسین) نام‌گذاری شده‌اند [۲]. برو (۱۹۷۰) معتقد است که این کمان شامل سه برون‌زد است:

- اولین برون‌زد در شمال شرق کرمانشاه (ناحیهٔ صحنه) متشکل از سنگ‌های اولترابازیک دانه‌ای، پریدوتیت‌ها، هارزبورژیت‌ها و گابروها است.
- دومین برون‌زد در جنوب شرق مجموعه قبلی یعنی در مرحله ارگانا رخنمون دارد که برخلاف برونزد قبلی به‌شدت تکتونیزه است.
- سومین برون‌زد در ناحیهٔ هرسین متشکل از یک توده سرپانتینیت است که در آن ورقه‌هایی از آهک‌های باز تبلوریافته و احتمالاً متعلق به تریاس وجود دارد [۲]، [۷].

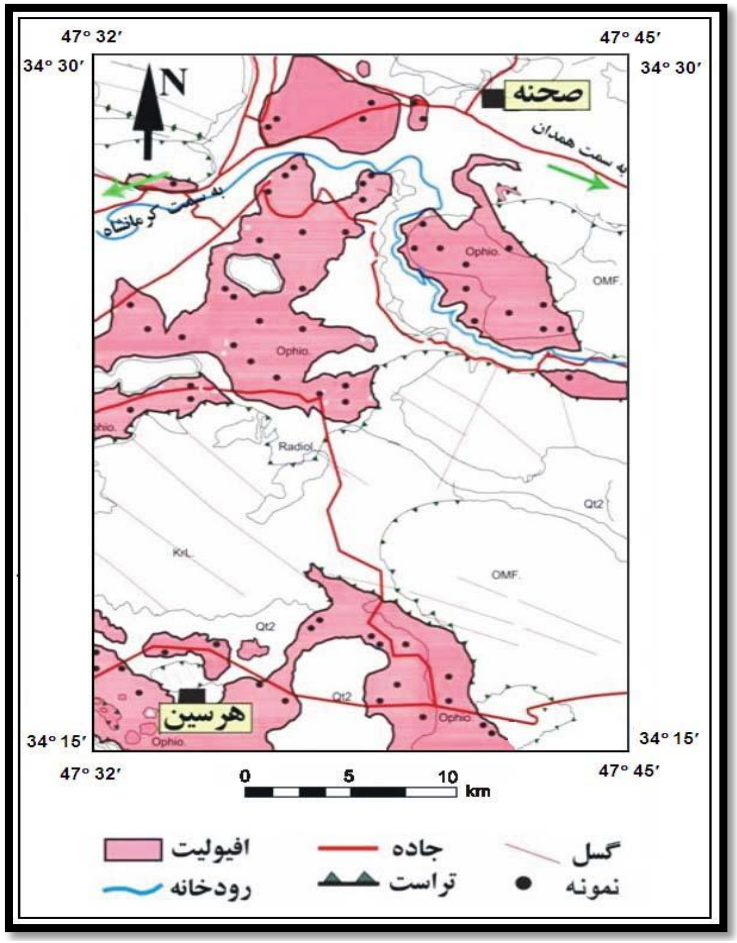
در شکل ۲ نقشهٔ زمین‌شناسی منطقهٔ بررسی شده نشان داده شده است [۵].

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی خصوصیات زمین‌شناسی پریدوتیت‌های منطقه هرسین، تعداد ۱۵ بلوک مناسب انتخاب و به آزمایشگاه انتقال داده شدند. بر این اساس از نمونه‌های سنگی جمع‌آوری شده، تعداد ۱۵۰مغزه استوانه‌ای به قطر ٥٤ میلی‌متر تهیه و آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی مطابق با دستورالعمل (ISRM,2007) و (ASTM,2001) روی آن‌ها انجام شد. در راستای این پژوهش، پس از نمونه‌برداری از منطقهٔ بررسی شده و تهیهٔ مغزه به ویژگی‌های سنگ‌شناسی نمونه‌ها با تهیه مقاطع نازک از آن‌ها و بررسی با میکروسکوپ پلاریزان پرداختیم. هم‌چنین، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی پریدوتیت‌ها تعیین شد. در جدول ۱ علامت‌های اختصاری استفاده شده در این پژوهش آورده شد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.1.4.2]



شکل ۲. نقشهٔ زمین‌شناسی منطقهٔ بررسی شده [اقتباس از نقشهٔ ۵۰۰۰۰:۱هرسین]

بررسی‌های سنگ‌شناسی

پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که ویژگی‌های فیزیکی سنگ‌ها نه‌تنها تحت تأثیر مجموعه کانی‌شناسی و جهت‌یابی کانی‌ها در نمونه سنگی است، بلکه عواملی مانند ریزترک‌ها نیز، در این ویژگی‌ها تأثیرگذار است. به‌همین علت این قسمت به بررسی نمونه‌های میکروسکوپی (شکل ۳) اختصاص یافته است. در شکل ۳ مقطع نازک این سنگ‌ها نشان داده شده که در

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.1.4.2]

جدول۱. علامت‌های اختصاری استفاده شده در این تحقیق

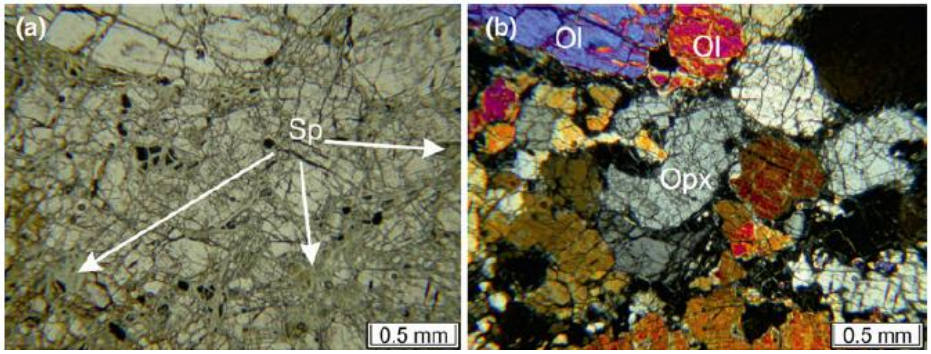
شماره	علامت اختصاری	توصیف
۱	SHV	آزمون چکش اشمیت
۲	E	مدول الاستیسیته
۳	UCS	مقاومت فشاری تک‌محوری
٤	n%	درصد تخلخل
٥	ω%	درصد رطوبت
٦	G_S	وزن مخصوص قسمت جامد
۷	γ_d	وزن واحد حجم خشک
۸	γ_{Sat}	وزن واحد حجم اشباع
۹	Vs	سرعت موج عرضی
۱۰	Vp	سرعت موج طولی
۱۱	BTS	مقاومت کششی برزیلی
۱۲	Is_{50}	شاخص بار نقطه‌ای
۱۳	Er	نسبت مدولی
١٤	Avg	میانگین

ادامه بررسی می‌شود. پریدوتیت‌های هرسین از نوع هارزبورژیت است. 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 [٤]. ترکیب کانی‌شناسی این سنگ‌ها شامل الیوین(۸۵–۷۰ درصد)، ارتوپیروکسن (۲۵–۱۰ درصد)، کلینوپیروکسن و اسپینل غنی از کروم (۵–۲ درصد) است. الیوین‌ها، غنی از منیزیم، ارتوپیروکسن‌ها در محدوده انستاتیت ـ برنزیت، کلینوپیروکسن دیوپسیدی ـ اوژیت دیوپسیدی و اسپینل غنی از کروم هستند. به‌طورکلی بافت آن‌ها میلونیتی و پورفیروکلاستیک است که حالت خردشدگی و تبلور مجدد را می‌توان در بلورهای الیوین مشاهده کرد. پورفیروکلاست‌ها عمدتاً از ارتوپیروکسن‌ها تشکیل یافته‌اند که دارای اکسولوشن‌هایی از کلینوپیروکسن، ساختار کینگ‌باند و خمیدگی هستند. الیوین و ارتوپیروکسن سرپانتینی شده، به‌طوری‌که الیوین به کریزوتیل، آنتی‌گوریت و یا لیزاردیت تبدیل شده و رگه‌های آزبستی را در امتداد شکستگی‌ها تشکیل داده‌اند. نوع سرپانتین حاصل از ارتوپیروکسن، باستیت است [٤]. برخی از بلورهای الیوین با خاموشی موجی، خواص دگرشکلی از خود به نمایش

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.1.4.2]

می‌گذارند. گاهی تیغه‌های جدایشی کلینوپیروکسن در ارتوپیروکسن در نمونه‌های هارزبورژیتی دچار خمیدگی گشته‌اند (شکل ۳).



شکل ۳. تصاویر میکروسکوپی مقطع نازک هارزبورژیت در نورppl (a) و xpl (b) با بزرگ‌نمایی ۴۰؛ Ol (الیوین)، Sp (سرپانتین)، Opx (ارتوپیروکسن)

خصوصیات فیزیکی

اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی نمونه‌های پریدوتیت هرسین مطابق استانداردهای انجمن بین‌المللی مکانیک سنگ (ISRM,2007) انجام شده است. این ویژگی‌ها شامل وزن واحد حجم (γ)، درصد رطوبت ($\omega\%$)، درصد تخلخل ($n\%$) و وزن مخصوص قسمت جامد (G_S) است. در جدول ۲ نتایج خصوصیات فیزیکی آورده شده است.

دوام وارفتگی

دوام وارفتگی معرف میزان مقاومت سنگ در برابر هوازدگی است که از طریق آزمایش دوام وارفتگی با قرار دادن کلوخه‌های سنگی در آب طی دو سیکل اندازه‌گیری می‌شود [۱۷]. در این تحقیق، به‌منظور ارزیابی اثر افزایش تعداد سیکل‌های تر و خشک‌شدگی روی دوام پریدوتیت‌های هرسین و پیش‌بینی رفتار دراز مدت آن‌ها در طی فرایند هوازدگی، این آزمون در ۱۵ سیکل انجام شده است. گمبل(۱۹۷۱)، سنگ‌ها را براساس شاخص دوام دو مرحله‌ای و فرانکلین و چاندرا (۱۹۷۲)، سنگ‌ها را براساس شاخص دوام اولین مرحله طبقه‌بندی کرده‌اند. نتایج آزمایش دوام وارفتگی در جدول ۳ آمده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.1.4.2]

جدول ۲. نتایج آزمون تعیین خصوصیات فیزیکی نمونه‌های پریدوتیت منطقهٔ بررسی شده

نمونه	(G_s)	$\gamma_{sat}(gr/cm^3)$	$\gamma_t(gr/cm^3)$	$\gamma_d(gr/cm^3)$	ω٪	(n٪)
۱	۲/۸۷	۲/۸٦	۲/۸۵	۲/۸۳	۰/۸۷	۲/۱
۲	۲/۸۸	۲/۸٤	۲/۸۳	۲/۸۲	۰/۹۰	۲/۱
۳	۲/۸۳	۲/۸۰	۲/۷۸	۲/۷٦	۰/۹۲	۲/۱
٤	۲/۷٦	۲/۷۵	۲/۷٤	۲/۷۲	۰/۹۵	۲/۱
۵	۲/۹۰	۲/۸۸	۲/۸٦	۲/۸۵	۰/ ۹٤	۲/۲
٦	۲/۹۱	۲/۸۸	۲/۸۷	۲/۸۵	۰/۹۷	۲/۱
۷	۲/۸٤	۲/۸۲	۲/۸۰	۲/۷۸	۰/۹۵	۲/۲
۸	۲/۸۰	۲/۷۸	۲/۷۷	۲/۷۵	۰/۹۸	۲/۲
۹	۲/۸۹	۲/۸۸	۲/۸٦	۲/۸۵	۰/۹۰	۲/۱
۱۰	۲/۸۱	۲/۷۹	۲/۷۷	۲/۷٦	۰/۹۰	۲/۱
۱۱	۲/۸۵	۲/۸۳	۲/۸۲	۲/۸۰	۰/۸۵	۲/۱
۱۲	۲/۸۱	۲/۸۰	۲/۷۸	۲/۷٦	۰/۸٤	۲/۱
۱۳	۲/۸۹	۲/۸۷	۲/۸۵	۲/۸٤	۰/۸۸	۲/۱
۱٤	۲/۸۷	۲/۸۸	۲/۸٦	۲/۸٤	۰/۸۰	۲/۰
۱۵	۲/۸۳	۲/۸۰	۲/۷۹	۲/۷۸	۰/۸۷	۲/۱
Avg	۲/۸۵	۲/۸۳	۲/۸۱	۲/۸۰	۰/۸۹	۲/۱

جدول ۳. نتایج آزمایش دوام وارفتگی در ۱۵ سیکل روی پریدوتیت‌های آزمایش شده

تعداد سیکل	نمونه	Id(%)
۱	پریدوتیت	۹۹/۷۸
۲	پریدوتیت	۹۹/۷۰
۳	پریدوتیت	۹۹/٦۲
٤	پریدوتیت	۹۹/۵۸
۵	پریدوتیت	۹۹/۵٤
٦	پریدوتیت	۹۹/۵۰
۷	پریدوتیت	۹۹/٤۲
۸	پریدوتیت	۹۹/۳۰
۹	پریدوتیت	۹۹/۲٦
۱۰	پریدوتیت	۹۹/۲۲
۱۱	پریدوتیت	۹۹/۱٦
۱۲	پریدوتیت	۹۹/۱۲
۱۳	پریدوتیت	۹۹/۱۰
۱٤	پریدوتیت	۹۹/۰٦
۱۵	پریدوتیت	۹۹/۰۲

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.1.4.2]

سرعت سیر موج

به‌منظور اندازه‌گیری سرعت موج p در پریدوتیت‌ها از دستگاه سرعت صوت و مغزه‌های سنگی با قطر NX استفاده شده است [۱۲]. آزمایش سرعت موج یکی از آزمایش‌های غیرمخرب و آسانی است، که هم در محل و هم در آزمایشگاه می‌تواند انجام شود و به‌صورت روزافزون برای تعیین خصوصیات دینامیکی سنگ استفاده می‌شود. عوامل زیادی مانند نوع سنگ، بافت، دانسیته، تخلخل، درصد رطوبت، فشار محصورکننده و دما بر سرعت انتشار امواج صوتی و ثابت الاستیک- دینامیک مؤثرند. به‌علاوه زون‌های هوازدگی و دگرسانی، صفحات لایه‌بندی و خصوصیات درزه‌ها (زبری، پرشدگی به‌وسیلهٔ آب، مواد پرکننده، شیب و امتداد) تأثیر مهمی بر سرعت لرزه‌ای دارد. برای محاسبهٔ مقدار Vs از رابطهٔ (۱) استفاده می‌شود [٦]. در جدول ٤ نتایج آزمایش سرعت موج در حالت خشک و در جدول ۵ نتایج آزمایش سرعت موج در حالت اشباع آورده شده است

$$V_s = 0.4V_p + 0.691 \qquad (۱)$$

جدول ٤. نتایج آزمایش سرعت موج پریدوتیت‌های هرسین در حالت خشک

شماره نمونه	V_P(Km/S)	V_s(Km/S)	نسبت پواسون	K(GPa)	G(GPa)
۱	۵/۲۳۸	۲/۷۷۷	۰/۳۰	٤۳/۹۸۰	۱۹/۷٤۲
۲	۵/۲۳۹	۲/۷۷۷	۰/۳۰	٤٤/۰۰۷	۱۹/۷٤۲
۳	۵/۳۳٦	۲/۸۱٦	۰/۳۱	٤۵/۸۹۱	۲۰/۳۰۰
٤	۵/۲۷٦	۲/۷۹۲	۰/۳۰	٤٤/۷۱۹	۱۹/۹۵۵
۵	۵/۳۲۷	۲/۸۱۲	۰/۳۱	٤۵/۷۲۲	۲۰/۲٤۲
٦	۵/۲۸۳	۲/۷۹٤	۰/۳۰	٤٤/۸٦۲	۱۹/۹۹٦
۷	۵/۳۳٦	۲/۷۷۷	۰/۳۰	٤۳/۹۸۰	۱۹/۷٤۲
۸	۵/۲۳۸	۲/۸۱٦	۰/۳۱	٤۵/۸۹۱	۲۰/۳۰۰
۹	۵/۳۲۷	۲/۸۱۲	۰/۳۱	٤۵/۷۲۲	۲۰/۲٤۲
۱۰	۵/۳۳٦	۲/۷۷۷	۰/۳۰	٤۳/۹۸۰	۱۹/۷٤۲
۱۱	۵/۳۳۸	۲/۸۱٦	۰/۳۱	٤۵/۸۹۱	۲۰/۳۰۰
۱۲	۵/۲۳۸	۲/۷۷۷	۰/۳۰	٤۳/۹۸۰	۱۹/۷٤۲
۱۳	۵/۲۳۹	۲/۷۷۷	۰/۳۰	٤٤/۰۰۷	۱۹/۷٤۲
۱٤	۵/۳۳٦	۲/۸۱٦	۰/۳۱	٤۵/۸۹۱	۲۰/۳۰۰
۱۵	۵/۲۷٦	۲/۷۹۲	۰/۳۰	٤٤/۷۱۹	۱۹/۹۹۵
Avg	۵/۲۹۰	۲/۷۹۵	۰/۳۰	٤٤/۸۳	۱۹/۹۳

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.1.4.2]

جدول ۵. نتایج آزمایش سرعت موج پریدوتیت‌های هرسین در حالت اشباع

شمارهٔ نمونه	V_P(Km/S)	V_s(Km/S)	نسبت پواسون	GPa(K)	GPa(G)
۱	۵/۲۳۹	۲/۸۱۳	۰/۳۰	٤٦/۱۱٤	۲۰/٤۱۵
۲	۵/۳۷۷	۲/۸۳۲	۰/۳۱	٤٤/ ٤۷۰	۲۰/٦۹۲
۳	۵/۵۵۱	۲/۹۰۲	۰/۳۱	۵۰/٦۰۱	۲۱/۷۲۷
٤	۵ /۳۲۱	۲/۸۱۰	۰/۳۱	٤۵/۹۵۲	۲۰/۳۷۱
۵	۵ /٤٦۹	۲/۸٦۹	۰/۳۱	٤۸/۹۲۳	۲۱/۲۳٦
٦	۵/٤۰۹	۲/۸٤۵	۰/۳۱	٤۷/۸۰٦	۲۰/۸۸۸
۷	۵/۳۲۱	۲/۸۱۰	۰/۳۰	٤۵/۹۵۲	۲۰/۳۷۱
۸	۵/۵۵۱	۲/۹۰۲	۰/۳۱	۵۰/٦۰۱	۲۱/۷۲۷
۹	۵/۳۲۱	۲/۸۱۰	۰/۳۰	٤۵/۹۵۲	۲۰/۳۷۱
۱۰	۵/۳۳٦	۲/۷۷۷	۰/۳۰	٤۳/۹۸۰	۱۹/۷٤۲
۱۱	۵/٤٦۹	۲/۸٦۹	۰/۳۱	٤۸/۹۲۳	۲۱/۲۳٦
۱۲	۵/٤۰۹	۲/۸٤۵	۰/۳۱	٤۷/۸۰٦	۲۰/۸۸۸
۱۳	۵/۲۳۹	۲/۷۷۷	۰/۳۰	٤٤/۰۰۷	۱۹/۷٤۲
۱٤	۵/۳۲۹	۲/۸۱۳	۰/۳۰	٤٦/۱۱٤	۲۰/٤۱۵
۱۵	۵/۳۷۷	۲/۸۳۲	۰/۳۱	٤۷/٤٤۰	۲۰/٦۹۲
Avg	۵/۳۸	۲/۸۳۳	۰/۳۰	٤۷/۱٤	۲۰/٦٤

خصوصیات مکانیکی

خصوصیات مکانیکی سنگ‌ها نیز مطابق استاندارد (ISRM.,2007) تعیین شده است. شاخص بار نقطه‌ای، مقاومت فشاری تک‌محوری، مدول الاستیسیته و مقاومت کششی برزیلی پریدوتیت‌های هرسین اندازه‌گیری شدند. آزمایش مقاومت بارنقطه‌ای و مقاومت فشاری تک‌محوری روی نمونه‌های استوانه‌ای در حالت خشک و اشباع انجام شده است. مقاومت کشش برزیلی پریدوتیت‌ها نیز با استفاده از مغزه‌هایی با نسبت طول به شعاع بزرگ‌تر از یک تعیین شده است.

بر اساس رده‌بندی ارائه شدهٔ دیر و میلر (۱۹٦٦)طبق جدول ٦ می‌توانیم سنگ‌ها را بر اساس مقاومت فشاری تک‌محوری در پنج دسته طبقه‌بندی کنیم:

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.1.4.2]

جدول ٦. رده‌بندی سنگ بکر بر اساس مقاومت فشاری تک‌محوری [دیر ومیلر ۱۹٦٦]

شرح مقاومت	σ_c(Km/s^2)	σ_c(psi)	σ_c(MPa)	رده
خیلی بالا	>۲۲۵۰	>۳۲۰۰۰	>۲۲۱	A
بالا	۱۱۲۵-۲۲۵۰	۱٦۰۰۰-۳۲۰۰۰	۱۱۰-۲۲۱	B
متوسط	۵٦۲-۱۱۲۵	۸۰۰۰-۱٦۰۰۰	۵۵-۱۱۰	C
پایین	۲۸۱-۵٦۲	٤۰۰۰-۸۰۰۰	۲۸-۵۵	D
خیلی پایین	<۲۸۱	<٤۰۰۰	<۲۸	E

از فاکتور دوم یعنی مدول الاستیسیته به‌صورت یک عدد بی‌بعد به‌نام نسبت مدولی استفاده شده است که عبارت است از نسبت مدول الاستیسیته به مقاومت فشاری تک‌محوری سنگ [٦]. براساس نسبت مدولی، سنگ‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند که در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷. رده‌بندی سنگ بکر بر اساس نسبت مدولی[دیر و میلر ۱۹٦٦]

نسبت مدولی	وضعیت نسبت مدولی	رده
>۵۰۰	بالا	H
۲۰۰-۵۰۰	متوسط	M
<۲۰۰	پایین	L

تعیین سختی واجهشی اشمیت

سختی واجهشی اشمیت یکی از مفاهیم رایجی است که برای توصیف مقاومت سنگ به کار می‌رود [۱۱]. برای این منظور از چکش اشمیت استفاده می‌شود. آزمون سختی‌اشمیت یک آزمون ارزان، سریع، غیرتخریبی و قابل‌اجرا در صحرا و آزمایشگاه است. در این پژوهش از چکش اشمیت نوع L استفاده شده است. در تمام موارد سختی واجهشی نمونه‌ها در حالت قائم نسبت به سطح سنگ اندازه‌گیری شد. در جدول ۸ نتایج آزمایش خصوصیات مکانیکی در حالت خشک و در جدول ۹ نتایج آزمایش خصوصیات مکانیکی در حالت اشباع آورده شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.1.4.2]

جدول ۸. نتایج آزمایش خصوصیات مکانیکی و رده‌بندی مهندسی سنگ بکردر حالت خشک

نمونه	BTS(MPa)	UCS(MPa)	Elastic modulus(GPa)	Is_{50}(MPa)	SHV	Er	رده سنگ
۱	٤ /٥٤	٨٥/ ٣	٦٥ /٢	٣/ ٥	٥٠	٧٦٥ /٢٥	CH
٢	٦	١١٠ /٣	٧٤ /٥	١/٤	٥٦	٦٧٥ /٤٣	BH
٣	٦ /٧٣	١٠٠/٦	٦٠/ ٨	٣/ ٦	٥٤	٦٠٤ /٣٧	CH
٤	٣ /٦٢	١١٠ /٢	٦٣	٣ /٨	٦٢	٥٧١/ ٦٨	BH
٥	٦/٠٤	٨٥/ ٤	٥٤ /٣	٢/٦	٦٣	٦٣٥/ ٨٣	CH
٦	٣/٦٠	٨٢/٩	٦٥/ ٢	٢/٩	٦٦	٧٦٨/ ٤٨	CH
٧	٦/٤١	٨٠/٢	٦٧/ ٥	٢/٦	٥٢	٨٤١/ ٦٤	CH
٨	٧/٢٠	٧٥/٦	٥٤	٣/١	٥٠	٧١٤/ ٢٨	CH
٩	٢/٣٤	٧٦/٩	٥٢/ ٩	٢/٥	٤٣	٦٨٧/ ٩٠	CH
١٠	٣/٦٥	١٠٨	٦٠/ ٢	٣/٥	٥٤	٥٥٧/ ٤٠	CH
١١	٥/١٣	١٠٠	٦٧/ ٣	٣/٤	٥٨	٦٧٣	CH
١٢	٧/٢٠	١٢١	٧٥/ ٦	٤/٥	٥٦	٦٢٤/ ٨٠	BH
١٣	٢/٣٤	٨٧/٥	٦٥	٣/٢	٦٣	٧٤٢/ ٨٥	CH
١٤	٣/٦٥	٨٨/٩	٦٨	٣/٥	٦٤	٧٦٤/ ٩٠	CH
١٥	٤/٥٤	٩٠/١	٦٣/ ٥	٤/٠	٦٥	٧٠٤/ ٧٧	CH
Avg	٤/٨٦	٩٣/٦	٦٣/ ٧	٣/ ٤	٥٧	٦٨٠/ ٥٥	CH

جدول ۹. نتایج آزمایش خصوصیات مکانیکی و رده‌بندی مهندسی سنگ بکردر حالت اشباع

نمونه	BTS(MPa)	UCS(MPa)	Elastic modulus(GPa)	Is_{50}(MPa)	Er	رده سنگ
۱	٥/٤٠	٧٥/٦	٥٤	٢/٥	٧١٤/ ٢٨	CH
٢	٣/٨٦	٩٠	٦٣/ ٤	٣/٩	٧٠٤/ ٤٤	CH
٣	٦/٢٦	٨٠/٦	٦٠/ ٨	٤/٥	٧٥٤/ ٣٢	CH
٤	٦/٤٥	٩٠	٦٣/ ٤	٤	٧٠٤/ ٤٤	CH
٥	٣/٧٤	٦٥/٤	٥٤/ ٣	٢/٥	٨٣٠/ ٢٧	CH
٦	٤/١٣	٦٢/٩	٤٦/ ٧	٣/١	٧٤٢/ ٤٤	CH
٧	٥/٦٢	٦٠/٩	٤٥/ ٥	٢/١	٧٤٧ /١٢	CH
٨	٥/٦٧	٦٥/٦	٥٤	٢/١	٨٢٣ /١٧	CH
٩	٢/٩٨	٦٥/٩	٥٤/ ٩	٢/٥	٨٣٣ /٠٨	CH
١٠	٤/٠٩	٨٨	٦٥	٢/٥	٧٣٨ /٦٣	CH
١١	٤/٨٢	٨٠	٦٧/ ٥	٣/٠	٨٤٣ /٧٥	CH
١٢	٦/٤٥	٩١	٦٣/ ٥	٣/٥	٦٩٧ /٨٠	CH

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.1.4.2]

نمونه	BTS(MPa)	UCS(MPa)	Elastic modulus(GPa)	I_{S50}(MPa)	Er	رده سنگ
۱۳	۲/۹۸	۸۰	٦۲	۳/۱	۷۷۵	CH
۱٤	۵/٤۰	٦٦/۵	۵٤	۲/۸	۸۱۲/ ۰۳	CH
۱۵	۳/۸٦	۷۰/۱	٤۵/ ۵	۳/۰	٦٤۹/ ۰۷	CH
Avg	٤/۷۷	۷٤/٦۲	۵٦/ ۹٦	۳/۱	۷٦۳/ ۳۳	CH

ارتباط بین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی

خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی پریدوتیت‌ها با ویژگی‌های فیزیکی آن‌ها ارتباط مشخصی دارد. با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده از خصوصیات فیزیکی و مکانیکی، ارتباط این پارامترها با هم بررسی شد. این موضوع در شکل‌های ٤ تا ۱۸ برای سنگ‌های منطقهٔ بررسی شده نشان داده شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که با افزایش رطوبت در نمونه‌های پریدوتیت هرسین مقاومت فشاری تک‌محوری، مدول الاستیسیته، شاخص بارنقطه‌ای و مقاومت کششی برزیلی کاهش می‌یابد. زیرا با افزایش درصد رطوبت فشار آب منفذی افزایش می‌یابد که ناپایداری سطوح ضعف موجود در سنگ را به‌همراه دارد. در مقابل افزایش درصد رطوبت افزایش سرعت موج طولی را موجب شده است به‌دلیل آن است که سرعت موج طولی از میان آب بیش‌تر از هوا است. بنابراین زمانی که حفرات به‌وسیلهٔ آب اشغال می‌شوند، افزایش سرعت موج طولی را به‌همراه دارد. سرعت امواج صوتی در سنگ با خصوصیات سنگ‌شناسی وویژگی‌های الاستیک سنگ بکر در ارتباط است [۳۱].

به‌منظور ارزیابی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی ارائه شده در این پژوهش از پارامتر مجذور ضریب تعیین(R^2) استفاده شده است که از رابطهٔ (۲) به‌دست می‌آید.

$$R = \frac{\sum(x_i-\bar{x}_i)(y_i-\bar{y}_i)}{\sqrt{(x_i-\bar{x}_i)^2(y_i-\bar{y}_i)^2}} \quad (۲)$$

هم‌چنین برای بررسی خطاهای موجود در معادله‌های مربوط به خصوصیات فیزیکی و مکانیکی، از پارامتر آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) از رابطهٔ (۳) استفاده شده است.

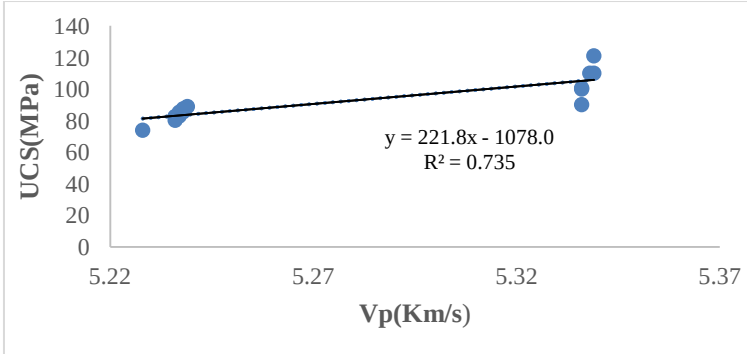
$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x}_i)^2}{N}} \quad (۳)$$

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

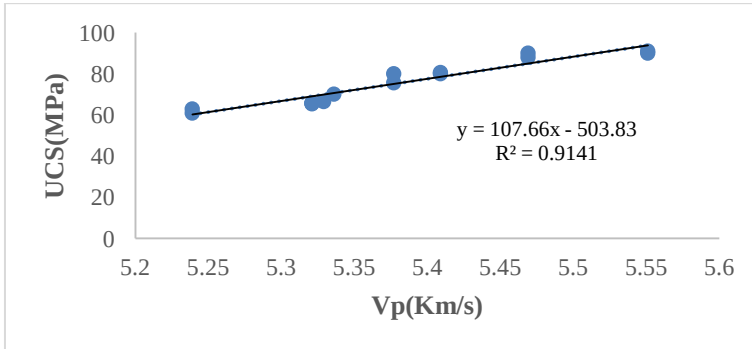
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.1.4.2]

در روابط (۲) و (۳)، $\bar{y}_i$ و $\bar{x}_i$ مقادیر پیش‌بینی شده به‌ترتیب متغیرهای y_i و x_i هستند و N تعداد نمونه‌های آزمایش است.

بیش‌ترین انطباق بین آزمایش مقاومت کششی برزیلی(BTS) با چکش‌اشمیت(SHV) در حالت خشک است. که میزان ضریب تعیین(r^2) برابر ۰/۹۵ است. البته بین آزمایش مقاومت کششی برزیلی (BTS) و وزن واحد حجم خشک (γ_d) رابطهٔ قابل قبولی دیده می‌شود که میزان ضریب تعیین(r^2) برابر۰/۹۳ است. در شکل ۲۰،۲۱ و ۲۲ منحنی RMSE بر حسب تعداد نمونه‌های تحت آزمایش برای متغیرهای Vp، SHV، BTS، Is_{50} و Id رسم شده است. چنان‌که در هر سه شکل مشخص است با افزایش تعداد نمونه‌ها میزان خطای بین دو مقدار پیش‌بینی شده و واقعی کاهش می‌یابد و مقدار پیش‌بینی شده به مقدار واقعی همگرا می‌شود.



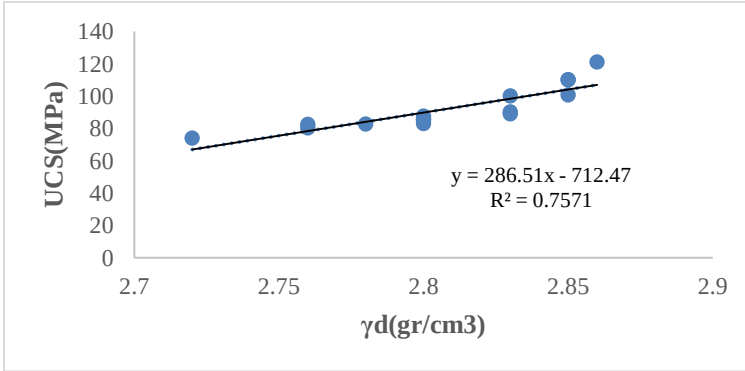
شکل ٤. رابطه بین مقاومت فشاری تک‌محوری با سرعت موج طولی در حالت خشک



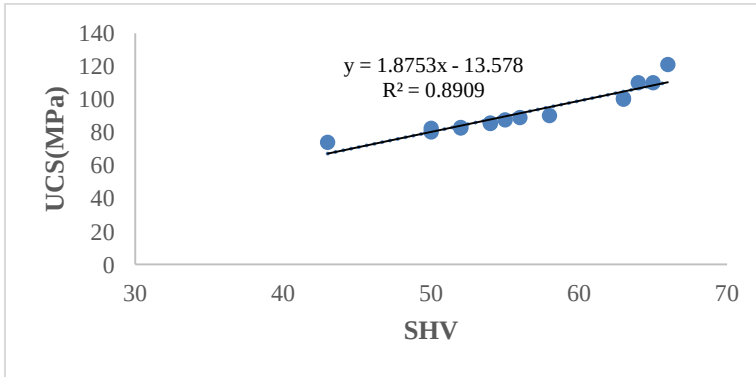
شکل ٥- رابطه بین مقاومت فشاری تک‌محوری با سرعت موج طولی در حالت اشباع

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

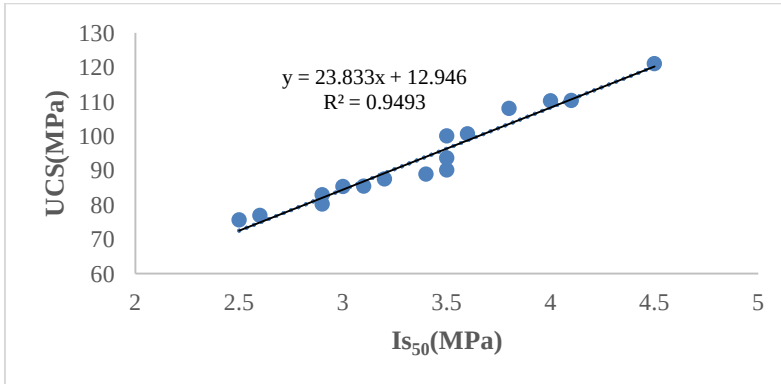
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.1.4.2]



شکل ٦. رابطهٔ بین مقاومت فشاری تک‌محوری با وزن واحد حجم خشک



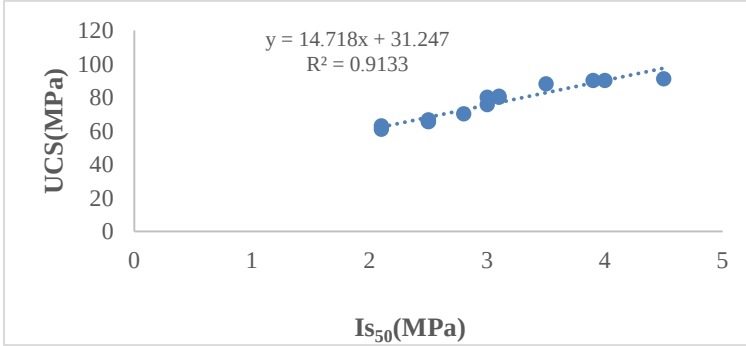
شکل ۷. رابطهٔ بین مقاومت فشاری تک‌محوریبا چکش‌اشمیت در حالت خشک



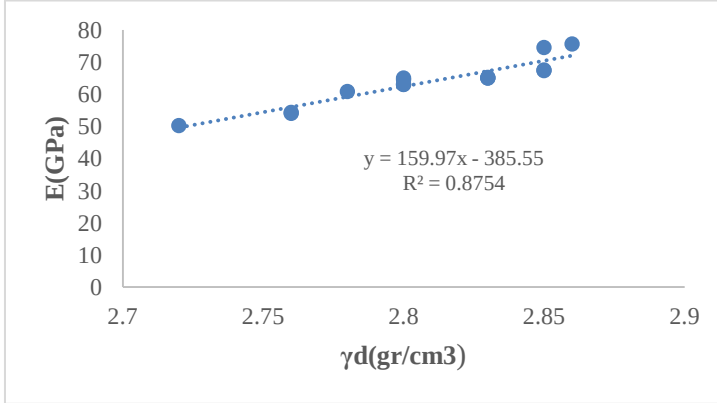
شکل ۸. رابطهٔ بین مقاومت فشاری تک‌محوری با شاخص بارنقطه‌ای در حالت خشک

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

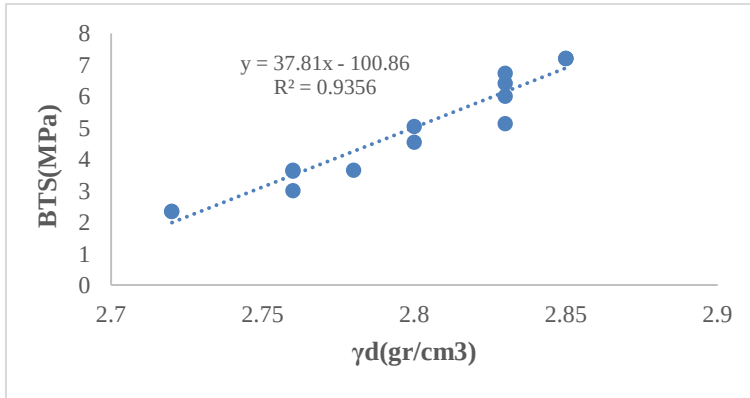
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.1.4.2]



شکل ۹. رابطهٔ بین مقاومت فشاری تک‌محوری با شاخص بارنقطه‌ای در حالت اشباع



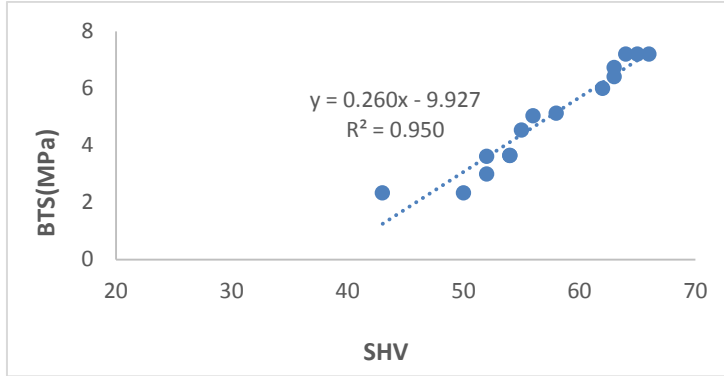
شکل ۱۰. رابطهٔ بین مدول الاستیسیته با وزن واحد حجم خشک



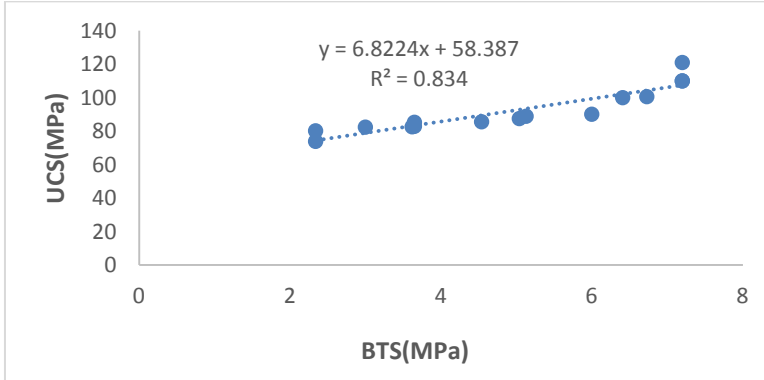
شکل ۱۱. رابطهٔ بین مقاومت کششی برزیلین با وزن واحد حجم خشک

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

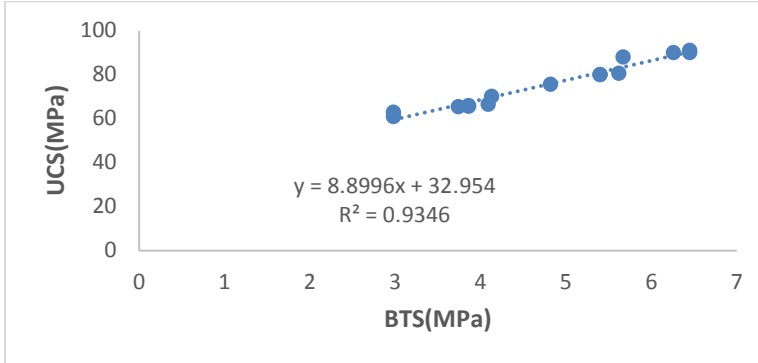
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.1.4.2]



شکل ۱۲. رابطهٔ بین مقاومت کششی برزیلین با چکش اشمیت در حالت خشک



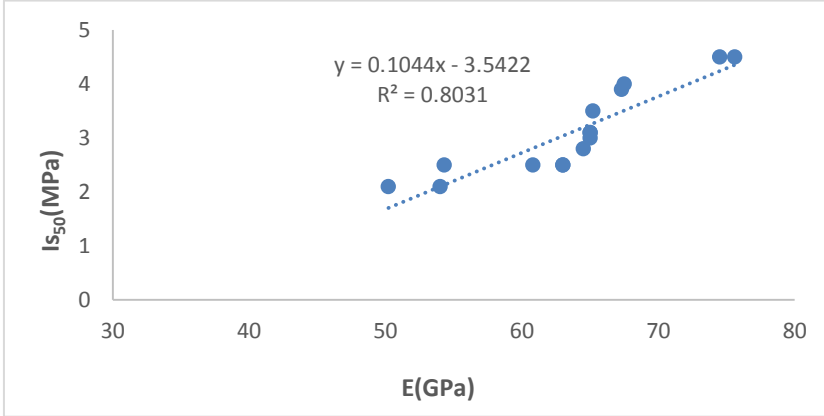
شکل ۱۳. رابطهٔ بین مقاومت کششی برزیلین با مقاومت فشاری تک‌محوری در حالت خشک



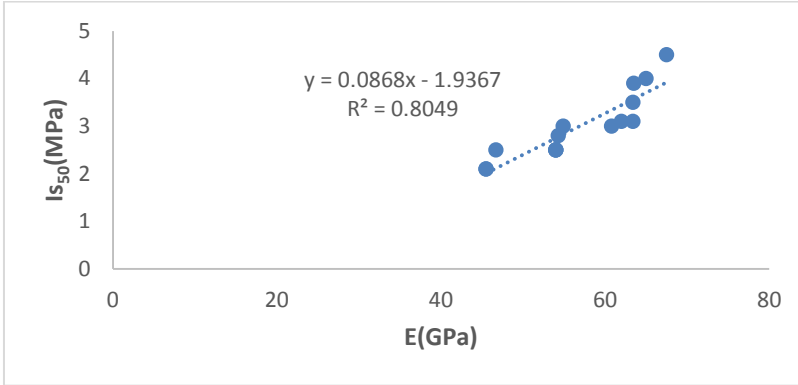
شکل ۱٤. رابطهٔ بین مقاومت کششی برزیلین با مقاومت فشاری تک‌محوری در حالت اشباع

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

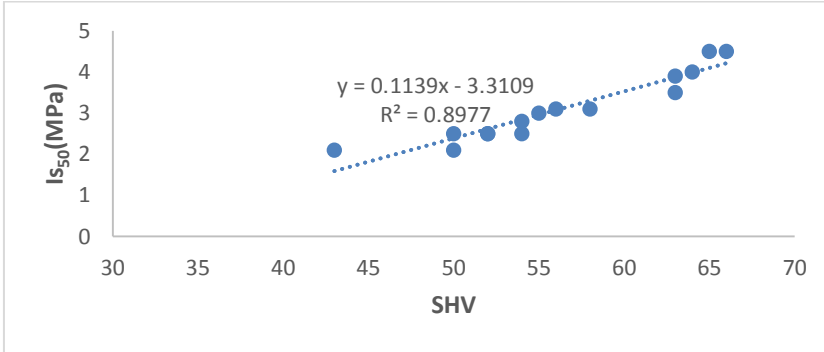
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.1.4.2]



شکل۱۵. رابطهٔ مدول الاستیسیته با بارنقطه‌ای در سنگ‌های پریدوتیتی در حالت خشک



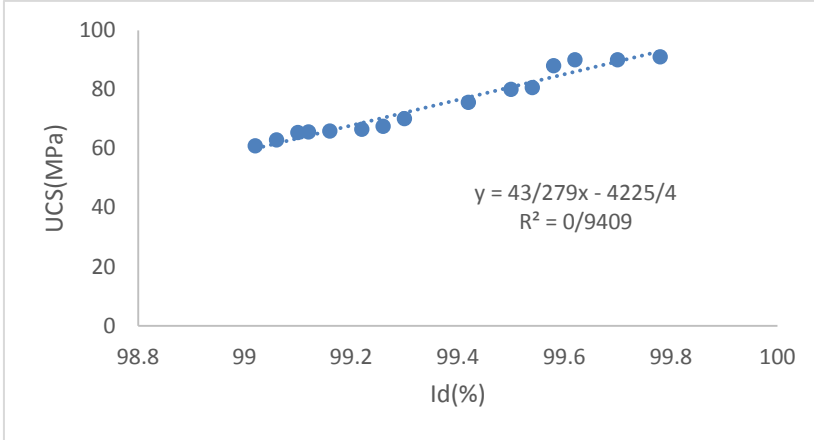
شکل۱۶. رابطهٔ مدول الاستیسیته با بارنقطه‌ای در سنگ‌های پریدوتیتی در حالت اشباع



شکل۱۷. رابطهٔ آزمون سختی اشمیت با بارنقطه‌ای در سنگ‌های پریدوتیتی در حالت خشک

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.1.4.2]



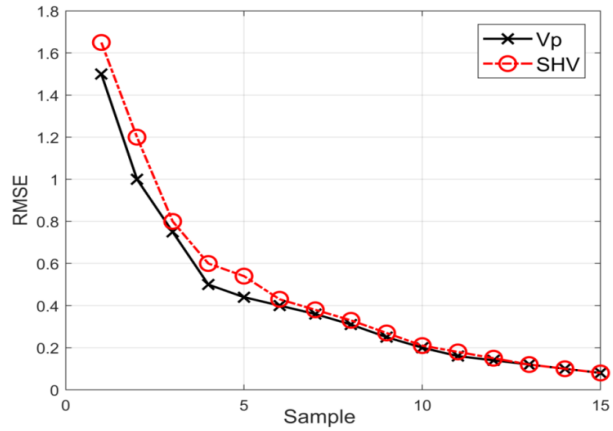
شکل ۱۸. رابطهٔ دوام وارفتگی با مقاومت فشاری تک‌محوری سنگ‌های پریدوتیتی در حالت اشباع

جدول ۱۰. معادلات پیشنهادی و رگرسیون‌های به‌دست‌آمده در این پژوهش

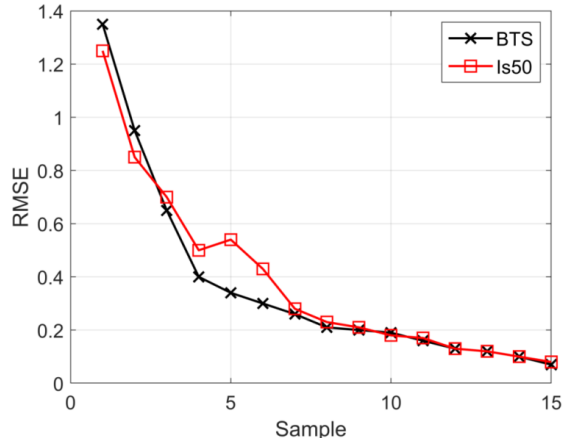
ردیف	نمونه	حالت	معادلات	رگرسیون(r^2)
۱	پریدوتیت	خشک	UCS = 221.8Vp– 1078.0	۰,۷۳
۲	پریدوتیت	اشباع	UCS = 107.66Vp – 503.83	۰,۹۱
۳	پریدوتیت	خشک	UCS = 286.51**γd** - 712.47	0.75
٤	پریدوتیت	خشک	UCS = 1.8753 SHV - 13.578	0.89
٥	پریدوتیت	خشک	UCS = 23.833Is_{50}+ 12.946	۰,۹٤
٦	پریدوتیت	اشباع	UCS = 14.718Is_{50}+ 31.247	۰,۹۱
۷	پریدوتیت	خشک	E = 159.97**γd** - 385.55	0.87
۸	پریدوتیت	خشک	BTS = 37.81**γd** - 100.86	۰,۹۳
۹	پریدوتیت	خشک	BTS = 0.260 SHV - 9.927	۰,۹٥
۱۰	پریدوتیت	خشک	UCS = 6.8224 BTS + 58.387	0.83
۱۱	پریدوتیت	اشباع	UCS = 8.8996BTS + 32.954	0.93
۱۲	پریدوتیت	خشک	Is_{50} = 0.1044 E - 3.5422	0.80
۱۳	پریدوتیت	اشباع	Is_{50} = 0.0868 E – 1.9367	0.80
١٤	پریدوتیت	خشک	Is_{50} = 0.1139 SHV - 3.3109	۰,۸۹
١٦	پریدوتیت	اشباع	UCS = 43/279 Id(%) - 4225/4	0.94

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.1.4.2]



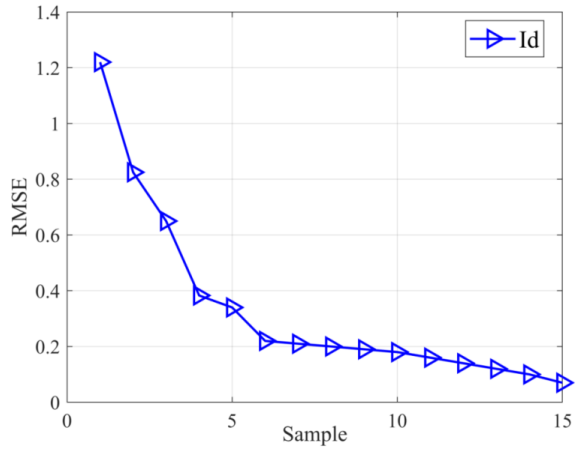
شکل۱۹. تغییر خطاها در پارامترهای مختلف



شکل۲۰. تغییر خطاها در پارامترهای مختلف

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.1.4.2]



شکل ۲۱. تغییر خطاها در پارامترهای مختلف

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج آزمون‌های آزمایشگاهی، تحلیل و بررسی نمودارهای رسم شده در مورد پریدوتیت‌های هرسین، استان کرمانشاه بدین گونه می‌توان اظهارنظر کرد که افزایش درصد کانی‌های الیوین و پیروکسن در سنگ باعث کاهش مقاومت و ایجاد سطوح ضعف می‌شود. علت آن ساختار ضعیف کانی الیوین و پیروکسن است. براساس آزمون تعیین خصوصیات فیزیکی، طبق طبقه‌بندی آنون درصد تخلخل در پریدوتیت‌های هرسین پایین و به طبع مقدار شاخص جذب آب نیز کم است. هم‌چنین مقدار وزن مخصوص قسمت جامد و وزن واحد حجم خیلی زیاد است. براساس رده‌بندی گمبل، تمامی پریدوتیت‌ها در رده دوام وارفتگی خیلی مقاوم و براساس رده‌بندی فرانکلین و چاندرا تمام نمونه‌ها در رده شدیداً مقاوم قرار می‌گیرند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد با افزایش رطوبت نمونه‌های پریدوتیت مقاومت فشاری تک‌محوری، مدول الاستیسیته، شاخص بار نقطه‌ای و مقاومت کششی کاهش می‌یابد. زیرا با افزایش درصد رطوبت فشار آب منفذی افزایش می‌یابد. که ناپایداری سطوح ضعف را به‌همراه دارد. در سال ۲۰۰٤ طغرل[1] نشان داد که مقاومت فشاری تک‌محوری سنگ‌ها با افزایش شاخص دوام وارفتگی آن‌ها به‌صورت خطی افزایش می‌یابد [٤١]. اگر چه

1. Tugrul

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.1.4.2]

نتایج این تحقیق نیز بر وجود چنین رابطه‌ای صحه گذاشت. براساس نظر گودمن[1] ۱۹۸۹ افزایش درصد رطوبت در پریدوتیت‌ها افزایش سرعت موج را موجب شده است. این موضوع به‌دلیل آن است که سرعت امواج از میان آب بیش‌تر از هوا است. بنابراین، زمانی‌که حفرات با آب اشغال می‌شوند، افزایش سرعت موج را به‌همراه دارند و سرعت امواج در سنگ با خصوصیات سنگ‌شناسی و ویژگی‌های الاستیک سنگ بکر در ارتباط است [۳۱]. به‌همین دلیل مقادیر سرعت امواج در سنگ‌ها و خصوصیات مکانیکی آن‌ها قابل انطباق هستند. طبق رده‌بندی آنون از نظر سرعت عبور موج طولی از درون سنگ، پریدوتیت‌ها در رده خیلی بالا قرار دارند. نتایج این پژوهش نشان داد که بین سرعت موج طولی با مقاومت فشاری تک‌محوری پریدوتیت‌های هرسین ارتباط نزدیکی برقرار است. با توجه به این‌که سختی سنگ به نوع کانی‌ها، چسبندگی مرزی کانی‌ها و مقاومت سنگ بستگی دارد. پریدوتیت‌های بررسی شده از نظر سختی برگشتی اشمیت مقاومت قابل قبولی را نشان داده‌اند. براساس رده‌بندی دیر و میلر مقاومت سنگ‌ها در رده BH و CH قرار می‌گیرد. با توجه به مدول به‌دست‌آمده سنگ‌های پریدوتیتی در حالت خشک در رده CH و در حالت اشباع در رده CH است. علت آن تخلخل و جذب آب پایین در این سنگ است. بیش‌ترین انطباق بین آزمایش مقاومت کششی برزیلی(BTS) با چکش‌اشمیت (SHV) در حالت خشک است. که میزان ضریب تعیین(r^2) برابر ۰/۹۵ است. البته بین آزمایش مقاومت کششی برزیلی (BTS) و وزن واحد حجم خشک (γ_d) رابطهٔ قابل قبولی دیده می‌شود که ضریب تعیین(r^2) برابر۰/۹۳ است. هم‌چنین بین آزمون دوام وارفتگی و مقاومت فشاری تک‌محوری رابطهٔ قابل قبولی دیده می‌شود که ضریب تعیین (r^2) برابر ۰/۹٤ است. با توجه به رگرسیون‌های به‌دست‌آمده در این پژوهش خصوصیات فیزیکی و مکانیکی انطباق خوبی را با هم نشان می‌دهد و اکثر معادلات دارای ضریب تعیین قابل قبولی هستند. با توجه به نمودارهای ضریب تعیین بین پارامتر وزن واحد حجم با مقاومت رابطهٔ مثبت و مستقیمی وجود دارد به این صورت که با افزایش وزن واحد حجم میزان مقاومت افزایش و با کاهش وزن واحد حجم مقاومت کاهش می‌یابد. خصوصیات مکانیکی این پریدوتیت‌ها نسبت به خصوصیات فیزیکی انطباق بیش‌تری را نشان می‌دهد. در شکل ۲۰،۲۱ و ۲۲ منحنی RMSE

1. Goodman

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.1.4.2]

بر حسب تعداد نمونه‌های تحت آزمایش برای متغیرهای Vp، SHV، BTS، Is_{50} و Id رسم شده است. چنان‌که در هر سه شکل مشخص است با افزایش تعداد نمونه‌ها میزان خطای بین دو مقدار پیش‌بینی شده و واقعی کاهش می‌یابد و مقدار پیش‌بینی شده به مقدار واقعی همگرا می‌شود.

تشکر و قدردانی

از گروه زمین‌شناسی دانشگاه بوعلی سینا به‌دلیل فراهم کردن امکانات لازم برای تهیه مغزه‌های سنگی و مقاطع نازک میکروسکوپی تشکر و قدردانی می‌کنیم.

منابع

۱. آقانباتی ع.، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۳).
۲. بابایی ف.، "بررسی افیولیت‌های منطقه صحنه(استان کرمانشاه) از دید زمین‌شناسی اقتصادی و سنگ‌شناسی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی (۱۳۸۱).
۳. خانلری غ. ر.، "اصول مکانیک سنگ"، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، چاپ دوم (۱۳۹٤).
٤. دارایی‌زاده ز.، "مطالعهٔ کمپلکس افیولیتی شمال شرق کرمانشاه با تکیه ویژه بر ژئوشیمی و پترولوژی دایک‌های منطقه هرسین، صحنه»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، پترولوژی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان (۱۳۹۰).
۵. سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، "نقشهٔ زمین‌شناسی چهارگوش هرسین"، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، تهران.
٦. فهیمی‌فر ا.، سروش ح.، "آزمایش‌های مکانیک سنگ، مبانی نظری و استانداردها"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ اول (۱۳۸۰).
۷. قبادی م.ح.، آلیانی ف.، امیری م.، "بررسی تأثیر تعداد و زمان سیکل‌ها بر روی رفتار دوام‌پذیری پریدوتیت‌های هرسین، استان کرمانشاه"و دومین کنفرانس بین‌المللیپژوهش‌های نوین در عمران، معماری مدیریت شهری و محیط‌زیست (۱۳۹۷) ۳٦-۲۵.
۸. موسوی ا.، "پتروگرافی و ژئوشیمی بازالت‌ها و پیلولاواهای وابسته به سکانس افیولیتی کرمانشاه (صحنه-هرسین)"، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، پترولوژی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان (۱۳۹۰).
۹. مولایی، ا.، "مطالعه پتروگرافی و ژئوشیمی سنگ‌های لوکوکرات مجموعه افیولیتی کرمانشاه (صحنه-هرسین)"، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، پترولوژی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان (۱۳۹۲).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.1.4.2]

۱۰. محجل م. سهندی م.، "تکامل تکتونیکی پهنه سنندج-سیرجان، در نیمه شمال باختری و معرفی زیر پهنه‌های جدید در آن"، فصلنامهٔ علوم زمین (۱۳۷۸) ۳۲-۳۱.

11. Aydin A., BasuA., "The Schmidt hammer in rock material characterization", Engineering Geology,Vol. 81(2005) 1-14.

12. ASTM., "Standard method for determination of the point load strength index of rock", ASTM Standards on Disc 04.08.; Designation D5731 (2001).

13. ASTM, "Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens" D3967 (2001).

14. ASTM., "Annual Book of ASTM Standard-Natual Building Stone", Soil and Rock , part 19 . ASTM Publication office. Philadelphila (2001).

15. Amaral P. M., Guerra R. L, Cruz F. J., "Determination of Schmidt rebound hardness consistency in granite", Rock mechanic and Mining science (1999) 833-837.

16. Anon., "Callssification of rocks and soils for engineering geological mapping, part: Rack and soil materials", Report of the Commission of Engineering Geological Mapping, Bulletion International Association of Engineering Geology, 19 (1979) 364-371.

17. Bell F. G., "Engineering properties of soils and rocks", Blackwell Science(2000) 482.

18. Bryson L.S., Gomez-Gutierrez I. C., Hopkins T. C. "Development of a new durability index for compacted shale", Engineering Geology, Vol. 139-140 (2012) 66-75.

19. Bieniawski Z. T., "The point load test in geotechnical practice", Engineering Geology, Vol. 9 (1975) 1-11.

20. Boggs S., "Petrology of sedimentary rocks", Cambridge university press, London, England (2009).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.1.4.2]

21. BS 812, Methods for determination of aggregate impact value(AIV), British Standard Institute, London, England (1990).
22. Brown E.T., "Rock characterization testing &monitorig ISRM suggested methods", PergamanPress (1981).
23. Cargill J. S., Shakoor A., "Evaluation of empirical methods for measuring the uniaxial compressive strength of rock", International Journal of Rock Mechanics and Mining Science &Geomechanics Abstract, Vol. 27, No: 6 (2004) 495-503.
24. Chang C., Zoback M. D., Khaksar A., "Empirical relations between rock strength and physical properties in sedimentary rocks", Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 51 (2006) 223-237.
25. Deer F., Howie K., Zussman A., "an introduction to the rock forming minerals", John willy& Sons, 526 (1970).
26. Deere D. U., "Geological Considerations, In Rock Mechanics in Engineering (1968).
27. Deere D. U., Miller R. P., "Engineering classification and index properties for intact rock", Technical report AFWLTR- 65116, A.F. Weapons Laboratory, Kirtland AFB, NM (1966).
28. Dhakal G., Yoneda T., Kato M., Kaneko K., "Slake durability and mineralogical properties of some pyroclastic and sedimentary rocks", Engineering Geology, Vol. 65 (2002) 31-45.
29. Franklin J. A., Chandra A., "The Slake durability test", Int.J.Rock Mech. Min. Sci., Vol. 9 (1972) 325-341.
30. Gamble J. C., "Durability plasticity classification of shale and other argillaceous rocks". P.h.D. Thesis University of Illinots (1971).
31. Goodman R. E., "Introduction to rock mechanics", John Wiley & Sons, New York, USA (1989).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.1.4.2]

32. Heidari, M., Mohseni H., Jalali H, "Prediction of Uniaxial Compressive Strength of Some Sedimentary Rocks by Regression Models", Geotechnical and Geological Engineering., vol. 36 (2018) 401-412.

33. ISRM, "The Complete ISRM, Suggested Methods for Rock characterization testing and monitoring", International Society of rock mechanics (2007).

34. Katez O.,Reches Z., Roegiers J., "Evaluation of mechanical rock properties using a Schmidt Hammer", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 37, (2000) 723-728.

35. Kahraman S., Gunayin O., Fener M.,"The effect of porosity on the relation between uniaxial compressive strength and point load index.International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences,Vol. 42 (2005) 584-589.

36. Marquse A. D. A., Paes B. S. D., Marques E. A. G., Pereira L. C., "Correlation between uniaxial compressive strength and point load strength for some Brazilian high- grade metamorphic rocks", RevistaBrasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (2015).

37. Ricou L. E., "Evolution structuralke des Zagrides. La région clef de Neyriz (Zagrosiranien)", Mem. Soc. Geol., France N.S. 55, 125 (1976) 140.

38. Ricou L. E., "Lcmetamorphisme au contact des peridotites de Neyriz(Zagros interne, Iran): Developpement de skarns a pyroxene (1971).

39. Ricou L. E., Braud J., Brunn J. H., Le Zagros, In: Livre à la mémoire de A.F de Lapparent", Soc. géol. France, Paris (1977) 33-52.

40. Tarun S., Ashwani J., K S. Rao,"Rock Failure Pattern Under Uniaxial, Triaxial compression and Brazillian loading Conditions"., Geotechnical

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.1.4.2]

applications., Lecture Notes in Civil Engineering LNCE, volume 13., (2018) 241-249.

41. Tugrul A., "The effect of weathering on pore geometry and compressive strength of selected rock types from", Turkey. Engineering Geology, Vol. 75, No. 3-4 (2004) 215-227.

42. Undul O.,Tugrul A., "The Influence of Weathering on the Engineering Properties of Dunites", Rock Mech.,Rock Eng.,Vol. 45 (2012) 225-239.

43. Ulusay R., Tureli K., Ider M. H., "Prediction of engineering properties of a selected litharenite sandstone from its petrographic characteristics using correlation and multivariable statistical techniques", Engineering Geology, Vol. 37, (1994) 135-157.

44. Wang M., Cao P. "Numerical Studu on Flatted Brazilian Test and Its Empirical Formula", EJGE., vol. 20 (2015) 122111-12224.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.1.4.2]