مطالعه رابطه هوازدگی، کانی‌شناسی و بافت سنگ‌های پریدوتیتی با خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی (مطالعه موردی: پریدوتیت‌های هرسین کرمانشاه)

محمدحسین قبادی[۱]، مهرداد امیری[۲]* و فرهاد آلیانی[۳]

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

نویسنده مسئول: *a.mehrdad1372@yahoo.com**

دریافت: ۹۸/۳/۴ پذیرش: ۹۸/۷/۱۵

چکیده

هوازدگی از عوامل مهم و کنترل‌کننده ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی سنگ‌های پریدوتیتی است. ویژگی‌های مهندسی سنگ‌ها در اثر فرایند هوازدگی دچار تغییرات مهمی می‌شود. در این تحقیق تأثیر هوازدگی، ویژگی‌های کانی‌شناسی و بافت بر روی خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی پریدوتیت‌های هرسین، استان کرمانشاه مورد مطالعه قرارگرفته است. مطالعات انجام‌شده شامل بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی است. در مطالعات صحرایی به جمع‌آوری بلوک سنگی و بررسی وضعیت زمین‌شناسی منطقه پرداخته شد. در مطالعات آزمایشگاهی ابتدا بررسی مقاطع نازک پریدوتیت‌ها با وضعیت هوازدگی متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. سپس با انجام آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی به ترتیب وزن مخصوص قسمت جامد، وزن واحد حجم، تخلخل، مقاومت فشاری تک‌محوری، مدول‌یانگ، شاخص بار نقطه‌ای و سختی نمونه‌ها تعیین شد. در این پژوهش با توجه به ویژگی‌های کانی‌شناسی و درجه هوازدگی پریدوتیت‌ها، بر اساس میزان سرپانتینی شدن سنگ اثر هوازدگی، تأثیر این عوامل بر روی خواص مهندسی سنگ ارزیابی شده است. با استفاده از روابط رگرسیونی نرم‌افزار *Excel 2013*، ارتباط بین هوازدگی، ویژگی‌های کانی‌شناسی و بافت با خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی پریدوتیت‌ها تعیین گردیده است. این روابط به صورت توابع خطی هستند. هم‌چنین آزمون‌های F, t در سطح اطمینان ۹۵ درصد اعتبار روابط تجربی پیشنهادی را تایید نمودند. بر اساس نتایج به دست آمده بیش‌ترین انطباق بین آزمایش شاخص بار نقطه‌ای با شاخص ریزترک‌ها (MI) می‌باشد که دارای ضریب تعیین (r^2) برابر ۰/۹۵ است. از روابط به دست آمده در این پژوهش مشخص شد که در تعیین خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی سنگ، اهمیت ویژگی‌های بافتی بیش‌تر از خصوصیات کانی‌شناسی می‌باشد، بدین معنا که خصوصیات دانه‌ها مانند شکل و اندازه، نوع تماس، درجه هوازدگی و شاخص ریزترک‌ها تأثیر مهمی بر روی خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی سنگ‌های پریدوتیتی دارد.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات فیزیکی، خصوصیات مکانیکی، هوازدگی، پریدوتیت، هرسین

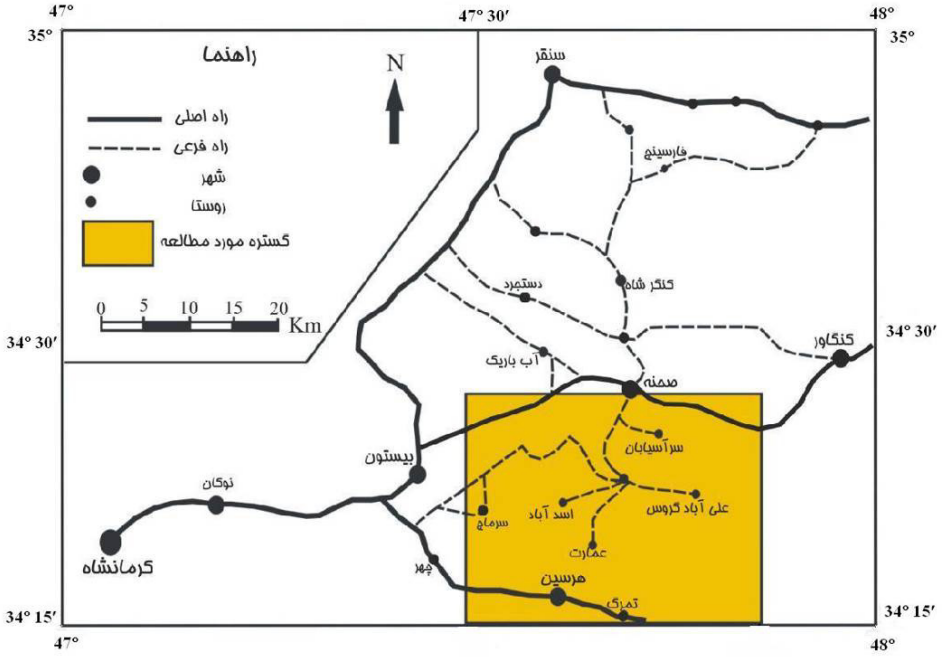
پیشگفتار

خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سنگ‌ها به ترکیب کانی‌شناسی، بافت (اندازه و شکل دانه)، فابریک یا بافته (آرایش کانی‌ها و منافذ) و میزان هوازدگی آن وابستگی زیادی دارد (طغرل، ۲۰۱۶؛ قبادی، ۲۰۰۰). پریدوتیت‌ها از نظر کانی‌شناسی، خصوصیات پتروگرافی و ویژگی‌های مهندسی تنوع زیادی نشان می‌دهند. پژوهشگران زیادی با استفاده از تکنیک‌های مختلف روی خصوصیات کانی‌شناسی و بافتی سنگ‌های آذرین مطالعاتی انجام داده‌اند (طغرل و ظریف، ۱۹۹۹؛ ایرفان، ۱۹۹۶) عمده این پژوهش‌ها روی تعیین درجه هوازدگی و ارائه روشی مناسب برای طبقه‌بندی هوازدگی سنگ متمرکز بوده است. به علت تنوع در خصوصیات پتروگرافی، تفاوت زیادی در خصوصیات مکانیکی پریدوتیت‌ها مشاهده می‌شود. ویژگی‌های پتروگرافی که خصوصیات مکانیکی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، شامل اندازه دانه‌ها، شکل دانه‌ها، درجه قفل‌شدگی ذرات، نوع تماس دانه‌ها با یکدیگر و ترکیب کانی‌شناسی می‌باشد. سنگ‌های آذرین فاقد هوازدگی به خاطر ترکیب کانی‌شناسی و بافت خود، مقاومت و مدول الاستیسیته بالایی دارند (لوییس، ۲۰۰۷). مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که یک رابطه خطی بین مقاومت و اندازه دانه‌ها وجود دارد به طوری که با کاهش اندازه دانه‌ها مقاومت افزایش پیدا می‌کند (لوییس، ۲۰۰۷). مندز و همکاران در سال ۱۹۶۶ مطرح کردند که داده‌های میکروپتروگرافی را می‌توان به‌صورت شاخص‌های کیفی بیان کرده و با خصوصیات مکانیکی

سنگ انطباق داد. آن‌ها مدلی برای ترکیب کانی‌شناسی گرانیت با بافت و ریزساختارها ارائه کرده و دریافتند که خصوصیات پتروگرافی انطباق خوبی با خصوصیات مکانیکی دارد. مطالعات پتروفابریک توسط ویلارد و ویلیامز در سال ۱۹۶۹ ارائه شد تا امکان مطالعه رفتار مکانیکی سنگ‌ها با وجود ریزساختارها فراهم گردد. آن‌ها اظهار کردند که ریزترک‌ها، مرزهای دانه‌ها و رخ‌های موجود در کانی‌ها روی مقاومت نهایی سنگ مؤثر هستند و می‌توانند به‌عنوان سطوح ضعف جهات گسیختگی را در سنگ کنترل کنند. هدف این پژوهش مطالعه ارتباط بین خصوصیات بافتی و پتروگرافی، میزان هوازدگی، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی پریدوتیت‌های هرسین، استان کرمانشاه و تعیین روابط تجربی به منظور پیش‌بینی خصوصیات مهندسی پریدوتیت‌ها می‌باشد.

موقعیت جغرافیایی و اقلیم

شهرستان هرسین در جنوب‌شرقی استان کرمانشاه واقع شده است. طول جغرافیایی هرسین ۴۷ درجه و ۳۵ دقیقه و عرض جغرافیایی آن ۳۴ درجه و ۱۶ دقیقه نسبت به نصف‌النهار گرینویچ است. هرسین منطقه‌ای کوهستانی است که ارتفاعات موجود این شهرستان را محصور کرده است و بیش‌تر در جهت شمال‌غربی و جنوب‌شرقی امتداد یافته است. دامنه‌های کم‌شیب، دره‌های عریض، جلگه‌های آبرفتی و سراب‌ها از مهم‌ترین ویژگی‌های طبیعی منطقه هرسین به شمار می‌رود (آقانباتی، ۱۳۸۳). در شکل ۱ نقشه جغرافیایی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

زمین‌شناسی منطقه

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

۱- واحدهای چینه‌ای زون زاگرس مرتفع

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 (آقانباتی، ۱۳۸۳).

افیولیت کرمانشاه یک کمپلکس افیولیتی در غرب ایران است که از سیستم کوهزایی زاگرس تبعیت می‌کند. این مجموعه افیولیتی نزدیک به انتهای شمال‌غربی رشته‌کوه

زاگرس واقع گردیده است. این افیولیت‌ها بخشی از افیولیت زاگرس عمان که آن نیز خود جزئی از کمربند افیولیتی آلپ- هیمالیا است، می‌باشد. 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 حاشیه 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 (موسوی، ۱۳۹۰ و مولایی، ۱۳۹۲). 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 به سمت جنوب غرب است. یکی کمان پشت‌کوه در کرمانشاه و دیگری کمان فارس در نیریز (مولایی،۱۳۹۲). از نظر ترکیب و ساخت افیولیت‌های کرمانشاه و نیریز با مجموعه افیولیتی- رادیولاریتی کوه‌های عمان و با افیولیت‌های حاشیه عربستان شباهت زیادی دارد و همان‌گونه که در بالا اشاره گردید این دو کمان افیولیتی بخشی از نوار افیولیتی به طول تقریبی ۳۰۰۰ کیلومتر است که به‌طور متوسط از سوریه شروع و پس از گذر از جنوب ترکیه و زاگرس به عمان می‌رود (مولایی، ۱۳۹۲). به نظر برود ۱۹۸۹ فرارانش افیولیت‌های کرمانشاه به آشکوب ماستریشتین محدود می‌شود (موسوی،۱۳۹۰). درحالی‌که به نظر حلم ۱۹۷۶ و ریکو ۱۹۷۴، نقل از (محجل و همکاران، ۲۰۰۳)، فرارانش افیولیت‌های نیریز مربوط به آشکوب کامپانین می‌باشد. افیولیت‌ها در منطقه کرمانشاه در ناحیه صحنه و هرسین رخنمون دارند و تحت عنوان افیولیت‌های صحنه- هرسین نام‌گذاری گردیده‌اند (دارایی‌زاده، ۱۳۹۰). برود ۱۹۷۰ معتقد است که این کمان افیولیتی شامل سه برون‌زد است:

– اولین برون‌زد در شمال شرق کرمانشاه (ناحیه صحنه) متشکل از سنگ‌های اولترابازیک دانه‌ای، پریدوتیت‌ها، هارزبورژیت‌ها و گابروها می‌باشد.

– دومین برون‌زد در جنوب شرق مجموعه قبلی یعنی در مرحله ارگانا رخنمون دارد که برخلاف برون‌زد قبلی به‌شدت تکتونیزه است.

– سومین برون‌زد در ناحیه هرسین متشکل از یک توده سرپانتینیت است که در آن ورقه‌هایی از آهک‌های باز تبلوریافته و احتمالاً متعلق به تریاس وجود دارد (دارایی‌زاده، ۱۳۹۰ و مولایی، ۱۳۹۲). در شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

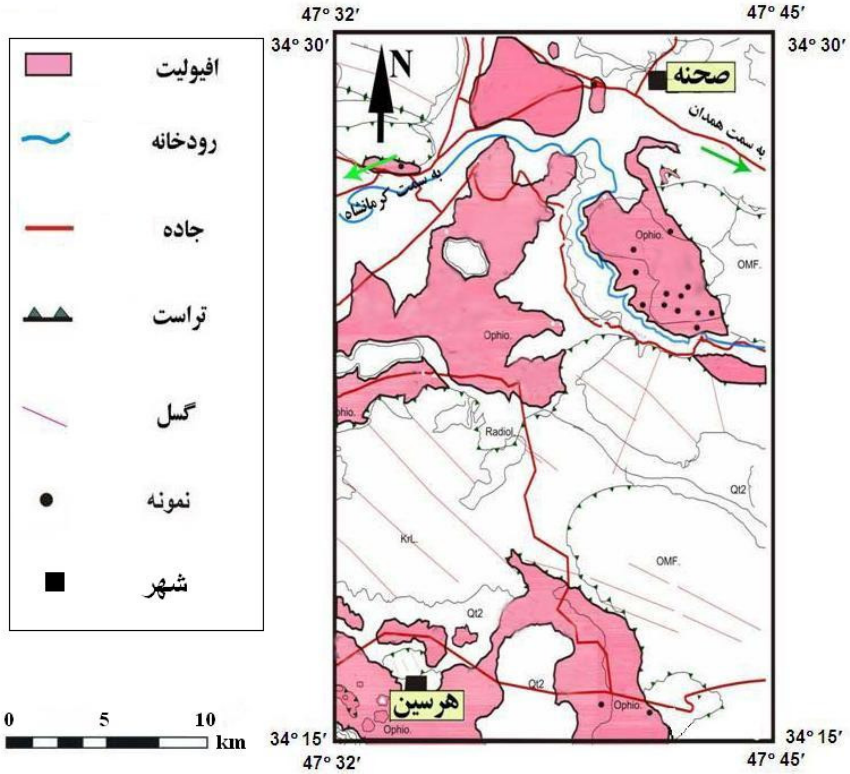
مواد و روش ها

به منظور بررسی ارتباط بین ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی با هوازدگی و ویژگی‌های بافتی پریدوتیت‌های منطقه هرسین، تعداد ۱۵ بلوک مناسب برداشت شده و به آزمایشگاه انتقال داده شدند. بر این اساس از نمونه‌های سنگی جمع‌آوری‌شده، تعداد ۱۵۰ مغزه استوانه‌ای به قطر ۵۴ میلی‌متر تهیه و آزمایش‌های فیزیکی- مکانیکی مطابق با دستورالعمل *ISRM,1981* و *ASTM,1980* بر روی آن‌ها انجام شده است. در راستای این پژوهش، پس از نمونه‌برداری از منطقه مورد مطالعه و تهیه مغزه‌های سنگی به ویژگی‌های سنگ‌شناسی نمونه‌ها با تهیه مقاطع نازک از آن‌ها و مطالعه با میکروسکوپ پلاریزان پرداخته شد. هم‌چنین خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و هوازدگی این پریدوتیت‌ها تعیین گردید.

مطالعه سنگ‌شناسی

مطالعات مختلف نشان داده‌اند که ویژگی‌های فیزیکی سنگ‌ها نه تنها تحت تأثیر مجموعه کانی‌شناسی و جهت‌یابی کانی‌ها در نمونه سنگی است، بلکه عواملی همچون ریزترک‌ها نیز، روی این ویژگی‌ها تاثیرگذار است. این بخش از پژوهش علاوه بر مطالعات صحرایی به مطالعه نمونه‌های میکروسکوپی نیز اختصاص‌یافته است. در شکل ۳ مقاطع نازک این سنگ‌ها نشان داده شده است. با توجه به مطالعات انجام‌شده پریدوتیت‌های هرسین از نوع هارزبورژیت می‌باشند. رنگ هارزبورژیت در نمونه دستی سبز رنگ 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. به‌طورکلی توده‌های هارزبورژیتی تحت تأثیر عملکرد گسل‌های تراستی دچار شکستگی شده و در محل شکستگی‌ها آزبست تشکیل شده است (دارایی‌زاده،۱۳۹۰). ترکیب کانی‌شناسی این سنگ‌ها شامل الیوین (۸۵-۷۰ درصد)، ارتوپیروکسن (۲۵-۱۰ درصد)، کلینوپیروکسن و اسپینل غنی از کروم (۵-۲ درصد) می‌باشد. الیوین‌ها، غنی از منیزیم، ارتوپیروکسن‌ها در محدوده انستاتیت ـ برنزیت، کلینوپیروکسن دیوپسیدی ـ اوژیت دیوپسیدی و اسپینل غنی از کروم هستند. به‌طور کلی بافت آن‌ها میلونیتی و پورفیروکلاستیک است که حالت خردشدگی و تبلور مجدد را می‌توان در بلورهای الیوین مشاهده نمود. پورفیروکلاست‌ها عمدتاً از ارتوپیروکسن‌ها تشکیل یافته‌اند که دارای اکسولوشن‌هایی از کلینوپیروکسن، ساختار کینگ‌باند و خمیدگی هستند. الیوین و ارتوپیروکسن 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 ارتوپیروکسن، باستیت است. برخی از بلورهای الیوین با خاموشی موجی، خواص دگرشکلی از خود به نمایش می‌گذارد. گاهی تیغه‌های جدایشی کلینوپیروکسن در ارتوپیروکسن در نمونه‌های هارزبورژیتی دچار خمیدگی گشته‌اند (شکل ۳).

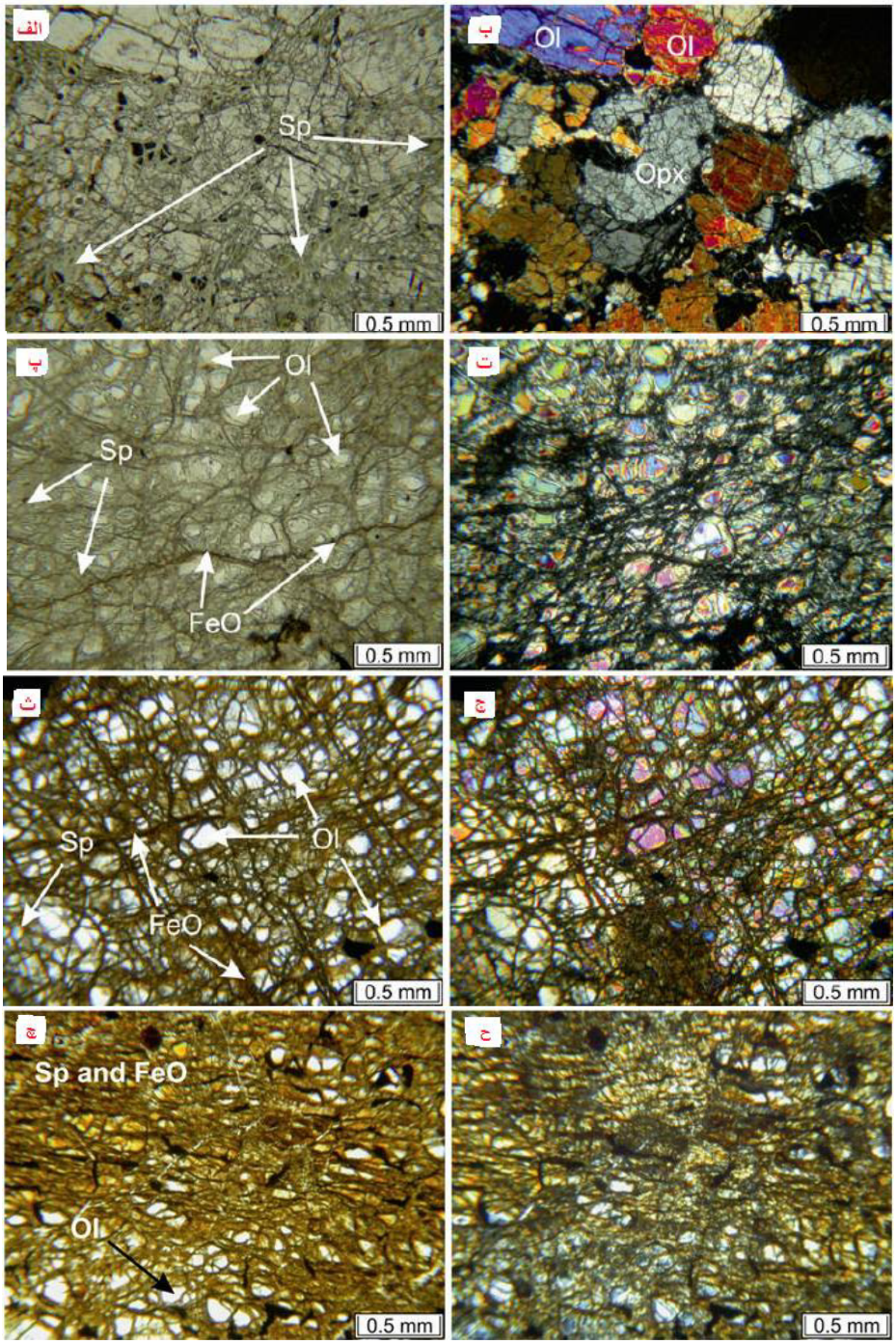


شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (بر گرفته از نقشه ۱:۵۰۰۰۰ هرسین، سازمان زمین‌شناسی کشور)

همان‌طور که شکل ۳ نشان می‌دهد، در حالت (الف، ب) کانی الیوین حالت تازه[1] و بدون آثار هوازدگی می‌باشد و کانی سرپانتین به مقدار کم به صورت کانی فرعی وجود دارد. در اشکال (پ، ت) آثار اولیه هوازدگی در سطح کانی دیده می‌شود و همچنان کانی سرپانتین به همراه اکسید آهن به‌صورت کانی فرعی در سنگ دیده می‌شود. در اشکال (ث، ج) آثار هوازدگی کاملاً مشهود است و کانی‌های اولیه پریدوتیت (هارزبورژیت) به‌خصوص الیوین و ارتوپیروکسن طی عمل هوازدگی دچار تغییرات شیمیایی شده و به کانی‌های سست‌تر و ثانویه (سرپانتین) تبدیل شده است. در شکل‌های (چ، ح) هوازدگی در مقاطع نازک سنگ کاملاً مشهود است و کانی‌های الیوین و پیروکسن به صورت کامل به سرپانتین تبدیل شده است و مقدار بسیار کمی الیوین باقی‌مانده است. بنابراین

[1] *Fresh*

با افزایش اثر هوازدگی بر روی سنگ‌ها از میزان استحکام[1] و کارایی[2] آن‌ها کاسته می‌شود (قبادی، ۲۰۰۰). هم‌چنین هوازدگی باعث تغییر ویژگی‌های مهندسی پریدوتیت‌ها نیز می‌شود که در ادامه به بررسی هوازدگی در پریدوتیت پرداخته می‌شود. شکل ۴ نمونه‌های استوانه‌ای پریدوتیت با درجه هوازدگی متوسط قبل و بعد آزمایش و برونزد سنگی در صحرا را نشان می‌دهد.



شکل ۳. مقطع نازک هارزبورژیت در حالت تازه (الف ، ب)، اندکی هوازده (پ ، ت)، متوسط هوازده (ث ، ج) و هوازدگی زیاد (چ ، ح)
Ol **(الیوین)، *Sp* (سرپانتین)، *Opx* (ارتوپیروکسن)، *FeO* (اکسید آهن)**

[1] *Consistence* [2] *Workability*

شکل ۴. الف) نمونه های پریدوتیت قبل از آزمایش برزیلین ب) نمونه‌های پریدوتیت بعد از آزمایش برزیلین پ) نمونه صحرایی پریدوتیت

فرآیند هوازدگی

هوازدگی فرایندی است که باعث تغییر در ساختار و بافت سنگ می‌شود. هوازدگی یکی از عواملی است که باعث کاهش کیفیت توده سنگ و در نتیجه افزایش ناپایداری شیب‌های سنگی در منطقه می‌شود. براساس کوهستانی بودن منطقه و بارش برف و باران زیاد، هوازدگی غالب در منطقه عمدتاً از نوع فیزیکی می‌باشد ولی هوازدگی شیمیایی هم در منطقه صورت می‌گیرد. تشخیص میزان هوازدگی سنگ‌های منطقه از طریق توصیف صحرایی انجام شده است. در جدول ۱ رده‌بندی سنگ‌ها بر اساس درجه هوازدگی آورده شده است. توصیف صحرایی هوازدگی سنگ‌ها بر اساس طبقه‌بندی (آنون، ۱۹۹۵) انجام شده است. مبنای این رده‌بندی بر اساس مشاهدات چشمی در صحرا می‌باشد و معیار خوبی برای ارزیابی هوازدگی سنگ‌ها در اختیار مهندسین و زمین‌شناسان قرار می‌دهد. با توجه به جدول ۱ پریدوتیت‌های هرسین از رده تازه تا به شدت هوازده دسته‌بندی شده است.

شاخص هوازدگی شیمیایی

شاخص هوازدگی شیمیایی به صورت روابط (۱) و (۲) تعریف می‌شود. زمانی که میزان این شاخص افزایش پیدا می‌کند میزان درجه هوازدگی نیز افزایش می‌یابد. برای تعیین شاخص آلتراسیون شیمیایی و شاخص هوازدگی شیمیایی، درصد اکسیدهای آلومینیوم، کلسیم، سدیم و پتاسیم با استفاده از آزمایش‌های *XRF*[1] و *ICPW*[2] معین می‌گردد. در این پژوهش از آزمایش *ICPW* استفاده شده است. پس از انجام این آزمایش مقادیر شاخص‌های ارائه شده از روابط (۱) و (۲) محاسبه شد که در این رابطه *CIW* شاخص هوازدگی شیمیایی و *CIA* شاخص آلتراسیون شیمیایی می‌باشد.

$$CIW = [AL_2O_3/(AL_2O_3 + CaO + Na_2O)] \times 100 \quad (1)$$

$$CIA = [AL_2O_3/(AL_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)] \times 100 \quad (2)$$

[1] *X-Ray Fluorescence*
[2] *Inductively Couple Plasma Weight*

با دسته‌بندی نمونه‌ها در ۴ گروه به شدت هوازده، متوسط هوازده، کمی هوازده و تازه به طور میانگین از بین نمونه‌های موجود، بر روی ۴ نمونه به صورت انتخابی با درجه هوازدگی متفاوت آزمایش *ICPW* انجام شد و میزان درصد اکسید سنگ مورد مطالعه در این پژوهش به دست آمد که در جدول ۲ ترکیب شیمیایی موجود در هارزبورژیت‌ها بر اساس درصد وزنی و محاسبه شاخص هوازدگی شیمیایی آورده شده است. طبق جدول ۲ با افزایش درجه هوازدگی میزان درصد وزنی SiO_3 و MgO کاهش‌یافته است و میزان Na_2O ثابت مانده است.

جدول ۱. شاخص توصیف صحرایی سنگ‌ها (آنون، ۱۹۹۵)

رده	درجه هوازدگی	توصیف	تشخیص دادن
۱	تازه	هیچ آثار هوازدگی و زنگ‌زدگی در سنگ دیده نمی‌شود	با چندین ضربه چکش به سختی شکسته می‌شود
۲	کمی هوازده	آثاری از زنگ‌زدگی در الیوین و پیروکسن در سطح سنگ دیده می‌شود	به چند ضربه چکش شکسته و با چاقو خراش بر می‌دارد
۳	متوسط هوازده	هوازدگی کاملاً مشاهده می‌شود و آثار سرپانتینی شدن دیده می‌شود	با یک ضربه سخت چکش شکسته و با چاقو خراش بر می‌دارد
۴	به شدت هوازده	هوازدگی در تمام سنگ دیده می‌شود و مقداری از سنگ به سرپانتین تبدیل شده است	قسمتی از سنگ با فشار زیاد دست قابل شکستن می‌باشد و با چاقو قطعه‌ای از آن را می‌توان جدا کرد
۵	کاملاً هوازده	تنها سیمایی از سنگ باقی‌مانده و سنگ کاملاً تخریب شده است	با فشار متوسط دست خرد می‌شود و دانه‌های کانی قابل جدایش است
۶	خاک برجا	سنگ به خاک تبدیل‌شده است	خاک باقی‌مانده

جدول ۲. ترکیب شیمیایی موجود در هارزبورژیت‌های هرسین براساس درصد وزنی و محاسبه شاخص هوازدگی شیمیایی

درجه هوازدگی	*CIW*	*CIA*	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	*CaO*	*MgO*	SO_3	K_2O	Na_2O	*Total*
به‌شدت هوازده	۵۴/۰۷	۵۲/۸۶	۳۸/۴۷	۰/۴۱	۸/۵۷	۰/۱۹	۳۴/۹۶	۰/۰۶	۰/۰۱۶	۰/۰۰۱	۹۹/۵۷
متوسط هوازده	۴۸/۶۶	۴۸/۴۱	۳۸/۲۳	۰/۴۱	۱۱/۳۳	۰/۲۴	۳۶/۱۴	۰/۰۹	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۹۹/۸۰
کمی هوازده	۲۱/۷۷	۲۱/۷۴	۳۹/۹۶	۰/۴۷	۹/۹۰	۰/۹۴	۳۹/۷۳	۰/۱۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۹۹/۹۳
تازه	۳۵/۰۸	۳۵/۰۶	۴۳/۶۲	۰/۸۶	۸/۲۰	۰/۸۷	۴۱/۷۸	۰/۱۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۹۹/۸۲

آنالیز ریزترک‌ها و محاسبه شاخص ریزترک‌ها

روش‌های مطالعه میکروسکوپ نوری و الکترونی برای بررسی ریزترک‌ها مفید می‌باشند (لوویس). در این پژوهش از میکروسکوپ نوری برای مطالعه ترک‌های درون‌دانه‌ای[1] و تعیین شاخص ریزترک‌ها[2] استفاده شده است. تعداد کل ترک‌ها درون‌دانه در یک سانتی‌متر از مقطع نازک با بزرگنمایی ۱۰ شمارش شده است. شاخص ریزترک‌ها نیز از شمارش تعداد کل بین‌دانه‌ای و درون‌دانه‌ای در یک سانتی‌متر از مقطع نازک با بزرگنمایی ۱۰ به دست آمده است و از رابطه (۳) شاخص ریزترک‌ها محاسبه می‌شود (قبادی، ۲۰۰۰). در جدول ۴ شاخص ریزترک‌ها آورده شده است. به کمک این شاخص می‌توان تأثیر تعداد ترک‌ها را بر روی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی پریدوتیت‌ها بررسی نمود.

$$MI = \frac{N}{L}$$

MI: شاخص ریزترک‌ها

N: تعداد ترک‌ها

L: طول (cm)

خصوصیات فیزیکی و مکانیکی پریدوتیت‌ها

ویژگی‌های فیزیکی پریدوتیت‌ها (هارزبورژیت) مطابق با استاندارد *ASTM(1980)* تعیین شده است. این ویژگی‌ها شامل تعیین وزن مخصوص قسمت جامد (Gs)، وزن واحد حجم (γ) و درصد تخلخل $(n\%)$ بوده است. خصوصیات مکانیکی سنگ‌ها نیز مطابق استاندارد *ISRM(1981)* تعیین شده است. آزمون‌های سختی‌اشمیت (SHV) روی

[1] *Intergranular Cracks*
[2] *Micro fracture Index*

بلوک‌های سنگی و شاخص بار نقطه‌ای (Is_{50}) و مقاومت فشاری تک‌محوری (UCS) روی مغزه‌های استوانه‌ای سنگ انجام شده است. نتایج آزمایش‌های خصوصیات فیزیکی و مکانیکی برای ۱۵ بلوک پریدوتیت در جدول ۳ و ۴ نشان داده شده است. با توجه به نتایج بدست آمده از جدول ۳ و رده‌بندی آنون در سال ۱۹۹۵ می‌توان گفت میزان دانسیته این سنگ‌ها در رده خیلی بالا، میزان تخلخل پایین و میزان پوکی در رده پایین قرار می‌گیرد. با توجه به نتایج بدست آمده از جدول ۴ و رده‌بندی دیر و میلر ۱۹۶۶ میزان مقاومت فشاری تک‌محوری و شاخص بار نقطه‌ای این سنگ‌ها در رده متوسط قرار می‌گیرد.

جدول ۳. ویژگی‌های فیزیکی پریدوتیت‌های منطقه مورد مطالعه

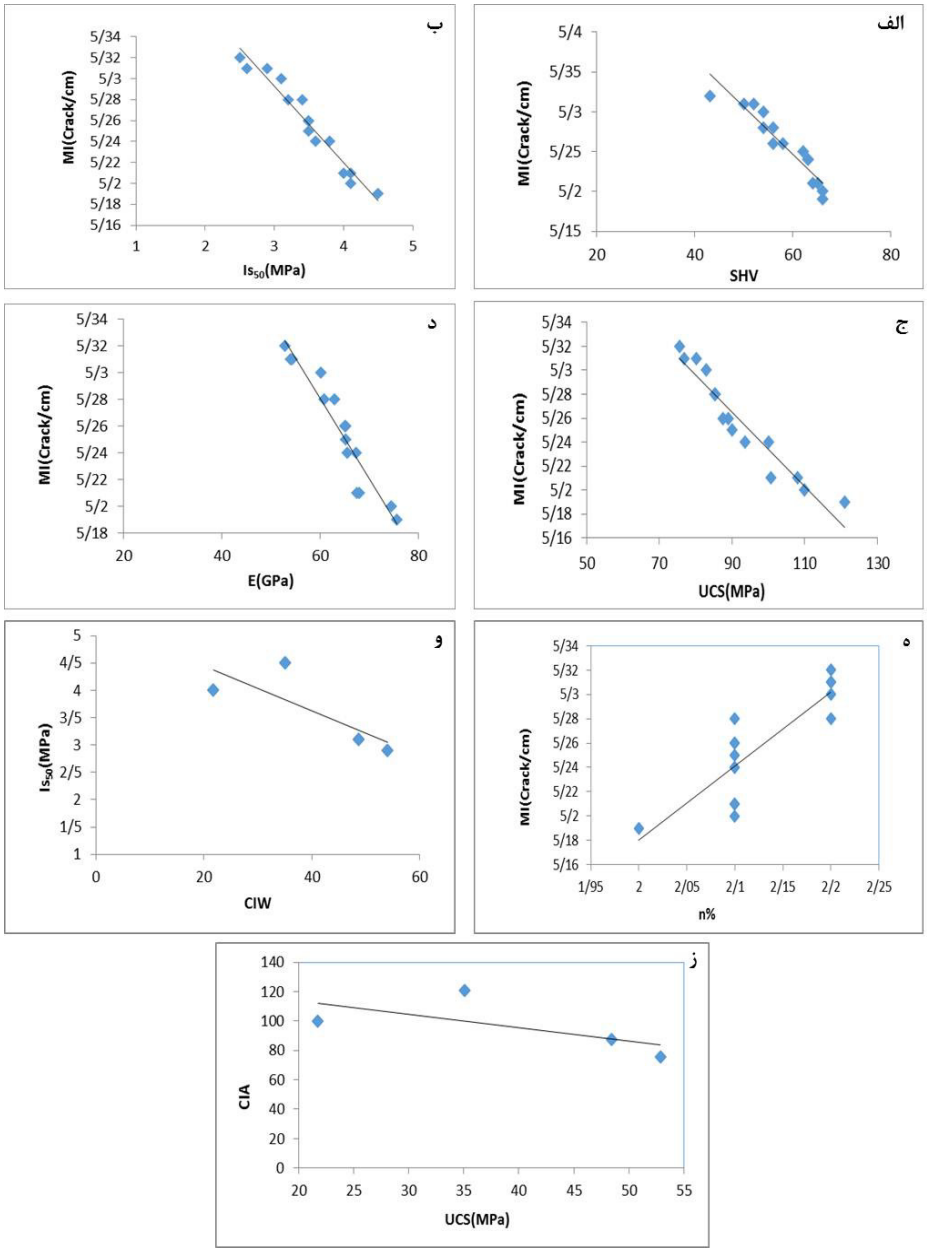
نمونه	(G_S)	$\gamma_{sat}(gr/cm^3)$	$\gamma_n(gr/cm^3)$	$\gamma_d(gr/cm^3)$	$(n\%)$	درجه هوازدگی
۱	۲/۸۷	۲/۸۶	۲/۸۵	۲/۸۳	۲/۱	متوسط
۲	۲/۸۸	۲/۸۴	۲/۸۳	۲/۸۲	۲/۱	کم
۳	۲/۸۳	۲/۸۰	۲/۷۸	۲/۷۶	۲/۱	کم
۴	۲/۷۶	۲/۷۵	۲/۷۴	۲/۷۲	۲/۱	کم
۵	۲/۹۰	۲/۸۸	۲/۸۶	۲/۸۵	۲/۲	متوسط
۶	۲/۹۱	۲/۸۸	۲/۸۷	۲/۸۵	۲/۱	متوسط
۷	۲/۸۴	۲/۸۲	۲/۸۰	۲/۷۸	۲/۲	متوسط
۸	۲/۸۰	۲/۷۸	۲/۷۷	۲/۷۵	۲/۲	به شدت
۹	۲/۸۹	۲/۸۸	۲/۸۶	۲/۸۵	۲/۱	به شدت
۱۰	۲/۸۱	۲/۷۹	۲/۷۷	۲/۷۶	۲/۱	کم
۱۱	۲/۸۵	۲/۸۳	۲/۸۲	۲/۸۰	۲/۱	کم
۱۲	۲/۸۱	۲/۸۰	۲/۷۸	۲/۷۶	۲/۱	تازه
۱۳	۲/۸۹	۲/۸۷	۲/۸۵	۲/۸۴	۲/۱	متوسط
۱۴	۲/۸۷	۲/۸۸	۲/۸۶	۲/۸۴	۲	متوسط
۱۵	۲/۸۳	۲/۸۰	۲/۷۹	۲/۷۸	۲/۱	متوسط
میانگین	۲/۸۵	۲/۸۳	۲/۸۱	۲/۸۰	۲/۱	–

جدول ۴. ویژگی‌های مکانیکی پریدوتیت‌های منطقه مورد مطالعه

نمونه	$MI(Crack/cm)$	SHV	$UCS(MPa)$	$Elastic\ modulus(GPa)$	$I_{S50}(MPa)$	درجه هوازدگی
۱	۵ /۲۵	۵۰	۸۵/۳	۶۵/۲	۳/۵	متوسط
۲	۵/۲۴	۵۶	۱۱۰	۷۴/۵	۴/۱	کم
۳	۵/۲۰	۵۴	۱۰۰/۶	۶۰/۸	۳/۶	کم
۴	۵/۲۶	۶۲	۱۱۰	۶۳	۳/۸	کم
۵	۵/۳	۶۳	۸۵/۴	۵۴/۳	۲/۶	متوسط
۶	۵/۲۸	۶۶	۸۲/۹	۶۵/۲	۲/۹	متوسط
۷	۵/۳۱	۵۲	۸۰/۲	۶۷/۵	۲/۶	متوسط
۸	۵/۲۸	۵۰	۷۵/۶	۵۴	۳/۱	به شدت
۹	۵/۳۲	۴۳	۷۶/۹	۵۲/۹	۲/۵	به شدت
۱۰	۵/۲۴	۵۴	۱۰۸	۶۰/۲	۳/۵	کم
۱۱	۵/۲۰	۵۸	۱۰۰	۶۷/۳	۳/۴	کم
۱۲	۵/۲۶	۵۶	۱۲۱	۷۵/۶	۴/۵	تازه
۱۳	۵/۲۵	۶۳	۸۷/۵	۶۵	۳/۲	متوسط
۱۴	۵/۲۱	۶۴	۸۸/۹	۶۸	۳/۵	متوسط
۱۵	۵/۱۹	۶۵	۹۰/۱	۶۳/۵	۴	متوسط
avg	۵/۲۵	۵۷	۹۳/۶	۶۳/۷	۳/۴	–

آنالیز رگرسیون

به منظور به دست آوردن روابط بین خصوصیات مهندسی پریدوتیت‌های هرسین از آنالیز رگرسیون ساده استفاده شده است. در این روش روابط بین دو متغیر تصادفی و دارای توزیع نرمال تعیین می‌گردد. در این آنالیز رگرسیون توابع خطی مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از نرم‌افزار *Excel 2013* اعتبار معادلات بدست آمده به ترتیب توسط آزمون‌های t و F مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش روابط تخمین زده شده در سطح اطمینان ۹۵ درصد آزمون شده‌اند. براساس این دو آزمون، در صورتی روابط و مقادیر ضریب تعیین معتبر خواهد بود که مقادیر t و F بدست آمده بزرگ‌تر از مقدار t و F جدول باشند. با توجه به سطح اطمینان ۹۵ درصد مقدار t جدول برابر با ۲/۱۴۴ می‌باشد. هم‌چنین مقدار F جدول با درنظر گرفتن سطح اطمینان ۹۵ درصد و درجه آزادی برابر با ۱۴/۱۵ می‌باشد.



شکل ۵. الف) رابطه شاخص ریزترک‌ها با چکش‌اشمیت در سنگ‌های پریدوتیت، ب) رابطه شاخص ریزترک‌ها با شاخص بار نقطه‌ای در سنگ‌های پریدوتیتی، ج) رابطه آزمون مقاومت فشاری تک‌محوری با شاخص ریزترک‌ها در سنگ‌های پریدوتیتی، د) رابطه مدول یانگ با شاخص ریزترک‌ها در سنگ‌های پریدوتیتی، ه) رابطه تخلخل با شاخص ریزترک‌ها در سنگ‌های پریدوتیتی، و) رابطه شاخص بار نقطه‌ای با شاخص هوازدگی شیمیایی در سنگ‌های پریدوتیتی، ز) رابطه مقاومت فشاری تک‌محوری با شاخص آلتراسیون شیمیایی در سنگ‌های پریدوتیتی.

بحث

ارتباط بین ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی با شاخص ریزترک‌ها و هوازدگی

ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی سنگ‌ها با ویژگی‌های فیزیکی آن‌ها ارتباط مشخصی دارد. این موضوع در شکل‌های ۵ برای سنگ‌های منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. شاخص ریزترک‌ها از ویژگی‌های مهم میکروپتروگرافی سنگ‌ها است که با ویژگی‌های فیزیکی و مهندسی آن‌ها ارتباط دارد. با توجه به مقادیر به دست آمده از آزمون مقاومت فشاری تک‌محوری، سختی چکش‌اشمیت و مدول‌یانگ، پارامتر شاخص ریزترک‌ها برای هر نمونه پریدوتیت طبق روابط (۳) محاسبه گردید. سپس رابطه هر یک از شاخص‌ها با مقادیر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی محاسبه شده و مورد بررسی قرار گرفته است. از بین روابط حاصل شده برای شاخص ریزترک‌ها و خصوصیات مهندسی و فیزیکی سنگ‌ها، شکل‌های ۵ الف تا ه نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۵ ه دیده می‌شود، افزایش شاخص ریزترک‌ها منجر به تخلخل می‌شود. در نتیجه مقاومت فشاری تک‌محوری، شاخص بار نقطه‌ای و مدول یانگ کاهش می‌یابد. بیش‌ترین ضریب تعیین (r^2) با توجه به شکل ۵ ب بین آزمون بارنقطه‌ای با شاخص ریزترک‌ها می‌باشد که ضریب تعیین (r^2) برابر ۰/۹۵ می‌باشد. کم‌ترین ضریب تعیین (r^2) با توجه به شکل ۵ ز بین مقاومت فشاری تک‌محوری با شاخص آلتراسیون شیمیایی می‌باشد که ضریب تعیین (r^2) برابر ۰/۴۲ می‌باشد. در جدول ۵ معادلات به دست آمده از این پژوهش و میزان ضریب تعیین (r^2) آورده شده است.

جدول ۵. معادلات بدست آمده از این پژوهش و اعتبار آن‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد

ردیف	نوع سنگ	معادلات بدست آمده	رگرسیون(R^2)	t محاسبه شده	F محاسبه شده
۱	پریدوتیت	$MI = -0.006\ SHV + 5.6009$	0.88	3.81	20.48
۲	پریدوتیت	$MI = -0.073\ Is_{50} + 5.512$	0.95	8.72	20.85
۳	پریدوتیت	$MI = -0.003\ UCS + 5.5444$	0.91	3.37	20.47
۴	پریدوتیت	$MI = -0.006\ E + 5.6426$	0.90	8.039	19.79
5	پریدوتیت	$MI = 0.609\ n + 3.9612$	0.72	2.45	15.11
6	پریدوتیت	$CIW = -0.041\ Is_{50} + 5.2658$	0.62	3.01	23.9
7	پریدوتیت	$CIA = -0.894UCS + 131.37$	0.42	2.52	18.09

نتیجه‌گیری

ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی پریدوتیت‌ها عمدتا تحت ویژگی‌های سنگ‌شناسی آن‌ها می‌باشد. شاخص ریزترک‌ها از ویژگی‌های مهم پتروگرافی سنگ‌ها است که با ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی آن‌ها ارتباط دارد. این فاکتور به شدت تحت تأثیر بافت پریدوتیت است. با توجه به نتایج آزمون‌های آزمایشگاهی و تحلیل و بررسی نمودارهای رسم شده در مورد پریدوتیت‌های هرسین، استان کرمانشاه می‌توان اظهارنظر نمود که در مقاطع آزمایشگاهی به خاطر حضور کانی‌هایی مثل سرپانتین، الیوین و پیروکسن (کلینوپیروکسن و ارتوپیروکسن) هم‌چنین وجود رگه‌های آزبست در امتداد شکستگی‌های سنگ نقاط ضعف در سنگ‌های پریدوتیتی ایجاد شده است. عملکرد گسل‌های تراستی باعث ایجاد شکستگی و تشکیل آزبست در توده سنگ‌های پریدوتیتی شده است. به‌منظور پیش‌بینی ویژگی‌های مهندسی سنگ‌ها می‌توان از آزمون‌های غیر مخرب استفاده کرد. یکی از آن‌ها آزمون چکش‌اشمیت می‌باشد. برای پریدوتیت‌های منطقه مورد مطالعه بین شاخص بار نقطه‌ای با شاخص ریزترک‌ها ضریب تعیین (r^2) خوبی دیده می‌شود که میزان ضریب تعیین (r^2) برابر ۰/۹۵ می‌باشد. کم‌ترین ضریب تعیین (r^2) با توجه به شکل ۵ ز بین مقاومت فشاری تک‌محوری با شاخص آلتراسیون شیمیایی می‌باشد که میزان ضریب تعیین (r^2) برابر ۰/۴۲ می‌باشد. ویژگی فیزیکی و مکانیکی سنگ در ارتباط با ویژگی‌های کانی‌شناسی و بافتی آن‌ها است. این موضوع در سنگ‌های منطقه به دلیل تنوع زیاد کانی‌شناسی و بافتی در پریدوتیت به‌خوبی دیده می‌شود. نتایج حاصل از این تحقیق به‌صورت زیر قابل ارائه می‌باشد.

۱- بهترین ضریب تعیین بین آزمون شاخص بار نقطه‌ای با شاخص ریزترک‌ها می‌باشد که ضریب تعیین (r^2) برابر ۰/۹۵ می‌باشد.

۲- خصوصیات مکانیکی این سنگ‌ها نسبت به خصوصیات فیزیکی همبستگی بیش‌تری را با میزان شاخص ترک‌ها در سنگ و خصوصیات کانی‌شناسی نشان می‌دهد.

۳- در تعیین خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی سنگ، اهمیت ویژگی‌های بافتی بیش‌تر از خصوصیات کانی‌شناسی می‌باشد. بدین معنا که خصوصیات دانه‌ها مانند شکل و اندازه، نوع تماس، درجه هوازدگی و شاخص ریزترک‌ها تأثیر مهمی بر روی خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی سنگ دارد.

۴- با افزایش درصد کانی‌های الیوین و پیروکسن در سنگ، میزان شاخص تراکم ریزترک‌ها در اثر هوازدگی افزایش و مقاومت کاهش می‌یابد. علت آن ساختار ضعیف کانی الیوین و پیروکسن است.

۵- طبق جدول ۲ با افزایش درجه هوازدگی میزان درصد وزنی SiO_3 و MgO کاهش‌یافته است و میزان Na_2O ثابت مانده است.

منابع

آقانباتی، ع (۱۳۸۳) زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۷ ص.

دارایی‌زاده، ز (۱۳۹۰) مطالعه کمپلکس افیولیتی شمال‌شرق کرمانشاه با تکیه ویژه بر ژئوشیمی و پترولوژی دایک‌های منطقه صحنه- هرسین، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان.

سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، نقشه زمین‌شناسی چهارگوش هرسین، مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، تهران.

فهیمی‌فر، ا.، و سروش، ح (۱۳۸۰) آزمایش‌های مکانیک سنگ، مبانی نظری و استانداردها، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ اول.

قبادی، م. ح.، امیری، م.، آلیانی، ف (۱۳۹۷) تعیین شکنندگی پریدوتیت‌ها با استفاده از خصوصیات فیزیکی و مکانیکی (مطالعه موردی: هرسین، استان کرمانشاه)، نشریه یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۱۲، شماره ۲۴، ص ۲۶ -۳۸.

قبادی، م. ح.، بهزادتبار، پ (۱۳۹۸) مطالعه پدیده هوازدگی در اسلیت‌های آهکی پیریت‌دار مزوزوئیک و مروری بر مشکلات ناشی از هوازدگی پیریت (مطالعه موردی، شهرستان اراک)، نشریه یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۱۳، شماره ۲۶، ص ۱ -۱۶.

موسوی، ا (۱۳۹۰) پتروگرافی و ژئوشیمی بازالت‌ها و پیلولاواهای وابسته به سکانس افیولیتی کرمانشاه (صحنه-هرسین)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان.

مولایی، ا (۱۳۹۲) مطالعه پتروگرافی و ژئوشیمی سنگ‌های لوکوکرات مجموعه افیولیتی کرمانشاه (صحنه-هرسین)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان.

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.

ASTM (1980) Annual Book of ASTM Standard – Natual Building Stone: Soil and Rock, part 19.

Anon (1995) The description and classification of weathering rocks for engineering purposes, Q J Eng. Geol 28, 207-242.

Deere, D. U (1968) Geological Considerations, In Rock Mechanics in Engineering.

Deere, D. U. and Miller, R. P (1966) Engineering classification and index properties for intact Rock, Technical report AFWLTR- 65116, A. F. Weapons Laboratory, Kirtland AFB, NM.

Ghobadi M. H (2000) Petrology, weathering and long-term stability slope, 8th International IAEG congress.

Irfan, T. Y (1996) Mineralogy, fabric properties and classification of weathering granites in Hong Kong ., Q. J. Eng Geol 29, pp 5-35.

ISRM (1981(b)) Suggested Methods. Rock characterization testing and monitoring, In: Brown ET, (Eds.) Oxford: Pergamon Press.

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.

Luis M.O. Sousa (2007) Granite fracture index to chek suitability of granit outcrops for quarryin Engineering Geology, 92: 146-159.

Mendes F.M., Ares Barros, L., Rodrigues, F.P (1966) the use of model analysis in the mechanical chararterization of rock masses. Cong, Rock Mech., Lisbon, 1: 217-223.

Tugrul. A (2016) Characteristics of weathering zone of granitic rocks in Malaysia for geotechnical engineering design, Engineering Geology, 200: 94-103.

Tugrul. A (2012) The influence of weathering on the engineering propertises of dunites, Rock Mech Rock Eng, 45: 225-239.

Tugrul. A., Zarif, I. H (1999) Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey, Engineering Geology, 51: 303-317.

The study of relationship weathering, mineralogical and texture of peridotite rocks with engineering geological peroperties (Case study: peridotite Harsin city, Kermanshah province)

M. H. Ghobadi[1], M. Amiri[2]* and F. Aliani[3]

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

** a.mehrdad1372@yahoo.com*

Recieved: 2019/5/25 Accepted: 2019/10/7

Abstract

Weathering is the important and controller factors of the physical and mechanical properties of peridotite rocks. The engineering properties of rocks undergo significant change due to the weathering process. Weathering depends on the mineralogical composition and peridotite texture properties. In this research, the effects of mineralogical characteristics of Harsin peridotite rocks in Kermanshah province were studied. The studies contains field investigations and laboratory tests. In field investigations, rock blocks collected and studied geological condition of the area. In laboratory studies, the thin sections of peridotites were first considered with different weathering conditions. Then, by performing physical and mechanical tests, specific gravity, unit weight, porosity, uniaxial compressive strength, Young's modulus, point-load index and hardness of samples were determined, respectively. In this study, due to the mineralogical characteristics and the degree of weathering of the peridotites, based on the degree serpentinization of rock in each stage of weathering, the effect of these factors on the engineering properties of the rock was evaluated. By using Excel software regression correlation the relationship between weathering, mineralogy and texture properties was determined by engineering geology characteristics of peridotites. These relationships have been linear functions. Also, F, t tests confirmed the 95% confidence level of proposed experimental relationships. Based on the results, the highest correlation 0.95, is founded between the point-load indexes with the index of micro-cracks. The results obtained in this study, show that the importance of texture properties is more important than mineralogical properties in determining the engineering geology properties of rocks. This means that the characteristics of grain such as shape and size, type of contact, degree of weathering, and the index of micro-crack show an important effect on the engineering geology characteristics of peridotite rocks.

Keywords*: physical properties, mechanical properties, weathering, Peridotite, Harsin*