بررسی تأثیر کانی‌شناسی بر مقاومت سنگ‌های شیستی در معدن طلای موته

علی جعفری قریه علی[۱]، غلامرضا لشکری‌پور*[۱]، ناصر حافظی مقدس[۱]، پرویز معارف‌وند[۲]
۱. دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکدهٔ علوم
۲. دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکدهٔ مهندسی معدن و متالوژی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱

چکیده

در این مطالعه شناسایی عوامل مؤثر در ریزش دیواره‌های معادن طلای موته (دیوارهٔ شرقی معدن چاه خاتون) از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. با توجه به تنوع شیست‌ها در معادن طلای چاه‌خاتون و سنجده (دو معدن فعال در این مجتمع معدنی) نسبت به مطالعهٔ کانی‌شناسی سنگ‌های شیستی در معدن طلای موته، با بررسی عوامل مهم در تغییرات مقاومت سنگ انجام شده است. با توجه به اهمیت موضوع تعداد ده نمونه از شیست‌های دیوارهٔ معادن در حال استخراج جهت انجام مطالعات کانی‌شناسی آزمایش XRD نمونه‌برداری شد. سپس بر روی این شیست‌ها آزمایش‌های مقاومت فشاری تک‌محوری[۱] و برزیلین[۲] به منظور برآورد خواص مکانیکی و تعیین کیفیت تودهٔ سنگ در دیواره‌های معدنی اقدام شد. نتایج حاکی از این است که مقاومت فشاری تک‌محوری و برزیلین در شیست‌ها نسبت مستقیم با درصد Sio_2 داشته و نسبت عکس با میزان Al_2o_3 دارد و همچنین ساختارهای ثانویه در کاهش مقاومت سنگها نقش مهمی را ایفاد می‌نماید. عواملی نظیر وجود ساختارهای ثانویه (درز و شکاف)، سطح تورق ممتد، اندازهٔ ذرات و ترکیب کانی‌شناسی نقش مهمی در نحوهٔ شکست این سنگ‌ها بازی می‌کند. مقاومت فشاری تک‌محوری شیست‌ها از ۱۰ مگاپاسکال تا ۷۲ مگاپاسکال و مقاومت برزیلین از ۱/۹ تا ۱۰/۲ مگاپاسکال متغیر است. کم‌ترین مقاومت فشاری تک‌محوری در سنگ‌های شدیداً هوازده با درصد سیلیس پایین است. نوع کانی‌های رسی سنگ‌های شیستی در پایداری دیوارهٔ معدنی مؤثر است؛ با توجه به وجود کانی رسی مونتموریلونیت نیز در دیوارهٔ شرقی معدن چاه خاتون و درصد سیلیس بالای آن مقاومت سنگ مذکور در حد متوسط می‌باشد. مقاومت فشاری تک‌محوری نمونه‌های تر و خشک در سنگ‌هایی که کانی موسکویت و کانی رسی مونتموریلونیت در آن وجود داشته، تفاوت بیشتری با سایر سنگ‌ها داشته است. به طوری که سنگ‌های دارای کانی رسی ایلیت مقاوم‌تر از کانی‌های اسمکتیت و مونتیموریلونیت‌دار می‌باشند. به طور کلی مقاومت شیست‌ها به عوامل مختلفی وابسته است و اهمیت کانی‌شناسی شیست با توجه به دخالت در تشکیل ساختارهای ثانویه در آن از اهمیت بالایی برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: کانی‌شناسی، فشاری تک‌محوری، برزیلین، مونتموریلونیت و ساختار ثانویه.

مقدمه

* نویسنده مسئول: lashkaripour@um.ac.ir

[۱] Uniaxial Compressive Strenght (UCS)

[۲] Point Load Test (PLT) and Brazilian Tensile Strenght (BTS)

[Downloaded from isme.ut.ac.ir on 2026-10-29]

معادن روباز نقش مهمی را در پایداری اقتصاد هر کشور ایفا می‌نمایند و استخراج مادهٔ معدنی با رعایت ایمنی از لحاظ اقتصادی دارای اهمیت ویژه‌ای است [۱]. بنابراین مطالعات پایداری دیوارهٔ معادن در راستای جلوگیری از ریزش دیواره‌ها به دلیل خسارت مالی بسیار با اهمیت است. از آن‌جایی که بیشتر معادن طلا در دنیا در سنگ‌های شیستی تشکیل شده است، در همین راستا در خصوص شیست‌ها مطالعات زیادی انجام شده است [۲، ۳، ٤، ٥، ٦، ۷، ۸ و ۹]؛ از طرفی انجام مطالعات مکانیکی سنگ شیست برای تعیین مقاومت آن و انجام آن مطالعات از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. مطالعات نشان داده است ترکیب کانی‌شناسی سنگ‌های شیستی در مقاومت آنها مؤثر است، از آن‌جایی که در ساختار بعضی از شیست‌ها کانی‌های رسی وجود دارد، وجود این کانی‌ها می‌تواند در کاهش مقاومت این سنگ‌ها نقش بسیار مهمی را بازی کند. می‌توان گفت نوع کانی‌های رسی در شیست‌ها روی تغییرات خزشی و شکست سنگ نقش بسیار مهمی دارد. وجود کانی‌های رسی مانند اسمکتیت و ایلیت که در جذب و دفع آب نقش مهمی را دارد، می‌توان اشاره کرد که سنگ‌های دارای کانی اسمکتیت پتانسیل بیشتری در جذب و دفع آب از سنگ‌های دارای کانی ایلیت دارند [۱۰]. به طور کلی وجود کانی‌های رسی در ساختار سنگ‌ها باعث می‌شود مقاومت آنها به مقدار زیادی کاهش یابد، از این رو از آنها به عنوان کانی مزاحم یاد می‌شود. کانی‌های رسی در سنگ باعث می‌شود که قسمتی از تنش وارده را با تغییر شکل خود رها ساخته و وجود رفتار خمیری که از ویژگی‌های شاخص آنها است، به دلیل وجود رس در بین ذرات تشکیل دهندهٔ سنگ‌های شیستی، ایجاد نمایند [۱۱]. نوع کانی‌های موجود در سنگ از اهمیت خاصی برخوردار است، به طوری که کانی‌های رسی از تجزیهٔ سایر کانی‌های سنگ تشکیل می‌شود، برای مثال کائولینیت از تجزیهٔ کانی بیوتیت در سنگ تشکیل می‌شود [۱۲]، وجود کانی‌های رسی به خاطر وجود پیوندهای نامناسب، از نظر فرایند تبادل یونی حائز اهمیت بوده و در مقاومت سنگ‌ها مؤثر است. در مطالعات نشان داده شده است که سنگ‌های شیستی که اکثراً انیزوتروپ هستند خطوط صفحه‌ای شیستوزیته که از جهت‌بندی کانی‌های سنگ به وجود می‌آید در ایجاد درز و شکاف در زمان بارگذاری سنگ نقش داشته است [۱۳].

مشخصات پتروگرافیکی مانند ساخت و بافت، کانی‌شناسی و ریزساختارها اثرات مهمی بر مقاومت سنگ‌ها دارند، تعیین مقاومت سنگ‌ها یکی از مهم‌ترین پارامترهای مورد استفاده در همه پروژه‌های مهندسی است و مقاومت فشاری تک‌محوری و مقاومت کششی غیرمستقیم عموماً به صورت تست استاندارد برای تعیین مقاومت سنگ‌ها استفاده می‌شود [١٤]. از طرفی مطالعات پتروگرافیکی همچون بافت، کانی‌شناسی و ریزساختار در سنگ‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است. از آن‌جایی که ویژگی‌های بافتی نقش مهمی در کنترل رفتارهای فیزیکومکانیکی و کیفی سنگ‌ها ایفاد می‌کند [١٤ و ١٥]. بنابراین ارتباط مؤلفه‌های بافتی، کانی‌شناسی و شیمی بلورها در پیشگویی رفتار کمی و کیفی سنگ‌ها نقش مهمی دارد. تنوع کانی‌شناسی و اندازهٔ آنها از عوامل مهم ناهمسانی در سنگ‌ها است و بر رفتارهای فیزیکی و مکانیکی سنگ‌ها تأثیر می‌گذارد. تنوع کانی‌شناسی و اندازهٔ هر دو از عوامل افزایش ناهمگونی سنگ‌ها هستند که بر روی رفتار فیزیکومکانیکی سنگها تأثیر داشته است [١٦]. از طرفی مقاومت فشاری تک‌محوری و کششی غیرمستقیم بر روی سنگ گنیس و شیل و شیست مورد بررسی قرار گرفته است و مشخص شده که وجود صفحات ضعیف باعث ناهمسانی سنگ‌ها و تغییر مقاومت آنها می‌شود [۱۷]؛ بنابراین در این تحقیق، نقش کانی‌شناسی در رفتار مهندسی شیست‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. در بیشتر مطالعات انجام

[Downloaded from jsgeq.ut.ac.ir 2022-06-30]

شده بررسی مقاومت سنگ‌ها ارائه شده است، با عنایت به وابستگی مقاومت شیست‌ها به عوامل مختلف در این تحقیق به تأثیر کانی‌شناسی بر مقاومت سنگ‌های شیستی پرداخته شده است، نمونه‌های مورد آزمایش به صورت مساوی از مناطق ریزشی و غیرریزشی معادن مذکور نمونه‌برداری شده است. هدف از انجام این آزمایش‌ها در معدن طلای موته بررسی مقاومت سنگ‌های دیوارهٔ معادن چاه خاتون و سنجده، جهت جلوگیری از ریزش دیواره‌ها در راستای شکست سنگ است.

موقعیت معدن

مجتمع معادن طلای موته در بخش شمال شرقی چهار گوش گلپایگان، در فاصلهٔ ٦ کیلومتری روستای موته واقع در جادهٔ اصفهان- گلپایگان قرار دارد. فاصلهٔ این معدن تا شهرستان گلپایگان از طریق جاده اصفهان - گلپایگان به فاصلهٔ ٥٧ کیلومتر و تا شهرستان میمه از طریق جادهٔ مذکور به فاصلهٔ ٦٠ کیلومتر و تا شهرستان دلیجان از مسیر قم- اصفهان به فاصلهٔ ٦٠ کیلومتر می‌باشد. ارتفاع معادن موجود در مجتمع از ١٨٠٠ (چاه باغ) تا ٢٢٠٠ متر (چاه خاتون) از سطح آب‌های آزاد متغیر است [١٨]. شاخص‌های عمده در ناحیهٔ طلادار موته عبارتند از: معدن طلای چاه خاتون، معدن طلای سنجده، معدن طلای دره اشکی، معدن طلای تنگه زر، معدن طلای چشمه گوهر، معدن طلای قرم قرم، معدن طلای چاه باغ، معدن طلای چاه علامه و معدن طلای سه کلپ [١٩].

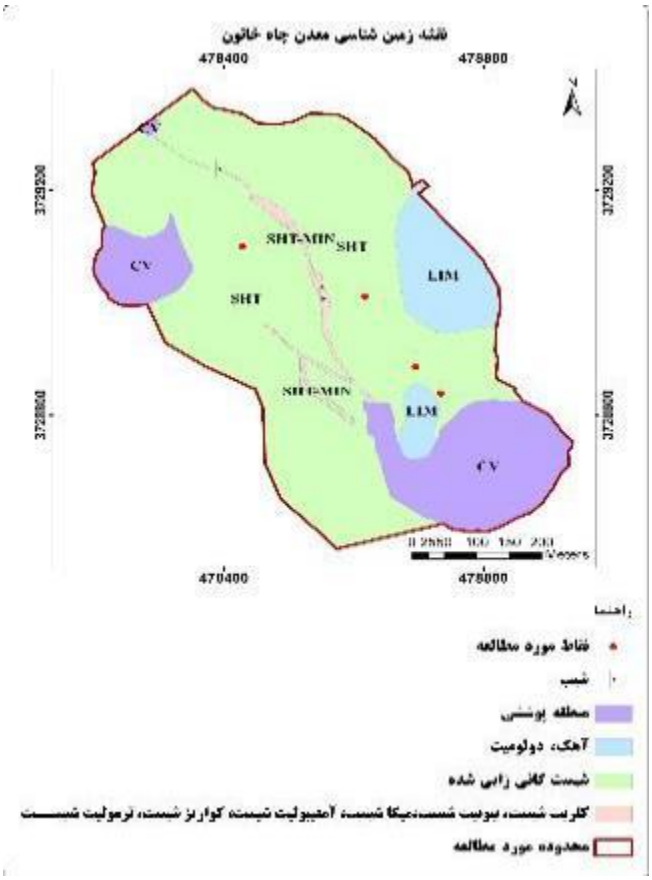
زمین‌شناسی معدن

معدن طلای موته در کمپلکسی از یک مجموعه سنگ‌های دگرگونی قرار گرفته است. شرح کامل زمین‌شناسی در این منطقه در گزارش سال ١٣٤٧ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور آمده است [١٨]. معادن طلای مذکور که اغلب در امتداد شکستگی‌های مناطق دگرسان شده پدید آمده، تماماً در اثر تجمع کانی‌های فلزی طلادار از قبیل پیریت و کالکوپیریت‌های طلادار داخل سنگ‌های منطقه در داخل شکاف‌های گسل‌های موجود به تله افتادند. به دلیل گسترش عمقی و طولی و عرضی گسل موجود کانسار توانسته در این محل‌ها تجمع یابد، لذا اغلب دارای گسترش عمقی و عرضی زیاد نبوده و گسترش طولی آنها نیز بستگی به طول گسل‌ها دارد. وضعیت زمین‌شناسی طلای موته طی چندین گزارش به‌صورت جامع توسط زمین شناسان ایرانی و خارجی بررسی شده است. کانسارهای شناخته شده در معدن طلای موته در مجموعه‌ای متامورفیک و در دوره پرکامبرین تشکیل شده است. تشکیلات پرکامبرین به‌صورت تپه ماهورهای رنگی در شمال روستای موته گسترش یافته است و شامل مجموعه تشکیلات پی[٣] و کهر است[١٩]. ذخایر طلا به شکل رگه‌ای و رگچه‌ای در داخل درزها و شکستگی‌های شیست‌ها مربوط به تشکیلات پی به‌صورت کانی‌های طلادار یافت می‌شود. مشخصات کانه‌زایی طلای مذکور توام با مشخصاتی از کیفیت سیلیسی‌شدن و سرسیتی شدن سنگ‌های دربرگیرنده همراه با برشی‌شدن رگه‌های کوارتز و کانی پیریت می‌باشد. ماده معدنی در یون‌های مینیرالیزه شده با شیب کم تا متوسط با بدنه‌های ورقه‌ای دیده می‌شود. شیب رگه در معدن سنجده در حدود ٣٠ درجه به طرف شرق است [٢٠]. در قسمت‌هایی که فعالیت معدنی در آن انجام گرفته (چاه‌خاتون و سنجده)، گزارش ذکر شده فوق مخلوط سنگ‌های دگرگونی را مرتبط به زمان پرکامبرین دانسته و از

[4] P

[Downloaded from jsbkhk.ir on 2022-06-30]

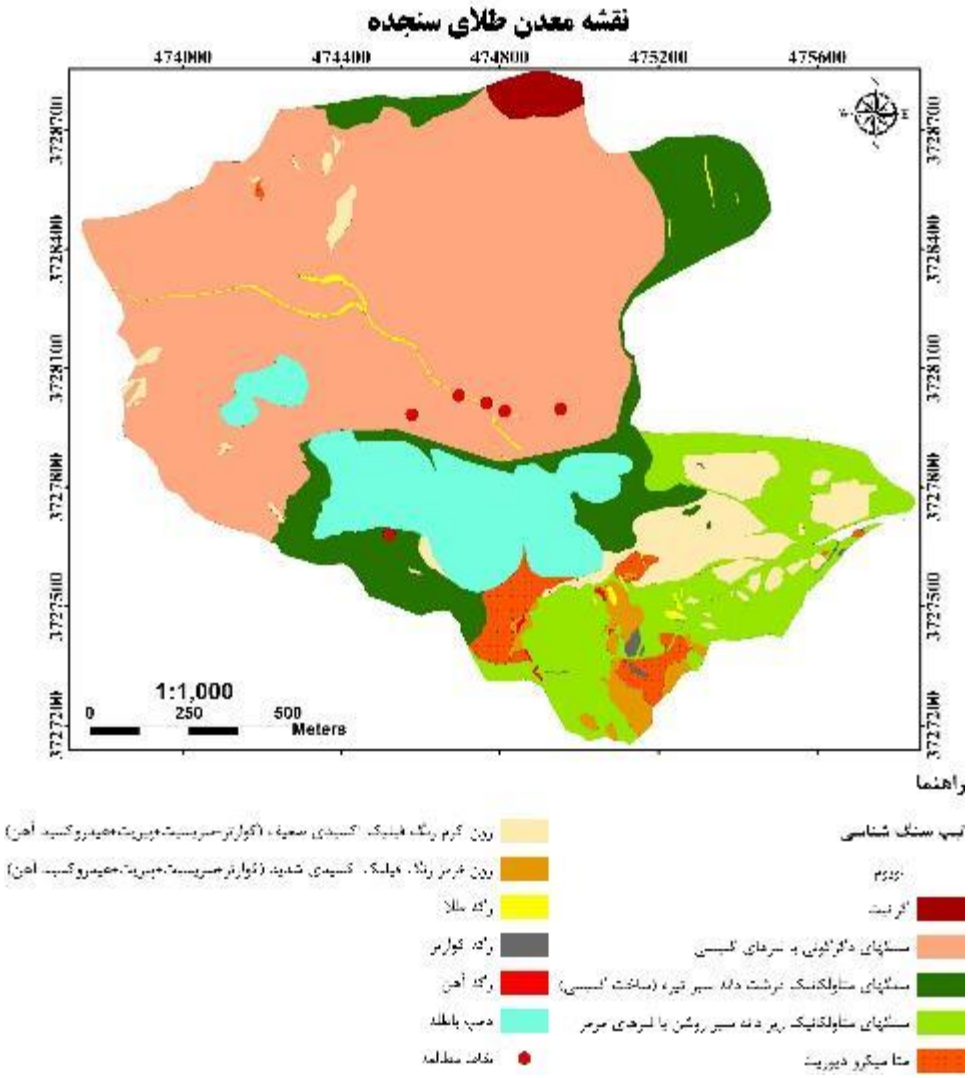
نظر سنگ شناسی آنها را مجموعه‌ای از سنگ‌های گنیس آمفیبول دار و بیوتیت دار (پاراگنیس و اورتو گنیس) و میکاشیست‌ها و کوارتزیت‌ها در نظر گرفته است. وجود گنیس‌ها را نتیجه تغییر و تبدیل عوامل دگرگونی در سنگ‌های گراواک و کوارتزیت دانسته که یک عامل دگرگونی قهقرایی بر آن اثر داشته است. در بررسی کانی‌شناسی سنگ های تشکیل دهنده معدن موته مشخص شده که نخست پیروتیت در توده آذرین تشکیل شده که نشان‌دهنده دمای بالا و فشار پایین گوگرد می‌باشد. پس از آن فاز پیریت شروع شده که نشان‌دهنده بالا رفتن فشار گوگرد می‌باشد. این توده ها به علت تاثیر آبهای جوی و زیرزمینی هوازده شده‌اند. آلتراسیون مشاهده شده در این مناطق به ترتیب اولویت گستردگی پروپیلیتیک، آرژیلیک، سیلیسی و فیلیک می‌باشد [۲۱].



شکل شمارهٔ ۱- نقشهٔ زمین‌شناسی معدن چاه خاتون و محل نمونه‌گیری در شیست‌هایی که در دیوارهٔ معدن مشکل ایجاد نموده اند [۲۲][۵].

[۵] تهیه شده در محیط GIS

[Downloaded from jsge.ut.ac.ir 2022-06-30]



شکل شماره ۲- نقشه زمین شناسی معدن سنجده و محل نمونه گیری در شیست هایی که در دیواره معدن مشکل ایجاد نموده اند [۲۳[۶]]

با توجه به مطالعات میکروسکوپی و ماکروسکوپی صورت گرفته در منطقه انواع سنگ‌های منطقه شامل: کلریت شیست، آمفیبول شیست، ترمولیت شیست، بیوتیت شیست، اپیدوت شیست، میکا شیست، گرانیت و متاگرانودیوریت به صورت آلتراسیون می‌باشد. توده عیاردار، همان متاگرانودیوریت است که همراه با پیریتیزاسیون و سیلیسیفاید شدید در امتداد گسل‌ها نفوذ کرده و سنگ دربرگیرنده آن شیست است. از نظر سنگ شناسی منطقه موته مجموعه ای از سنگهای دگرگون شده شامل ردیفی از سنگهای رسوبی (آواری و پلیتی)، آتشفشانی(بازیک و اسیدی) و ولکانی کلاستیک است که فازهای متعددی از دگرگونی و دگر ریختی را متحمل شده است. این مجموعه به صورت نوار باریک با روند عمومی شمال غرب- جنوب

[۶] تهیه شده در محیط GIS

[Downloaded from jsgkhuk.ir on 2022-06-30]

شرق، از شمال موته تا شمال گلپایگان امتداد یافته است. توده‌های نفوذی بازیک و خصوصا اسیدی و گرانیتی به صورت سیل، دایک، استوک و باتولیت به طور مکرر به این مجموعه هجوم آورده‌اند. توده‌های گرانیتی در نیمه شمال شرق متطقه موته به طور چشمگیری دیده می‌شوند. این ماگماتیسم بسیاری از آثار مربوط به رخداد دگرگونی و دگرریختی قدیمی‌تر را تحت تأثیر قرار داده است [۲۰]. در شکل شماره ۱ و ۲ موقعیت نمونه های برداشت شده مشخص شده است.

روش مطالعه

به طور کلی سنگهای دگرگونی ساختار ورقه‌ای داشته و ناهمسانی های قابل ملاحظه در رفتار مکانیکی آنها مشاهده می‌گردد و یکی از فاکتورهای تعیین کننده رفتار مکانیکی سنگها، انیزوتروپی و ناهمسانی در شیست‌ها می‌باشد. بنابراین در این مطالعه با بررسی‌های کانی‌شناسی ۱۰ نمونه شیست از معدن طلای موته در دیواره‌های معدنی معادن طلای چاه خاتون و سنجده (معادن فعال و در حال استخراج) (٦ نوع شیست در دیواره پیت معدن سنجده، به دلیل بالا بودن ذخیره بیشترماده معدنی و ٤ نوع شیست در دیواره پیت معدنی چاه خاتون با توجه به تنوع شیستها در آن معادن) مورد مطالعه قرار گرفته است، به طوریکه در دیواره‌هایی که قبلاً ریزش رخ داده نمونه‌برداری بیشتری انجام شده است. تهیه نمونه ها تا حد امکان تازه، سالم و بدون هوازدگی جهت بررسی‌های پتروگرافیکی و ژئومکانیکی انجام شد. این ۱۰ نمونه شیست انتخابی در آزمایشگاه مرکز تحقیقات فرآوری ایران واقع در کرج به صورت مقطع نازک و انجام مطالعات کانی‌شناسی مورد بررسی قرار گرفته و همچنین بر روی نمونه‌های ارسالی آنالیز XRD انجام شده است. همچنین برای تعیین پارامترهای ژئومکانیکی شیستها در آزمایشگاه معدن دانشگاه امیرکبیر آزمایشات مقاومت فشاری تک‌محوری، سه محوری و برزیلین انجام گردید. نمونه‌های مطالعات پتروگرافیکی به صورت تصویربرداری با نور معمولی در یک راستای معین و ثابت و لایه دوم تصویر-برداری با نور پلاریزان در همان راستای تصویربرداری اول انجام شد.

آزمایشات مقاومت فشاری تک محوری و مقاومت کششی برزیلین

مقاومت فشاری تک محوری و مقاومت کششی برزیلین آزمایشات استاندارد ژئوتکنیکی که عموماً برای تعیین مقاومت سنگها استفاده می‌شوند، که در بیشتر پروژه های مکانیک سنگ کاربرد دارند. هدف از انجام این آزمایشها در معدن طلای موته بررسی مقاومت سنگ های دیواره معادن چاه خاتون و سنجده، جهت جلوگیری از ریزش دیواره‌ها در راستای شکست سنگ می‌باشد. نمونه‌های تهیه شده برای آزمایشات مقاومت فشاری تک محوری توسط دستگاه مقاومت فشاری مطابق استاندارد ISRM (1979, 1978) است. آزمایش مقاومت فشاری تک محوری با نمونه های ۱۲۰ میلیمتر و نسبت طول به عرض برابر ۲/۵-۲ تحت فشار ۰/۵ مگا پاسکال در ثانیه انجام گردید. آزمایشات مقاومت کششی برزیلین با بارگذاری قطری روی نمونه با طول حدود ۳۰ میلیمتر و نسبت طول به عرض ۰/۷۵-۰/۵ تحت فشار ۰/۵ مگا پاسکال در ثانیه انجام شد. روش برزیلین یکی از مرسوم‌ترین روش‌ها برای تعیین مقاومت کششی سنگ است. اساس این آزمایش مبنی بر اعمال فشار قطر روی نمونه استوانه‌ای بوده که باعث ایجاد کشش در راستای عمود بر محور بارگذاری می‌شود. زمانی که کشش ایجاد شده از مقاومت سنگ بیشتر شود سنگ شروع به شکست کششی می‌کند. یکی از مهم‌ترین و مرسوم‌ترین آزمایش‌های مربوط

[Downloaded from jsge.ut.ac.ir 2022-06-30]

به مطالعات مکانیک سنگی، آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوره است. از جمله پارامترهایی که از این آزمایش به دست می‌آید؛ مقاومت فشاری تک‌محوره، مدول الاستیسیته و ضریب پواسون است. تعیین مقاومت فشاری تک‌محوره در پروژه‌های مهندسی سنگ بسیار اهمیت دارد. علی رغم ظاهر ساده این آزمایش عوامل زیادی در نتیجه آزمایش تأثیرگذار است که برخی از آن‌ها شامل: ترکیب کانی‌شناسی، بافت سنگ، چگالی و تخلخل سنگ، رطوبت موجود در نمونه، ابعاد نمونه، سرعت بارگذاری، نحوه آماده‌سازی نمونه و غیره می‌باشد، که در این مطالعه کلیه موارد در نظر گرفته شده است.

مطالعات و بررسی های کانی‌شناسی شیستها

شیست شماره ۱ (A_1) – معدن سنجده

طبق مطالعات میکروسکوپی حجم عمده نمونه از کوارتز با فراوانی تقریبی ٤٥ تا ٥٠ درصد تشکیل شده است. ابعاد بلورهای کوارتز بین ۰/۱ میلیمتر تا ۰/٤ میلیمتر است. کانی پلاژیوکلاز با فراوانی تقریبی ۷ تا ۱۰ درصد و به صورت بلورهای ماکل‌دار در نمونه مشاهده می‌شود. ابعاد بزرگترین بلور پلاژیوکلاز در حد ۱/۲ میلیمتر بوده و با ماکل کارلسباد قابل مشاهده است. نوع کانی پلاژیوکلاز با توجه به آنالیز XRD آلبیت تشخیص داده شده است. شیستوزیته و تناوب لایه بندی در کانی‌های کوارتز و پلاژیوکلاز مشاهده می‌شود. کانی‌های موسکوویت با فراوانی تقریبی ۳ تا ۵ درصد، بیوتیت فراوانی تقریبی ۲ تا ٤ درصد، کلریت فراوانی تقریبی ۵ تا ۷ درصد در بین بلورهای کوارتز مشاهده می‌شود. کانی آمفیبول که احتمالاً از نوع اکتینولیت است با فراوانی تقریبی ۳ تا ۵ درصد مشاهده شده است. شکستگی‌ها و رگه‌های پر شده با کلسیت نیز در نمونه مشاهده شده که فراوانی آن در حد ۳ تا ۵ درصد است. جوشش با اسید کلریدریک در نمونه دستی مشهود است. آرژیلیتی‌شدن شدید و کلریتی‌شدن نیز در نمونه مشاهده گردید. فراوانی کانی‌های رسی را می‌توان تا ۱۰ درصد تخمین زد. بر اساس نتایج آنالیز XRD نوع کانی رسی بیشتر ایلیت بوده و به مقدار کمتر دیکیت نیز ثبت شده است. با توجه به مطالعات میکروسکوپی و وجود شیستوزیته و بافت چشمی می‌توان گفت که نمونه از نوع سنگ دگرگونی احتمالاً کوارتز شیست بوده که احتمالاً از دگرگونی سنگ‌های آذرین (اسیدی) سیلیس دار بوجود آمده است (شکل شماره ۳).

شیست شماره ۲ (B_1) – معدن سنجده

بر اساس مطالعات میکروسکوپی حجم عمده نمونه از کوارتز با فراوانی تقریبی ۵۰ تا ۵۵ درصد تشکیل شده است. جهت یافتگی بلورهای کوارتز در نمونه مشاهده می‌شود. ابعاد بلورهای کوارتز بین ۰/۱ میلیمتر تا ۰/۳ میلیمتر است. خاموشی موجی در بلورهای کوارتز مشاهده می‌شود. در بین بلورهای کوارتز کانی‌های موسکوویت با فراوانی تقریبی ۷ تا ۱۰ درصد، کلریت با فراوانی در حد ٦ تا ۸ درصد مشاهده می‌شود که این کانی‌ها نیز متأثر از جهت یافتگی بوده و لایه بندی نشان می‌دهند. در نمونه دستی نیز این لایه بندی کاملاً مشخص است. همچنین مقدار تقریبی ٦ تا ۸ درصد کانی فلدسپار که با توجه به آنالیز XRD کانی آلبیت به مقدار کمتر و کانی اورتوکلاز به مقدار بیشتر مشاهده شده است. با توجه به نتایج XRD کانی‌های رسی (ایلیت، دیکیت و آلونیت) در اثر دگرسانی آرژیلیتی‌شدن در کانی‌های کوارتز و فلدسپار مشاهده شده است.

[Downloaded from jegakhuduinc.ir on 2026-10-29]

مقدار تقریبی کانی رسی را می‌توان تا ۸ درصد تخمین زد. با توجه به فراوانی کانی‌ها و شیستوزیته در سنگ، و با توجه به رده‌بندی وینکلر (۱۹۷۹) نمونه یک سنگ دگرگونی از نوع کوارتز شیست است (شکل شماره ٤).

شیست شماره ۳ (B_2) – معدن سنجده

با توجه به مطالعات میکروسکوپی جهت یافتگی در تمام نمونه و در کانی‌های موسکوویت، کوارتز و کانی‌های اوپک قابل مشاهده است. در نمونه دستی نیز این لایه بندی و شیستوزیته کاملاً مشخص است. کانی کوارتز حجم بیشتر نمونه را تشکیل داده (با فراوانی نسبی ٤۰ تا ٤۵ درصد) و در امتداد شیستوزیته کشیده شده‌اند. ابعاد بلورهای کوارتز در نمونه غالباً کمتر از ۰/۲ میلیمتر بوده اگر چه در مواردی کوارتزهایی با ابعاد ۰/۳ میلیمتر نیز مشاهده شده است.

در برخی موارد بلورهای کوارتز توسط بلورهای موسکوویت و کلریت محصور شده‌اند و بافت چشمی ایجاد کرده‌اند. کانی موسکوویت با فراوانی نسبی ۱۰ تا ۱۵ درصد و بیوتیت با فراوانی نسبی ۱ تا ۲ درصد به صورت هم رشد با یکدیگر دیده می‌شوند و فضای بین بلورهای کوارتز را پر کرده و فابریک شیستوزیته به نمونه داده‌اند. کلریت نیز تقریباً ۸ تا ۱۰ درصد نمونه را تشکیل داده و در امتداد شیستوزیته قابل مشاهده است. کانی فلدسپار به مقدار تقریبی ۳ تا ۵ درصد و به صورت ماکل دار مشاهده می‌شود که در بیشتر موارد آثار آرژیلیتی‌شدن در آنها مشهود است که با توجه به آنالیز XRD بیشتر ایلیت و دیکیت هستند. با توجه به فراوانی کانی‌ها، نحوه قرارگیری و فابریک شیستوزیته و استفاده از رده‌بندی وینکلر (۱۹۷۹) نمونه از نوع سنگ دگرگونی و کوارتز موسکوویت شیست است (شکل شماره ۵).

شیست شماره ٤ (C_2) – معدن سنجده

کوارتز در نمونه بیشترین فراوانی در حد ٤۰ تا ٤۵ درصد را دارد. اکثر بلورهای کوارتز تقریباً هم بعد بوده و با بافت گرانوبلاستی مشاهده می‌شود. همچنین لایه‌های کوارتز با ابعاد دانه درشت‌تر در حد ۰/۳ تا ۰/۵ میلیمتر در نمونه مشاهده شده است. کانی پلاژیوکلاز که طبق نتایج آنالیز XRD آلبیت تشخیص داده شده، با فراوانی تقریبی ۱۰ تا ۱۵ درصد به صورت ریز بلور و گاه درشت بلور در حد ۱/۲ میلیمتر و همچنین به صورت ماکل‌دار (کارلسباد و مرکب) مشاهده می‌شود. آلبیت‌ها تحت تأثیر دگرسانی قرار گرفته و کربناتی شدن، رسی شدن و سریسیتی شدن در سطح آنها قابل مشاهده است. کانی‌های موسکوویت با فراوانی تقریبی ۳ تا ۵ درصد، بیوتیت فراوانی تقریبی ٦ تا ۸ درصد و کلریت فراوانی تقریبی ۱۰ تا ۱۵ درصد در بین بلورهای کوارتز مشاهده می‌شود. شیستوزیته و تناوب لایه بندی در کانی‌های کوارتز و کانی‌های میکایی مشاهده می‌شود. بر اساس نتایج آنالیز XRD نوع کانی رسی بیشتر ایلیت بوده است. با توجه به مطالعات میکروسکوپی و وجود شیستوزیته و بافت چشمی می‌توان گفت که نمونه از نوع سنگ دگرگونی و احتمالاً کلریت شیست بوده است (شکل شماره ٦).

شیست شماره ۵ (D_1) – معدن سنجده

با توجه به مطالعات میکروسکوپی کانی‌های کوارتز حجم بیشتر نمونه را تشکیل داده و با بافت گرانوبلاست دیده می‌شود. ابعاد بلورهای کوارتز بین ۰/۱ میلیمتر تا ۰/۵ میلیمتر است. فراوانی کوارتز در نمونه ٤۰ تا ٤۵ درصد است. کانی‌های موسکوویت (فراوانی تقریبی ٤ تا ۵ درصد)، بیوتیت (فراوانی تقریبی ۸ تا ۱۰ درصد)، کلریت (فراوانی تقریبی ۸ تا ۱۰

[Downloaded from jsge.ut.ac.ir 2022-06-30]

درصد) و پیروکسن با فراوانی تقریبی ٤ تا ٦ درصد در بین بلورهای کوارتز و با فابریک جهت یافته قرار گرفته‌اند. آنالیز XRD نوع دیوپسید را برای پیروکسن تشخیص داده است. شکستگی‌ها و رگه‌های پر شده با کلسیت در نمونه مشاهده شده که فراوانی تقریبی آن به ۵ تا ٦ درصد می‌رسد. کانی‌های ایلیت و پرووسکیت نیز در نتایج آنالیز XRD تشخیص داده شد. با توجه به بافت گرانوبلاستی کانی‌ها و وجود شیستوزیته، نمونه یک سنگ دگرگونی و احتمالاً کوارتز شیست است (شکل شماره ۷).

شیست شماره ٦ (E_1) – معدن سنجده

در نمونه دستی شیستوزیته و فابریک ورقه‌ای دیده می‌شود و بر اساس مطالعات میکروسکوپی کانی‌های آمفیبول که طبق آنالیز XRD از نوع هورنبلند هستند با فراوانی تقریبی ۳۰ تا ۳۵ بیشترین حجم نمونه را تشکیل داده است. ابعاد کانی آمفیبول تا ۰/٦ میلیمتر نیز می‌رسد. بافت کانی‌های آمفیبول به صورت شعاعی و تیغه‌ای می‌باشد. کانی پلاژیوکلاز با فراوانی تقریبی ۱۰ تا ۱۵ درصد مشاهده شده که با توجه به آنالیز XRD بیشتر از نوع سدیم‌دار و آلبیتی می‌باشند. نوع کانی رسی با توجه به آنالیز XRD ایلیت تشخیص داده شده است. با توجه به مطالعات میکروسکوپی و وجود شیستوزیته می‌توان گفت که نمونه از نوع سنگ دگرگونی احتمالاً آمفیبولیت شیست است (شکل شماره ۸).

شیست شماره ۷ (XA) – معدن چاه خاتون

بر اساس مطالعات میکروسکوپی حجم عمده نمونه از کوارتز با فراوانی ٤۵ تا ۵۰ درصد تشکیل شده است. بافت گرانوبلاست دانه‌های کوارتز با ابعادی متفاوت (۰/۱ تا ۰/٤ میلیمتر) مشاهده می‌شود. دانه‌های درشت بلور کوارتز به نظر می‌رسد که در اثر تبلور مجدد تشکیل شده است. کانی پلاژیوکلاز که با توجه به آنالیز XRD آلبیت تشخیص داده شده، با فراوانی تقریبی ۱۰ تا ۱۵ درصد مشاهده گردید. کانی موسکوویت به صورت ریز بلور و کشیده در فواصل بین بلورهای کوارتز و آلبییت و در جهت شیستوزیته سنگ قرار دارد. دگرسانی‌های کلریتی‌شدن و رسی‌شدن در مجموع با فراوانی تقریبی ۸ تا ۱۰ درصد مشاهده می‌شود. کانی بیوتیت نیز به مقدار تقریبی ۳ تا ٤ درصد مشاهده شده که در اثر اکسیداسیون بیشتر کلریتی شده و در برخی موارد با آغشتگی‌هایی از اکسیدهای آهن مشاهده می‌شوند.

کانی‌های اوپک نمونه پیریت، مگنتیت، هماتیت و گوتیت است. بلورهای خودشکل پیریت با ابعاد ۰/۲ میلیمتر تا ۰/۵ میلیمتر، مگنتیت مارتیتی شده به هماتیت با ابعاد ۰/۲ تا ۰/۳ میلیمتر مشاهده می‌شود. هماتیت در اثر اکسیداسیون شدیداً گوتیتی شده است. گوتیت همچنین به صورت پرشدگی رگه-رگچه‌ای و آغشتگی‌های سطحی قابل مشاهده است. مگنتیت در برخی موارد شدیداً مارتیتی شده و تنها بخش کوچکی از آن باقی مانده است. بافت منطقه‌ای و زونینگ در برخی بلورهای هماتیت و گوتیت مشاهده می‌شود. نمونه شدیداً سست بوده و دگرسانی کلریتی شدن و رسی شدن شدید نشان می‌دهد. نمونه دستی نیز شدیداً سست بوده و با انگشت خرد می‌شود. با توجه به فراوانی کانی‌ها و شیستوزیته در سنگ، نمونه یک سنگ دگرگونی از نوع کوارتز شیست است (شکل شماره ۹).

[Downloaded from jsgkhuduinoir.ir 2022-06-30 29]

شیست شماره ۸ (XB) – معدن چاه خاتون

بر اساس مطالعات میکروسکوپی حجم عمده نمونه از پلاژیوکلاز که با توجه به آنالیز XRD آلبیت تشخیص داده شده، با فراوانی تقریبی ۲۰ تا ۲۵ درصد تشکیل شده است. کوارتز نیز به مقدار تقریبی ۱۰ درصد در نمونه مشاهده می‌شود. ابعاد تقریبی بلورهای کوارتز و آلبیت کمتر از ۰/۳ میلیمتر است. بافت نمونه گرانوبلاست است و در بین آنها پرشدگی‌های رگه–رگچه‌ای، پرشدگی در شکستگی‌ها و حفرات با دولومیت مشاهده می‌شود. فراوانی دولومیت در نمونه ۱۰ تا ۱۲ درصد است. دگرسانی‌های کلریتی شدن و رسی شدن در مجموع با فراوانی تقریبی ۷ تا ۱۰ درصد مشاهده می‌شود. کانی‌های موسکوویت با فراوانی تقریبی ۵ تا ۸ درصد، بیوتیت با فراوانی تقریبی ۸ تا ۱۰ درصد مشاهده شده که این کانی‌ها نیز متأثر از جهت یافتگی بوده و لایه بندی نشان می‌دهند. با توجه به فراوانی کانی‌ها و شیستوزیته در سنگ، و با توجه به رده‌بندی وینکلر (۱۹۷۹) نمونه یک سنگ دگرگونی از نوع میکا شیست است (شکل شماره ۱۰).

شیست شماره ۹ (XC) – معدن چاه خاتون

بر اساس مطالعات میکروسکوپی حجم عمده نمونه از کوارتز و پلاژیوکلاز با بافت گرانوبلاست و با فراوانی تقریبی ۴۰ تا ۴۵ درصد تشکیل شده است. با توجه به اینکه نمونه شدیداً دگرسان شده و سست بوده، کوارتز به صورت رنگی دیده می‌شوند.ابعاد بلورهای کوارتز در حد ۰/۱ میلیمتر تا ۰/۴ میلیمتر است. کانی پلاژیوکلاز طبق آنالیز XRD بیشتر از نوع سدیم دار و آلبیت تشخیص داده شده است. کانی آلبیت در بیشتر موارد به صورت ماکل دار و با ابعاد تقریبی ۰/۱ تا ۱/۱ میلیمتر مشاهده می‌شود. سطح کانی‌های آلبیت در اثر دگرسانی شدید رسی شده و به حالت غبارآلود مشاهده می‌گردد. نوع کانی‌های رسی بر اساس نتایج آنالیز XRD، کائولینیت و دیکیت تشخیص داده شد. فراوانی کانی‌های رسی تقریباً به ۸ تا ۱۰ درصد می‌رسد. کانی مافیک نمونه بیوتیت با فراوانی تقریبی ۷ تا ۱۰ درصد است که در اکثر موارد به کلریت دگرسان شده‌اند. فراوانی کلریت در نمونه نیز به ۱۵ تا ۲۰ درصد می‌رسد. با توجه به فراوانی کانی‌ها و شیستوزیته در سنگ، نمونه یک سنگ دگرگونی از نوع کوارتز شیست با دگرسانی شدید است (شکل شماره ۱۱).

شیست شماره ۱۰ (XD) – معدن چاه خاتون

بر اساس مطالعات میکروسکوپی کوارتز با فراوانی تقریبی ۴۰ تا ۵۰ درصد حجم عمده نمونه را تشکیل شده است. ابعاد متفاوت بلورهای کوارتز از ۰/۱ میلیمتر تا ۱ میلیمتر با بافت گرانوبلاست مشاهده می‌شود. کانی پلاژیوکلاز که با توجه به آنالیز XRD آلبیت تشخیص داده شده، با فراوانی تقریبی ۱۰ تا ۱۲ درصد مشاهده می‌شود. ابعاد بزرگترین بلور آلبیت به ۱/۵ میلیمتر می‌رسد. اکثر بلورهای آلبیت دارای ماکل کارلسباد بوده و ادخال‌هایی از کانی‌های کوارتز، کانی اوپک، آپاتیت و موسکوویت‌های ریز بلور در سطح آنها مشاهده می‌شود. در اثر دگرسانی رسی شدن نیز در آنها اتفاق افتاده است و با توجه به نتیجه آنالیز XRD نوع کانی رسی ایلیت تشخیص داده شده است. کانی بیوتیت با فراوانی ۱۰ تا ۱۵ درصد به صورت بلورهای کشیده در جهت شیستوزیته، و در برخی موارد در اطراف بلورهای دانه درشت اوپک، آلبیت و کوارتز مشاهده

[Downloaded from jsge.ut.ac.ir 2022-06-30]

می‌شود. موسکوویت با فراوانی تقریبی ۵ تا ٦ درصد، هم به صورت دانه ریز (سریسیت) و ادخال در آلبیت‌ها و هم در بین بلورهای کوارتز قابل مشاهده است. با توجه به فراوانی کانی‌ها و شیستوزیته در سنگ، نمونه یک سنگ دگرگونی از نوع کوارتز شیست است (شکل شماره ۱۲).

ارتباط بین کانی شناسی و مقاومت سنگ شیست

در خصوص کانی‌های مهم و نوع آن در سنگهای شیستی معدن طلای موته در جدول ۱ کانی های این شیستها مورد بررسی قرار گرفته و همچنین در جدول شماره ۲ ترکیب کانی شناسی نمونه‌ها بر اساس درصد کانی‌ها با توجه به بافت سنگهای شیستی معدن طلای موته مشخص شده است. از طرفی در جدول شماره ۳ آنالیز XRF سنگهای شیستی معدن طلای موته مشخص گردیده است و همچنین در جدول شماره ٤ مقاومت فشاری تک محوری و برزیلین در سنگهای شیستی معدن طلای موته درج گردیده است. اندازه گیری مقاومت این سنگها طی شرایط یکسان برای تمامی شیستها انجام شده است (عمود یا موازی بر لایه‌بندی) و مقدار آن در حالت‌های خشک یا مرطوب برای تمامی شیستها مورد آزمایش قرار گرفته است. در شکل شماره ١٤ و ١٥ مقایسه درصد سیلیس و آلومین با مقاومت فشاری تک محوری و برزیلین (مقدار مقاومت ها نرمال شده‌اند) طی نمودارهای مقایسه‌ای نشان داده شده است.

به طور کلی عوامل مهم (که) در مقاومت سنگهای شیستی نقش مهمی را ایفاد می‌نماید ترکیب کانی‌شناسی و ساختارهای ثانویه در سنگ می‌باشد، یکی از عوامل مهم که باعث ایجاد ساختارهای ثانویه در سنگها می‌گردد، نوع کانی‌های سنگ می‌باشد. نتایج آزمایشات نشان می‌دهد که مقاومت فشاری تک‌محوری و کششی غیرمستقیم در شیستها نسبت مستقیم با درصد Sio_2 و نسبت عکس با میزان Al_2o_3 دارد، می‌توان اشاره نمود که میزان مقاومت سنگ شیست نسبت مستقیم با ترکیب کانی‌شناسی دارد، بطوریکه وجود درصد کانیهای مقاوم‌تر باعث افزایش مقاومت سنگ می‌گردد. با توجه به اینکه وجود ساختارهای ثانویه سنگ در میزان مقاومت تأثیر بسیار مهمی را دارد، در بیشتر موارد باعث کاهش مقاومت کلی سنگ می‌گردد. برای مثال در نمونه سنگ B_2 با آنکه درصد سیلیس بالا می‌باشد ولی وجود ساختار ثانویه باعث کاهش مقاومت سنگ شده است. یک از عوامل دیگر که باعث کاهش مقاومت سنگها می‌گردد، درصد هوازدگی کانی‌ها بوده و در مقاومت سنگ مؤثر است؛ به طوریکه کمترین مقاومت فشاری تک محوری در سنگهای شدیداً هوازده با درصد سیلیس پایین می‌باشد (نمونه XC – شماره ۹).

نوع کانی‌های رسی و درصد میزان آنها در سنگ در میزان مقاومت فشاری تک محوری در حالت تر و خشک مؤثر می‌باشد. به طوری که در سنگهای که کانی مونتموریلونیت وجود دارد تفاوت مقاومت فشاری تک محوری در حالت تر و خشک متفاوت می‌باشد، همچنین می‌توان نتیجه گرفت که در سنگ‌هایی که در آنها کانی رسی ایلیت وجود دارد از لحاظ مقاومت فشاری تک محوری مقاومتر می‌باشند. به طور کلی مقاومت شیستها به عوامل مختلفی وابسته می‌باشد که در زیر به آنها اشاره می‌شود:

۱- ناهمسانگردی شیستها (ساختار ثانویه): یکی از ویژگی‌های ذاتی توده‌سنگها می‌باشد و هر گونه سطح ناپیوستگی را در بر می‌گیرد در شیستها سطوح تورق، لایه‌بندی، شکستگی‌ها و درزه‌ها از مهمترین آنها می باشد. بنابراین مقاومت سنگ با راستای قرارگیری کانی‌ها مرتبط می‌باشد.

[Downloaded from jeg.khu.ac.ir on 2022-06-30]

۲- درجه دگرگونی سنگهای شیستی: یکی از عواملی که در کاهش ناهمسانگردی شیستها موثر می‌باشد بالا رفتن درجه دگرگونی و نتیجه رشد و تبلور دوباره کانی‌ها بوده که ناهمسانگردی سنگ را کاهش می‌دهد. از آنجائیکه اکثر سنگهای معدن طلای موته در دگرگونی ناحیه ای تشکیل شده‌اند (در معادن چاه خاتون و سنجده) و کانی‌های آن کوارتز، میکاها، گارنت، آلبیت و فلدسپات آلکالن می‌باشد، لذا در این مطالعه فقط تحت تأثیر کانی‌های مقاوم در این سنگها می‌باشد.

۳- وجود کانی‌های رسی: وجود کانی‌های رسی در ساختار سنگها مقاومت آنها را به مقدار زیادی کاهش می‌دهد. سنگهای رسی به به خاطر رفتار خمیری ناشی از وجود رس بین ذرات تشکیل دهنده ساختار سنگ و پیوندهای ضعیف که بر اثر طی نکردن رفتار تکامل در بین آنها وجود دارد قسمتی از تنش وارده را با تغییر شکل خود رها می‌سازند. به طوریکه سنگهای دارای کانی رسی ایلیت مقاوم‌تر از کانیهای اسمکتیت و مونتیموریلونیت‌دار می‌باشند.

٤- کانی‌شناسی شیستها: وجود کانیهای مقاوم مانند کوارتز (SiO_2) باعث افزایش مقاومت و Al_2O_3 باعث کاهش مقاومت سنگ شیست می‌گردد. از آنجائیکه کانی‌های موجود در شیست باعث ایجاد ساختار ثانویه می‌گردند برای مثال وجود بیوتیت و مسکویت باعث لایه‌بندی در شیست می‌گردد، نوع کانی‌های موجود در مقاومت شیست موثر می‌باشد. همچنین وجود میکا و کلسیت مقاومت نهایی را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد.

نتیجه‌گیری

یکی از عوامل مهم (که) در مقاومت سنگهای شیستی نقش مهمی را ایفاد می‌نماید ترکیب کانی‌شناسی و ساختارهای ثانویه در سنگهای شیستی می‌باشد، از آنجائیکه نوع کانی‌های موجود در سنگ در ایجاد ساختارهای ثانویه مؤثر می‌باشد و از طرفی باعث ایجاد شیستوزیته در شیستها می‌گردد، در میزان مقاومت آنها نقش مهمی را بازی می‌کند. وجود کانی هایی مانند کلریت و بیوتیت که در ایجاد شیستوزیته نقش مهمی دارد در شکست سنگ شیستی دارای اهمیت می‌باشد. وجود کانی‌های مختلف در سنگهای شیستی باعث ایجاد انیزوتروپی ساختاری در سنگ و تغییرات متنوع در میزان مقاومت سنگ می‌گردند. همچنین نتایج آزمایش‌ها در سنگهای شیستی نشان می‌دهد که مقاومت فشاری تک‌محوری و کششی غیر مستقیم در شیستها نسبت مستقیم با درصد Sio_2 و نسبت عکس با میزان Al_2o_3 دارد، می‌توان اشاره کرد که میزان مقاومت آنها نسبت مستقیم با ترکیب کانی‌شناسی داشته، بطوریکه وجود درصد کانیهای مقاوم‌تر باعث افزایش مقاومت سنگ می‌گردد. از طرفی وجود ساختارهای ثانویه سنگ در میزان مقاومت تأثیر بسیار مهمی دارد بطوریکه در بیشتر موارد باعث کاهش مقاومت کلی سنگ‌های شیستی می‌شود.

نوع کانی‌های رسی و درصد میزان آنها در سنگ در مقاومت فشاری تک محوری در حالت تر و خشک مؤثر است. در سنگهای که در آنها کانی مونتموریلونیت وجود دارد تفاوت مقاومت فشاری تک محوری در حالت تر و خشک متفاوت است، همچنین می‌توان نتیجه گرفت که در سنگ‌هایی که در آنها کانی رسی ایلیت وجود دارد از لحاظ مقاومت فشاری تک محوری مقاومتر است. به طور کلی مقاومت شیست‌ها به عوامل مختلفی مانند ناهمسانگردی شیستها (ساختار ثانویه)، درجه دگرگونی سنگهای شیستی، کانی شناسی موجود در سنگهای شیستی، وجود کانی‌های رسی و مقدار آب محتوی (رطوبت شیست) وابسته است. با توجه به وجود لایه‌بندی و شیستوزیته شیستها و تنوع کانی‌شناسی در شیستها بررسی مقاومت شیستها بسیار پیچیده است و کلیه موارد بایستی به دقت مورد بررسی قرار گیرد.

[Downloaded from jsge.ut.ac.ir 2022-06-30]

جدول شماره ۱- کانی‌های مهم و نوع آن در سنگهای شیستی معدن طلای موته

ردیف	شماره نمونه	نوع شیست	کانیهای مهم
۱	**شماره ۱**	کوارتز شیست (A_1)	کوارتز-پلاژیوکلاز، موسکوویت، کلریت، بیوتیت، کلسیت اکتینولیت و کانی¬های رسی -شیستوزیته
۲	**شماره ۲**	کوارتز شیست (B_1)	کوارتز -موسکوویت، کلریت، فلدسپار، کانی¬های رسی، آمفیبول، بیوتیت و اکسید و هیدرواکسید¬های آهن
۳	**شماره ۳**	کوارتز موسکوویت شیست (B_2)	کوارتز - کلریت، فلدسپار، کانی¬های رسی، موسکویت، اکسید و هیدرواکسید¬های آهن و آمفیبول
٤	**شماره ٤**	کلریت شیست (C_2)	کوارتز، پلاژیوکلاز (آلبیت) و کلریت -موسکوویت، بیوتیت، کانی¬ رسی، آمفیبول و کانی اوپک
٥	**شماره ٥**	کوارتز شیست (D_1)	کوارتز-موسکوویت، کلریت، بیوتیت، پیروکسن، کلسیت، کانی رسی و اکسید و هیدرواکسید¬های آهن
٦	**شماره ٦**	هورنبلند شیست (E_1)	پلاژیوکلاز (آلبیت)، آمفیبول (هورنبلند) -کوارتز، کلریت، موسکوویت، بیوتیت، کوردیوریت
۷	**شماره ۷**	کوارتز شیست (XA)	کوارتز، پلاژیوکلاز (از نوع آلبیت) - موسکوویت، کلریت، کانی¬های¬ رسی، بیوتیت و کانی اوپک
۸	شماره ۸	میکا شیست (XB)	پلاژیوکلاز (از نوع آلبیت) و دولومیت-کوارتز، موسکوویت، کلریت، کانی¬های¬ رسی، بیوتیت و پیریت، مگنتیت، گوتیت، هماتیت و آپاتیت
۹	شماره ۹	کوارتز شیست شدیداً دگرسان شده (XC)	پلاژیوکلاز(از نوع آلبیت)، کلریت و کوارتز-دولومیت، کانی¬های¬ رسی، بیوتیت، کانی اوپک(پیریت، مگنتیت، گوتیت، هماتیت)، موسکوویت ریز بلور (سریسیت) و اکسید و هیدرواکسید¬های آهن
۱۰	شماره ۱۰	کوارتز شیست (XD)	کوارتز، پلاژیوکلاز (از نوع آلبیت) و بیوتیت-موسکوویت، کلریت

جدول شماره ۲- ترکیب کانی‌شناسی نمونه ها بر اساس درصد کانی‌ها با توجه به بافت سنگهای شیستی معدن طلای موته

ردیف	نوع شیست	کوارتز (٪)	پلازیوکلاز (آلبیت) (٪)	موسکویت (٪)	بیوتیت (٪)	کلریت (٪)	آمفیبول (٪)	شکستگی با کلسیت (٪)	کانی رسی (٪)	کانی فلزی و اپک (٪)
۱	**شماره ۱**	۵۰	۱۰	۵	٤	۷	۵	۵	۱۰	٤
۲	**شماره ۲**	۵۵	۸	۱۰	–	۸	٤	–	۸	۷
۳	**شماره ۳**	٤۵	۵	۱۵	۲	۱۰	۵	–	٦	۱۲
٤	**شماره ٤**	٤۱	۱۰	۳	٦	۱۵	۲	۳	۱۰	۱۰
۵	**شماره ۵**	٤۵	٤	۵	۱۰	۱۰	٦	۵	۱۰	۵
٦	**شماره ٦**	۸	۱۵	۱۰	۱۰	۱۰	۳۵	–	۱۰	۲
۷	**شماره ۷**	۵۰	۱۵	۱۰	٤	۱۰	–	–	٦	۵
۸	**شماره ۸**	۱۰	۲۵	۸	۱۰	۱۰	۵	۱۲	۱۰	۱۰
۹	**شماره ۹**	۲۵	۲۰	–	۱۰	۲۰	–	٤	۱۰	۱۱
۱۰	**شماره ۱۰**	۵۰	۱۲	٦	۱۵	۹	–	–	٦	۲

[Downloaded from jsgkhuduinir.ir on 2022-10-29]

جدول شماره ۳- آنالیز XRF سنگهای شیستی معدن طلای موته

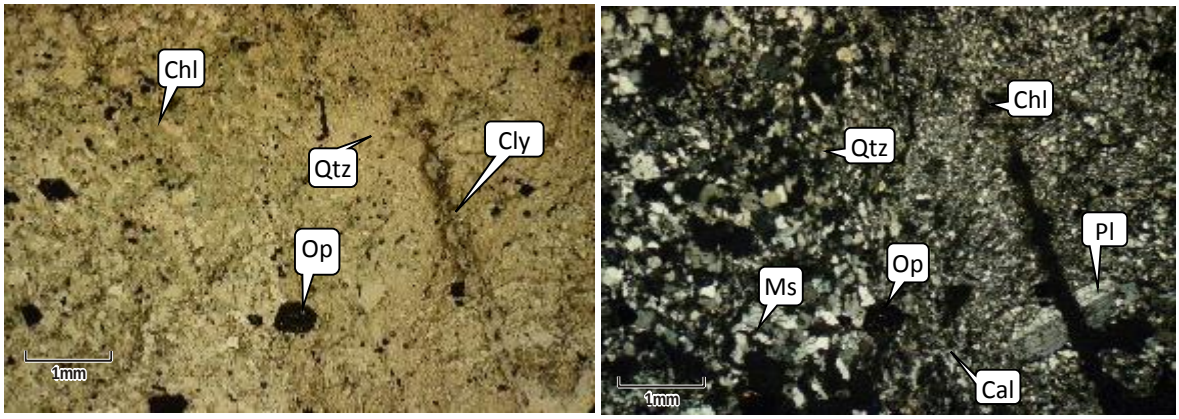
ردیف	نوع شیست	Sio_2 (٪)	Al_2O_3 (٪)	CaO (٪)	MgO (٪)	TiO_2 (٪)	Fe_2O_3 (٪)	Na_2O (٪)	K_2O (٪)	LO.I (٪)
۱	شماره ۱	۶۰/۵۲	۱۲/۸۱	۱/۳۱	۴/۳۷	۱/۰۱	۱۰/۹۲	۴/۰۸	۰/۹۷	۲/۹۵
۲	شماره ۲	۷۰/۴۲	۱۴/۲۸	۹/۲۲	۹/۶۴	۰/۱۹	۱/۳۱	۱/۱۴	۵	۲/۰۹
۳	شماره ۳	۶۶/۷۶	۱۷/۶۱	۰/۲۱	۱/۴۶	۰/۲۱	۳/۰۴	۱/۹۵	۴/۸۹	۲/۷۱
۴	شماره ۴	۵۳/۶۷	۱۴/۴۷	۱/۴۵	۶/۴۱	۱/۱۶	۱۲/۸۱	۳/۹۲	۰/۶۷	۳/۹۱
۵	شماره ۵	۵۹/۸۸	۱۳/۵۶	۲/۹۳	۴/۳۸	۰/۷۷	۱۰/۳۱	۳/۲۱	۱/۱۸	۳/۴۱
۶	شماره ۶	۴۲/۴۹	۱۴/۲۸	۹/۲۲	۹/۶۴	۱/۳۱	۱۳/۲۷	۱/۱۴	۴/۰۵	۴/۰۵
۷	شماره ۷	۶۱/۶۱	۱۴/۱۷	۰/۵۶	۲/۵۵	۰/۷۴	۸/۴۹	۵/۵۹	۰/۱۱	۵/۵۵
۸	شماره ۸	۴۱/۸۴	۱۶/۳	۴/۰۸	۳/۶۳	۱/۹۶	۱/۹۶	۵/۴۶	۱/۲۳	۷/۸۲
۹	شماره ۹	۵۲/۲۹	۱۶/۷	۲/۶۸	۴/۷۸	۰/۹۷	۱۲/۸	۳/۱۲	۱/۶۴	۴/۴۵
۱۰	شماره ۱۰	۶۱/۰۸	۱۳/۶۴	۰/۹۶	۴/۸۷	۰/۷۹	۸/۴۸	۳/۶۶	۳/۴۶	۲/۳

جدول شماره ۴- مقاومت فشاری تک محوری و برزیلین در سنگهای شیستی معدن طلای موته

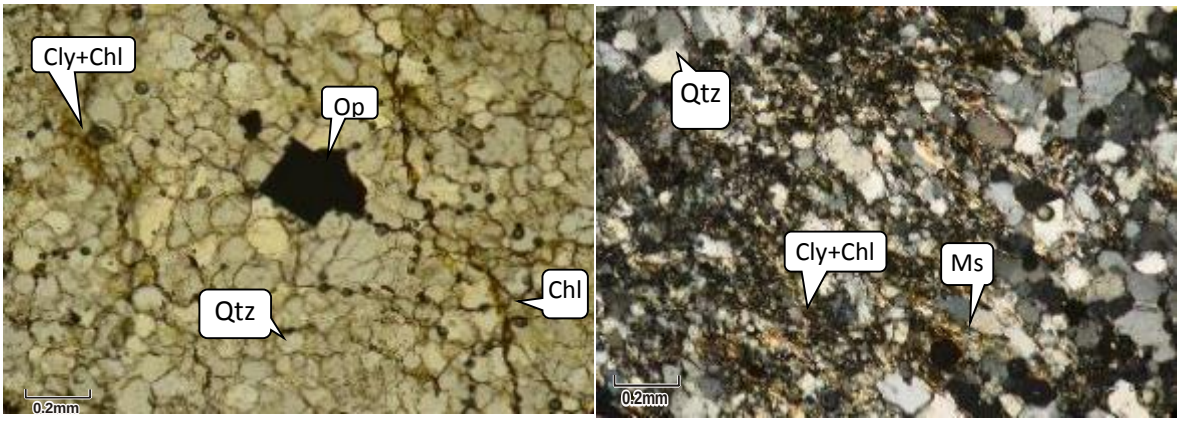
ردیف	نوع آزمایش	مقاومت فشاری تک محوری (خشک و مرطوب)				مقاومت برزیلین (خشک و مرطوب)			
	نوع شیست	میانگین	حداقل*	حداکثر	انحراف معیار	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار
۱	شماره ۱	۷۰/۴	۶۹/۱	۷۱/۸۱	۱/۴	۹/۷	۹/۲۲	۱۰/۲۳	۰/۵
۲	شماره ۲	۶۶/۱	۲۵/۳	۶۸/۴۲	۱/۹	۸/۵	۷/۴	۹/۶	۱/۱
۳	شماره ۳	۳۵/۱	۱۰	۴۰/۱	۱/۷	۷/۹	۴/۵	۸/۶	۰/۳
۴	شماره ۴	۳۰/۲	۲۹/۱	۳۱/۳	۱/۱	۲/۳	۱/۸۹	۲/۷۶	۰/۴
۵	شماره ۵	۲۹/۷	۲۰/۴	۳۲/۱	۰/۹	۷/۶	۴/۱	۸/۲	۰/۷
۶	شماره ۶	۲۱/۲	۱۹/۱	۲۸/۱	۱/۶	۳/۶	۲/۷	۴/۶	۰/۴
۷	شماره ۷	۴۲/۳	۳۷/۱	۴۷/۵	۵/۲	۵/۲	۴/۸	۵/۵۱	۰/۳۶
۸	شماره ۸	۱۹/۷	۱۹/۲	۲۰/۲۵	۰/۶	۴/۶	۴/۴	۴/۸	۰/۱۴
۹	شماره ۹	۲۴/۵	۱۴/۱	۲۸/۱	۱	۲/۵	۲/۱	۲/۹	۰/۴
۱۰	شماره ۱۰	۵۶/۴	۵۴/۲	۵۸/۶	۲/۲	۹/۱	۷/۴	۹/۷	۰/۶۵

* میزان حداقل مقاومت فشاری در حالت مرطوب و موازی با لایه‌بندی بدست آمده است.

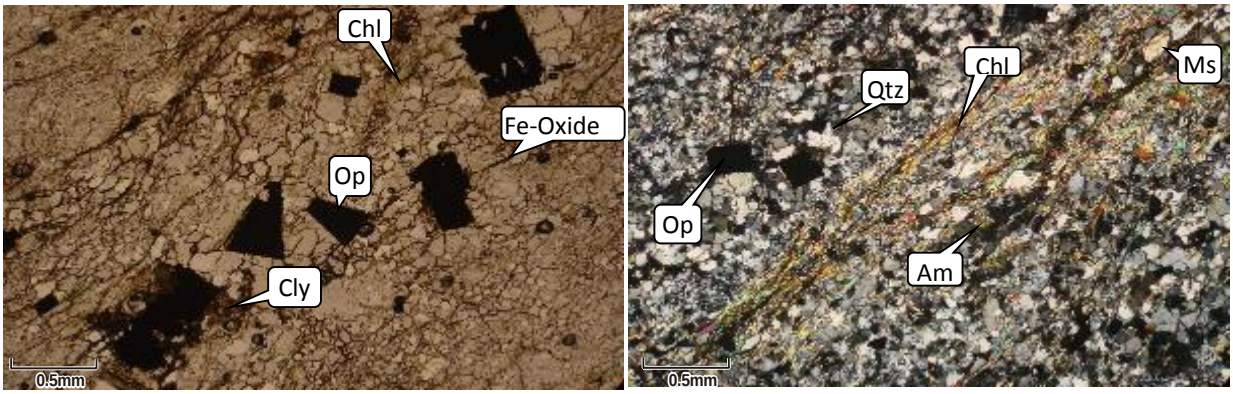
[Downloaded from jegakhuduinsir.com on 2022-06-30]



شکل شماره۳ – مقطع کانی‌شناسی شیست (A_1)، بخش عمده نمونه از کانی کوارتز تشکیل شده است (نور عبوری **XPL**). (سمت راست)؛ کلریتی شدن و آرژیلیتی شدن در نمونه مشاهده می‌شود (نور عبوری **PPL**). (سمت چپ).

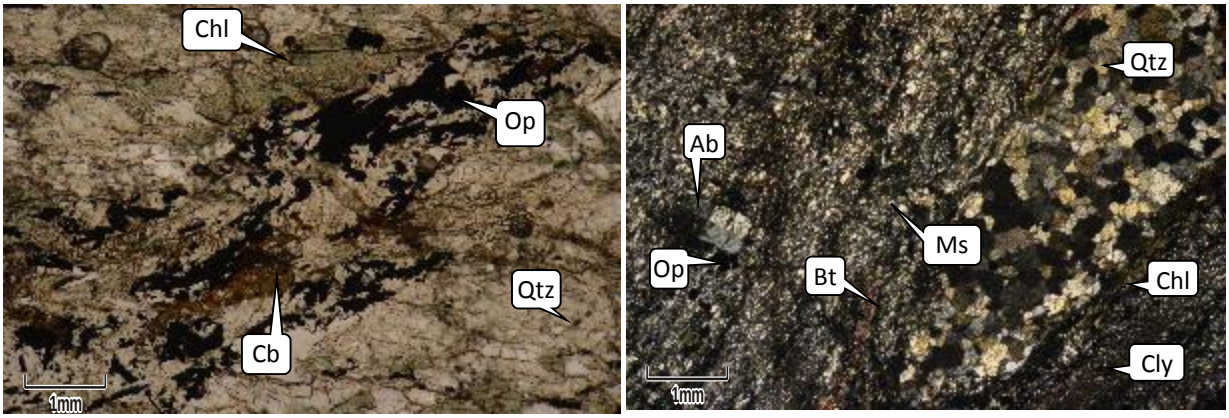


شکل شماره- ٤، مقطع کانی‌شناسی شیست- (B_1)، جهت یافتگی کانی‌های موسکوویت و کوارتز در نمونه مشاهده می‌شود (نور عبوری **XPL**). (سمت راست)؛ کلریتی شدن و آرژیلیتی شدن به صورت رگه- رگچه‌ای در مرز بین دانه‌های کوارتز تشکیل شده است (نور عبوری **PPL**). (سمت چپ).

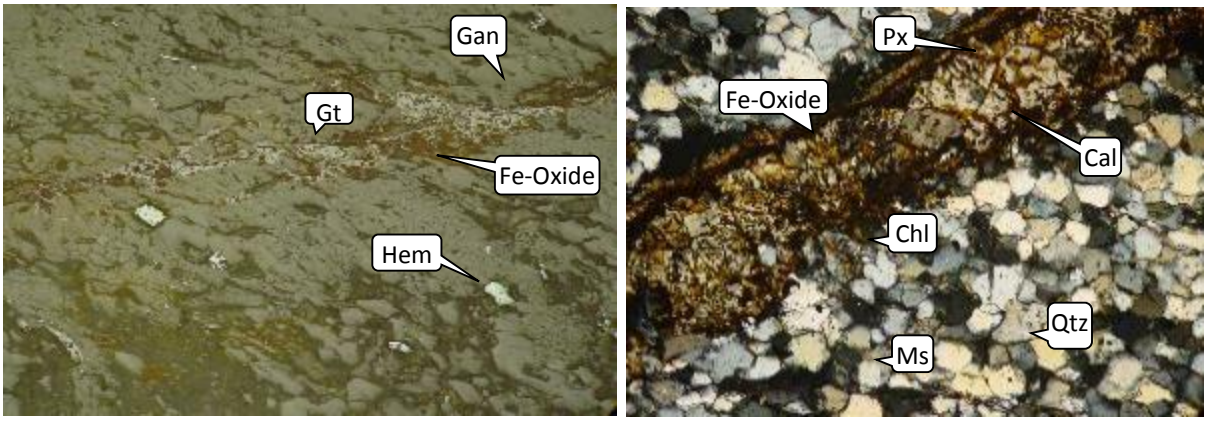


شکل شماره- ۵، مقطع کانی‌شناسی شیست (B_2) – قرارگیری کانی‌های موسکوویت، بیوتیت، کلریت در بین کانی‌های کوارتز و ایجاد فابریک شیستوزیته در نمونه (نور عبوری **XPL**). (سمت راست)؛ اکسید و هیدرواکسیدهای آهن به صورت آغشتگی و رگه-رگچه‌ای در نمونه مشاهده می‌شود (تصویر بالا در نور عبوری **PPL**). (سمت چپ).

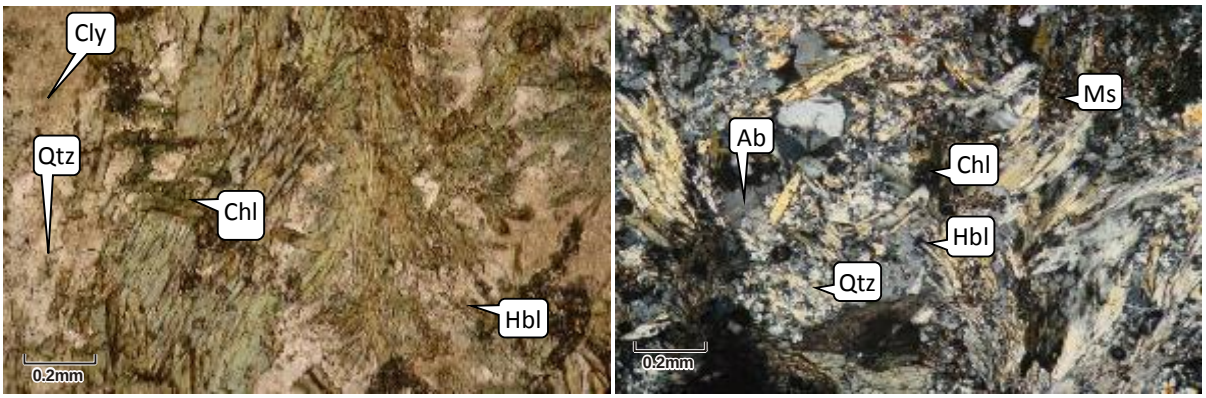
[Downloaded from jsgkaku.ir on 2022-10-29]



شکل شماره- ٦، مقطع کانی‌شناسی شیست (C_2)- بخش عمده نمونه از کانی کوارتز با لایه‌بندی ریز و درشت مشاهده می‌شود (نور عبوری XPL). (سمت راست)؛ کلریتی شدن، کربناتی شدن و نفوذ سیال کانه زا در امتداد شیستوزیته مشاهده می‌شود (نور عبوری PPL). (سمت چپ).

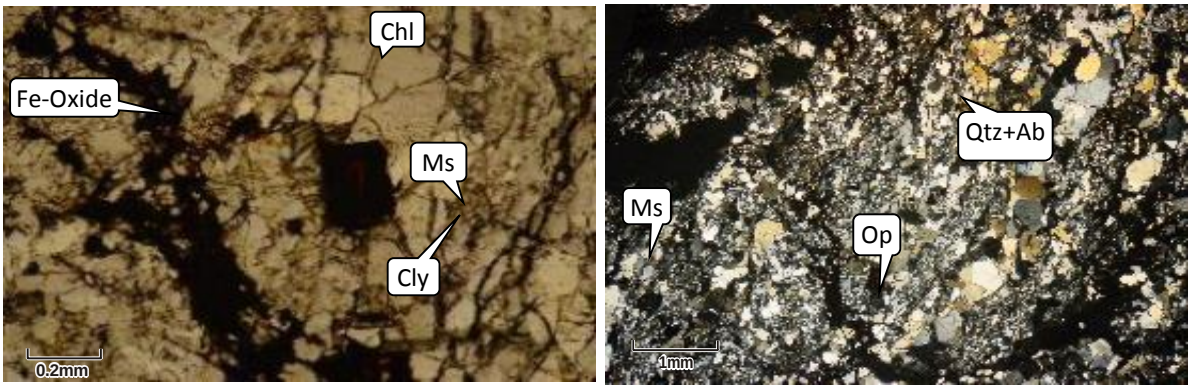


شکل شماره- ۷، مقطع کانی‌شناسی شیست شماره ۷ (D1) - بافت گرانوبلاست دانه‌های کوارتز، رگه پرشده با کلسیت، پیروکسن و آغشتگی‌های اکسید آهن مشاهده می‌شود (نور عبوری XPL). (سمت راست)؛ آغشتگی‌های سطحی و پرشدگی‌های رگه-رگچه‌ای اکسید-های آهن در نمونه مشاهده می‌شود (نور انعکاسی PPL). (سمت چپ).

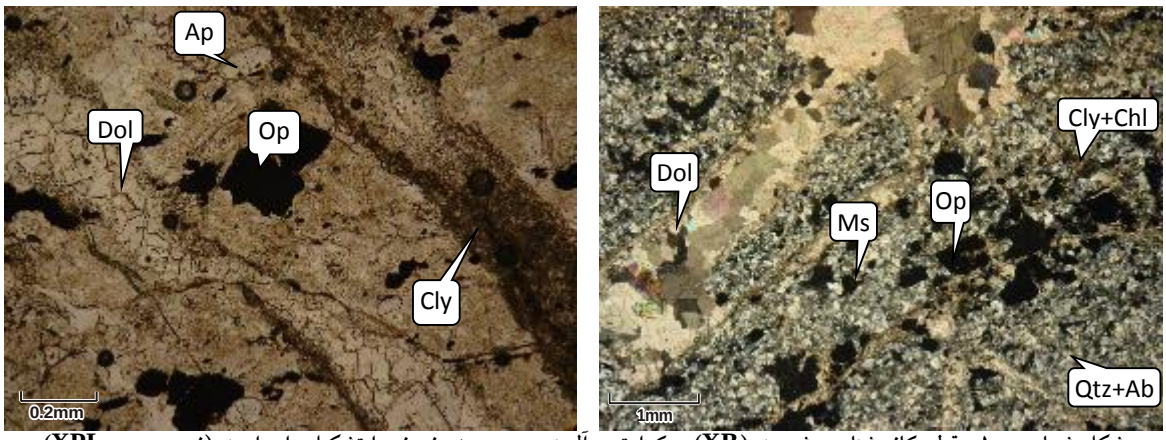


شکل شماره- ۸، مقطع کانی‌شناسی شیست (E1) - کانی عمده نمونه هورنبلند با بافت شعاعی است (نور عبوری XPL). (سمت راست)؛ جهت یافتگی بلورهای هورنبلند در بین بلورهای کوارتز و آلبیت مشاهده می‌شود (نور عبوری PPL). (سمت چپ).

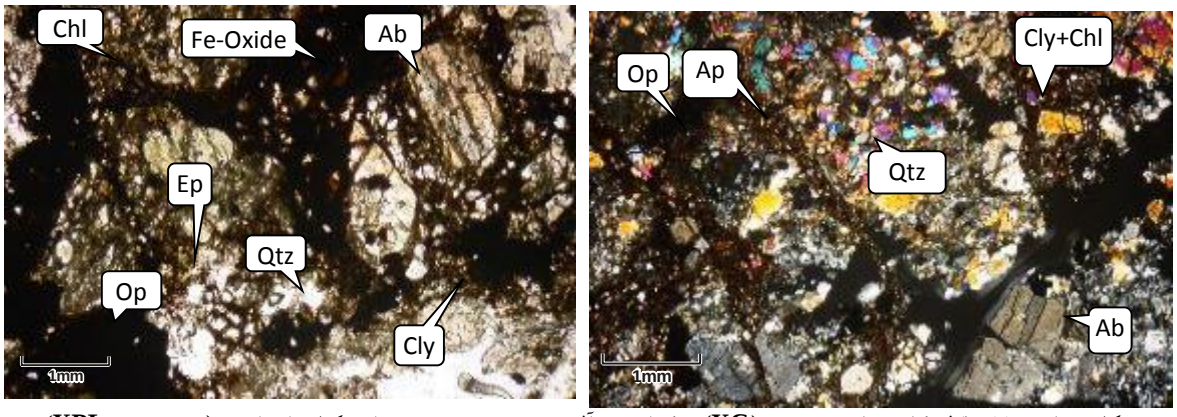
[Downloaded from jsge.ut.ac.ir 2022-06-30]



شکل شماره- ۹، مقطع کانی‌شناسی شیست (**XA**) - جهت یافتگی بلورهای کوارتز با دو ابعاد متفاوت درشت و ریز مشاهده می‌شود (نور عبوری **XPL**). (سمت راست)؛ دگرسانی‌های رسی شدن و کلریتی شدن در نمونه انجام شده است (تصویر بالا در نور عبوری **PPL**) (سمت چپ).

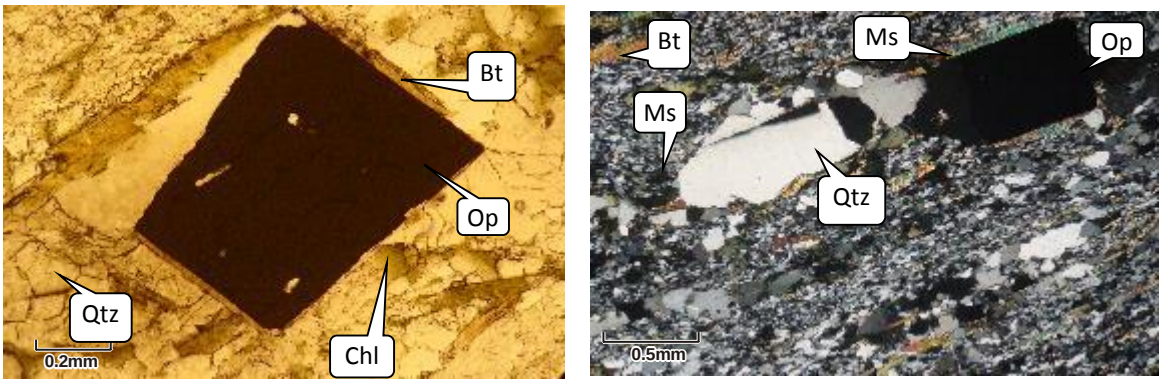


شکل شماره- ۱۰، مقطع کانی‌شناسی شیست (**XB**) - کوارتز و آلبیت حجم عمده نمونه را تشکیل داده است (نور عبوری **XPL**). (سمت راست)؛ دگرسانی‌های رسی شدن و کلریتی شدن در نمونه انجام شده است (تصویر بالا در نور عبوری **PPL**). (سمت چپ).



شکل شماره- ۱۱، مقطع کانی‌شناسی شیست (**XC**) - کوارتز و آلبیت حجم عمده نمونه را تشکیل داده است (نور عبوری **XPL**). (سمت راست)؛ دگرسانی‌های رسی شدن، کلریتی شدن، اپیدوتی شدن به همراه پرشدگی‌ها و آغشتگی‌های اکسید و هیدرواکسیدهای آهن حاکی از سست بودن نمونه، مشاهده می‌شود (نور عبوری **PPL**). (سمت چپ).

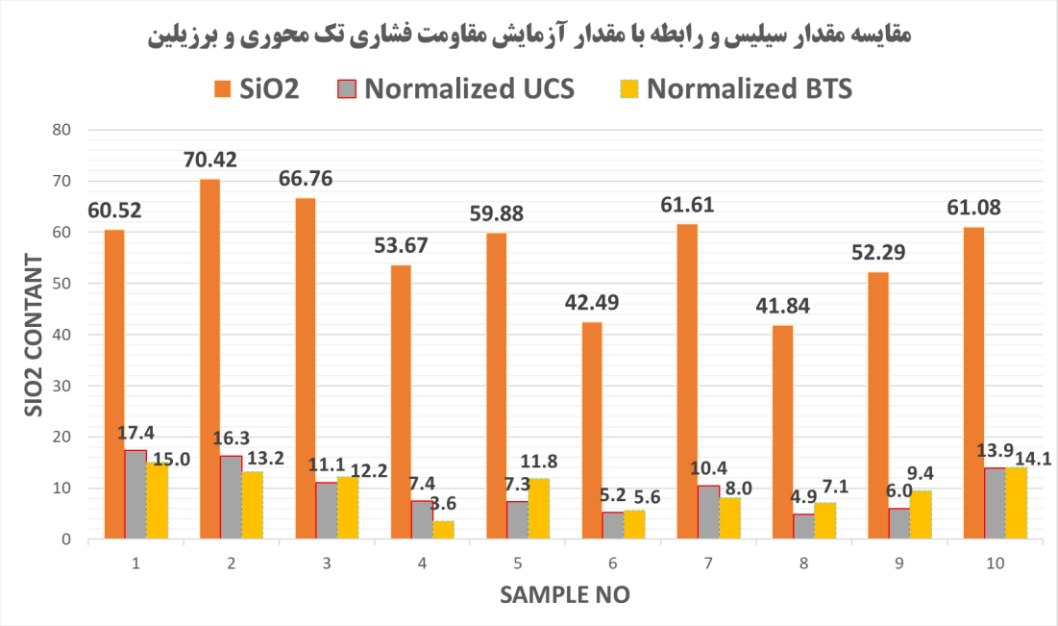
[Downloaded from jsgkhuk.ir on 2022-06-30]



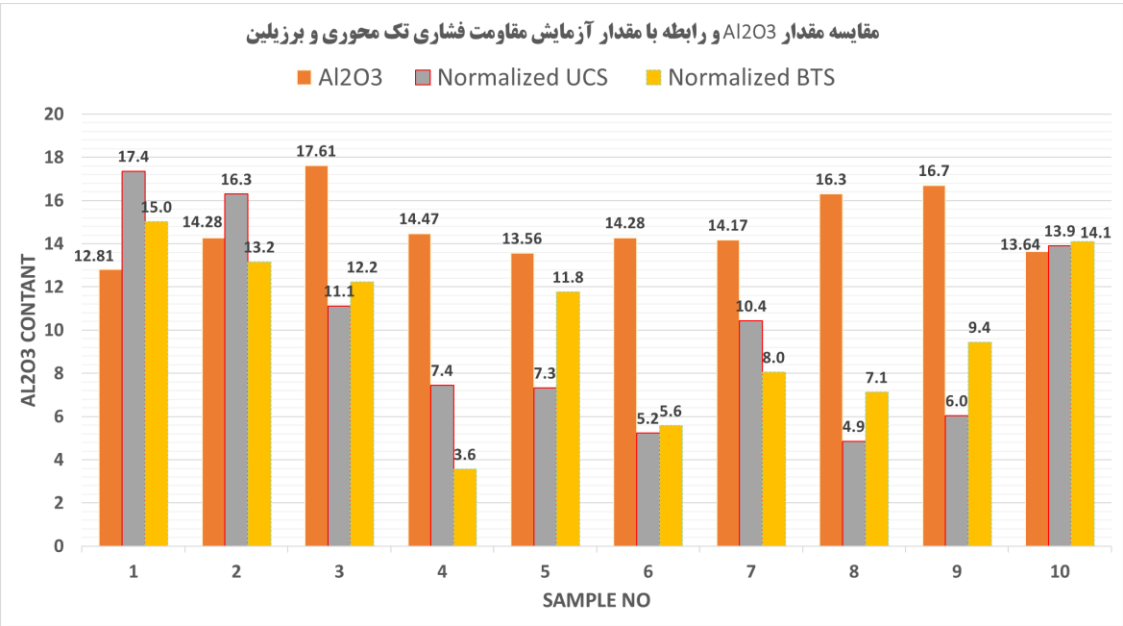
شکل شماره- ۱۲، مقطع کانی‌شناسی شیست شیست (XD) - جهت یافتگی و شیستوزیته در تمام کانی‌ها به خوبی مشاهده می‌شود (نور عبوری XPL). (سمت راست)؛ - کلریتی شدن در نمونه مشاهده می‌شود (نور عبوری PPL). (سمت چپ).

شکل شماره ۱۳- نمونه‌های انتخابی مقاومت فشاری تک محوری (سمت راست) نحوه شکست دو نمونه انتخابی (سمت چپ)

[Downloaded from jsge.ut.ac.ir 2022-06-30]



شکل ۱۴- مقایسه درصد سیلیس با مقاومت فشاری تک محوری و برزیلین (مقدار مقاومت ها نرمال شده اند).



شکل ۱۵- مقایسه درصد Al_2O_3 با مقاومت فشاری تک محوری و برزیلین (مقدار مقاومت ها نرمال شده اند).

[Downloaded from jegakhuduinc.ir on 2022-06-30]

شکل ۱۷- نمونه درزه کششی در سنگ‌های شیستی معدن چاه خاتون

شکل ١٦- نمونه درزه کششی در سنگ‌های شیستی معدن سنجده

منابع

1. Sonmez, H., Ulusay, R., ”A discussion on Hoek-Brown failure criterion and suggested modification to the criterion verified by slope stability case studies, Yerbilimleri”, Earthscinces, P 26-77, (2002).

[Downloaded from jsg.khu.ac.ir 2022-06-30]

2. Sahoo P. R., Venkatesh, A. S.,.”Indicator’ carbonaceous phyllite/graphitic schist in the Archean Kundarkocha gold deposit, Singhbhum orogenic belt, eastern India: Implications for gold mineralization vis-a-vis organic matter”, J. Earth Syst. Sci. 123, No. 7, October 2014, pp. 1693–1703 (2014).

3. Ahn J. H, Moonsup C., Busek P R., “Interstratifications of carbonaceous material within illite; Am. Mineral” 84 1967–1970, (1999).

4. Banerjee A. K., Thiagarajan T A., “Progress report of investigation of gold at Kunderkocha Singhbhum district, Bihar; Bull” Geol. Surv. India Ser. A 38 106, (1965).

5. Bierlein F. P., Cartwright I., McKnight S., “The role of carbonaceous ‘Indicator’ slates in the genesis of lode gold mineralization in the western Lachlan Orogen, Victoria, southeast Australia”; Econ. Geol. 96 431–451, (2001).

6. Craw D., “Geochemistry of late metamorphic hydrothermal alteration and graphitization of host rock, Macraes gold mine, Otago Schist, New Zealand; Chem” Geol. 191 257–275, (2002).

7. Bottrel S. H., Shepherd T. J., Yardley B. W. D., Dubessy J., “A fluid inclusion model for the genesis of the ore of the Dolyellau gold belt, North Wales; J” Journal of the Geological Society London 145 139–145, (1988).

8. Diessel C. F. K., Brothers R. N., Black P. M., “Coalificationand graphitization of high-pressure schists in NewCaledonia; Contrib. Mineral” Petrol. 68 63–78, (1978).

9. Gupta A., “Gold mineralization in the eastern segmentof Indian Precambrian shield: A review; In: Gold Metallogeny, India and beyond (eds)” Deb M and Goldfarb R, pp. 256–280, (2010).

10. Liu, Z., Jianfu, Sh., Xie, Sh., Conil, N., Zha, W., “Effectes of relative humidity and mineral compositions on creep deformation and failure of claystone under compression” International Journal of Rocks Mechanics and Mining Sciences, 103, p 68-76, (2018).

۱۱. خانلری، غ. ر.، حیدری، م.، منصوری، ا.، پهلوان، ب.، "نقش کانی‌های رسی در رفتار مهندسی سنگهای نرم"، یازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ۱۳–۱۵ شهریور ماه، (۸۶).

[Downloaded from jsk.ut.ac.ir on 2022-06-30]

12. Kretzschmar, R., Robarge, W. P., Amoozegar, A., Vepraskas, M,J., “Biotite alteration to hallosite and kaolinite in soil –saprolite profiles developed from mica Schist and granite gneiss”, Geoderma, 75, p. 155-170, (1997).

13. Xiao- ping Zhang, Zh., Louis Ngai Yuen, Y., Wong, Si-Jing Wang, W., Geng-You Han, H., “Engineering properties of quartz mica Scist”, Engineering Geology, 121, p 135-149, (2011).

14. Hemmati A., Ghafoori, M., Moomivand, H., Lashkaripoor Gh. R., “The effect of mineralogy and textural charactrstics on the strenght of crystalline igneous rocks using image-based textural quantification”, Engineeribg geology, 266, 105467, (2020).

15. Ündül, Ö., “ Assessment of mineralogical and petrographic factors affecting petrophysical properties, strength and cracking processes of volcanic rocks”. Engineeribg geology 210, 10–22, (2016).

16. Lan, H., Martin, C. D., Hu, B., “Effect of hetrogeneity of brittle rock on micromechanical extensile behavior during compression loading”, Journal of Geophysical Research: solid Earth, 115 (B1): 1-14, (2010).

17. Jung-woo, Ch. Hanna, K. Seokwon, J. Ki-Bok, M. ., “Deformation and strength anisotropy of Asan gneiss, Boryeong shale, and Yeoncheon schist ”, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences , 50 -158-169, (2012).

۱۸. گزارش اکتشافات تکمیلی معدن طلای چاه خاتون (کارگاه شرقی و غربی) و سنجده، شرکت مهندسی مشاورین پارس اولنگ، ۲۳ صفحه، (۱۳۹۹).

۱۹. شرکت طلای ایران، گزارش نهایی بررسی و ارزیابی اطلاعات اکتشافی موجود معادن طلای موته، ۲٤۰ صفحه (۱۳۷۵).

۲۰. معارف‌وند، پ.، "نقش کانی‌های رسی در رفتار مهندسی سنگهای نرم"، گزارش برداشت‌های صحرائی از خواص ژئومکانیکی معدن چاه خاتون شرقی مجتمع معدنی موته، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۵۸ صفحه، (۱۳۹٦).

۲۱. گزارش اصلاحیه ذخیرهٔ معدن طلای سنجده ، شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران،٤٦ صفحه، (۱۳۹٤).

۲۲. نقشه زمین شناسی معدن طلای چاه خاتون، شرکت مشاورین معدن زمین، (۱۳۹٦).

۲۳. نقشه زمین شناسی معدن طلای سنجده، شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران، (۱۳۹۳).

[Downloaded from jsge.khu.ac.ir 2022-06-30]