مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال بیست و هشتم، شمارهٔ دوم، تابستان ۹۹، از صفحهٔ ۴۷۵ تا ۴۸۸

انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران

بررسی فازهای کانی‌سازی سیلیس (آگات-ژاسپر) در دشت چاه‌اندو (جنوب‌غرب دامغان) به روش طیف سنجی میکرورامان

مریم شاکویی[۱]، آرزو عابدی[*۱]، سید رضا میرباقری[۲]

۱- دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

۲- دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

(دریافت مقاله: ۹۸/۴/۱، نسخه نهایی: ۹۸/۸/۱۳)

چکیده: دشت چاه‌اندو در ۱۰۰ کیلومتری جنوب‌غرب دامغان در استان سمنان واقع است. مهم‌ترین سنگ‌های رخنمون یافته در این منطقه شامل بازالت، آندزیت ـ بازالت، توف و سنگ‌های دگرگونی هستند. آگات، ژاسپر و آگات – ژاسپر مهم‌ترین نوع کانی‌های سیلیس هستند که به صور ت قطعه‌های خرد شده در اندازه میلی‌متری تا نیم‌متر پراکنده شده‌اند. بیشتر آگات‌های منطقه از نوع تک-مرکز (نواری)، استالاکتیتی (منظره)، خزه‌ای و تخم‌مرغی شکل هستند. ژاسپرها به صورت نواری، خزه‌ای، توده‌ای و ژاسپرهای رنگی مختلف دیده می‌شوند. در نتایج طیف‌سنجی میکرورامان، کوارتز آلفا و موگانیت به‌عنوان فازهای اصلی در آگات‌ها و ژاسپرها به همراه ناخالصی‌هایی مانند هماتیت، کلسیت، کلریت و مواد آلی کربن‌دار آشکار گردید. کانی موگانیت برای نخستین بار توسط طیف‌سنجی رامان در این منطقه معرفی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: *آگات؛ ژاسپر؛ طیف‌سنجی رامان؛ موگانیت؛ چاه‌اندو.*

مقدمه

رخداد تبلور آگات در مقیاس جهانی از میلیون‌ها سال پیش گزارش شده است. قدیمی‌ترین گوهرسنگ‌های آگات در سنگ-های سازند پیلبارا (Pilbara) با سن ۳۵۰۰-۲۷۰۰ میلیون سال و جوان‌ترین آن‌ها در توف‌های آتشفشانی کوه‌های یوکا (Yucca) آمریکا با سن ۱۳ میلیون سال است [۱]. چگونگی تشکیل آگات‌ها وابسته به محلول‌های گرمابی آتشفشانی و برون زاست که می‌توانند خاستگاه یون‌های مختلف و مواد آلی باشند. عمومی‌ترین خاستگاه آگات‌ها یک تبلور چند مرحله‌ای و پیچیده از اکسید سیلیسیم با تغییر ترکیب شیمیایی محلول [۲] و یا تبلور دوره‌ای از ژل‌های سیلیسی دارای رنگدانه در حفره‌های سنگ‌های آتشفشانی هستند [۳]. در ایران انواع کانی‌سازی‌های سیلیس شامل آگات (عقیق)، درکوهی، آمتیست، کلسدونی، ژاسپر و اپال در کمان‌های ماگمایی ترشیری (کمان‌های ارومیه-دختر، معلمان-خواف و البرز-آذربایجان) توزیع فراوانی دارد و قابل پی‌جویی است [۴]. بررسی‌های پتانسیل‌یابی بر کانی‌سازی‌های سیلیس از دیدگاه ارزش گوهری در ایران سابقه کمی دارد و بخشی از مهمترین پژوهش‌های انجام شده پیرامون این موضوع به شرح زیر است: بررسی خاستگاه و شرایط شکل‌گیری آگات‌های خور و بیابانک [۵]، کانی‌شناسی و شکل‌گیری آگات‌ها و ژئودهای خور و رابطه آن با تشکیل بنتونیت‌ها و همچنین بررسی آگات‌های بمرود، رودشور، برقان، فردوس، بایگ، گوی و رامین [۶، ۷]، ویژگی-های کانی‌شناسی، زمین شیمی، گوهرشناسی و دلیل تنوع رنگ در آگات‌های میانه [۸]، بررسی پتانسیل‌های سیلیس نیمه-قیمتی در جنوب سفیدابه [۹]، بررسی ویژگی‌های

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۵۱۳۴۱۲۳، نمابر: ۰۲۳-۳۲۳۹۵۵۰۹، پست الکترونیکی: abedi.arezoo@gmail.com

کانی شناسی و چگونگی تشکیل آگات‌ها و ژاسپرهای منطقه بم [۱۰-۱۲]، شناسایی ساخت، بافت و خاستگاه آگات‌های منطقه‌ی چاه‌گنبد، بایگ و درکوهی منطقه‌ی کوه گبری [۱۳-۱۵] و بررسی پتانسیل معادن عقیق ایران و مقایسه آن با معادن کشور آذربایجان [۱۶]. استان سمنان نیز در کمان ماگمایی معلمان – خواف با پتانسیل کانی‌سازی سیلیس [۴] واقع است که مهمترین پژوهش‌های صورت گرفته در این استان عبارتند از بررسی خاستگاه سیلیس‌های نیمه‌قیمتی در ناحیه طرود – معلمان [۴]، بررسی‌های گوهرشناسی در رابطه با آگات‌های جنوب طرود و کیفیت صیقل‌پذیری آن‌ها [۱۷]، بررسی خاستگاه تشکیل ژئودهای آمتیست جنوب طرود [۱۸]، تعیین دما و خاستگاه آگات‌های رضاآباد (جنوب‌شرق شاهرود) با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن [۱۹]. ژاسپرهای منطقه چاه‌اندو واقع در ۱۰۰ کیلومتری جنوب غرب دامغان برای نخستین بار توسط نویسندگان این مقاله [۲۰] معرفی شدند. در این پژوهش، انواع کانی‌سازی‌های سیلیس در منطقه چاه‌اندو به وسیله طیف‌سنجی میکرورامان بررسی شده است.

روش پژوهش

پس از بازدید صحرایی و نمونه‌برداری به صورت تصادفی و شناسایی نمونه‌ها به روش دستی، از بین حدود ۱۰۰ نمونه از انواع کانی‌سازی‌های سیلیس، تعدادی از نمونه‌های دارای رنگ و بافت متنوع به منظور بررسی بافت، ساخت و ترکیب شیمیایی کانی‌سازی‌های سیلیس در منطقه چاه‌اندو انتخاب شدند. با توجه به پراکندگی قطعه‌های ریز و درشت آگات و ژاسپر در دشت نزدیک به روستای چاه‌اندو، این منطقه توسط نگارندگان دشت آگات-ژاسپر چاه‌اندو نامیده شد. تعداد ۲۲ مقطع نازک جهت بررسی‌های سنگ‌نگاری آماده گردید. به منظور بررسی بافت و ساخت، بیش از ۲۰ نمونه از انواع کانی‌سازی‌های سیلیس منطقه در آزمایشگاه فراوری دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود صیقل کاری شد. برای بررسی فازهای مختلف کانی‌سازی سیلیس، ۱۵ نمونه به روش طیف‌سنجی میکرورامان با طیف‌سنج ساخت شرکت Avantes مدل uRaman-532-Ci در آزمایشگاه تجزیه و اندازه‌گیری مواد دانشکده فیزیک و مهندسی هسته‌ای دانشگاه صنعتی شاهرود بررسی شدند.

بحث و بررسی

زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد بررسی در این پژوهش منطقه‌ای با مساحت تقریبی ۳۰۰۰ متر مربع از دشت چاه‌اندو است که از نظر زمین‌شناسی در مرکز نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته-رشم قرار دارد (شکل ۱) [۲۱]. بر اساس نقشه زمین‌شناسی کلاته-رشم، مهم‌ترین واحدهای سنگی رخنمون یافته در این منطقه گدازه‌های آندزیتی، توف و برش‌های ائوسن و هم‌چنین گدازه‌های آندزیت- بازالتی دگرگونه، توف دگرگونه و میکا-شیست با سن اردویسین هستند. کانی‌سازی‌های سیلیس به عبارتی ژاسپرهای در ظاهر قرمز و زرد در سطح دشت به صورت قطعه‌های خرد شده در اندازه میلی‌متری تا نیم‌متری پراکنده هستند. آنها در برخی قسمت‌ها به صورت رگه‌های پراکنده در سطح زمین دیده می‌شوند که رخنمون آن‌ها در محل ریشه بوته‌ها و درختچه‌ها مشهودتر است. هم‌چنین آگات-های موجود در منطقه به صورت کروی و تخم‌مرغی شکل (Thunder egg) درون حفره‌های سنگ‌های آتشفشانی به اندازه کمتر از ۱ سانتی‌متر تا بیش از ۸ سانتی‌متر دیده می‌شود (شکل ۲). بر اساس بازدیدهای صحرایی و بررسی مقاطع نازک، مهم‌ترین سنگ‌های منطقه اغلب شامل بازالت، آندزیت ـ بازالت، توف و سنگ‌های دگرگونی هستند (شکل ۳).

بازالت: بازالت در مقاطع مورد بررسی با بافت پورفیری، میکرولیتی، میکرولیتی پورفیری و حفره‌ای دیده می‌شود. این سنگ‌ها دارای پلاژیوکلاز و الیوین‌هایی هستند که به طور کامل ایدنگسیتی شده‌اند. در برخی مقاطع، پیروکسن‌ها تقریبا سالم و به رنگ‌های آبی، قرمز و سبز دیده می‌شوند. برخی از حفره‌های موجود در این سنگ‌ها توسط کلسیت و زئولیت پر شده‌اند که زئولیت به صورت بافت شعاعی دیده می‌شود (شکل ۳ الف و ب).

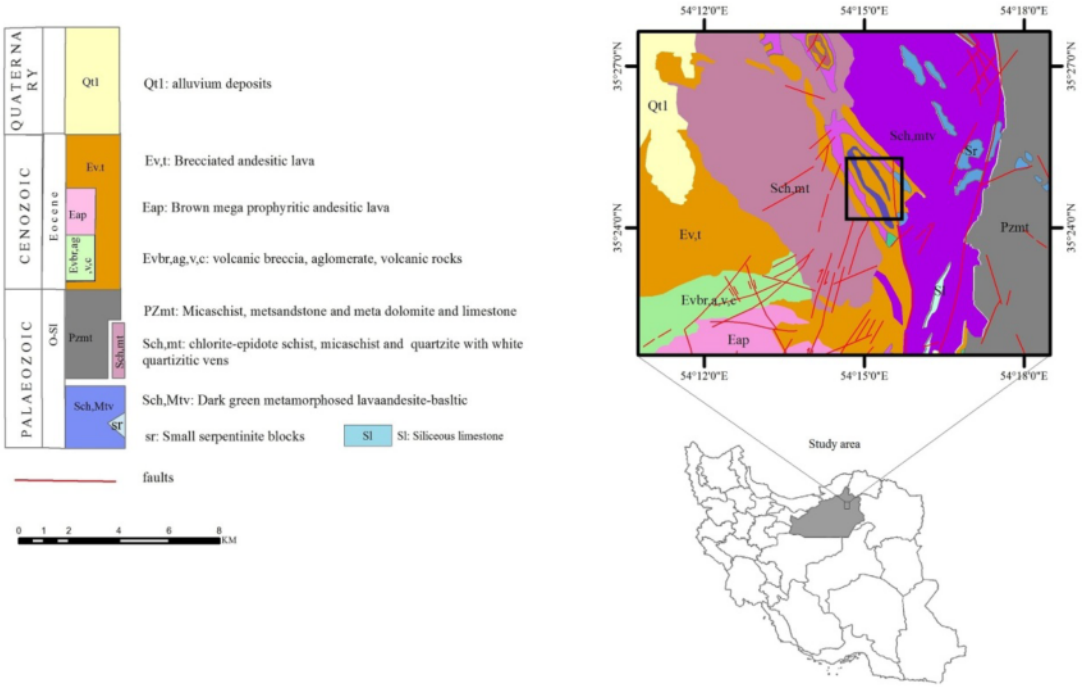
آندزیت- بازالت: این سنگ دارای پورفیری‌های درشت پلاژیوکلاز است که برخی به کلسیت و کلریت دگرسان شده‌اند. در این سنگ، مقدار کمی پیروکسن و اولیوین حضور دارد که ایدنگسیتی شده‌اند، بافت سنگ پورفیری است (شکل‌های ۳ پ و ت).

سرپانتینیت: این سنگ درواقع یک سنگ اولترامافیک بوده که به طور کامل سرپانتینیتی شده است. سرپانتین‌های سوزنی به

احتمال بسیار کریزوتیل و سرپانتین‌های صفحه‌ای (آنتی-گوریت) در مقطع دیده می‌شوند، این سنگ هم‌چنین دارای کانی‌های کدر به احتمال قوی کرومیت است. در برخی قسمت-ها، شکستگی‌های سنگ توسط کوارتز پرشده است (شکل ۳ ث).

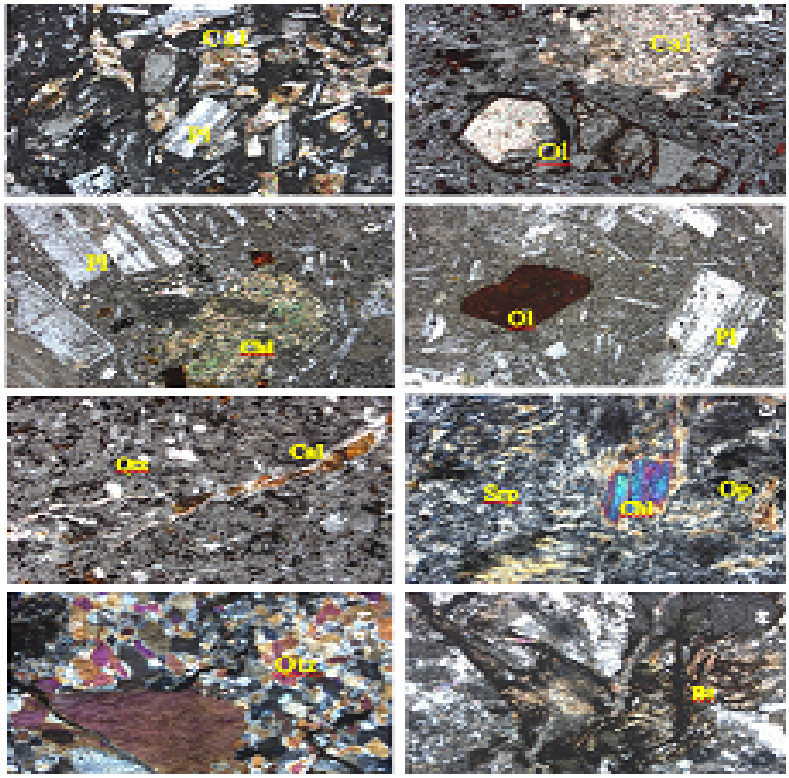
توف بلورین: بلورهای کوارتز، آمفیبول و کانی‌های کدر در زمینه بسیار دانه ریز خاکسترهای آتشفشانی قرار دارند (شکل ۳ ج).

بیوتیت شیست: در این سنگ، مقدار زیادی کوارتز وجود دارد که به علت فشار ناشی از دگرگونی خرد شده‌اند و بیوتیت‌های موجود نیز دگرسان شده‌اند (شکل‌های ۳ چ و ح).



شکل ۱ بخشی از نقشه زمین‌شناسی پراکندگی مناطق دربردارنده کانی‌سازی‌های سیلیس در منطقه چاه‌اندو (برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته- رشم).

شکل ۲ الف و ب-پ – رخنمون کانی‌سازی سیلیس درمحل ریشه بوته‌ها و درختچه‌ها و ت- رخنمون کانی‌سازی سیلیس در اندازه چند متری.



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی مقاطع نازک سنگ‌های مورد بررسی: الف- بازالت با بافت میکرولیتی که اولیوین‌ها به صورت پورفیری‌های درشتی که به طور کامل ایدنگسیتی شده‌اند دیده می‌شوند و حفره‌های موجود توسط کلسیت و زئولیت پر شده‌اند، ب- بازالت با بافت غربالی که اولیوین‌ها به ایدنگسیت دگرسان شده‌اند و حفره‌های موجود با کلسیت پر شده‌اند، پ و ت- آندزیت- بازالت با بافت پورفیری که دارای پورفیری‌های درشت پلاژیوکلاز است که برخی به کلسیت و کلریت دگرسان شده‌اند و دربردارنده پیروکسن و اولیوین‌های ایدنگسیتی هستند، ث- سرپانتینیت با مقادیر بالایی کانی کدر که به احتمال قوی کرومیت هستند. حفره‌ها توسط کوارتز پر شده‌اند و در برخی نقاط کلریت نیز حضور دارد، ج- توف بلورین که بلورهای کوارتز، آمفیبول و کانی‌های کدر در زمینه بسیار دانه ریز(خاکستر آتشفشانی) وجود دارند. چ و ح- بیوتیت شیست که بیوتیت‌ها دگرسان شده و کوارتزهای موجود خرد شده‌اند.

کانی‌سازی‌های سیلیس در منطقه

کانی‌سازی‌های سیلیس در منطقه شامل آگات، ژاسپر و در اغلب موارد به صورت ترکیبی از این دو است که به آن آگات-ژاسپر می‌گویند.

کانی‌های گروه آگات زیرگروهی از کلسدونی با سایه‌های گوناگون و یا گونه‌های نهان بلورین کوارتز شفاف یا نیمه شفاف و اغلب دارای نواربندی‌های رنگی هستند. گونه‌های نیمه‌شفاف شکل‌های ابرمانند با میانبارهای خزه‌ای یا شاخه درختی نشان می‌دهند که اغلب منظره بسیار زیبایی ایجاد می‌کنند، آگات‌ها اغلب در رنگ‌های مختلف با شدت پایین یافت می‌شوند [۲۲]. بسیاری از پژوهشگران بر این باورند که تشکیل آگات‌ها همراه با دگرسانی یا هوازدگی سنگ میزبان آتشفشانی است. افزون بر این، ممکن است که آگات‌ها به صورت رگه‌های گرمابی در شکاف سنگ‌ها و یا به صورت محلول‌های غنی از سیلیس دما پایین در خلل و فرج سنگ‌های رسوبی تبلور یابند [۲۳]. انواع آگات‌ها بر اساس شفاف یا نیمه‌شفاف بودن و نیز میانبارهای موجود به انواع آگات‌های دارای نواربندی، ابری، خزه‌ای، منظره‌دار و آتشین تقسیم می‌شوند [۲۲]. آگات‌ها از نظر رنگ و شکل شامل آگات‌های تک مرکز، آگات‌های چند مرکز و آگات-های استالاکتیتی کاذب هستند [۲۴]. در آگات‌های تک مرکز و چند مرکز، منطقه‌بندی‌های سیلیسی مختلفی وجود دارد. بخش بیرونی آگات که در تماس با سنگ میزبان است اغلب از کلسدونی‌های الیافی و نهان بلورین و بخش درونی به طور کامل از کوارتز تشکیل شده که اغلب با کانی‌های کدر یا مواد آلی نیز همراه است. حضور ترکیب‌های رنگی (اکسیدها یا هیدروکسیدهای آهن و مواد کربن‌دار) نیز در آگات‌ها متغیر

است. این ترکیب‌ها بیشتر در انواع چند مرکزی و استالاکتیتی کاذب رخ می‌دهند، در حالی که در آگات‌های تک مرکز وجود ندارند [۲۴].

وجود آگات‌های با تنوع رنگی بالا و ساخت‌های زیبا در منطقه چاه‌اندو چشمگیر است. بیشتر آگات‌های منطقه چاه‌اندو از نوع تک مرکز و در برخی موارد استالاکتیتی هستند. از دیگر بافت و ساخت‌های موجود در آگات‌های منطقه می‌توان به آگات خزه‌ای، آگات نواری (تک مرکز)، آگات-ژاسپر منظره (استالاکتیتی کاذب) (شکل‌های ۴ الف و ب) و آگات‌های تخم مرغی شکل اشاره کرد. در آگات‌های نواری یا تک مرکز، بخش بیرونی از کلسدونی‌های الیافی و لایه لایه و بخش درونی از کوارتز تشکیل شده است (شکل ۴ پ). در آگات‌های خزه‌ای، بخش مرکزی از کلسدونی‌های لایه لایه تشکیل شده است، در حالی که لایه‌های بیرونی به علت حضور ناخالصی‌ها به رنگ سبز دیده می‌شود (شکل ۴ ت). افزون بر این، آگات‌های موجود در منطقه به صورت آگات‌های تخم‌مرغی شکل در اندازه کمتر از ۱ سانتی‌متر تا بیش از ۸ سانتی‌متر دیده شدند. آگات‌های تخم‌مرغی ریز به طور مشخص از درون حفره‌های سنگ‌های آتشفشانی که توسط سیلیس پر شده‌اند برداشته شده‌اند، در حالی که نمونه‌های درشت‌تر به صورت نابرجا از روی سطح زمین برداشت شدند (شکل‌های ۴ ث و ج).

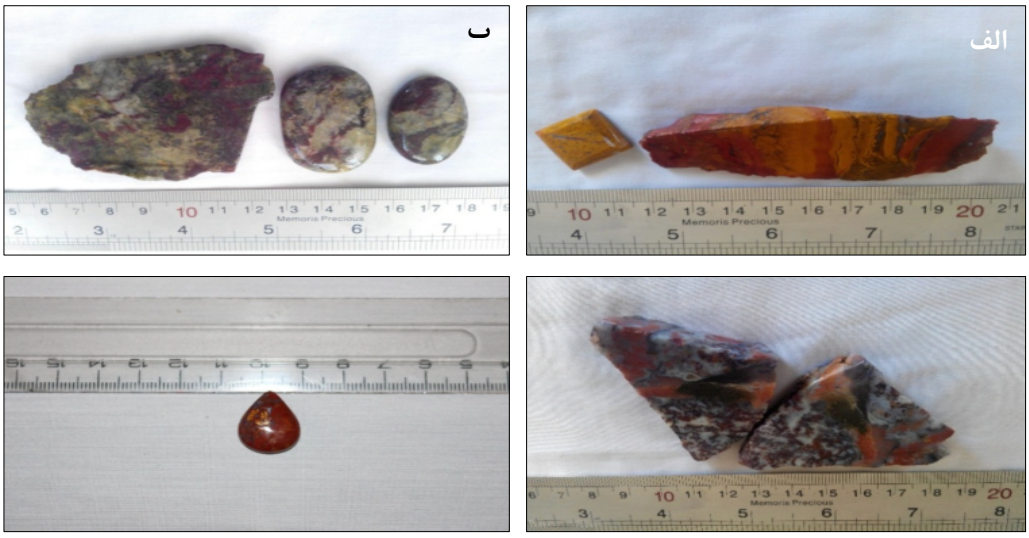
ژاسپر یک نوع کلسدونی یا چرت ناخالص، اغلب خالدار یا نواری، متراکم، ریز بلور، مات تا کدر و به رنگ های قرمز، قهوه ای، زرد، سبز، آبی مایل به خاکستری و بنفش کم رنگ است. ژاسپر دارای سختی ۶٫۵ تا ۷، وزن‌مخصوص ۲٫۵۸ تا ۲٫۹۱، جلای چرب و شکست صدفی است [۲۲، ۲۵]. اصطلاح ژاسپر اغلب برای سنگ‌های دارای SiO_2 با خاستگاه متاسوماتیک یا دگرگونه استفاده می‌شود [۲۶]. ژاسپرها شفافیت کمتری دارند و تقریبا کدر هستند و میانبارهای اکسید آهن یا منگنز، رس‌ها و یا کربنات‌ها در آن‌ها وجود دارد [۲۷]. ژاسپرها با ترکیب متنوع در محیط‌های مختلف زمین‌شناسی ایجاد می‌شوند [۲۸].

شکل ۴ انواع کانی‌سازی سیلیس در منطقه (انواع ساخت و بافت): الف و ب- آگات- ژاسپر استالاکتیتی کاذب (منظره)، پ- آگات نواری (تک مرکز)، ت- آگات خزه‌ای، ث- آگات تخم مرغی شکل بزرگتر از ۸ سانتی متر و ج- آگات تخم مرغی شکل حدود ۱ سانتی‌متر و کوچکتر.

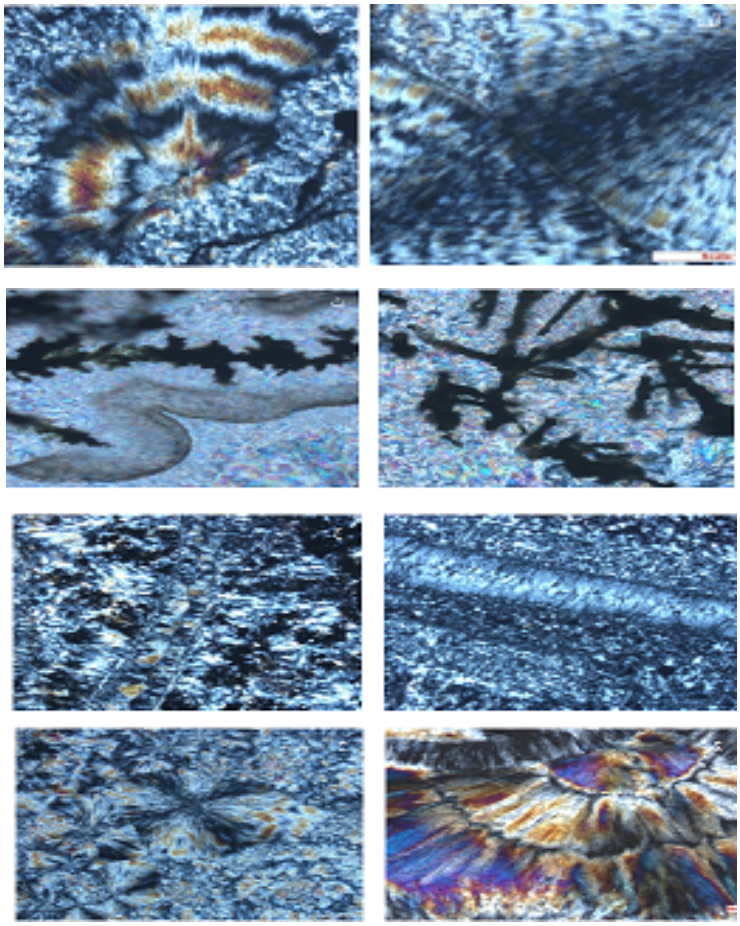
ژاسپرها از نظر بافت و رنگ به شش گروه اصلی رده بندی می‌شوند [۲۹]: ژاسپرهای توده‌ای با رنگ یکنواخت گاهی همراه با میانبار، ژاسپرهای نواری، ژاسپرهای پورفیری (با میانبارهای فلدسپار، کوارتز، اوژیت یا آمفیبول)، ژاسپرهای با رنگ‌های مختلف، ژاسپرهای کنگلومرایی و برشی، ژاسپرهای کروی و گل‌کلمی.

رده‌بندی بافتی جزئی‌تری بر اساس ژاسپرهای اورال انجام شده است که شامل توده‌ای، نواری، برشی، هم‌مرکز، گل کلمی، پوسته‌ای، کاتاکلاستیک و شبه برشی است [۳۰]. در تقسیم-بندی دیگری، ژاسپرها در چهار گروه زیر قرار دارند [۳۱]: ژاسپرهای حقیقی با ترکیب غالب کوارتز، کوارتزیت‌ها و هورنفلس‌های شبه ژاسپر، شبه ژاسپرها با ترکیب غالب کلسدونی، سنگ‌های بیرونی و نفوذی شبه ژاسپر با ترکیب غالب فلدسپار و کوارتز. ژاسپرها و سنگ‌های پیرامون آن بر اساس ترکیب کانی‌شناسی شامل ژاسپر حقیقی و شبه ژاسپر و سنگ‌های شبه ژاسپر هستند [۳۲]. ژاسپرهای حقیقی با ترکیب غالب کوارتزدرنشکیلات رسوبی-آتشفشانی دگرگون شده و گرمابی متاسوماتیک بوجود می‌آیند در حالی که شبه ژاسپرها فرآورده مراحل پایانی فعالیت‌های آتشفشانی با ترکیب غالب کلسدونی هستند [۲۶]. بیشتر ژاسپرهای منطقه‌ی چاه-اندو دارای بافت نواری و رنگی مختلف هستند. از دیگر بافت-های موجود در منطقه می‌توان به بافت شاخه‌ای و شجر پاییزه اشاره نمود. در ژاسپرهای نواری، ترکیبی از رنگ‌های زرد و قرمز به صورت نواری و لایه لایه سطح نمونه را پوشانده‌اند (شکل ۵ الف). ژاسپرهای رنگی مختلف در واقع ترکیبی از رنگ‌های گوناگون هستند که به صورت نامنظم و غیر یکنواخت در هم آمیخته‌اند (شکل ۵ ب). در ژاسپرهای شاخه ای، طرحی مانند شاخه‌ی درخت در برخی قسمت‌های نمونه دیده می‌شود (شکل ۵ پ) و ژاسپرهای شجر پاییزه یادآور منظره‌ای از پاییز و رنگ زرد طبیعت در برخی از قسمت‌های نمونه هستند (شکل ۵ ت). سیلیس‌های ریز بلور شامل آگات و ژاسپر در مقاطع میکروسکوپی به شکل‌های مختلف شعاعی، شاخه ای، پرطاووسی و نواری دیده می‌شوند. این بافت‌ها هم در آگات‌ها و هم در ژاسپرها حضور دارد (شکل ۶).

آگات با بیش از ۳۰ رنگ مختلف در طبیعت دیده می‌شود. از عوامل اصلی اثرگذار بر رنگ آگات‌ها حضور اکسیدهای فلزی و عناصر مختلف به صورت ناخالصی در این کانی‌هاست. اکسید آهن در آگات بسیار وجود دارد و به رنگ‌های قرمز، نارنجی، زرد، بنفش و سیاه دیده می‌شود. رنگ قرمز آن به دلیل وجود هماتیت (Fe_2O_3) و رنگ زرد یا نارنجی به علت وجود گوتیت (FeOOH) است [۳۳]. مهمترین علت تغییر رنگ در ژاسپرها وجود کانی‌های مختلف به صورت ناخالصی است که هر یک بسته به ترکیب شیمیایی، خود رنگ متفاوتی را در ژاسپرها ایجاد می‌کنند [۳۴]. آگات‌ها و ژاسپرهای منطقه چاه‌اندو به رنگ‌های متفاوت سبز، قرمز، خاکستری، بنفش، قهوه ای، زرد و حتی بیرنگ در سطح دشت پراکنده می‌باشند. در ژاسپرهای منطقه، رنگ قرمز، زرد و قهوه‌ای به دلیل وجود اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن از جمله هماتیت و گوتیت و رنگ سبز به احتمال بسیار به دلیل وجود کلریت است.



شکل ۵ انواع ژاسپر در منطقه: الف- ژاسپر نواری، ب- ژاسپر رنگی مختلف، پ- ژاسپر شاخه‌ای و ت- ژاسپر شجر پاییزه.



شکل۶ انواع بافت کانی‌سازی‌های سیلیس در زیر میکروسکوپ نوری قطبشی: الف و ب- بافت پرطاووسی، پ و ت- بافت شاخه‌ای، ث و ج- بافت نواری، چ و ح- بافت شعاعی. (درشت‌نمایی: 4X).

بررسی فازهای کانی‌های سیلیس به روش طیف‌سنجی میکروورامان

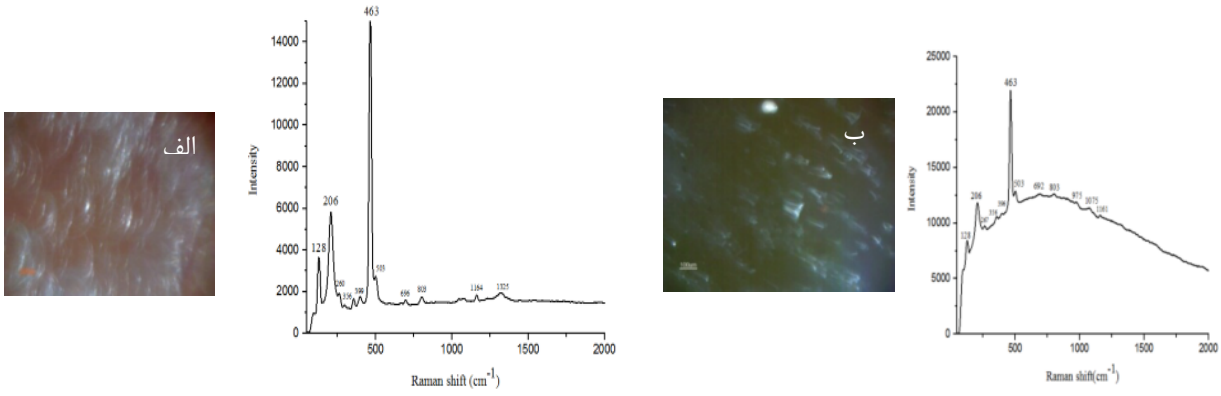
در این پژوهش، به منظور تعیین فازهای کانی کوارتز و ناخالصی‌های موجود از روش طیف‌سنجی رامان استفاده شد که اساس آن جذب و پراکندگی امواج الکترومغناطیسی از ذرات (اتم‌ها و مولکول‌ها) است [۳۵]. در طیف‌سنجی رامان، یک پرتو قوی از نور تک‌رنگ از میان نمونه عبور داده شده و سپس نور پراکنده شده در زوایای راست نسبت به پرتوی اولیه بر اساس بسامد آن بررسی می‌شود. نور مرئی با گستره طول موجی ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر اساس کار طیف‌سنجی رامان است. طیف‌سنجی رامان به ارتعاش‌های مولکول‌هایی می‌پردازد که تغییر دو قطبی ندارند [۳۶]. در هر طیف رامان، محور افقی نشانگر جابجایی رامان بر حسب cm^{-1} و محور عمودی نشان دهنده شدت و متناسب با تعداد فوتون‌های آشکار شده در دستگاه است. این منحنی‌ها فقط بر اساس خطوط استوکس هستند [۳۷]. روش طیف‌سنجی رامان یکی از روش‌های تجزیه مولکولی است که به دلیل مزایایی چون عدم نیاز به آماده‌سازی نمونه در بیشتر موارد، غیر مخرب بودن آن برای نمونه‌ها، کاربری در سه حالت ماده و عدم دخالت آب در تجزیه در گوهرشناسی و زمین-شناسی برای شناسایی نمونه‌ها و تشخیص شیمی بلوری مواد نامتجانس کاربرد دارد [۳۸]. از کاربرد های ویژه این روش در شناسایی کانی‌های چندریخت از جمله شکل‌های مختلف سیلیس است [۳۹]. کانی اصلی ترکیب‌های سیلیسی ریزبلوری (کلسدونی، ژاسپر، چرت یا فیلینت)، کوارتز آلفا یا کوارتز دما پایین است. چندریخت سیلیکاتی جدیدی به نام موگانیت بر اساس داده های پراش پرتوی X (XRD) شناسایی شده است که اغلب به صورت هم‌رشدی نزدیکی با کوارتز آلفا در بسیاری از گونه‌های کوارتز ریزبلوری تشکیل می‌شود. موگانیت به‌عنوان یک کانی جدید توسط انجمن جهانی کانی شناسی (IMA) در سال ۱۹۹۹ معرفی شده است [۳۹]. موگانیت از نظر ساختاری

بسیار نزدیک به کوارتز بوده و اغلب شامل سه درصد وزنی آب است. بر اساس نتایج رامان، کانی موگانیت در چندریخت‌های سیلیس شناسایی و نسبت موگانیت به کوارتز نیز ارزیابی می-شود [۳۹]. موگانیت در آگات‌هایی وجود دارد که توسط متامورفیسم تشکیل نشده یا در آزمایشگاه ساخته نشده باشند [۴۰].

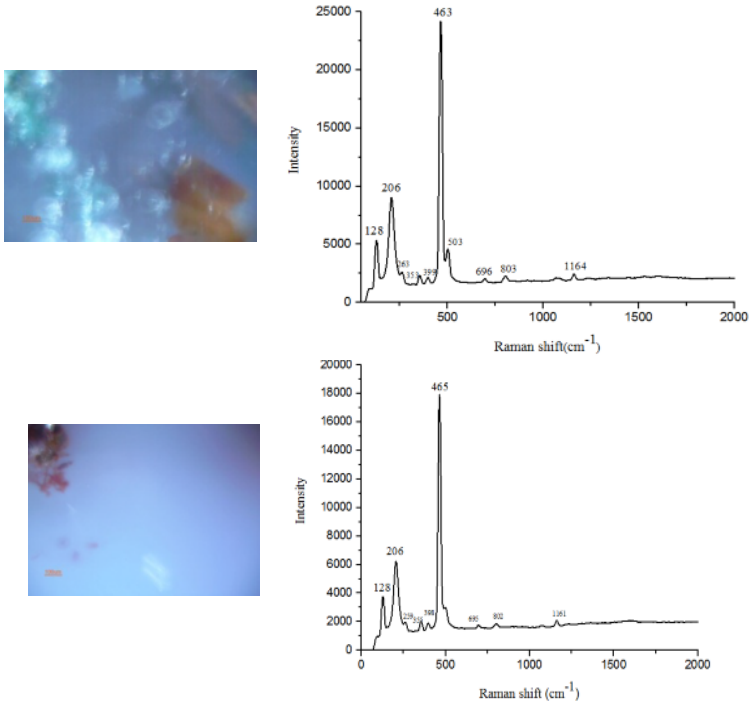
بر این اساس برای تشخیص فازهای کانی کوارتز و ناخالصی‌های موجود در نمونه‌های منطقه، یک نمونه آگات-ژاسپر استالاکتیتی قرمز- سبز، یک نمونه آگات-ژاسپر سیاه رنگ، یک نمونه آگات-ژاسپر خاکستری، دو نمونه آگات نواری یا تک مرکز، یک نمونه آگات خزه‌ای، یک نمونه آگات تخم مرغی شکل، یک نمونه ژاسپر شاخه ای خاکستری رنگ، یک نمونه ژاسپر شاخه ای زرد رنگ و یک نمونه ژاسپر نواری با طیف‌سنج میکرورامان بررسی شدند. بر اساس نتایج به دست آمده برای نمونه‌های منطقه مورد بررسی که در ادامه بیان می-شود، کانی‌های کوارتز آلفا و موگانیت همراه با ناخالصی‌های هماتیت، کلسیت، کلریت و مواد آلی کربن‌دار آشکار گردید.

آگات-ژاسپرهای استالاکتیتی قرمز و سبز بیشتر شامل کوارتز با نوارهای ۱۲۸ و cm^{-1} ۲۰۶ و موگانیت با نوارهای ۴۶۳ و cm^{-1} ۵۰۳ هستند. آنها همچنین دارای نوار مربوط به مواد کربن‌دار در cm^{-1} ۱۳۲۵ هستند (شکل ۷ الف). طیف‌سنجی رامان از لبه سبز رنگ این نمونه نیز انجام شد که حضور کلریت را در نوار cm^{-1} ۳۵۶ نشان داد (شکل ۷ ب). آگات- ژاسپرهای سیاه رنگ (شکل ۸ الف) نیز بیشتر شامل کوارتز با نوارهای ۱۲۸و cm^{-1} ۲۰۶ ، موگانیت با نوارهای ۴۶۳ و cm^{-1} ۵۰۳ و کلسیت با نوار cm^{-1} ۶۹۶ است. در آگات- ژاسپرهای خاکستری (شکل ۸ ب)، کوارتز با نوارهای ۱۲۸، ۲۰۶ و cm^{-1} ۴۶۵، موگانیت با نوار cm^{-1} ۵۰۱ و هماتیت با نوار cm^{-1} ۲۵۹ دیده می‌شود. طیف‌سنجی رامان برای دو نمونه آگات نواری یا تک مرکز انجام شد که نمونه اول بیشتر شامل کوارتز با نوارهای ۱۲۸، ۲۰۶، ۴۶۵ و cm^{-1} ۳۵۳، موگانیت با نوار cm^{-1} ۵۰۱ و کلسیت با نوار cm^{-1} ۶۹۶ (شکل ۹ الف) و نمونه دوم بیشتر شامل کوارتز با نوارهای ۱۲۷، ۲۰۸، ۳۵۵ و cm^{-1} ۴۶۵ و موگانیت با نوارهای cm^{-1} ۵۰۱ و cm^{-1} ۳۹۸ است (شکل ۹ ب). آگات‌های خزه‌ای نیز شامل کوارتز با نوارهای ۴۶۷،۲۱۰ و cm^{-1} ۱۲۸، موگانیت با نوار cm^{-1} ۵۰۳ ، هماتیت با نوار cm^{-1} ۳۹۹ و کلسیت با نوار cm^{-1} ۶۹۶ است (شکل ۱۰ الف). در طیف‌سنجی آگات های تخم مرغی شکل، کوارتز با نوارهای ۱۳۱ و cm^{-1} ۲۰۶، موگانیت با نوارهای ۴۶۳ و cm^{-1} ۵۰۳، هماتیت با نوار cm^{-1} ۳۹۹ و کلسیت با نوار cm^{-1} ۶۹۶ دیده شد (شکل ۱۰ ب). در طیف‌سنجی رامان از ژاسپرهای شاخه ای خاکستری و شاخه ای زردرنگ، کوارتز با نوارهای ۱۲۸ و cm^{-1} ۲۰۶، موگانیت با نوارهای ۴۶۳ و cm^{-1} ۵۰۳ و هماتیت با نوار cm^{-1} ۳۹۹ دیده شد (شکل ۱۱). در ژاسپرهای نواری نیز، کوارتز با نوارهای ۱۲۸ و cm^{-1} ۲۱۰ ، موگانیت با نوارهای ۴۶۳ و cm^{-1} ۵۰۳، هماتیت با نوار cm^{-1} ۳۹۹ و کلسیت با نوار cm^{-1} ۶۹۶ دیده می‌شود (شکل ۱۲).

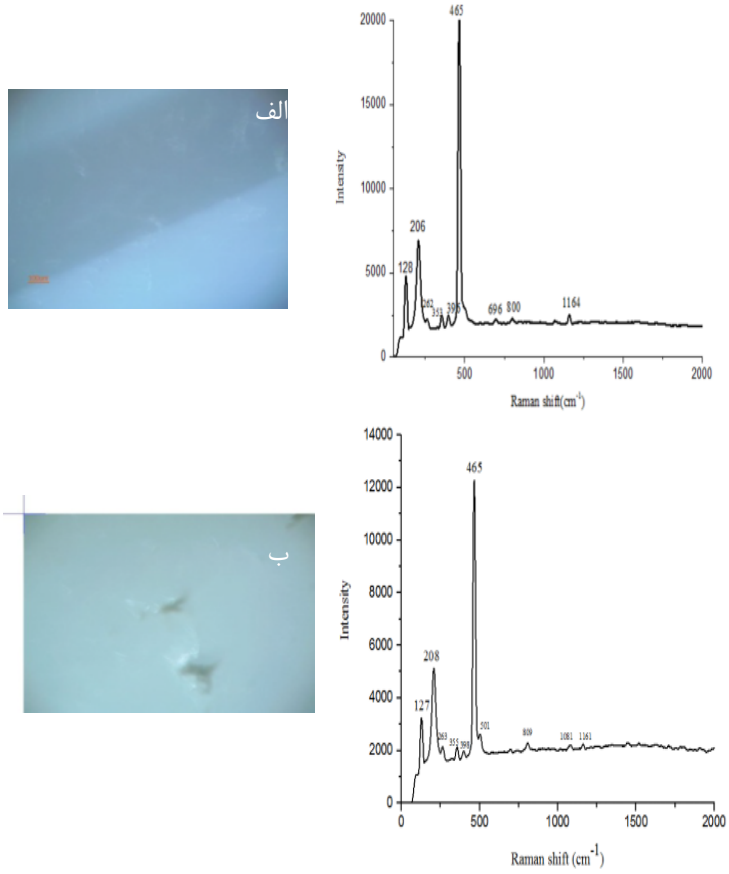
نوارهای دیده شده در طیف‌سنجی میکرورامان برای نمونه های منطقه با توجه به جدول ۱ تفسیر شده‌اند. بر اساس نتایج به دست آمده، دیده می‌شود که کانی موگانیت برای نخستین بار با استفاده از روش طیف سنجی رامان در منطقه چاه اندو معلمان شناسایی شده است.



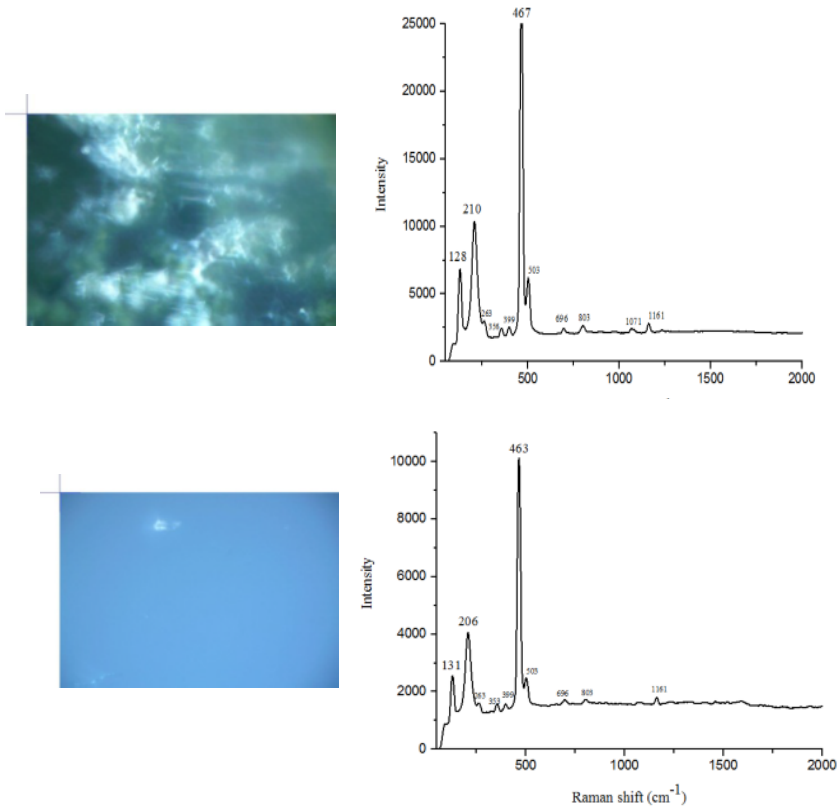
شکل ۷ الف. تصویر میکروسکوپی و طیف‌های رامان الف) کوارتز، موگانیت و مواد کربن‌دار در آگات-ژاسپرهای استالاکتیتی قرمز و سبز. و ب) کلریت در آگات-ژاسپرهای استالاکتیتی قرمز و سبز.



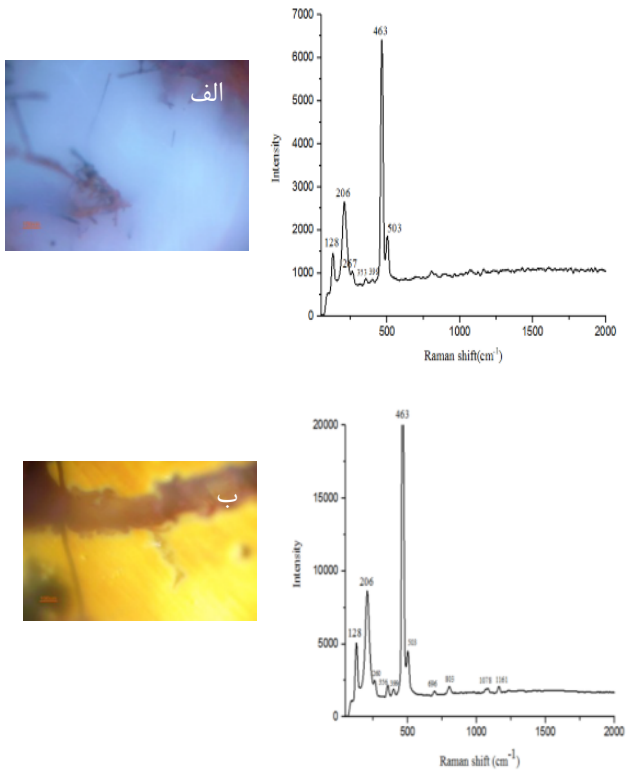
شکل ۸ تصویر میکروسکوپی و طیف‌های رامان کوارتز، موگانیت و کلسیت در آگات-ژاسپرهای الف) سیاه رنگ و ب) خاکستری رنگ



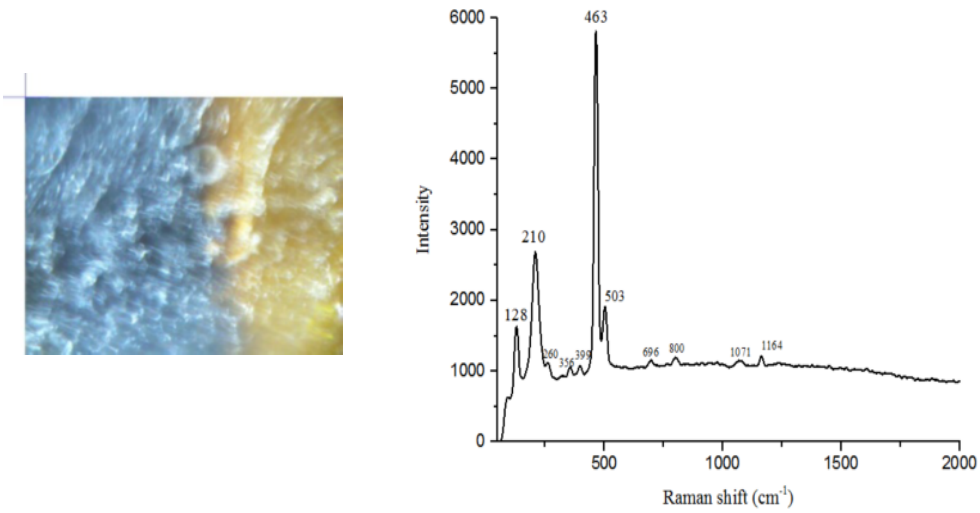
شکل ۹ الف. تصویر میکروسکوپی و طیف‌های رامان الف) کوارتز، موگانیت و کلسیت در آگات‌های نـواری (نمونـه اول). ب. کـوارتز و موگانیـت در آگات‌های نواری (نمونه دوم).



شکل ۱۰ تصویر میکروسکوپی و طیف‌های رامان کوارتز، موگانیت، هماتیت و کلسیت در الف) آگات‌های خزه‌ای و ب) آگات تخم مرغی .



شکل ۱۱ الف . تصاویر میکروسکوپی و طیف‌های رامان کوارتز، موگانیت و هماتیت در ژاسپرهای شاخه ای الف) خاکستری و ب. زردرنگ



شکل ۱۲ تصویر میکروسکوپی و طیف رامان کوارتز، موگانیت، هماتیت و کلسیت در ژاسپرهای نواری.

جدول ۱ نوارهای جذبی دیده شده در طیف‌سنجی میکرورامان.

کانی	نوار (cm^{-1})	منابع
کوارتزα	128, 206, 265, 355, 394, 401, 450, 464, 511, 696, 796,808, 1069.1085,1162,1230	[3]
موگانیت	129, 141, 220,265, 317, 370, 377, 398, 432, 449, 463, 501, 693, 792, 833, 1058, 1084, 1171,1177	[39], [3]
هماتیت	223, 245, 290, 408, 498, 609, 1320	[24, 3]
کلسیت	277, 710,1083, 1085	[24]
مواد آلی‌کربن دار	1320,1585	[3] [24]

برداشت

کانی‌سازی آگات و آگات- ژاسپر در منطقه چاه‌اندو به صورت قطعه‌های خرد شده پراکنده در دشت به اندازه‌های چند میلی-متر تا چند متر دیده می‌شود که برخی از آن‌ها برجا بوده و به صورت باندهایی با ضخامت حدود نیم‌متر در سطح قابل دیده هستند. در این دشت، سنگ‌های آندزیت، بازالت، توف، بیوتیت شیست و سرپانتینیت بیرون‌زدگی دارند که در برخی قسمت‌ها درون حفره‌های سنگ‌های آتشفشانی تبلور آگات صورت گرفته است. در نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ کلاته رشم، در مناطق با گسترش سنگهای شیستی پالئوزوئیک، رگه‌های سیلیسی وجود دارند که طی فرآیند دگرکونی تشکیل شده‌اند [۲۱]، از آن‌جا که کانی موگانیت در آگات‌هایی با خاستگاه غیردگرگونی وجود دارد، با توجه به آشکارسازی فاز موگانیت در بسیاری از نمونه‌های آگات –ژاسپر منطقه مورد بررسی، همه سیلیس‌زایی‌های منطقه مربوط به فرآیند دگرگونی نیستند و احتمال دارد که چندین مرحله کانی‌سازی سیلیس صورت گرفته باشد. به عبارتی، ممکن است که در یک مرحله سیلیس در اثر دگرگونی آزاد و سپس به صورت رگه‌ای شکل گرفته باشد که نیاز به بررسی-های زمین‌شناسی بیشتر و تعیین خاستگاه دارد. بررسی‌های طیف‌سنجی رامان که برای نخستین بار برای آگات‌ها و ژاسپرهای این منطقه انجام شد، فاز کانی موگانیت (SiO_2 با ۳ درصد آب) را آشکار نمود که این ترکیب در سنگ‌های زمینی در شرایط غیردگرگونی ایجاد می‌شود و مربوط به محلول‌های گرمابی است.

قدردانی

این پژوهش با استفاده از اعتبار پژوهشی دانشگاه صنعتی شاهرود انجام شده است. از آقای امید مرتضایی از معدن‌کاران منطقه معلمان که منطقه را معرفی نموده و همکاری بسیاری در عملیات صحرایی داشتند سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

[1] Moxon T, Reed S.J.B., *"Agate and chalcedony from igneous and sedimentary hosts aged from 13 to 3480 Ma"*:A cathodoluminescence study. Mineral. Mag, 70 (2006) 485–498.

[2] Heaney P.J., *"A Proposed Mechanism for the Growth of Chalcedony*", Contrib. Mineral. Petrol.1993, 115, 66–74.

[3] Duma´ nska-Słowik M, Wesełucha-Birczy´nska A, Natkaniec-Nowak L., *"Inclusions in topaz from miarolitic pegmatites of the Volodarsk-Volynski Massif (Ukraine)—A Raman spectroscopic study*", Spectrochim. Acta A, 109, 97–104.

[4] Fazeli Olady A., Bastami A., Farhadi Nezhad T., Shahrokhi S., Mohammad Zadeh, *"Investigation on the origin of semiprecious silica minerals at the Toroud-Moalleman area(Semnan province) with emphasis on the micro thermometry of ore bearing inclusion*", Proceeding of the 30th Geosciences congress (1390).

[5] Malek Mahmoodi F., Khalili M., *"Origin and formation qualification of Khur o Biabanak agates, Isfahan province*", Journal of Economic Geology, Vol. 6, No. 2 (2014-2015).

[6] Nazari M., *"Mineralogy and origin of agates/ geodes at the east of Khur and its relation to Bentonite formation*", Proceeding of the second Symposium of Geological Society of Iran, Mashhad (1377).

[7] http://iranian-agates.freeservers.com.

[8] Haj Alilu B., Vosuogh B., Moazzen M., *"Mineralogy, geochemistry ,gemology and color variation in agates from Mianeh area, NW Iran*", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy,Vol.19,No.3,pp.427-439(2011).

[9] Tale Fazal A., Asghar Zadeh H., *"Identification and introducing semiprecious silica minerals at the South of Sefidabeh(north of Sistan and Baluchestan Province)*", International Gemology Conferencefrom Knowledge to Assets(2016).

[10] Amoozgar R., Iranmanesh R., *"Investigation on the mineralogy and formation of Jaspers from the Bam area",* Kerman Province, Proceeding of the 3rth National Symposium on Gemology and Crystallography, Shahid Beheshty University, 1395.

[11] Montazami A., Amoozgar R., Iranmanesh R., *"Study of the different agates in the Bam area from economical point of view",* Proceeding of the 3rth National Symposium on Gemology and Crystallographyof Iran, Shahid Beheshty University, 1395.

[12] Mehri A., Alipour M., Modarresi F., Iranmanesh R., *"Investigation on the formation of agates from the Bam area ,Kerman Province*", Proceeding of the 3rth National Symposium on Gemology and Crystallography, Shahid Beheshty University, 1395.

[13] Darikvand N., Yusef Zadeh M., ZarrinKub M.H., *"Investigation on the texture , structure and origin of agates from Chah Gonbad Area,NE Sechangi*", Proceeding of the 4th National Symposium on Gemology and Crystallography of Iran, Buali Sina University, 1396.

[14] Abdol Abady B., Zareii Moghaddam H., Zolphaghary A., *"Mineralography and origin of the agates and geochemistry of its host rock, from the Bayg area*", Proceeding of the 4th National Symposium on Gemology and Crystallography of Iran, Buali Sina University:1396.

[15] Behpoor Sh., Moradia A., *"Origin and gemological investigation on rock crystal in the Kuhe Gabry area ,Kerman,Rafsanjan*", Proceeding of the 4th National Symposium on Gemology and Crystallography of Iran, Buali Sina University, 1396.

[16] Barati M., *"Investigating potential of Aqiq Mines in Iran and comparison with other mines in the Azerbijan Country*", Proceeding of the 4th National Symposium on Gemology and Crystallography of Iran, Buali Sina University, 1396.

[17] Sheykhi Gheshlaghi R., Ghorbani M., *"Investigation on mineralography and gemology on the agates from S,outh Toroud and its relation to polishing qualification*", Advanced Journal of Geology, No.18 (1394).

[18] Mehr parto M., Feyzi A., Soltani S., Ghasemi M., *"The origin of silisic geode (Amethyst)in the South of Tourod based on petrography ,microthermometry and textural studies*", The 12th proceeding of the Symposium of Geological Society of Iran.Ahvaz

[19] Ansaryfar A., Rezaii Kahkhaii M., Ghasemi H., *"Determination of the temperature and origin of Reza -Abad agates by oxygen isotope stable ,SE Shahrood*", Proceeding of the 4th National Symposium on Gemology and Crystallography of Iran, Buali Sina University:1396.

[20] Shakooei M., Abedi A., *"Investigation on the Jaspers at the Chah Andoo area ,NW Moalleman",* Proceeding of the 4th National Symposium on Gemology and Crystallography of Iran, Buali Sina University:1396.

[21] Jafarian M. B., *"Geological Map of Kalate-Reshm 1/100000,Geological Survey of Iran.*

[22] Manutchehr Danai M., *"Dictionary of Gems and Gemology*", 3rd edition, Springer-verlag (2009).

[23] Stefan Richter Jens Götze1., Hans Niemeyer Robert Möckel, *"Mineralogical investigations of agates from Cordón de Lila, Chile*", Andean Geology 42 (3): 386-396. September, 2015, doi: 10. 5027/andgeoV42n3-a06 .

[24] Lucyna Natkaniec-Nowak, Magdalena Duma´ nska-Słowik**,** Jaroslav Pršek, Marek Lankosz, Paweł Wróbel, Adam Gaweł, Joanna Kowalczyk, Jacek Kocemba, *"Agates from Kerrouchen (The Atlas Mountains,Morocco): Textural Types and TheirGemmological Characteristics*", Published: 26 July 2016.

[25] http://gemdat.org/gem-2082.html.

[26] Kostov R. I., *"Revie Of The Mineralogical Systematics Of Jasper And RelatedRocks*, Archeometriai Műhely 2010/3 .

[27] Richard D., Dayvault *"Colorful Agate and Jasper of Southeastern Utah, 2153 Redcliff Circle Grand Junction*", Colorado 81507 (2014).

[28] Tomasz Powolny, Magdalena Dumańska-Słowik., *"Review of existing systems of jaspers nomenclature and classification in Poland and worldwide,gospodarka surowcami mineralnymi – mineral resources management*", 2017 Volume 33 Issue 2 Pages 43–52.

[29] Fersman A. E., *"Gem and colour stones of Russia In: Kostov*", R. I. (2010), Revie Of The Mineralogical Systematics Of Jasper And RelatedRocks, Archeometriai Műhely 2010/3.

[30] Igumnov A. N., *"On the texture peculiarities of the multicoloured jasper from the Southern Ural In: Kostov*", R. I. (2010), Revie Of The Mineralogical Systematics Of Jasper And RelatedRocks, Archeometriai Műhely 2010/3.

[31] Putolova L. S., Menchinskaya T. I., Baranova T. L., Vdovenko A. P., *"Decorative Varieties of Coloured Stone in the Ussr. Nedra, Moscow In: Kostov, R. I. (2010)*", Revie Of The Mineralogical Systematics Of Jasper And RelatedRocks, Archeometriai Műhely 2010/3.

[32] Kostov R. I., *"Precious Minerals: Testing, Distribution, Cutting, History and Application (Gemmology). Pensoft, Sofia-Moscow,X In: Kostov, R. I. (2010)*", Revie Of The Mineralogical Systematics Of Jasper And RelatedRocks, Archeometriai Műhely 2010/3.

[33] Moxon T., *"studies of agate",* Terra Publications, chapter 2 Petrological microscopes and photomicroscopy (2009).

[34] Yakovleva M. E., Putolova L.S., *"On the mineralogical composition of some jaspers and the cause of their colour"*In: Kostov, R. I., 2010, Revie Of The Mineralogical Systematics Of Jasper And Related Rocks (1971).

[35] Fredricks S., Enhanced S.. *"Raman Spectroscopy of Peptides and Proteins absorbed on aSilver Surface on anelectrochemically Prepared Silver Surface"*, Spectrochima Acta, Part A, Vol. 55, (1999) pp. 1615-1640.

[36] Habucchi S., Cotlet M., Gronheind R., Dirix G., Michiels J., Vanderleyden J., Schryver De., Hofkense J., *"Single Molecule SurfaceEnhanced*

Resonance Raman Spectroscopy of the EnhancedGreen Fluorescent Protein", Journal of the American Chemical Society, Vol. 125 (2003) pp. 8446-8447.

[37] Roth E., Hope G. A, Schweinsberg D. P, Kiefer W., Fredericks P. M., *"Simple Technique for measuringSurface Enhanced Fourier Transform Raman Spectra ofOrganic Compounds"*, Applied Spectroscopy, Vol. 47 (11), (1993) pp. 1794-1800.

[38] Salehi l., Rasa A., Alirezaii S., Matroudy F., Tavassoli S.H., *"Raman spectroscopy and its application in alteration determination at Abbas - Abad Copper deposits*", NE Shahrood, Earth science research Journal,No.3, (1392) pp.69-83

[39] Pop D., Constantina C., Tatar D., Kiefer W., *"Raman Spectroscopy on Gem-Quality Microcrystallineand Amorphous Silica Varieties From Romania",* Studia Universitatis Babes-Bolyal, Geologia, 1, 41-52.

[40] Moxon T., *"Agate: a mineral that develops with age, water and moganite, Deposits Magazine*", 27.03.2018. https://depositsmag.com