

مقاله پژوهشی

سال بیست و هشتم، شماره دوم، تابستان ۹۹، از صفحه ۴۷۵ تا ۴۸۸

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

مریم شاکویی<sup>۱</sup>، آرزو عابدی<sup>\*</sup>، سید رضا میرباقری<sup>۲</sup>

۱- دانشکده مهندسی معدن، نفت و گیزیزیک، دانشگاه صنعتی شاهروود، شاهروود، ایران

۲- دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهروود، شاهروود، 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 - بازالت، توف و سنگ‌های دگرگونی هستند. آگات، ژاسپر و آگات - ژاسپر مهم‌ترین نوع کانی‌های سیلیس هستند که به صورت قطعه‌های خرد شده در اندازه میلی‌متری تا نیم‌متری پراکنده شده‌اند. بیشتر آگات‌های منطقه از نوع تک-مرکز (نوواری)، استالاکتیتی (منظре)، خزه‌ای و تخمرغی شکل هستند. ژاسپرها به صورت نواری، خزه‌ای، توده‌ای و ژاسپرهای رنگی مختلف دیده می‌شوند. در نتایج طیف‌سنجی میکرورامان، کوارتز آلفا و موگانیت به عنوان 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.

امتیست، کلسدونی، ژاسپر و اپال در کمان‌های ماغمای ترشیری (کمان‌های ارومیه-دختر، معلمان-خواف و البرز-آذربایجان) توزیع فراوانی دارد و قابل بی‌جویی است [۴]. بررسی‌های پتانسیل‌بایی 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 بیانک [۵]، کانی‌شناسی و شکل‌گیری آگات‌ها و ژئوهای خور و رابطه آن با تشکیل بنتونیت‌ها و همچنین بررسی آگات‌های بمرود، رودشور، برقان، فردوس، بایگ، گوی و رامین [۶، ۷]، ویژگی‌های کانی‌شناسی، زمین شیمی، گوهرشناسی و دلیل تنوع رنگ در آگات‌های میانه [۸]، بررسی پتانسیل‌های سیلیس نیمه-قیمتی در جنوب سفیدابه [۹]، بررسی ویژگی‌های

### مقدمه

رخداد تبلور آگات در مقیاس جهانی از میلیون‌ها سال پیش گزارش شده است. قدیمی‌ترین گوهرسنگ‌های آگات در سنگ‌های سازند پیلبارا (Pilbara) با سن ۲۷۰۰-۳۵۰۰ میلیون سال و جوان‌ترین آن‌ها در توفهای آتش‌نشانی کوه‌های یوکا (Yucca) آمریکا با سن ۱۳ میلیون سال است [۱]. چگونگی تشکیل آگات‌ها وابسته به محلول‌های گرمایی آتش‌نشانی 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 آتش‌نشانی هستند [۳]. در ایران انواع کانی‌سازی‌های سیلیس شامل آگات (عقیق)، درکوهی،

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

## 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 ۱ کلاته-رشم قرار دارد (شکل ۱) [۲۱]. بر اساس نقشه زمین‌شناسی کلاته-رشم، مهم‌ترین واحدهای سنگی رخمنون یافته در این منطقه گدازه‌های آندزیتی، توف و برش‌های اوسن و همچنین گدازه‌های آندزیت-بازالتی دگرگونه، توف دگرگونه و میکا-شیست با سن اردوبیسین 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 رخمنون آن‌ها در محل ریشه بوته‌ها و درختچه‌ها مشهودتر است. همچنین آگات‌های موجود در منطقه به صورت کروی و تخمرگی شکل (Thunder egg) درون حفره‌های سنگ‌های آتش‌شکنی به اندازه کمتر از ۱ سانتی‌متر تا بیش از ۸ سانتی‌متر دیده می‌شود (شکل ۲). بر اساس یازدیدهای صحرایی و بررسی مقاطع نازک، مهم‌ترین سنگ‌های منطقه اغلب شامل بازالت، آندزیت-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 پلازیوکلاز و الیوین‌هایی هستند که به طور کامل ایدنگسیتی شده‌اند. در برخی مقاطع، پیروکسن‌ها تقریباً 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).

آنزیت-بازالت: این سنگ دارای پورفیری‌های درشت پلازیوکلاز 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).

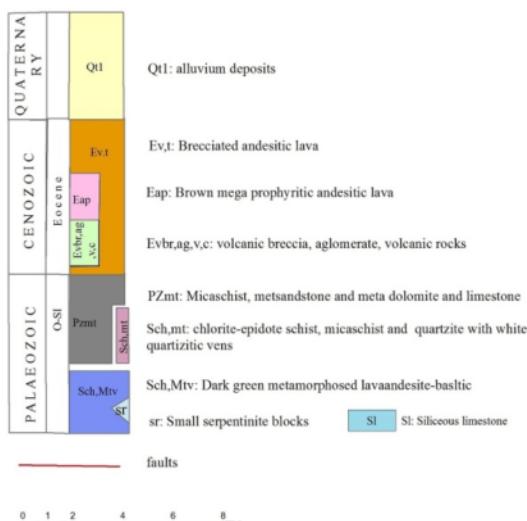
سرپانتینیت: این سنگ درواقع یک سنگ اولترامافیک بوده که به طور کامل سرپانتینیتی شده است. سرپانتین‌های سوزنی به

کانی شناسی و چگونگی تشکیل آگات‌ها و ژاسپرهای منطقه بم [۱۲-۱۰]. شناسایی ساخت، بافت و خاستگاه آگات‌های منطقه‌ی چاه‌گنبد، بایگ و درکوهی منطقه‌ی کوه گبری [۱۵-۱۲] و بررسی پتانسیل معادن عقیق ایران و مقایسه آن با معادن کشور آذربایجان [۱۶]. استان سمنان نیز در کمان ماقمایی معلمان - خوفا 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 ژئوهای آمتیست جنوب طرود [۱۸]، تعیین دما و خاستگاه آگات‌های رضا‌آباد (جنوب‌شرق شاهروд) با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن [۱۹]. ژاسپرهای منطقه چاهاندو واقع در ۱۰۰ کیلومتری جنوب غرب دامغان برای نخستین بار توسط نویسنده‌گان این مقاله [۲۰] معرفی شدند. در این پژوهش، انواع کانی‌سازی‌های سیلیس در منطقه چاهاندو به وسیله طیفسنجی میکرورامان بررسی شده است.

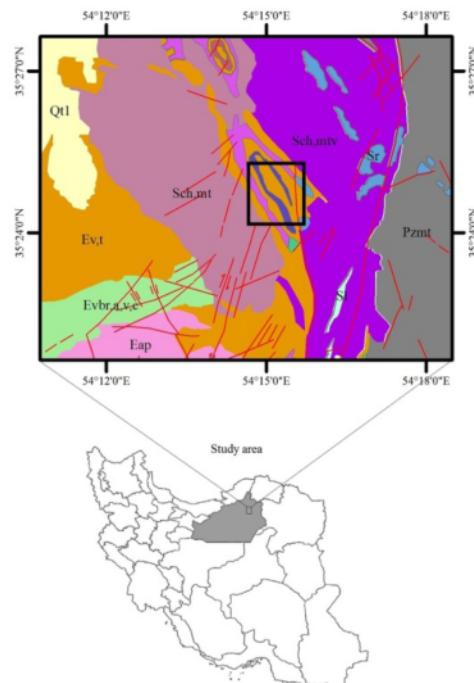
### روش پژوهش

پس از بازدید صحرایی و نمونه‌برداری به صورت تصادفی و شناسایی نمونه‌ها به روشن 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 شاهروド صیقل کاری شد. برای بررسی فازهای مختلف کانی‌سازی سیلیس، ۱۵ نمونه به روشن طیفسنجی میکرورامان با طیفسنج ساخت شرکت Avantes uRaman-532-Ci مدل و اندازه‌گیری مواد دانشکده فیزیک و مهندسی هسته‌ای دانشگاه صنعتی شاهروド بررسی شدند.

توف بلورین: بلورهای کوارتز، آمفیبول و کانی‌های کدر در زمینه بسیار دانه ریز خاکسترها آتشفسنای قرار دارند (شکل ۳ج). 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 ۳ج و ۴).



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



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



شکل ۲ الف و ب-پ - رخمنون کانی‌سازی سیلیس در محل ریشه بوته‌ها و درختچه‌ها و ت- رخمنون 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 زولیت 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 پلازیوکلاز است که برخی به کلسیت و کلریت دگرسان شده‌اند و در بردارنده 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 آتشفسانی) وجود دارند. چ و ح- بیوتیت شیست که بیوتیت‌ها دگرسان شده و کوارتزهای موجود خرد شده‌اند.

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 آگات‌های 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 کلسیدونی‌های 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

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

کانی‌های گروه آگات زیرگروهی از کلسیدونی 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 آتشفسانی است. افرون بر این، ممکن است که آگات‌ها به صورت رگه‌های گرمایی در

از ۱ سانتی‌متر تا بیش از ۸ سانتی‌متر دیده شدند. آگات‌های تخممرغی ریز به طور مشخص از درون حفره‌های سنگ‌های آتشفسانی که توسط سیلیس پر شده‌اند برداشته شده‌اند، در حالی که نمونه‌های درشت‌تر به صورت نایرجا 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 رنگ‌های قرمز، قهوه‌ای، زرد، سبز، آبی مایل به خاکستری و بنفش کم رنگ است. ژاسپر دارای سختی ۶/۵ تا ۷، وزن مخصوص ۲/۵۸ تا ۲/۹۱ گرام است [۲۲]. اصطلاح ژاسپر جلای چرب و شکست صدفی است [۲۵]. ژاسپرها شفافیت کمتری دارند و تقریباً 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].

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 آگات‌خزه‌ای، 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



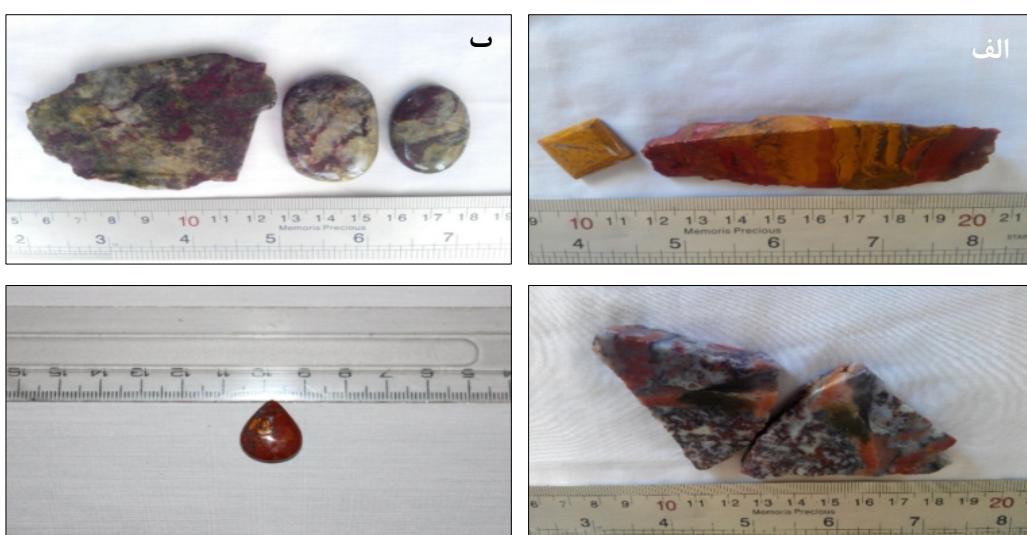
شکل ۴ انواع کانی‌سازی سیلیس در منطقه (انواع ساخت و بافت): الف و ب- آگات-ژاسپر استالاکتیتی کاذب (منظره)، ب- آگات نواری (تک مرکز)، ت- آگات خزه‌ای، ث- آگات تخم مرغی شکل بزرگ‌تر از ۸ سانتی‌متر و ج- آگات تخم مرغی شکل حدود ۱ سانتی‌متر و کوچک‌تر.

رنگ‌های گوناگون هستند که به صورت نامنظم و غیر یکنواخت در هم آمیخته‌اند (شکل ۵ ب). در ژاسپرهای شاخه‌ای، 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، شاخه‌ای، پرطلاووسی و نواری دیده می‌شوند. این بافت‌ها هم در آگات‌ها و هم در ژاسپرها حضور دارد (شکل ۶).

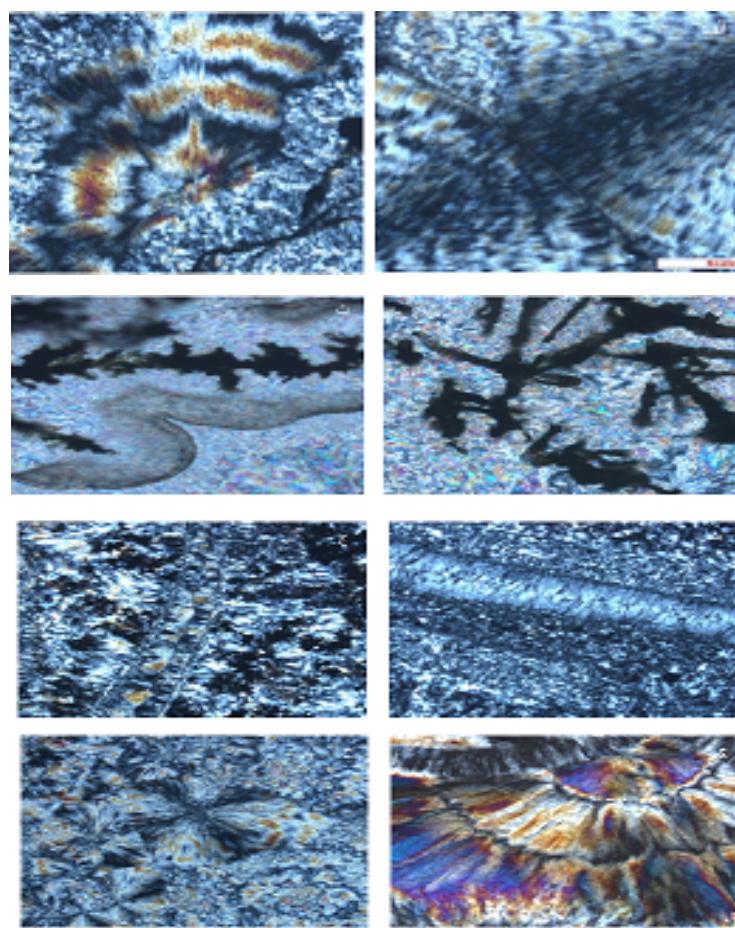
آگات با بیش از ۳۰ رنگ مختلف در طبیعت دیده می‌شود. از عوامل اصلی اثرگذار بر رنگ آگات‌ها حضور اکسیدهای فلزی و عناصر مختلف به صورت ناخالصی در این کانی‌هاست. اکسید آهن در آگات بسیار وجود دارد و به رنگ‌های قرمز، نارنجی، زرد، بنفش و سیاه دیده می‌شود. رنگ قرمز آن به دلیل وجود هماتیت ( $Fe_2O_3$ ) و رنگ زرد 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، قهوه‌ای، زرد و حتی بیرونگ در سطح دشت پراکنده می‌باشند. در ژاسپرهای منطقه، رنگ قرمز، زرد و قهوه‌ای به دلیل وجود اکسیدهای هیدروکسیدهای آهن از جمله هماتیت و گوتیت و رنگ سبز به احتمال بسیار به دلیل وجود کلریت است.

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 کنگلومراپی و برشی، ژاسپرهای کروی و گل کلمی.

رده‌بندی بافتی جزئی‌تری بر اساس ژاسپرهای اورال انجام شده است که شامل توده‌ای، نواری، برشی، هم مرکز، 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 کلسیدونی، 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 روسوبی-آتشفسانی دگرگون شده و گرمابی متاسوماتیک بوجود می‌آیند در حالی که شبه ژاسپرها فرآورده مراحل پایانی فعالیتهای آتشفسانی با ترکیب غالب کلسیدونی هستند [۲۶]. بیشتر ژاسپرهای منطقه‌ی چاهاندو دارای بافت نواری و رنگی مختلف هستند. از دیگر بافت‌های 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



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



شکل ۶ انواع بافت کانی‌سازی‌های سیلیس در زیر میکروسکوپ نوری قطبشی: الف و ب- بافت پرطاؤوسی، پ و ت- بافت شاخه‌ای، ث و ج- بافت نواری، چ و ح- بافت شعاعی. (درشت‌نمایی: ۴X).

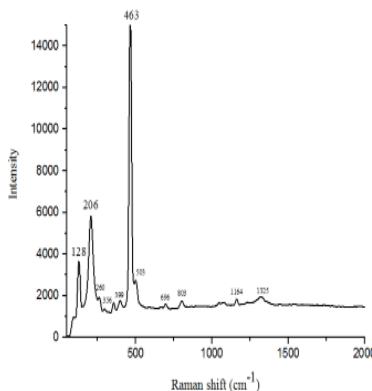
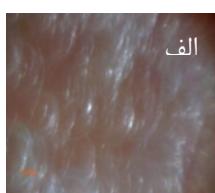
طیفسنجی رامان یکی از روش‌های تجزیه مولکولی است که به دلیل مزایایی چون عدم نیاز به آماده‌سازی نمونه در بیشتر موارد، غیر مخرب بودن آن برای نمونه‌ها، کاربری در سه حالت ماده و عدم دخالت آب در تجزیه در گوهرشناسی و زمین‌شناسی برای شناسایی نمونه‌ها و تشخیص شیمی بلوری مواد نامتجانس کاربرد دارد [۳۸]. از کاربردهای ویژه این روش در شناسایی کانی‌های چندریخت از جمله شکل‌های مختلف سیلیس است [۳۹]. کانی اصلی ترکیب‌های سیلیسی ریزلولوری (کلسدونی، ژاسپر، چرت یا فیلینت)، کوارتز آلفا یا کوارتز دما پایین است. چندریخت سیلیکاتی جدیدی به نام موگانیت بر اساس داده‌های پراش پرتوی X (XRD) شناسایی شده است که اغلب به صورت همرشدی نزدیکی با کوارتز آلفا در بسیاری از گونه‌های کوارتز ریزلولوری تشکیل می‌شود. موگانیت به عنوان یک کانی جدید توسط انجمن جهانی کانی شناسی (IMA) در سال ۱۹۹۹ معرفی شده است [۳۹]. موگانیت از نظر ساختاری

### بررسی فازهای کانی‌های سیلیس به روش طیفسنجی میکرورامان

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 تکررگ 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  $\text{cm}^{-1}$  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

خاکستری (شکل ۸ ب)، کوارتز با نوارهای ۱۲۸، ۲۰۶ و  $\text{cm}^{-1}$  ۴۶۵، موگانیت با نوار  $50\text{ cm}^{-1}$  و هماتیت با نوار  $50\text{ cm}^{-1}$  دیده می‌شود. طیفسنجی رامان برای دو نمونه آگات نواری یا تک مرکز انجام شد که نمونه اول بیشتر شامل کوارتز با نوارهای ۱۲۸، ۲۰۶، ۳۵۳  $\text{cm}^{-1}$ ، موگانیت با نوار  $50\text{ cm}^{-1}$  و کلسیت با نوار  $696\text{ cm}^{-1}$  (شکل ۹ الف) و نمونه دوم بیشتر شامل کوارتز با نوارهای ۱۲۷، ۲۰۸، ۳۵۵ و  $465\text{ cm}^{-1}$  و موگانیت با نوارهای  $50\text{ cm}^{-1}$  و  $398\text{ cm}^{-1}$  است (شکل ۹ ب). آگات‌های خزهای نیز شامل کوارتز با نوارهای ۴۶۷، ۲۱۰ و  $128\text{ cm}^{-1}$ ، موگانیت با نوار  $50.3\text{ cm}^{-1}$ ، هماتیت با نوار  $50.3\text{ cm}^{-1}$  و کلسیت با نوار  $696\text{ cm}^{-1}$  است (شکل ۱۰ الف). در طیفسنجی آگات‌های تخم مرغی شکل، کوارتز با نوارهای ۱۳۱ و  $20.6\text{ cm}^{-1}$ ، موگانیت با نوارهای ۴۶۳ و  $50.3\text{ cm}^{-1}$  هماتیت با نوار  $399\text{ cm}^{-1}$  و کلسیت با نوار  $696\text{ cm}^{-1}$  دیده شد (شکل ۱۰ ب). در طیفسنجی رامان از ژاسپرهای شاخه ای خاکستری و شاخه ای زردرنگ، کوارتز با نوارهای ۱۲۸ و  $20.6\text{ cm}^{-1}$ ، موگانیت با نوارهای ۴۶۳ و  $50.3\text{ cm}^{-1}$  و هماتیت با نوار  $399\text{ cm}^{-1}$  دیده شد (شکل ۱۱). در ژاسپرهای نواری نیز، کوارتز با نوارهای ۱۲۸ و  $21.0\text{ cm}^{-1}$ ، موگانیت با نوارهای ۴۶۳ و  $50.3\text{ cm}^{-1}$ ، هماتیت با نوار  $399\text{ cm}^{-1}$  و کلسیت با نوار  $696\text{ cm}^{-1}$  دیده می‌شود (شکل ۱۲).

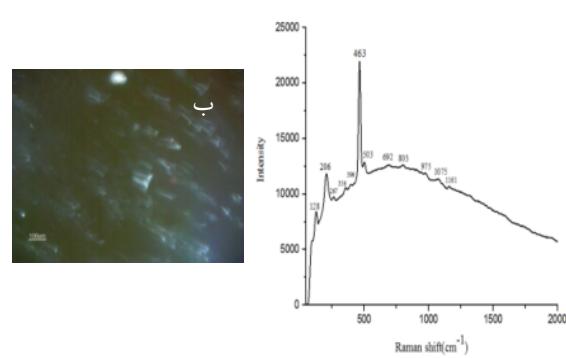
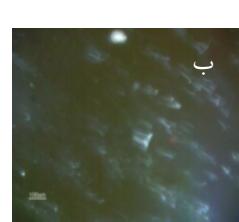
نوارهای دیده شده در طیفسنجی میکرورامان برای نمونه‌های منطقه با توجه به جدول ۱ تفسیر شده‌اند. بر اساس نتایج به دست آمده، دیده می‌شود که کانی موگانیت برای نخستین بار با استفاده از روش طیف سنجی رامان در منطقه چاه اندو معلمان شناسایی شده است.



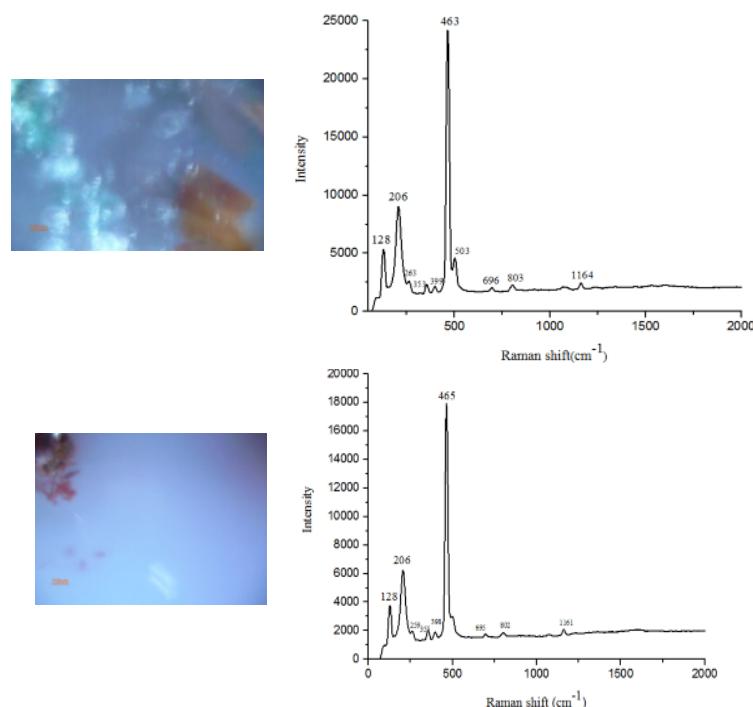
بسیار نزدیک به کوارتز بوده و اغلب شامل سه درصد وزنی آب است. بر اساس نتایج رامان، کانی موگانیت در چند ریخت‌های سیلیس شناسایی و نسبت موگانیت به کوارتز نیز ارزیابی می‌شود [۳۹]. موگانیت در آگات‌هایی وجود دارد که توسط متامورفیسم تشکیل نشده یا در آزمایشگاه ساخته نشده باشدند [۴۰].

بر این اساس برای تشخیص فازهای کانی کوارتز و ناخالصی‌های موجود در نمونه‌های منطقه، یک نمونه آگات-ژاسپر استلاکتیتی 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 طیفسنجی میکرورامان بررسی شدند. بر اساس نتایج به دست آمده برای نمونه‌های منطقه مورد بررسی که در ادامه بیان می‌شود، کانی‌های کوارتز آلفا و موگانیت همراه با ناخالصی‌های هماتیت، کلسیت، کلریت و مواد آلی کربن‌دار آشکار گردید.

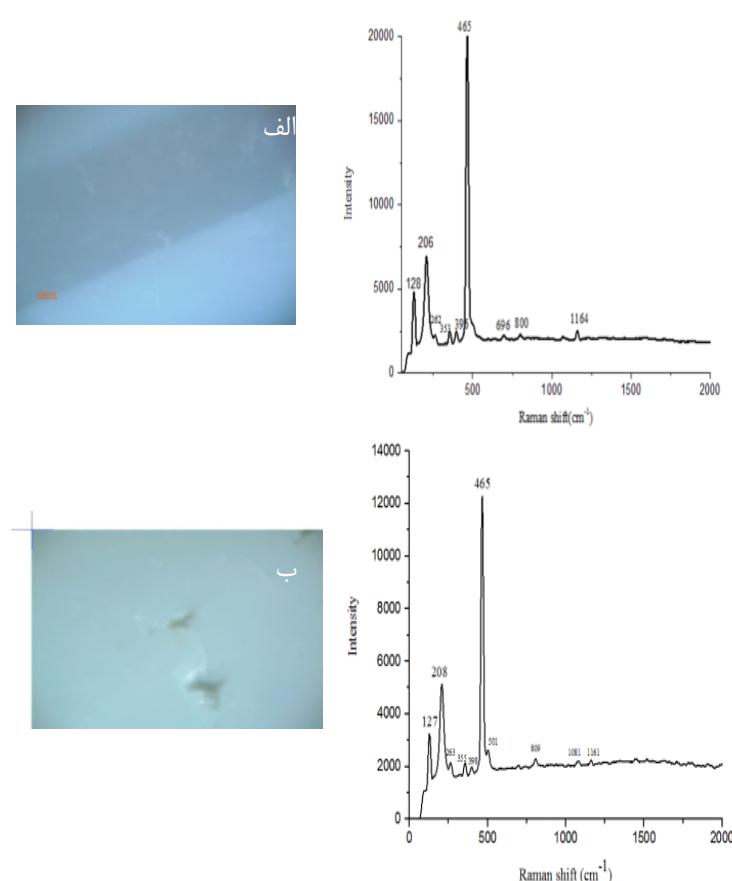
آگات-ژاسپرهای استلاکتیتی قرمز و سبز بیشتر شامل کوارتز با نوارهای ۱۲۸ و  $20.6\text{ cm}^{-1}$  و موگانیت با نوارهای ۴۶۳ و  $50.3\text{ cm}^{-1}$  هستند. آنها همچنین دارای نوار مربوط به مواد کربن‌دار در  $1325\text{ cm}^{-1}$  هستند (شکل ۷ الف). طیفسنجی رامان از لبه سبز رنگ این نمونه نیز انجام شد که حضور کلریت را در نوار  $356\text{ cm}^{-1}$  نشان داد (شکل ۷ ب). آگات-ژاسپرهای سیاه رنگ (شکل ۸ الف) نیز بیشتر شامل کوارتز با نوارهای ۱۲۸ و  $20.6\text{ cm}^{-1}$ ، موگانیت با نوارهای ۴۶۳ و  $50.3\text{ cm}^{-1}$  و کلسیت با نوار  $696\text{ cm}^{-1}$  است. در آگات-ژاسپرهای



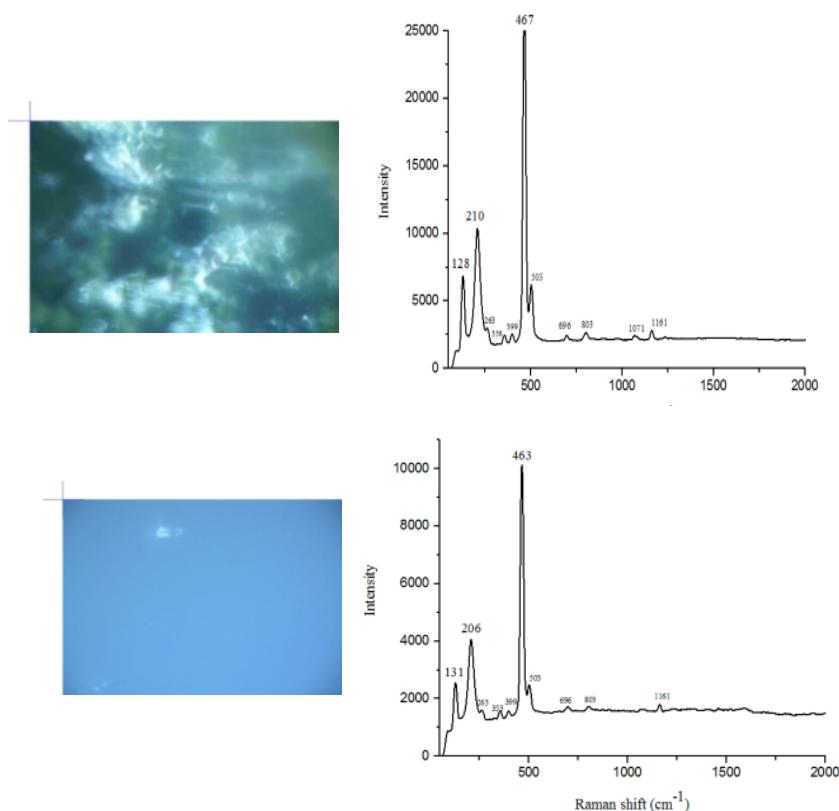
شکل ۷ الف. تصویر میکروسکوپی و طیف‌های رامان (الف) کوارتز، موگانیت و مواد کربن‌دار در آگات-ژاسپرهای استلاکتیتی قرمز و سبز. کلریت در آگات-ژاسپرهای استلاکتیتی قرمز و سبز.



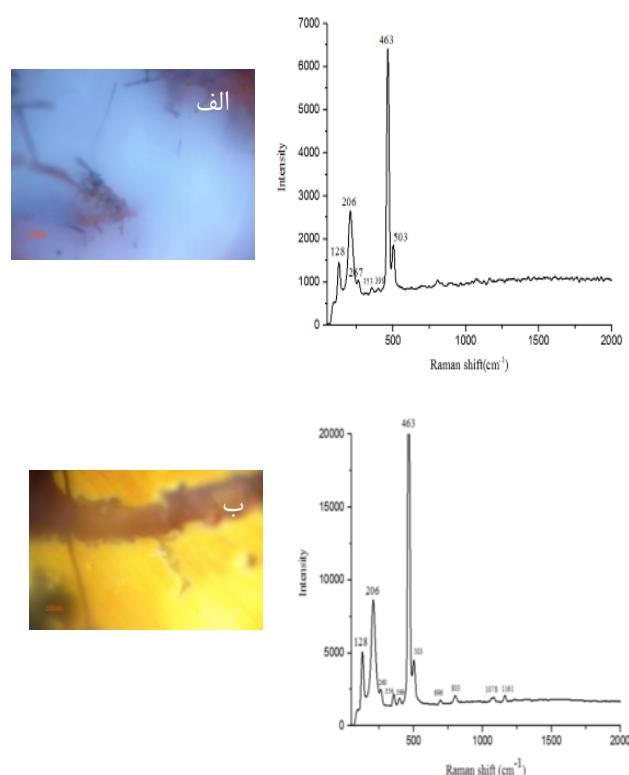
شکل ۸ تصویر میکروسکوپی و طیفهای رامن کوارتز، موگانیت و کلسیت در آگات-ژاسپرهای (الف) سیاه رنگ و (ب) خاکستری رنگ



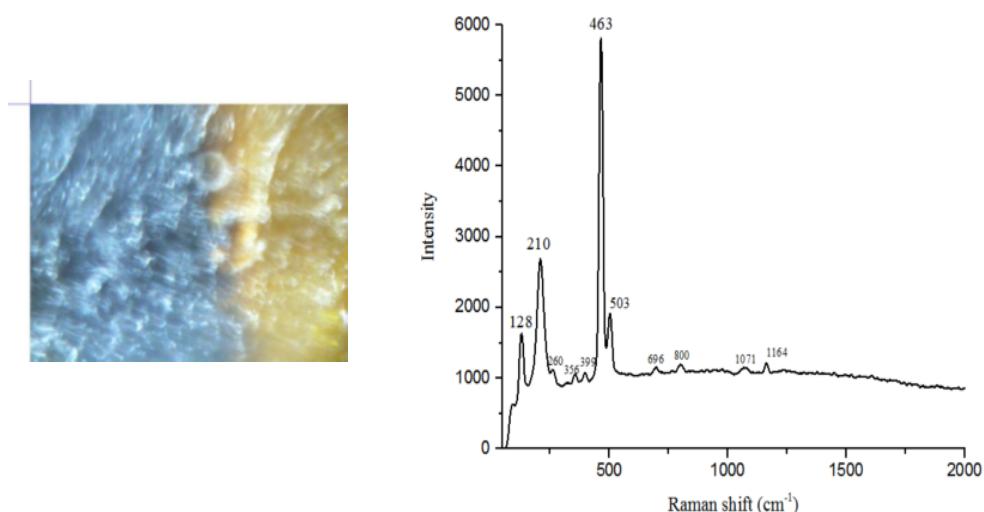
شکل ۹ الف. تصویر میکروسکوپی و طیفهای رامن (الف) کوارتز، موگانیت و کلسیت در آگات‌های نواری (نمونه اول). ب. کوارتز و موگانیت در آگات‌های نواری (نمونه دوم).



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 شاخه‌ای (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 ( $\text{cm}^{-1}$ )	منابع
کوارتز $\alpha$	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 آلی کربن دار	1320, 1585	[3] [24]

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 بررسی‌های زمین‌شناسی بیشتر و تعیین خاستگاه دارد. بررسی‌های طیفسنجی رامان که برای نخستین بار برای آگات‌ها و ژاسپرهای این منطقه انجام شد، فاز کانی موگانیت ( $\text{SiO}_2$ ) با ۳ درصد آب) را آشکار نمود که این ترکیب در سنگ‌های زمینی در شرایط غیردگرگونی ایجاد می‌شود و مربوط به محلول‌های گرمابی است.

**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 بر جا 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 آتش‌شکنی تبلور آگات صورت گرفته است. در نقشه ۱/۱۰۰۰۰ کلاته رشم، در مناطق با گسترش سنگ‌های شیستی پالتوزوئیک، رگه‌های سیلیسی وجود دارند که طی فرآیند دگرگونی تشکیل شده‌اند [۲۱]، از آن‌جا که کانی موگانیت در آگات‌هایی با خاستگاه غیردگرگونی وجود دارد، با

## قدرتانی

این پژوهش با استفاده از اعتبار پژوهشی دانشگاه صنعتی شهرود انجام شده است. از آقای امید مرتضایی از معن کاران منطقه معلمان که منطقه را معرفی نموده و همکاری بسیاری در عملیات صحرا ای داشتند سپاسگزاری می شود.

## مراجع

- South of Sefidabeh(north of Sistan and Baluchestan Province)", International Gemology Conference from 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 3th 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 3th National Symposium on Gemology and Crystallography of 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 3th 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 Azerbaijan Country", Proceeding of the 4th National Symposium on Gemology and Crystallography of Iran, Buali Sina University, 1396.
- [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. Petro.* 1993, 115, 66–74.
- [3] Duma'nska-Słowik M, Wesełucha-Birczyńska 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 30<sup>th</sup> 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., Vosough 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

- [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 Mühely 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 Mühely 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 Mühely 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 Mühely 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
- [17] Sheykhi Gheshlaghi R., Ghorbani M., "Investigation on mineralogy and gemology on the agates from South 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 silicic geode (Amethyst)in the South of Tourod based on petrography ,microthermometry and textural studies", The 12<sup>th</sup> proceeding of the Symposium of Geological Society of Iran.Ahvaz
- [19] Ansaryfar A., Rezaei 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 Dumańska-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 Mühely 2010/3 .

*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 Microcrystalline and Amorphous Silica Varieties From Romania", *Studia Universitatis Babes-Bolyai, 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>

*Resonance Raman Spectroscopy of the Enhanced Green 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 measuring Surface Enhanced Fourier Transform Raman Spectra of Organic Compounds", *Applied Spectroscopy*, Vol. 47 (11), (1993) pp. 1794-1800.

[38] Salehi I., Rasa A., Alirezaii S., Matroud F., Tavassoli S.H., "Raman spectroscopy and its application in alteration determination at Abbas -