دانشکده علوم زمین

گروه پترولوژی و زمین‌شناسی اقتصادی

زمین‌شناسی، پیدایش، ویژگی‌های صنعتی و بهسازی آگات‌های فردوس

نگارنده:

حدیثه آقائی قوجه

اساتید راهنما:

دکتر مهدی رضائی کهخائی

دکتر فرج ا... فردوست

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ۱۳۹۸

شماره: ۹۹۰۶/۲۲۴
تاریخ: ۹۹/۶/۳۰

باسمه‌تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای **حدیثه آقائی قوجه** با شماره دانشجویی **۹۵۰۱۷۵۴** رشته **زمین‌شناسی** گرایش **اقتصادی** تحت عنوان **زمین‌شناسی، پیدایش، ویژگی‌های صنعتی و بهسازی آگات‌های فردوس** که در تاریخ ۱۳۹۸/۰۶/۱۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: عالی .....) ☐ **مردود** ☐

نوع تحقیق: **نظری** ☐ **عملی** ☒

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استادراهنمای اول	دکتر مهدی رضائی کهخائی	استادیار	
۲- استادراهنمای دوم	دکتر فرج ا... فردوست	استادیار	
۳- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر مهدی جعفر زاده	استادیار	
۴- استاد ممتحن اول	دکتر محمود صادقیان	دانشیار	
۵- استاد ممتحن دوم	دکتر مسعود علیپور اصل	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر پرویز امیدی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده: ۹۸/۷/۳۰

از طرف: مسعود علی پور اصل

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم به استوارترین تکیه گاهم "پدرم"

به او که نمی دانم از بزرگی اش بگویم یا مردانگی، سخاوت، سکوت، مهربانی و. . .

پدرم راه تمام زندگیست

پدرم دلخوشی همیشگیست

تقدیم با بوسه به مقدس ترین واژه در لغت نامه دلم، مادر مهربانم، دریای بی کران فداکاری و عشق، زندگیم را مدیون لطف و عطوفت و زحمات

مادرم میدانم آنکه آفتاب مهرش در آستانه قلبم، همچنان پابرجاست و هرگز غروب نخواهد کرد.

تقدیم به قلب های مهربان و پشتوانه های زندگی ام:

خواهرم مهدیس و همسر بزرگوارش امید

خواهرم الناز و همسر بزرگوارش سیامک

و خواهرم طناز

و دو فرشته کوچک خانوادمان " آریا و آرشا " که وجودشان شادی بخش و مایه آرامش من است.

تشکر و قدردانی

تحسین سپاس و ستایش از آن خداوندی است که بنده کوچکش را در دریای بیکران اندیشه، قطره‌ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه اندیشه ناب اساتید بزرگ به تماشا نشیند؛ اما در این راه، چه بس بزرگوارانی که من را لایق ارشاد و محبت خویش دانستند. لذا بر خود لازم می‌دانم تا مراتب سپاس را از بزرگوارانی بجا آورم که اگر دست یاری گرشان نبود هرگز این پایان نامه به انجام نمی‌رسید.

استادان راهنمای فرهیخته و مهربانم، دکتر مهدی رضائی کهخائی و دکتر فرج ا... فردوست، که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه ی آنها، زبان قاصر است و بی شک راهنمایی های ارزنده، دانش و دلسوزی ایشان سبب به انجام رسیدن این پایان نامه شده است.

از دکتر محمود صادقیان و دکتر مسعود علیپور اصل که داوری این پایان نامه را بر عهده داشتند و دکتر سوهانی که در کمال سعه صدر با حسن خلق و فروتنی از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ نداشته اند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از سرکار خانم زهره فارسی، مسئول آموزش دانشکده علوم زمین که همواره با مهربانی و دلسوزی ما را همراهی نموده اند بسیار سپاس گذارم. از آقای محمیان، مسئول کارگاه تهیه مقطع که همیشه با پشتکار و صمیمیت من را در تهیه مقاطع این پژوهش همراهی و از هیچ کمکی دریغ نکرده اند و همچنین آقای میرباقری، مسئول آزمایشگاه اپتیک و آقای قوشه ای کارشناس گروه دانشکده و سرکار خانم سعیدی مسئول پژوهشی دانشکده و آقای آجدانی مسئول آبدارخانه دانشکده کمال تشکر را دارم.

از تمام دوستانم که در این راه، همواره وجودشان مایه دلگرمی و امید بخش من بوده اند و در جلسه دفاع اینجانب شرکت نموده اند نهایت تشکر و سپاسگذاری را می‌نمایم:

آقایان عرفان عمیدی مهر، پوریاولی خانی، حدنان باقری، محمد مهدیزاده، مجید تقی زاده، مهدی محمدی سجاسی، یونس سرتختی، پیام شاه ولی، محمد حسن نصرا... و خانم ها مریم شوقانی، فرزانه پزشکی، سمیرا مددی، شیوا مسکینی، حافظه علیپور، آسیه فضیلت، مریم قوت، فاطمه اسماعیلی، ام البنین انصاری فر، مرضیه اسدی، نیکو کاظمی و مرضیه شیخی.

و در پایان با بوسه بر دستان پدر و مادر عزیزم، که همیشه سختی ها را به جان خریده اند تا من به جایگاهی که اکنون هستم، برسم نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

تعهد نامه

اینجانب **حدیثه آقائی قوجه** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **اقتصادی** دانشکده **علوم زمین** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده **پایان‌نامه زمین‌شناسی، پیدایش، ویژگی‌های صنعتی و بهسازی آگات‌های فردوس** تحت راهنمائی **دکتر مهدی رضائی کهخائی و دکتر فرج ا... فردوست** متعهد می شوم:

تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.

در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.

مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.

کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا« Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.

حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.

در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.

در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

مقالات مستخرج شده از این پایان نامه

آقائی قوجه، ح.، رضائی کهخائی، م.، فردوست، ف.، (۱۳۹۷) "بررسی ساخت و بافت آگات‌های فردوس و سنگ میزبان آنها". دهمین همایش ملی انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه اصفهان.

آقائی قوجه، ح.، رضائی کهخائی، م.، فردوست، ف.، (۱۳۹۷) "بررسی ساختارهای میکروسکوپی، ژئوشیمی و علل تنوع رنگ در عقیق‌های جنوب فردوس (خراسان جنوبی)". بیست و یکمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران و یازدهمین همایش ملی زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور، دانشگاه قم.

رضائی کهخائی، م.، آقائی قوجه، ح.، فردوست، ف.، (پذیرش) "ژئوشیمی و اسپکتروسکوپی رامان آگات-های سه‌قلعه، شمال غرب بیرجند (ایران مرکزی)". مجله زمین‌شناسی اقتصادی (پذیرش شده و در نوبت چاپ).

چکیده

آگات‌های منطقه فردوس در ۱۲۰ کیلومتری شمال باختر شهرستان بیرجند واقع شده‌اند و بخشی از پهنه ساختاری ایران مرکزی محسوب می‌شوند. کانی‌سازی سیلیس (آگات‌ها) درون واحدهای آتشفشانی ائوسن - الیگوسن از قبیل بازالت، آندزیت و آندزیت بازالتی و سنگ‌های آذرآواری شامل (توف و لیتیک توف) با دو ساختار عمده رگه‌ای و حفره پرکن رخ داده است. آگات ها در شکل و طرح‌های خزه‌ای، شاخه درختی، متحدالمرکز، لایه‌ای، لوله‌ای، گل کلمی و رنگ های سفید، سبز، زرد، سیاه، قرمز، خاکستری و غیره قابل مشاهده می‌باشند. مشاهدات پتروگرافی و اسپکتروسکوپی رامان آشکار کرد که آگات‌های منطقه فردوس اساساً ازکلسدونی، موگانیت و کوارتزین تشکیل شده‌اند و کلسیت تنها کانی فرعی یافت شده در آگات‌ها است. از آنجا که اغلب آگات‌های مورد مطالعه دارای رنگ‌های سفید و بی رنگ هستند، جهت بالا بردن کیفیت و ارزش اقتصادی آگات‌های منطقه فردوس از محلول‌های شیمیایی مختلف (از قبیل کبالت کلراید هگزاهیدارت، کلرید مس، نیترات آهن، پتاسیم کرومات و نیترات مس) و تکنیک‌های حرارت دادن و اشعه گاما استفاده شد. اگرچه به دلیل ساخت و بافت متراکم سنگ‌ها نتایجج بارزی حاصل نشد. نتایج تجزیه ژئوشیمیایی آگات‌های منطقه فردوس نشان می‌دهد که آنها دارای مقادیر SiO_2 بین ۹۵/۸ تا ۹۸/۹ درصد وزنی با مقادیر جزئی CaO، Fe_2O_3، Al_2O_3 وNa_2O می باشند. این آگات‌ها همچنین شیب منفی ملایمی در نمودارهای نرمالیزه شده نسبت به کندریت و گوشته اولیه نشان می‌دهند و مقدار عناصر آنها اغلب کمتر از سنگ‌های آتشفشانی میزبان است. فراوانی عنصر U در آگات‌ها برابر یا حتی در آگات‌های قرمز بیشتر از سنگ‌های میزبان است. دلیل این امر آزاد شدن همگام عناصر Si و U ناشی از آلتراسیون سنگ‌های میزبان و به دنبال آن تبدیل U به یون اورانیل (UO_2^{2+}) و تشکیل پیوند با سطح تترائدرهای سیلیس است. شباهت در طرح‌های عناصر کمیاب آگات ها و سنگ‌های آتشفشانی نشان می‌دهد که این عناصر توسط گردش سیالات در طول دگرسانی همزمان تحرک پیدا کرده‌اند.

کلیدواژه: ژئوشیمی، اسپکتروسکوپی رامان، آگات، فردوس، خراسان جنوبی، ایران مرکزی.

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات ۱

۱- ۱- مقدمه ۲

۱ - ۲- موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به منطقه مورد مطالعه ۳

۱ - ۳- آب و هوا و پوششگیاهی منطقه ۴

۱ – ۴- ژئومورفولوژی منطقه ۵

۱- ۵- مطالعات پیشین منطقه ۵

۱- ۶- ضرورت و اهداف مطالعه ۹

۱ - ۷- روش مطالعه ۱۱

فصل دوم: زمین‌شناسی عمومی ۱۳

۲- ۱- مقدمه ۱۳

۲- ۲- واحدهای سنگی میزبان آگاتهای منطقه فردوس ۱۶

۲- ۳- زمین‌شناسی ساختمانی ۱۹

۲- ۴- زمینشناسی اقتصادی و پتانسیل معدنی منطقه فردوس ۲۱

فصل سوم: پتروگرافی ۲۳

۳- ۱- مقدمه ۲۳

۳- ۲- واحدهای سنگی ائوسن ۲۴

۳- ۳- آگاتها ۳۰

فصل چهارم: رنگآمیزی و بهبود کیفیت آگاتها ۴۵

۴- ۱- مقدمه ۴۶

۴- ۲- روش انجام آزمایش و آماده سازی نمونهها ۴۸

۴- ۳- بهسازی آگاتهای فردوس ۴۹

فصل پنجم: ژئوشیمی آگاتها ۶۵

۵ - ۱- مقدمه ۶۶

۵- ۲- منابع خطا در طی آمادهسازی و تجزیه ژئوشیمیایی نمونهها ۶۷

۵- ۳- مواد و روشها ۶۸

۵- ۴- ژئوشیمی آگاتها و سنگ میزبان ۶۸

۵- ۵- طیف سنجی رامان ۷۳

فصل ششم: ویژگیهای صنعتی آگاتها ۷۷

۶- ۱- مقدمه ۷۸

۶- ۲- سنتی بودن بازار گوهرها در ایران ۷۹

۶- ۳- تراش داملە ۸۱

۶- ۴- لزوم توجه مضاعف به مقوله تراش گوهر ۸۵

۶- ۵- بازار سنگهای قیمتی و نیمه قیمتی ۸۷

نتیجه گیری و پیشنهادات ۸۹

منابع ۹۳

فهرست شکل ها

شکل ۱ – ۱ - موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به آگات‌های منطقه فردوس..... ۳

شکل ۱ - ۲ - چشم اندازی از پوشش گیاهی منطقه فردوس..... ۴

شکل ۱ – ۳ - موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰۰ بشرویه..... ۶

شکل ۱ – ۴ - موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی تصویر ماهواره‌ای ۶

شکل ۲ – ۱ - موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه پهنه‌های زمین ساختاری ایران..... ۱۷

شکل ۲ – ۲ - نقشه زمین‌شناسی ساده شده‌ی منطقه فردوس..... ۱۸

شکل ۲ -۳ - تصاویری از آگات‌زایی در منطقه فردوس..... ۱۹

شکل ۲ – ۴ - نمایی از آگات‌های سفید رنگ در بازالت‌ها..... ۲۱

شکل ۲ – ۵ - تصاویر صحرایی از سنگ‌های آذرآواری و آتشفشانی منطقه فردوس..... ۲۲

شکل ۲ – ۶- تصویر ماهواره‌ایی از پهنه‌های نمکی، گسل بیرگ..... ۲۵

شکل ۳ – ۱ - تصویر میکروسکوپی از لیتیک توف منطقه فردوس..... ۲۹

شکل ۳ – ۲ - تصویر میکروسکوپی از بازالت‌های منطقه فردوس..... ۳۰

شکل ۳ – ۳ – تصویر میکروسکوپی از پلاژیوکلازها..... ۳۲

شکل ۳ – ۴ - تصویر میکروسکوپی از سنگ‌های آندزیتی منطقه فردوس..... ۳۴

شکل ۳ – ۵ - نمایی از آگات‌های منطقه فردوس با لایه‌بندی متحدالمرکز و ژئود آگاتی ۳۵

شکل۳ – ۶ - نمایی از آگات‌های تراش و صیقل خورده منطقه فردوس..... ۳۷

شکل ۳ – ۷ - شکلی شماتیک از انواع عمومی ساختارهای..... ۴۱

شکل ۳ – ۸ - تصاویر میکروسکوپی از آگات‌های منطقه فردوس..... ۴۳

شکل ۳ – ۹ – تصویر میکروسکوپی از لایه‌های آگات‌های متحدالمرکز..... ۴۴

شکل ۳ – ۱۰ - تصویری زیبا از آگات رگه‌ای در منطقه فردوس ژئود آگاتی در منطقه مورد مطالعه..... ۴۴

شکل ۳ – ۱۱ - تصویری زیبا از آمتیست در منطقه فردوس..... ۴۵

شکل ۳ – ۱۲ - تصویر میکروسکوپی از بافت‌های موجود در آگات‌های رگه‌ای منطقه فردوس..... ۴۶

شکل ۳ – ۱۳ - نمایی از آگات‌های **A**) شجر و **B**) خزه‌ایی در منطقه فردوس..... ۴۸

شکل ۴ – ۱ - نمونه‌های قرار داده شده در محلول فوق اشباع کبالت هگزا کلراید..... ۵۵

شکل ۴ – ۲ - نمونه‌های قرار گرفته در نیترات مس در دمای ۷۰ °C..... ۵۶

شکل ۴ – ۳- نمونه‌های قرار داده شده در محلول نیترات مس در دمای ۸۰ °C ۵۷

شکل ۴ – ۴ - نمونه‌های قرار داده شده در محلول کلرید مس در دمای ۷۰°C ۵۹

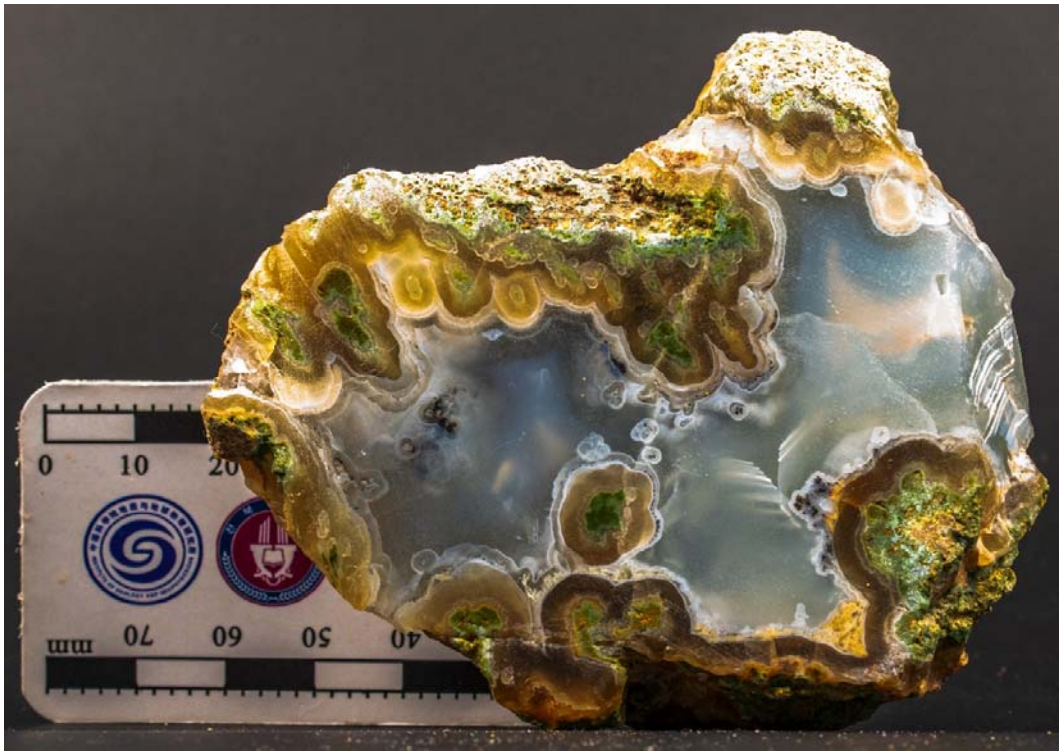
شکل ۴ – ۵ - نمونه‌های قرار داده شده در محلول نیترات آهن به مدت ۳۰ روز در دمای $70\ ^{\circ}C$ ۶۰
شکل ۴ – ۶ – تصویر از بهسازی حرارتی آگات‌ها ۶۲
شکل ۴ – ۷ - نمونه حرارت دیده شده در محلول کلرید مس در دمای $70\ ^{\circ}C$ ۶۳
شکل ۴ – ۸- آگات‌ها قبل از بهسازی توسط اشعه گاما در مقابل چشمه‌های ^{192}Ir و ^{137}Cs ۶۵
شکل ۴ – ۹ - آگات‌ها قبل از بهسازی توسط اشعه گاما در مقابل چشمه‌های ^{192}Ir و ^{137}Cs ۶۶
شکل ۴ – ۱۰ – بهسازی آگات‌ها توسط تابش مستقیم اشعه گاما در برابر چشمه ^{137}Cs ۶۷
شکل ۵ – ۱- نمودارهای عناصر کمیاب بهنجار شده نسبت به کندریت و گوشته اولیه ۷۶
شکل ۵ – ۲ - آنالیز XRD و اسپکتروسکوپی رامان ۷۹
شکل ۶ – ۱ - تصویری از تراش دامله (بیضی شکل) آگات‌های خزه‌ایی منطقه فردوس ۸۵
شکل ۶ – ۲ - تصویری از اسلب‌های تهیه شده از آگات‌های منطقه فردوس ۸۶
شکل ۶ – ۳ - شکلی شماتیک از طرح و الگوهای مناسب برای تراش نگین ۸۷
شکل ۶ – ۴ - تصاویری از آگات‌های تراش و صیقل خورده بسیار زیبا منطقه فردوس ۸۹

فهرست جداول

جدول ۵ – ۱ - نتایج تجزیه‌ی ژئوشیمیایی آگات‌های منطقه و سنگ‌های میزبان آتشفشانی.....۷۲

فصل اول

کلیات



۱- ۱- مقدمه

تولید و فرآوری سنگ‌های قیمتی فرصت سرمایه گذاری جذابی است، به شرط آنکه از ابتدا بر صادرات تمرکز داشته باشد. طبق برآوردهای انجام‌شده در سال‌های اخیر تجارت بین‌المللی و حجم گردش مالی سنگ‌های قیمتی و نیمه قیمتی در حدود ۱۰۰۰ میلیارد دلار است.

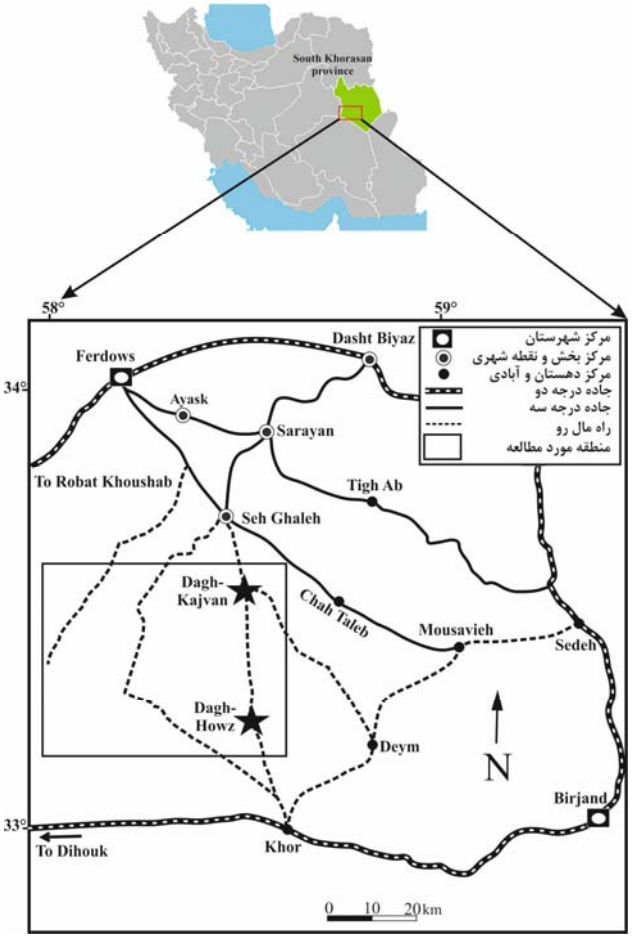
ایران از نظر تنوع منابع خدادادی سنگ‌های قیمتی و نیمه قیمتی، پس از آمریکای جنوبی، هلند، شبه قاره هند و آفریقای جنوبی در رتبه پنجم دنیا قرار دارد. آمارها نشان می‌دهند که ارزش صادرات سنگ های قیمتی ایران حدود ۵۰۰ میلیون دلار و معادل ۵ صدم درصد از این تجارت سودآور جهانی است.

در میان کشورهای آسیایی هیچ کشوری را به قدمت ایران نمی‌توان یافت که تاریخ ۵ هزار ساله در جواهرسازی و زرگری داشته باشد. اکنون کشور ایران در رتبه پنجاهم جهان در فرآوری سنگ‌های قیمتی قرار دارد که متأسفانه با این پتانسیل بالا سهم آن در تجارت جهانی بسیار ناچیز می‌باشد. بنابراین اکتشاف منابع و برنامه ریزی جهت آموزش و توسعه این صنعت می‌تواند جانی تازه به صادرات ببخشد و سبب رونق بازار سنگ‌های قیمتی و نیمه قیمتی در کشور شود. بسیاری از کشورها با وجود آنکه منابع معدنی زیادی در اختیار ندارند با واردات سنگهای قیمتی و فرآوری آنها از درآمد صادراتی زیادی برخوردار هستند. پتانسیل معدنی برخی سنگ‌های قیمتی و نیمه‌قیمتی در کشور ما بسیار قابل توجه است. عقیق (آگات) یک نمونه از سنگ‌های نیمه‌قیمتی است که ارتباط مستقیم با سنگ‌های آتشفشانی دارد و به دلیل فعالیت‌های آتشفشانی گسترده در ادوار مختلف زمین‌شناسی، آگات‌زایی در نقاط مختلف ایران رخداده است. یکی از این نقاط مستعد، منطقه خراسان جنوبی، جنوب شهر فردوس می‌باشد. از آنجایی که آگات‌زایی در این منطقه به شکل آکادمیک مورد توجه و مطالعه قرار نگرفته است، در این تحقیق ویژگی‌های کانی‌شناسی، ساخت، بافت، ژئوشیمی آگات‌ها و سنگ‌های آتشفشانی مرتبط با آنها، رنگ-پذیری و توزیع فازهای مختلف سیلیس در آگات‌های جنوب فردوس مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفته است.

۱ - ۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه

آگات‌های منطقه فردوس در ۱۲۰ کیلومتری شمال باختر شهرستان بیرجند واقع شده‌اند و بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سارقنج می‌باشند این آگات‌ها بین طول‌های جغرافیایی '۳۰ °۵۸ – '۰۰ °۵۸ و عرض‌های جغرافیایی '۰۰ °۳۴ – '۰۰ °۳۳ قرار گرفته‌اند.

از جمله راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه می‌توان به جاده آسفالته بیرجند-خور و طبس-خور و راه خاکی اشاره کرد که از این جاده‌ها منشعب می‌شوند. از مهمترین راه خاکی می‌توان به راه خور- سه قلعه اشاره نمود که از بخش میانی منطقه می‌گذرد. همچنین از طریق جاده‌های درجه سه فردوس به سمت آیسک – سرایان می‌توان به روستای سه‌قلعه دست یافت و از راه‌های مال‌رویی که از جنوب سه‌قلعه به سمت منطقه منشعب شده به محدوده مورد مطالعه رسید (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به آگات‌های منطقه فردوس.

۱ - ۳- آب و هوا و پوشش‌گیاهی منطقه

منطقه فردوس با توجه به موقعیت جغرافیایی و مجاورت با دو کویر مرکزی و نمک دارای آب و هوای صحرایی، خشک و کم باران است. میانگین بارندگی این شهرستان ۱۵۵ میلی‌متر در سال است. دمای هوای منطقه به گونه‌ای است، که در تابستان به ۵۰ درجه سانتی‌گراد بالای صفر می‌رسد.

باتوجه به میزان بارش کم، درجه حرارت بالا، جنس خاک و سایر شرایط طبیعی و جغرافیایی، پوشش گیاهی منطقه فردوس از نوع استپی است که برحسب میزان رطوبت تغییر می‌کند. این پوشش در قسمت‌های شمالی و مرتفع انبوه بوده و تبدیل به مراتع می‌شود. مهمترین گیاهان استپی عبارتند از خارشتر، گون، گز، تاغ، اسپند و غیره که اغلب از نوع گیاهان سازگار با شوری هستند. ویژگی عمده این ناحیه تنک بودن پوشش گیاهی آن است که به ندرت بیش از یک سوم خاک را می‌پوشاند. در بین گیاهانی که به طور طبیعی رشد می‌کنند، گیاهان ترنجبین، زرشک، زیره، کاسنی، بارهنگ و شوید در منطقه یافت می‌شوند که مصرف خوراکی و دارویی دارند. مهمترین محصول زراعی این شهرستان زعفران و مهمترین محصول باغی آن انار و پسته هستند. همچنین شهرستان فردوس از مهمترین مناطق قالی بافی استان خراسان جنوبی است (شکل ۱-۲).

شکل ۱-۲: چشم اندازی از پوشش گیاهی منطقه فردوس (نگاه به شرق).

۱ – ۴- ژئومورفولوژی منطقه

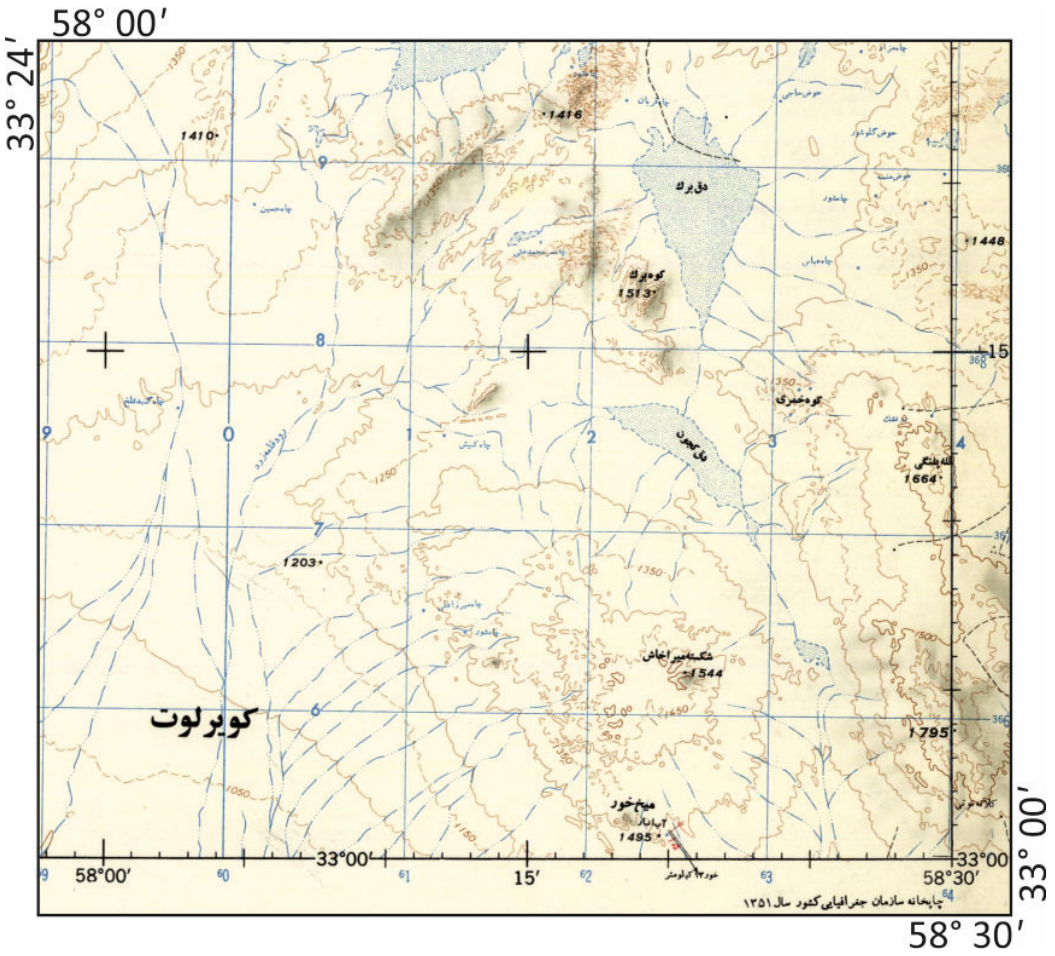
ژئومورفولوژی هر منطقه شدیداً تحت تأثیر جنس واحدهای سنگی و نوع فعالیت‌های زمین‌ساختی می‌باشد. قسمت شمال منطقه شامل تپه‌های فرسایش یافته و برجستگی‌های کوتاه است، که پهنه‌های نمکی و گلی آنها را از یکدیگر جدا نموده است. پهنه‌های نمکی و گلی شامل دق‌های رباط، کجون بیرگ هستند که از این میان، پهنه نمکی دق رباط از همه گسترده‌تر بوده و جبهه خاوری آن با تپه‌های شنی پوشیده شده است. پهنه‌های دق بیرگ و دق کجون نیز کم و بیش بخش میانی منطقه را در برگرفتند (لطفی، ۱۹۹۵). بلندترین قله‌های منطقه وابسته به کوه فقیه در شمال باختری و شکسته دیوار در جنوب خاوری منطقه مورد مطالعه است، که به ترتیب دارای بلندای ۱۶۸۰ و ۱۷۱۴ متر می‌باشند (شکل ۵-۲). وضعیت توپوگرافی منطقه در نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ بشرویه در شکل ۱-۳، و بر روی تصویر ماهواره‌ای در شکل ۱-۴ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود منطقه بخشی از کویر لوت، و عمدتاً دارای توپوگرافی ملایم و دشت مانند می‌باشد که بخش قابل توجهی در منطقه بصورت فروافتادگی یا دق مانند است و محل تجمع آب‌های سطحی است (دق کجون و دق بیرگ به‌صورت کفه های رسی – نمکی). ارتفاع دشت از سطح دریا حدود ۱۲۰۰ متر و بالاترین نقطه ارتفاعی در بخشی جنوبی و برابر با ۱۵۷۳ متر است که کوه بیرگ نامیده می‌شود. کوه شکسته میراخاش با ارتفاع ۱۵۴۴ متر و کوه میخ‌خور با ارتفاع ۱۴۹۵ متر و بلندترین قله منطقه کوه پلنگی با ارتفاع ۱۶۶۴ متر از سطح دریا می‌باشند که به‌صورت پراکنده داخل دشت کویری لوت قرار گرفته‌اند.

۱- ۵- مطالعات پیشین منطقه

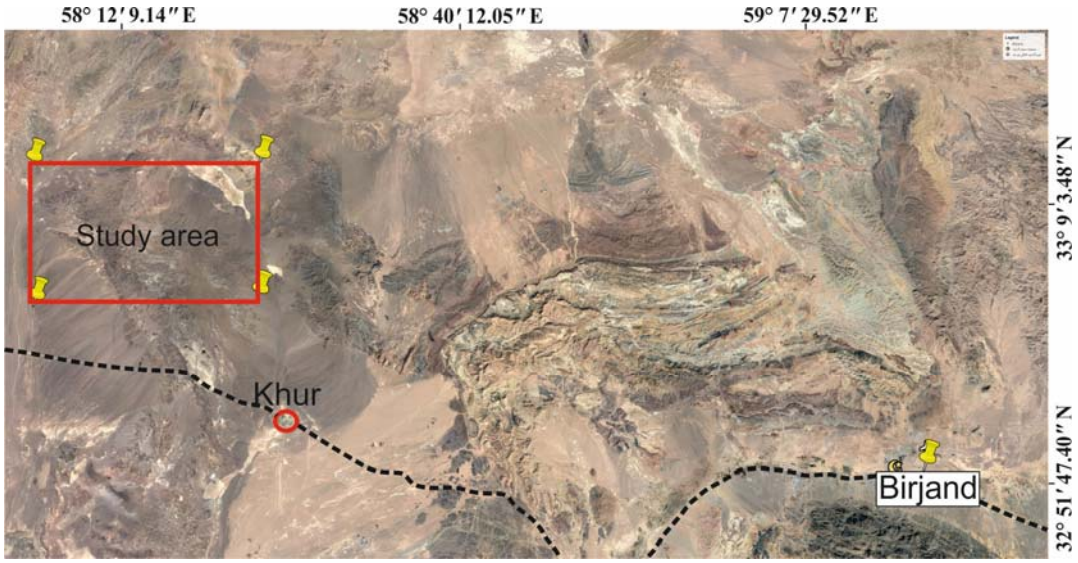
مهمترین مطالعات انجام شده بر روی منطقه مورد مطالعه و اطراف آن توسط افراد زیر صورت گرفته است.

- لطفی (۱۹۵۵) نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سارقنج را تهیه کرده است.

- افتخار نژاد و همکاران (۱۹۷۷) نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ فردوس را تهیه کردند.



شکل ۱-۳: موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰۰ بشرویه.



شکل ۱-۴: موقعیت منطقه مورد مطالعه نسبت به شهرستان بیرجند بر روی تصویر ماهواره‌ای Google earth.

- اوهانیان (۱۳۵۲) در پایان نامه خود تحت عنوان "بررسی زمین‌شناسی و پترولوژی سنگ‌های آذرین جنوب بیرجند" ماگمای به وجود آورنده سنگ‌های آتشفشانی را هیپرآلومین و گدازه‌های منطقه را اکثراً تیپ پاسفیک معرفی نمود.

- زرین کوب (۱۳۷۹) در رساله دکتری خود تحت عنوان "پترولوژی و ژئوشیمی مجموعه‌های افیولیتی بیرجند" به مطالعه مجموعه‌های افیولیتی بیرجند پرداخته است.

محمدی و نخعی (۱۳۸۰) به بررسی ترکیب کانی‌شناسی، شیمیایی و جایگاه زمین‌شناسی پرلیت منطقه سربیشه (جنوب شرق بیرجند) پرداخته است.

- غلامی و محمدی (۱۳۸۱) تأثیر ساخت‌های زمین‌شناسی و خصوصیات کانی‌شناسی مجموعه سنگی بر تشدید زمین لغزش در جنوب بیرجند را بررسی کردند.

- نخعی و همکاران (۱۳۸۳) به مطالعه زمین‌شناسی، ژئوشیمی و کانی‌شناسی معادن بنتونیت منطقه فردوس - سرایان (برون، حسامیه و چاه طلب) پرداخته‌اند. در معدن بنتونیت برون ماده معدنی در مرز سنگ‌های آتشفشانی ریولیتی تا داسیتی قرار گرفته است. بررسی‌های ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی نشان می‌دهد که بنتونیت برون از انواع سدیم – کلسیم دار و بنتونیت حسامیه و چاه طلب از نوع سدیم دار می‌باشند. نتایج آزمایشات صنعتی نشان می‌دهد که این بنتونیت‌ها در واحدهای ریخته‌گری قابل استفاده نیست و باید برای دیگر مصارف مثل رنگبری و یا گل حفاری مورد آزمایش قرار گیرند.

- یوسف زاده و همکاران (۱۳۸۵) سنگ‌شناسی و زمین‌شیمی سنگ‌های آتشفشانی دوران سوم در منطقه بیرجند با تأکید بر آنکلاوهای آن را مورد مطالعه قرار داده‌اند. بر اساس تقسیم بندی‌های ژئوشیمیایی، سنگ‌های این منطقه شامل ریولیت، داسیت، تراکی داسیت، آندزیت، آندزیت بازالتی، تراکی آندزیت و تراکی آندزیت بازالتی می‌باشد. از این میان، سنگ-های داسیتی و آندزیت داسیتی اکثر اوقات به صورت گنبدهای نیمه عمیق برونزد دارند. این سنگ‌ها دارای تنوع بافتی و کانی‌شناسی می-باشند و به سری کالک آلکالن تعلق دارند. تمام قرائن سنگ‌شناسی و ژئوشیمیایی حکایت ازمحیط حاشیه قاره‌ای فعال دارند. یکی از ویژگی‌های گنبدهای مذکور، وفور آنکلاوهایی با ترکیب متنوع در

آنهاست که اغلب غنی از آمفیبول (دیوریتی یا متاگابروئی)، تونالیتی و غنی از بیوتیت بوده و می‌تواند در تعیین منشأ این ولکانیک‌ها و همچنین شناسایی پوسته زیرین منطقه مفید واقع شود.

- یوسف زاده (۱۳۸۸) در رساله دکتری خود با عنوان "بررسی پتروگرافی و پتروژنز سنگ‌های آتشفشانی ترشیری منطقه بیرجند – خوسف با نگرشی ویژه بر آنکلاوهای موجود در آن" سنگ‌های آتشفشانی شرق ایران را به طور مفصل مورد بررسی قرار داده است.

- نجفی و همکاران (۱۳۸۹) مروری بر زمین‌شناسی، ژئوشیمی و کانی‌سازی معدن متروکه مس – طلای رگه‌ای حیدری، جنوب کجه – فردوس را مورد بررسی و مطالعه قرار داده‌اند. کانی سازی مس در این محدوده به صورت رگه‌های کوارتز – آمتیست با کنترل ساختاری در امتداد گسل اصلی منطقه در کنتاکت توده‌های نفوذی با واحدهای ولکانیکی پیروکلاستی است.

- احمدی و همکاران (۱۳۹۰) عملکرد گسل‌ها و نقش آنها در شکل‌گیری سیمای زمین‌شناسی و متالوژنی ذخیره پهنه کمر خوسف (جنوب باختر بیرجند) را بررسی کرده‌اند. طبق مطالعات صحرایی صورت گرفته توسط نامبردگان این ذخیره در محل برخورد زون فلیش شرق ایران و بلوک لوت قرار گرفته است و مهمترین عوامل کنترل کننده کانی سازی را سه گسل پهنه کمر، شمالی و معدن دانسته‌اند. کانی سازی فلزی سرب و نقره در زون شمالی این محدوده قابل مشاهده می‌باشد.

- سمیعی و همکاران (۱۳۹۱) تفسیر داده‌های IP/RS بر مبنای داده‌های زمین‌شناسی، آلتراسیون و کانی-سازی در منطقه اکتشافی خونیک – خراسان جنوبی را بررسی کرده اند.

- رضایی دشت بیاض و همکاران (۱۳۹۱) مطالعات زمین‌شناسی و دگرسانی سنگ‌های آذرین ترشیری شمال باختر گزنشک خراسان جنوبی را مورد بررسی قرار داده اند.

- سلیم (۱۳۹۱) در قالب پایان نامه تحت عنوان "پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی و نیمه نفوذی منطقه چشمه خوری (غرب بیرجند)" سنگ‌های آتشفشانی این منطقه را بررسی نمودند.

- عبداللهی و امینی (۱۳۹۲) پرعیار سازی نمونه کانسنگ استیبنیت شوراب فردوس (خراسان جنوبی) به روش های ثقلی و فلوتاسیون را انجام داده‌اند.

- یوسف‌زاده (۱۳۹۳) پتروگرافی سنگ‌های آتشفشانی ترشیری منطقه خور- سه چنگی (غرب خوسف، استان خراسان جنوبی) با نگرشی بر پرلیت‌زایی را بررسی کرده است. سنگ‌های آتشفشانی ترشیری منطقه خور - سه چنگی شامل آندزیت، تراکی آندزیت، ریولیت و ایگنمبریت می‌باشند که به صورت روانه‌های گدازه‌ای رخنمون دارند. علاوه بر اندیس‌های سرب و روی در منطقه، رخدادهای دگرسانی آرژیلیت و کربناتی برای پی جویی مس، کائولینیت و بنتونیت می تواند از نظر زمین‌شناسی اقتصادی مفید باشد.

- نادرمزرجی و همکاران (۱۳۹۶) به مطالعه زمین‌شناسی، دگرسانی، کانه‌زایی، ژئوشیمی اکتشافی و پترولوژی توده‌های نفوذی در محدوده اکتشافی شاه سلطان‌علی (جنوب غربی بیرجند، استان خراسان جنوبی) پرداخته اند.

۱- ۶- ضرورت و اهداف مطالعه

سنگ‌های قیمتی و نیمه قیمتی یکی از منابع درآمدزا و اشتغال‌زا در دنیا به شمار می‌روند که پتانسیل ایجاد ارزش افزوده قابل توجهی را در خود نگاه داشته‌اند به‌طوری که امروزه استخراج، فرآوری و صادرات سنگ‌های قیمتی و نیمه قیمتی بخش مهمی از اقتصاد کشورهایی چون آفریقا، تایلند، چین، هند، ایالت متحده و بسیاری از کشورهای دیگر را تشکیل می‌دهد و تصور حذف این صنعت برای تعدادی از این کشورها حکم حذف صنعت نفت در کشور ما را دارد. در کشور ما برخلاف منابع قابل توجهی از سنگ‌های قیمتی و نیمه قیمتی تاکنون عملیات اکتشافی سیستماتیک و اقدامات چشمگیری برای استخراج و فرآوری صورت نگرفته است و تنها بخش اندکی به صورت سنگ راف مورد بهره برداری قرار گرفته است (بصیری و سلماسی، ۱۳۸۹).

کشور ایران یکی از کشورهای غنی معدنی از نظر انواع ذخایر سنگ‌های قیمتی و نیمه قیمتی به شمار می‌رود. در همین راستا شایسته است با بهره‌گیری از کلیه امکانات بالقوه، ذخایر را شناسایی، اکتشاف و براساس یک برنامه مدون، بهره‌برداری کرده و با توسعه فرآوری و صنعت در راه بهبود و شکوفایی هرچه

بیشتر اقتصاد جامعه کوشید. وجود اقتصاد تک محوری به نفت مانع حضور پررنگ بخش معدن در عرصه اقتصاد کشور است. برخلاف آن که ایران یکی از کشورهای غنی معدنی جهان به شمار می‌آید، در حال حاضر بیش از ده‌ها نوع ماده معدنی از خارج وارد می‌شود که یکی از دلایل آن کمبود تولید مواد خام معدنی و سطح غیرقابل قبول فن‌آوری در رشته فرآوری مواد خام مصنوعی است. سنگ‌های قیمتی و نیمه قیمتی یکی از منابع درآمدزا و اشتغال‌زایی بزرگ در کشورمان باشد که پتانسیل شگرف و پرسودی را در خود انباشته نگاه داشته است. بنابراین اندیشه و دستان توانایی را می‌طلبد تا با به کارگیری از امکانات کارگاهی و افراد متخصص بومی هر گرم از این سنگ‌ها را به گوهر تبدیل کرده و با فروش آن‌ها در بازار جهانی سود شایانی را نصیب همگان نمایند (بصیری و سلماسی، ۱۳۸۸). توسعه صنعت آگات‌ها در کشور ما دارای مزیت‌های قابل توجهی شامل موارد زیر می‌باشد:

الف) ترویج فن‌آوری و به کارگیری از ذوق و هنر ایرانی در توسعه صنعت سنگ‌های قیمتی و نیمه قیمتی

ب) جلوگیری از مصرف غیر بهینه سنگ‌های معدنی

پ) استفاده‌های زینتی، دارویی و صنعتی

ت) زمینه مذهبی مصرف آگات‌ها در ایران و کشورهای اسلامی

با توجه به ذخیره زیاد آگات در ایران و عدم شناخت کافی کانی‌شناسی، بافت و ساخت، سنگ‌های میزبان و سازوکار شکل‌گیری آنها، هدف این پایان نامه از بررسی منطقه فردوس معرفی ویژگی اقتصادی و ارزش آگات‌های این منطقه است. همچنین سعی شده در این تحقیق با بالا بردن کیفیت و رنگ آمیزی (بهسازی) آگات‌های سفید و بی رنگ موجود در فردوس، باعث رونق اقتصادی این گوهرها در ایران به خصوص در منطقه مورد مطالعه شود و سهم ایران در تولید آگات‌های مطلوب و مورد پسند مردم افزوده گردد. در نهایت تلاش می‌شود نحوه تراش عالی و مناسبی برای آگات‌های منطقه معرفی گردد. علاوه بر این، سعی شده است که با نمونه برداری، مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی، تهیه مقاطع میکروسکوپی از آگات‌ها و سنگ‌های دربرگیرنده آنها، ترکیب کانی‌شناسی این سنگ‌ها مشخص شود. همچنین براساس

ویژگی‌های ژئوشیمی آگات‌های فردوس سازوکار شکل‌گیری آنها بررسی شود. سپس ویژگی‌های صنعتی آگات‌ها بررسی خواهد شد.

۱ - ۷- روش مطالعه

۱- ۷- ۱- مطالعه کتابخانه‌ای

اولین قدم جمع آوری اطلاعات موجود مرتبط با موضوع این پایان‌نامه تحت عنوان زمین‌شناسی، پیدایش، بهسازی و ویژگی‌های صنعتی آگات‌ها می‌باشد. از اهداف مهم که در مطالعات کتابخانه‌ایی مد نظر بوده می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ✓ بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی و گزارش‌های موجود از قبل.
- ✓ آشنایی کلی با منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن.
- ✓ مطالعه و بررسی مقالات داخلی و خارجی مرتبط با آگات‌ها و آگاهی هرچه بیشتر از آنها.
- ✓ بررسی پژوهش‌های انجام شده مرتبط با موضوع مورد تحقیق در منطقه مورد مطالعه. این بررسی‌ها نشان داد که اکثر مطالعات انجام شده بر روی آگات‌های این منطقه و مناطق همجوار (نظیر سربیشه، خور و غیره) در حد پتروگرافی بوده و به صورت فصل یا فصل‌هایی در پایان‌نامه‌ها یا در مقالات کنفرانسی گزارش شده (از قبیل سلیم، ۱۳۹۱) و هیچ مطالعه کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی بر روی آنها صورت نگرفته است.

۱- ۷- ۲- مطالعات صحرایی و نمونه برداری

به منظور شناسایی دقیق واحدهای سنگی و بررسی دقیق روابط صحرایی آنها و نمونه برداری، به مدت ۵ روز در زمستان (بهمن) ۱۳۹۶ و بهار (خرداد) ۱۳۹۷ بازدیدها و برداشت‌های صحرایی صورت پذیرفت و حدود ۴۰۰ نمونه (قطعه سنگ) از آگات‌های منطقه به همراه سنگ میزبان‌های آنها جمع‌آوری شد. برپایه این مطالعات، مطالعات صحرایی دقیق، با استفاده از نمونه برداری و آنالیزهای شیمیایی این تحقیق، تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی منطقه بر پایه

یافته‌های جدید با استفاده از نرم افزار Arc GIS ترسیم شد.

۱- ۷- ۳ مطالعات آزمایشگاهی

الف) مطالعات پتروگرافی

پس از نمونه‌برداری و بازدید صحرایی، جهت مطالعه دقیق واحدهای سنگی منطقه، تعداد ۲۶ مقطع نازک از سنگ میزبان و ۱۵ مقطع نازک از آگات‌ها در کارگاه تهیه مقطع دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود تهیه شد و سپس توسط میکروسکوپ پلاریزان، کانی‌شناسی و بافت آنها در آزمایشگاه اپتیک مورد بررسی قرار گرفت.

برای انجام مطالعات اسپکتروسکوپی رامان دو نمونه مناسب از آگات‌های منطقه فردوس انتخاب و در کارگاه تهیه مقطع دانشگاه شاهرود به ورقه‌های کوچک برش داده شد. سپس ورقه و مقطع نازک-صیقلی تهیه شده به آزمایشگاه اندازه‌گیری و آنالیز دانشگاه صنعتی شاهرود ارسال شدند. اسپکتروسکوپی رامان استفاده شده در این تحقیق مدل uRaman-532-Ci و ساخت شرکت Avantes است که دارای یک میکروسکوپ کانفوکال جهت آنالیز نقطه به نقطه و بررسی سطح نمونه می‌باشد.

ب) تجزیه شیمیایی

تعداد ۵ نمونه از آگات‌های منطقه مورد مطالعه به رنگ‌های سفید، قرمز، سیاه، سبز و زرد و ۴ نمونه از سنگ‌های آتشفشانی منطقه که دارای کمترین مقدار هوازدگی و دگرسانی بودند، جهت آنالیز شیمی عناصر اصلی و کمیاب انتخاب شدند. مراحل پودر کردن نمونه‌ها جهت انجام آنالیز در دانشکده زمین-شناسی دانشگاه تهران با استفاده از هاون تنگستن کارباید انجام شده و در نهایت نمونه‌های آماده شده پس از شماره‌گذاری و بسته بندی به آزمایشگاه زرآزما جهت انجام آنالیز ژئوشیمی ICP-MS و XRF فرستاده شدند. نتایج حاصل از این آنالیزها در مطالعات ژئوشیمی آگات‌های فردوس و سنگ‌های آتشفشانی میزبان آنها مورد استفاده قرار گرفت. ۲ نمونه از آگات‌ها انتخاب و جهت انجام آزمایش XRD به آزمایشگاه تجزیه ساختاری دانشگاه دامغان فرستاده شدند. این آنالیز توسط دستگاه D8-Advance Bruker Cu $K\alpha_1(\lambda= 0.15406\ nm)$ انجام گردید.

فصل دوم

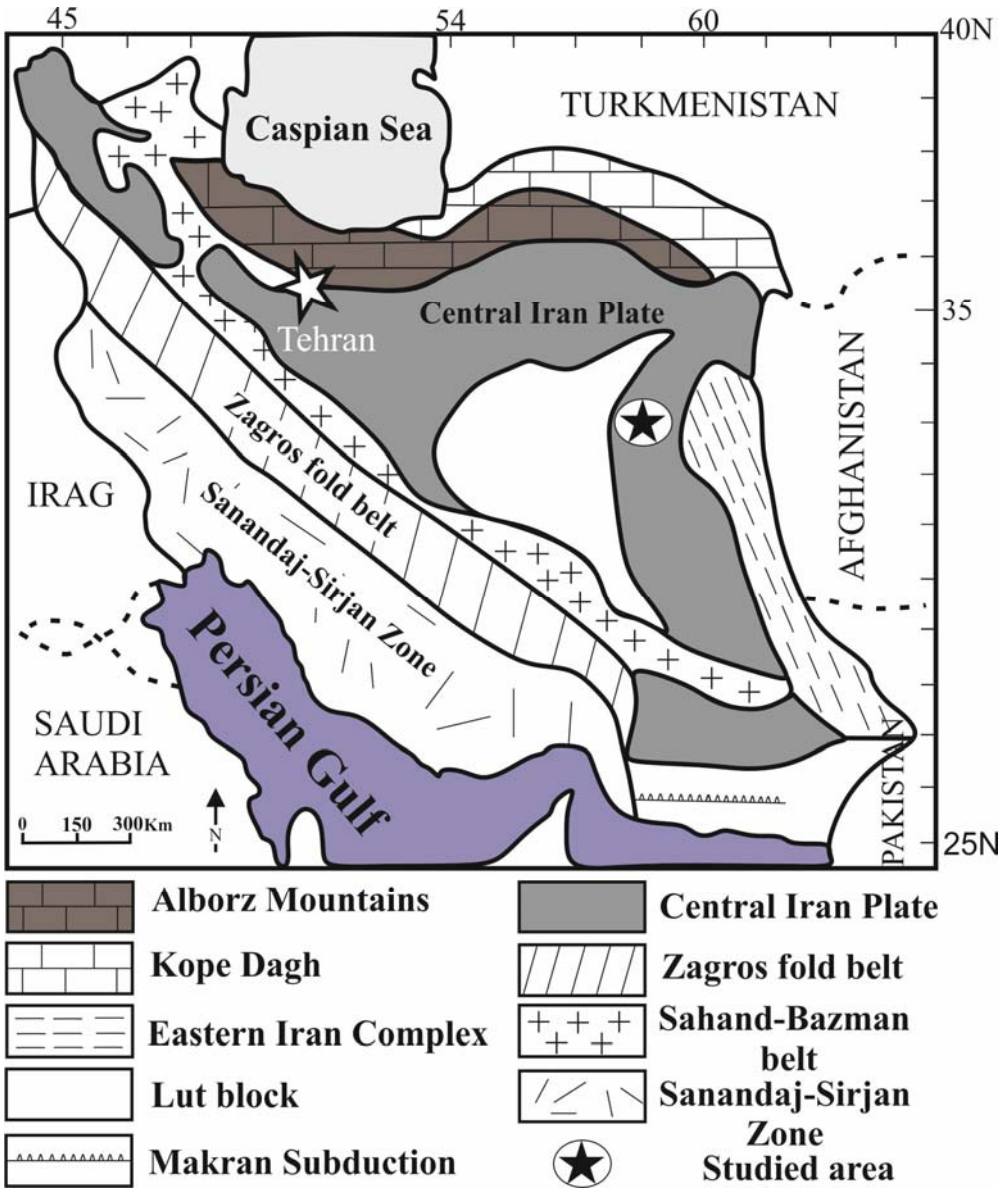
زمین‌شناسی عمومی

۲- ۱- مقدمه

گوهرسنگ‌ها در همه سنگ‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی مشاهده می‌شوند (Gotze, 2011). قرارگیری کشور ایران در یکی از بزرگ‌ترین کمربندهای کوه‌زایی جهان (آلپ - هیمالیا) سبب گردیده است تا کشورمان دارای پتانسیل بالقوه‌ایی از کانی‌ها و سنگ‌های قیمتی و نیمه قیمتی همچون گارنت، فیروزه، تورمالین، عقیق و غیره باشد (ابراهیمی و ذبیحی، ۱۳۸۹).

ایران مرکزی یکی از پهنه‌های ساختاری – رسوبی اصلی می‌باشد که در مرکز ایران به شکل مثلثی قرار گرفته است و با زمین درزهای افیولیتی سیستان، نائین، بافت، گسل درونه و افیولیت‌های کاشمر – سبزوار احاطه شده است. این واحد قابل تقسیم به بلوک لوت، فرازمین شتری، فرونشست طبس، فرازمین کلمرد، بلوک پشت بادام و غیره است (آقانباتی، ۱۳۸۳). محل رخنمون سنگ‌های حاوی آگات‌های منطقه فردوس براساس تقسیم بندی پهنه‌های ساختاری – رسوبی ایران، بخشی از پهنه ایران مرکزی می‌باشد و در زیرپهنه بلوک لوت جای می‌گیرد (شکل ۲-۱). بلوک لوت، با درازایی حدود ۹۰۰ کیلومتر، خاوری‌ترین بخش خردقارهٔ ایران مرکزی است. مرز خاوری آن با گسل نهبندان و حوضهٔ فلیشی خاور ایران و مرز باختری آن با گسل نایبند و بلوک طبس مشخص می‌شود. فعالیت ماگمایی در بلوک لوت در ژوراسیک میانی شروع شده و در ائوسن به اوج خود رسیده است (Karimpur et al., 2011). از آنجا که بیشتر فازهای کانی‌زایی ایران بر فازهای ماگمایی منطبق است به جرأت می‌توان گفت پتانسیل‌های مهم انواع و اقسام آگات، انواع کوارتز و همچنین پتانسیل‌های مهم کریزوکلا، مالاکیت و آزوریت در ارتباط با دگرسانی سنگ‌های آندزیتی و داسیتی مرتبط با ماگماتیسم کالک‌آلکالن ترشیری بوجود آمده‌اند (اعتمادی و الفقهایی، ۱۳۸۹).

کلید حل مسائل زمین‌شناسی در هر منطقه، بررسی صحرایی و یافتن شواهد کافی در روی زمین می‌باشد چرا که با پیشرفت تدریجی علم شاید بسیاری از فرضیه‌ها و تکنیک‌های آزمایشگاهی دچار تحول و تغییر گردند و نتایج مبتنی بر آنها نیز تغییر یابند، اما شواهد و روابط صحرایی بین واحدهای سنگی همیشه ثابت هستند.

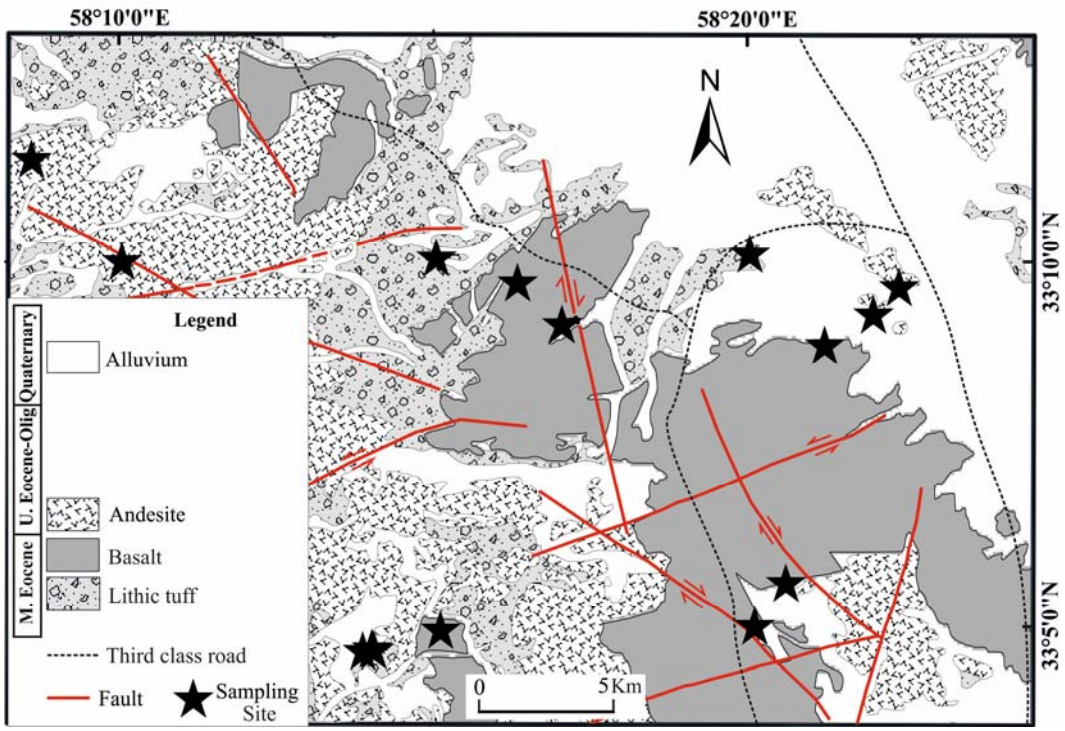


شکل ۲-۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه (که با ستاره مشکی مشخص شده است) بر روی نقشه پهنه‌های زمین ساختاری ایران (Aghanabati, 2004).

مطالعه شواهد صحرایی و روابط چینه شناسی بین واحدهای سنگی مختلف در هر منطقه، مهمترین بخش از مطالعات تاریخچه زمین‌شناسی یک منطقه است. مطالعات صحرایی صحیح، پایه و اساس مطالعات میکروسکوپی و ژئوشیمی سنگ‌ها است (قاسمی، ۱۳۹۴).

همانطور که ذکر شد آگات‌های مورد مطالعه در زیر پهنه بلوک لوت واقع شده‌اند. از ویژگی‌های شاخص

بلوک لوت، فعالیت‌های گسترده دوران سنوزوئیک است که آغاز آن در ائوسن و نقطه اوج آن همراه با چین خوردگی و شکستگی‌های واحدهای آتشفشانی و آذرآواری الیگوسن (آقانباتی، ۱۳۸) و همچنین جایگزینی توده‌های نفوذی نیمه عمیق است که به صورت دایک در منطقه قابل مشاهده هستند (سلیم، ۱۳۹۱). سنگ‌های میزبان آگات‌ها در منطقه مورد مطالعه بیشتر شامل سنگ‌های آتشفشانی از قبیل آندزیت، بازالت و سنگ‌های آذرآواری از قبیل توف (بعضاً بنتونیتی شده) و برش هستند (شکل ۲-۲).

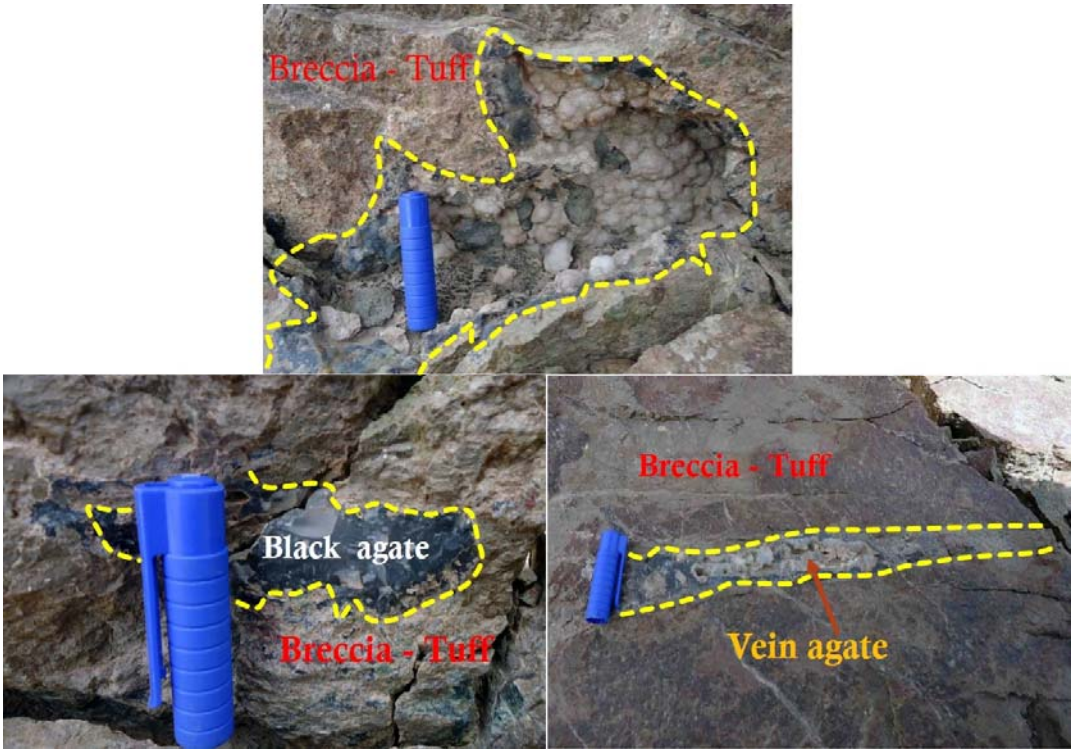


شکل ۲-۲: نقشه زمین‌شناسی ساده شده‌ی منطقه فردوس. این نقشه بر اساس عکس‌های هوایی، نمونه برداری‌های صورت گرفته در این تحقیق و نقشه زمین‌شناسی ۱۰۰۰۰۰: ۱ سارقنج (Lotfi, 1995) تهیه شده است. علائم اختصاری عبارتند از: M. Eocene= ائوسن میانی؛ U. Eocene-Olig.= ائوسن بالایی- الیگوسن.

۲- ۲- واحدهای سنگی میزبان آگات‌های منطقه فردوس

سنگ‌های آتشفشانی منطقه فردوس شامل توف، برش، گدازه‌های بازالتی و آندزیتی با سن ائوسن- الیگوسن می‌باشند. بافت پورفیری در این سنگ‌ها غالب بوده، به گونه‌ای که درشت بلورهای پلاژیوکلاز در سطح آنها به خوبی هویدا هستند. در این سنگ‌ها درز و شکاف و شکستگی‌هایی وجود دارد که مسیر

مناسبی برای محلول‌های هیدروترمال فراهم کرده و موجب شکل‌گیری کوارتز و کلسیت در امتداد شکستگی‌های آنها شده است. تجمعات حاصل از ته نشست و تبلور سیالات حاوی سیلیس درون این واحدها با دو ساختار عمده رگه‌ای و حفره پرکن رخ داده است (شکل ۲-۳).



شکل ۲-۳: تصاویری از آگات‌زایی در منطقه فردوس که در امتداد رگه‌ها، شکستگی‌ها و به صورت حفره پرکن رخ داده است.

۲- ۲- ۱- توف

سنگ‌های آذرآواری (توف‌ها) قدیمی‌ترین واحدهای آتشفشانی – رسوبی در منطقه مورد مطالعه هستند که میانگین اندازه قطر آنها کمتر از ۲ میلیمتر و در حد خاکستر می‌باشد. بر اساس تقسیم بندی کاس و رایت[1] (۱۹۹۲) توف‌ها را می‌توان به انواع شیشه‌ای، بلورین و سنگی تقسیم بندی کرد. که بر این

1. Cass & Wright

اساس توف‌های منطقه مورد مطالعه بیشتر از نوع سنگی هستند.

توف‌ها بخش عمده‌ای از منطقه فردوس را به خود اختصاص داده‌اند و به علت دگرسانی گرمابی، مورفولوژی پستی را بوجود آورده‌اند. این سنگ‌ها به رنگ‌های سبز و قرمز دیده می‌شوند و دارای خرد خرده‌های سنگ و کانی (از جمله پلاژیوکلاز، پیروکسن) و به مقدار کم کوارتز می‌باشند. آگات‌های تشکیل شده در توف‌ها به رنگ‌های سبز، قرمز، زرد، سیاه، نارنجی، آبی، فسفری دیده می‌شوند که از این میان فراوانی آگات‌های سیاه و سبز نسبت به بقیه بیشتر است.

۲- ۲- ۲- برش

برش‌های ولکانیکی در منطقه فردوس از قطعات زاویه‌دار بزرگتر از یک سانتی‌متر تشکیل شده‌اند و به رنگ قرمز دیده می‌شوند. فضاهای خالی این سنگ‌ها توسط کانی‌های ثانویه از قبیل کلریت، کلسیت و کوارتز پرشده و سبب ایجاد ساخت رگه – رگچه‌ای و بادامکی در آنها شده است (سلیم، ۱۳۹۱).

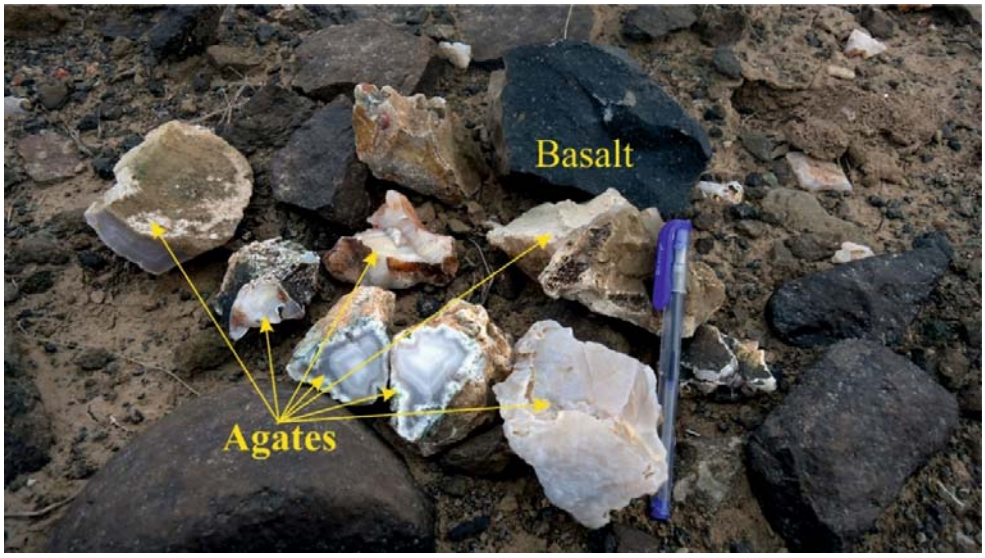
۲- ۲- ۳- بازالت

بازالت‌ها به رنگ سیاه در منطقه فردوس مشاهده می‌شوند و دارای مورفولوژی خشن نسبت به سنگ های مجاور خود نظیر توف‌ها هستند. آگات‌های تشکیل شده در آنها به صورت رگه – رگچه‌ایی و شکاف پرکن می‌باشند و دارای ضخامت بین چند میلیمتر تا ۱۰ سانتی‌متر هستند. این‌ها به رنگ‌های سفید تا بی‌رنگ، خاکستری، دودی، سبز، قهوه‌ایی تا نارنجی و زرد قابل مشاهده بوده و از بین آنها فراوانی آگات‌های سفید بیشتر است (شکل ۲-۴). بافت آگات‌ها در اکثر نمونه‌های دستی به صورت نواری متحدالمرکز و کلوفورمی است. تعداد نوارهای تشکیل شده در این آگات‌ها نسبت به نمونه‌های دیگر بیشتر است و ضخامت در هر لایه با لایه دیگر متفاوت می‌باشد که به علت تغییر شرایط فیزیکی حاکم بر محیط و تبلور ته نشست می‌باشد (شکل های ۲-۵، A و B).

۲- ۲- ۴- آندزیت

آندزیت‌ها در منطقه فردوس در نمونه دستی به رنگ‌های سبز تا خاکستری روشن قابل مشاهده هستند (شکل ۲-۵، C). قرارگیری این واحد بر روی توف‌های منطقه، می‌تواند حاکی از جوان‌تر بودن آن نسبت

به توف‌های منطقه باشد. وجود حفرات ناشی از خروج مواد فرار در سطح این توده‌ها از دیگر ویژگی‌های این واحد سنگی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد (سلیم، ۱۳۹۱). فراوانی آگات‌ها در آندزیت‌ها بسیار کم است و به صورت بی‌رنگ تا سفید و صورتی قابل رؤیت هستند. آگات‌های موجود در آنها دارای ساخت توده‌ایی بوده و به صورت نواری و کلوفورمی دیده می‌شوند.



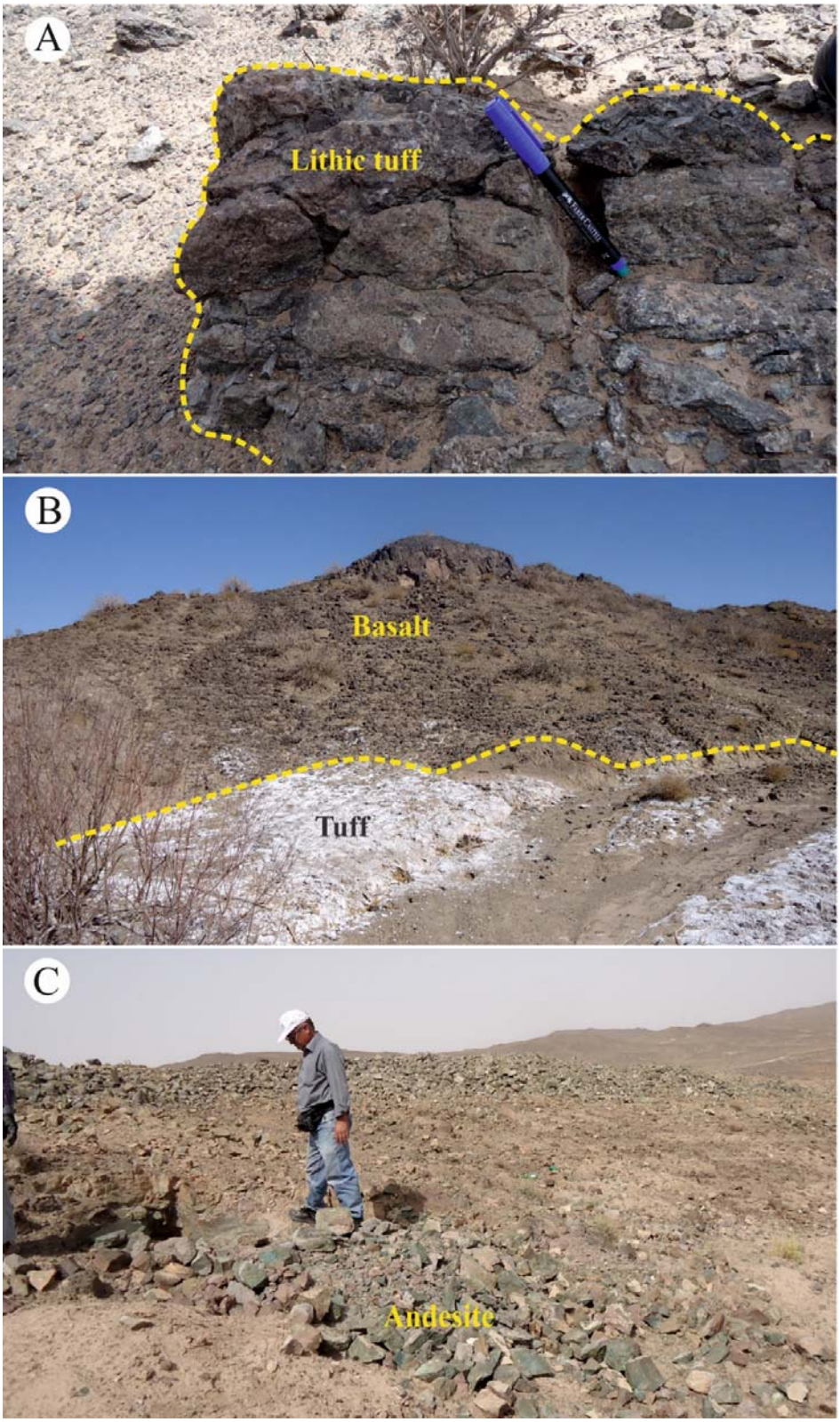
شکل ۲-۴ نمایی از آگات‌های سفید رنگ دارای لایه‌بندی منطقه فردوس به همراه سنگ های بازالتی میزبان آنها.

۲- ۳- زمین‌شناسی ساختمانی

با نگرشی بر ویژگی ساختارها و مشاهدات صحرایی، منطقه فردوس را می‌توان به دو زون ساختاری متفاوت تقسیم بندی کرد (Lotfi, 1995).

زون A: که در شمال باختر منطقه مورد مطالعه واقع شده‌اند از سنگ‌های رسوبی ژوراسیک و سنگ‌های آتشفشانی به سن ترشیری تشکیل شده‌اند. این زون توسط گسل بیرگ از زون B جدا می‌گردد (شکل ۲-۶). گسل بیرگ با راستای شمال خاوری – جنوب باختری حدود ۴۵ کیلومتر ادامه دارد.

زون B: در این زون نشانه‌ایی از رسوب‌گذاری نهشته‌های ژوراسیک به جز برونزدهای کوچکی در پیرامون گسل بیرک دیده نمی‌شود (شکل ۲-۶). نبود چنین نهشته‌هایی، نشانگر بالا آمدگی این زون طی حرکات



شکل ۲-۵: تصاویر صحرایی از سنگ‌های آذرآواری و آتشفشانی منطقه فردوس. A: نمایی از لیتیک‌توف‌ها . B: رخنمونی از سنگ‌های بازالتی. C: رخنمونی از سنگ‌های آندزیتی.

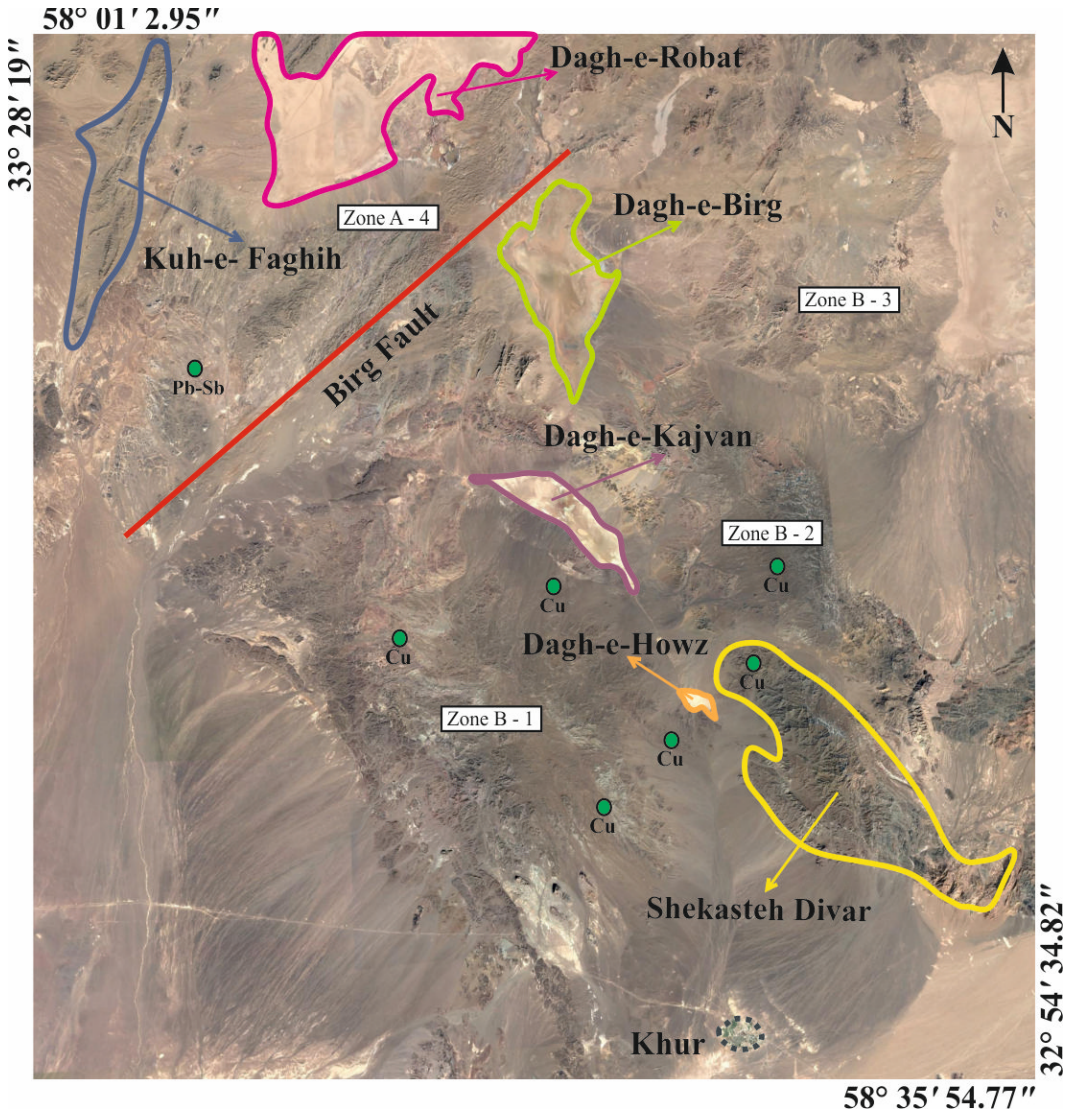
کوهزایی تریاس پایانی (سیمرین پیشین) می‌باشد. علاوه بر آن، حرکات ژوراسیک میانی- پایانی نیز منطقه را تحت تأثیر قرار داده که نشانه‌های آن وجود چین‌خوردگی و تغییرات رخساره‌ای در نهشته‌های ژوراسیک زون A می‌باشد. در زون B غالباً سنگ‌های آتشفشانی به سن سنوزوئیک قابل رؤیت هستند. همانطور که گفته شد بلوک لوت بین دو گسل بزرگ نایبند و نهبندان جای گرفته است که دارای روند شمالی – جنوبی می‌باشند. نیروهای فشارشی وارد بر منطقه ناشی از فرورانش زون مکران سبب شده‌اند تا جابه‌جایی‌هایی از نوع امتداد لغز و برشی در امتداد این گسل‌ها رخ دهند. در چنین رژیمی سازوکار تغییر شکل در کمترین و بازشدگی شکستگی‌ها در بالاترین میزان است. از همین رو در زون B از منطقه مورد مطالعه و دیگر مناطق بلوک لوت، فوران‌های آتشفشانی از طریق سیستم شکستگی‌ها و پدیدار شدن کافت رخ داده است و گدازه‌های جوان‌تر به طور پی در پی سنگ‌های پیشین منطقه را پوشانده است (نوگل سادات، ۱۹۷۸) و در نهایت فعالیت آتشفشانی را در منطقه فردوس به اوج خود رسانده است.

۲- ۴- زمین‌شناسی اقتصادی و پتانسیل معدنی منطقه فردوس

منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل اقتصادی بسیار ضعیفی است و کانه‌زایی‌های مس به صورت اثر معدنی قابل مشاهده می‌باشند. در منطقه مورد مطالعه دو سیستم شکستگی، با راستای شمال خاوری – جنوب باختری و شمال باختری – جنوب خاوری وجود دارد که در آنها سیستم شمال باختری – جنوب خاوری از دیگری جوان‌تر است. این سیستم‌های شکستگی کانه زایی مس را در منطقه کنترل می‌نماید.

در منطقه جنوب فردوس چهار کانی زایی مس به صورت اندیس معدنی از قبیل مس شکسته سبز، مس حوض دق، مس میرخاش و رشیدی در بخش اول زون‌های B (شکل ۲-۶)، و اندیس‌های معدنی غار کفتار و شورک در بخش دوم زون B شکل گرفته است. در منطقه مورد مطالعه کانه زایی سرب – آنتیموان چاه نقره نیز وجود دارد که از نظر ساختاری وابسته به زون A است و در چهارمین بخش بالا

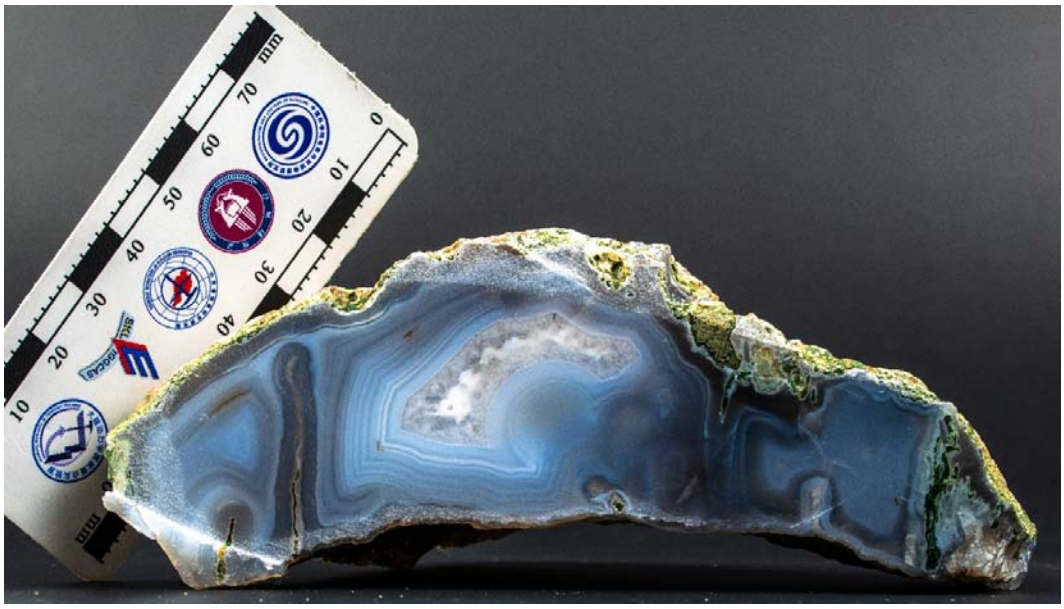
آمده منطقه قرار گرفته است (شکل ۲-۶). آگات‌ها نیز به عنوان کانه‌زایی غیرفلزی به همراه بنتونیت در منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شوند.



شکل ۲-۶: تصویر ماهواره‌ایی از پهنه‌های نمکی، گسل بیرگ و چهار بخش بالا آمده B-1، B-2، B-3، A-4 در منطقه فردوس.

فصل سوم

پتروگرافی



۳- ۱- مقدمه

پتروگرافی بخشی از علم سنگ‌شناسی است که تحولات ماگمایی سنگ‌های مورد مطالعه را با توجه به ترکیب کانی‌شناسی، روابط بافتی و شواهد میکروسکوپی مشخص می‌کند. مطالعه بافت‌ها اطلاعاتی در زمینه نحوه تبلور، اندازه، شکل و آرایش هندسی کانی‌ها یا به عبارتی اطلاعاتی درباره تاریخچه تبلور ماگمای والد سنگ‌ها، آهنگ تبلور، شرایط کلی سرد شدن، انجماد ماگما و گرانروی آن ارائه می‌دهد. با مطالعه کانی‌های همزاد و نحوه ارتباط آنها باهم توسط میکروسکوپ می‌توان نسبت به شناسایی، طبقه بندی و نامگذاری سنگ اقدام نمود (نصراصفهانی و احمدی، ۱۳۸۴). همچنین پتروگرافی یک جزء اصلی از کارهای آزمایشگاهی می‌باشد و مطالعه میکروسکوپی سنگ‌ها، جهانی جذاب و جدید از اطلاعات دقیق و جزئی را بر روی ما می‌گشاید (قاسمی و همکاران، ۱۳۸۹).

به دنبال بررسی ویژگی صحرایی واحدهای سنگی منطقه فردوس در فصل گذشته، به مطالعه ویژگی های میکروسکوپی آنها در این فصل خواهیم پرداخت. منطقه فردوس همانطور که در فصل قبل به آن اشاره شد دارای واحدهای سنگی گوناگونی می‌باشد و بخش عمده‌ای از منطقه مورد مطالعه را نهشته های آتشفشانی و آذرآواری تشکیل می‌دهند. جهت انجام مطالعات سنگ‌نگاری تعداد ۴۰۰ نمونه دستی از آگات‌ها و سنگ‌های آتشفشانی میزبان منطقه فردوس برداشت و تعداد ۲۰ نمونه مقطع نازک از سنگ‌های آتشفشانی و ۱۵ نمونه مقطع نازک از آگات‌ها تهیه شد و با کمک میکروسکوپ پلاریزان تحقیقاتی Olympus مدل BX51P بررسی شدند که نتایج حاصل از مطالعات آنها در این فصل مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. باقی نمونه‌ها بعد از برش جهت آنالیزهای شیمیایی تراش و صیقل به عنوان گوهر سنگ استفاده شدند.

۳- ۲- واحدهای سنگی ائوسن

این واحدها قدیمی‌ترین سنگ‌های رخنمون یافته در منطقه هستند و با توجه به شواهد صحرایی سنگ‌های آتشفشانی منطقه به دو بخش عمده تقسیم می‌شوند:

الف) آذرآواری‌ها (به صورت توف و برش، لیتیک توف، کریستال توف)

ب) گدازه‌های بازالتی، آندزیتی، آندزیت بازالتی

۳- ۲- ۱- افق‌های آذرآواری

توف‌ها و برش‌ها از خرده‌های آندزیت و کانی‌های اولیه پلاژیوکلاز، کوارتز، بیوتیت، کانی ثانویه کلسیت و میکرولیت‌های پلاژیوکلاز تشکیل شده‌اند (شکل ۳-۱). در بررسی‌های میکروسکوپی بلورهای شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار پلاژیوکلاز به صورت درشت بلور و میکرولیت می‌باشند و بیشترین حجم سنگ‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. بیوتیت‌ها درصد کمی از حجم سنگ را تشکیل داده و گاهی به طور کامل به اکسید آهن تبدیل شده‌اند. سنگ‌های آذرآواری دگرسانی بیشتری را نسبت به سنگ‌های بازالتی و آندزیتی متحمل شده‌اند؛ به طوری که بعضی پلاژیوکلازها کاملاً دگرسان شده و فقط قالبی از آنها برجا مانده است.

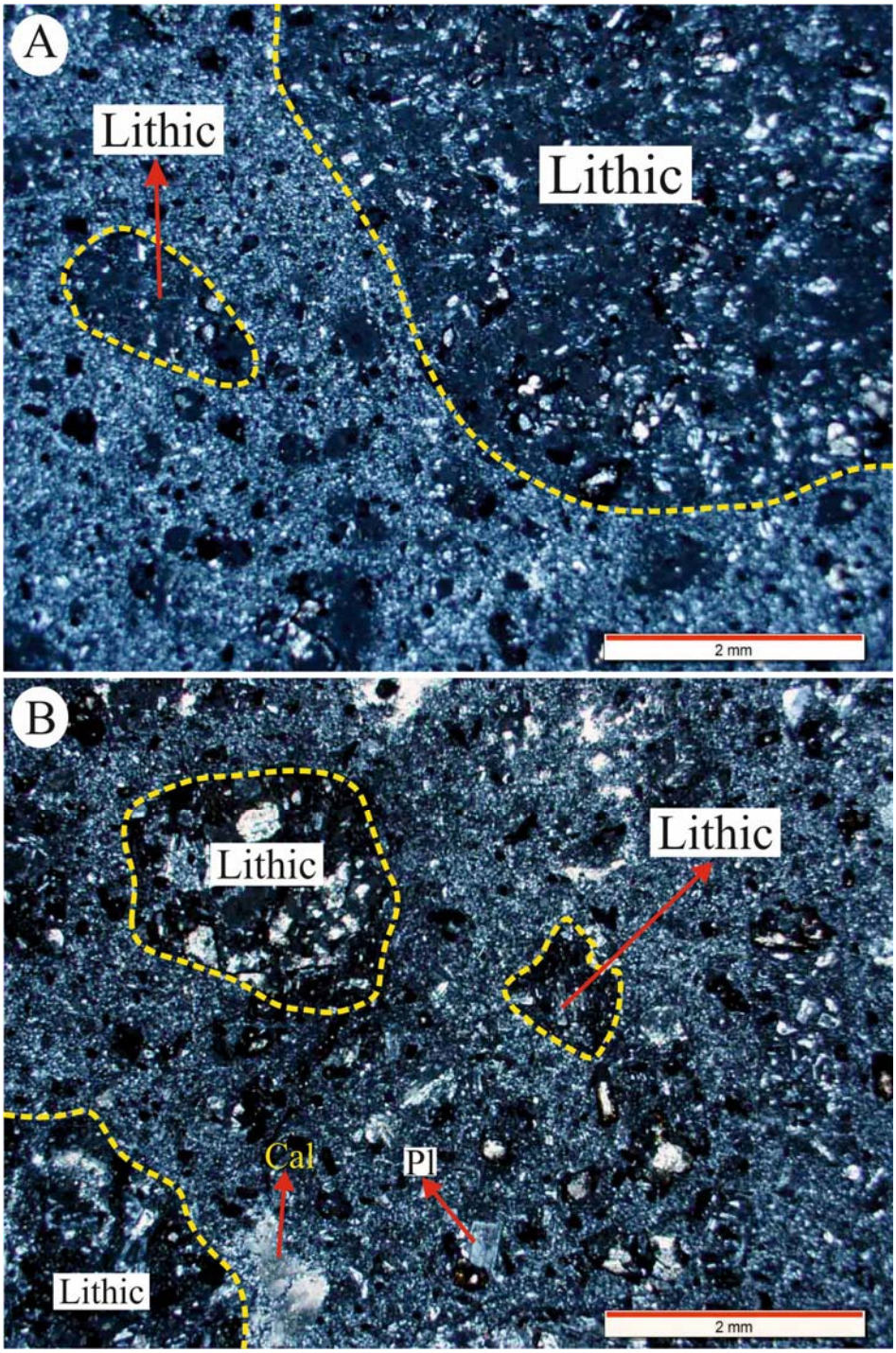
۳- ۲- ۲- افق‌های گدازه‌ای

الف) بازالت: این سنگ‌ها فراوان‌ترین سنگ آذرین بیرونی هستند و به وفور در منطقه فردوس قابل مشاهده هستند. بازالت‌ها دارای فنوکریست‌هایی از کانی‌های شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار پلاژیوکلاز، الیوین و پیروکسن هستند که در زمینه‌ای دانه‌ریز متشکل از پلاژیوکلاز قرار گرفتند. بافت غالب در آنها پورفیری است. همچنین بافت‌های غربالی، هیالومیکرولیتی پورفیری، گلومروپورفیری، سری‌ایت و بادامکی (حفرات پرشده با کلسیت) نیز در بعضی نمونه‌ها مشاهده می‌شوند (شکل ۳-۲، A و B).

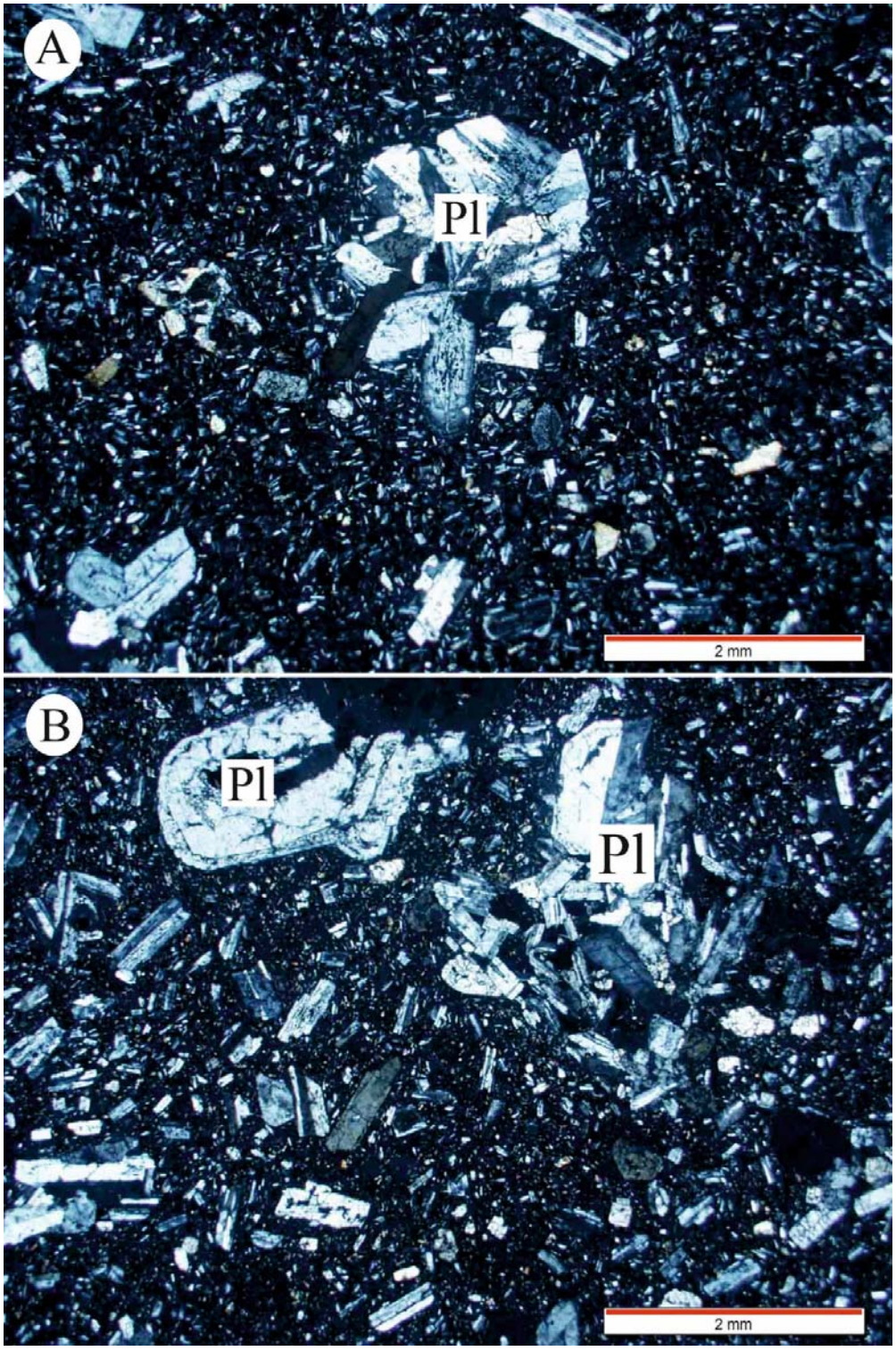
پلاژیوکلاز فراوان‌ترین کانی دیده شده در سنگ‌های آتشفشانی منطقه فردوس است و به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار در اندازه کوچک، متوسط و بزرگ همراه با ماکل پلی‌سنتتیک و منطقه‌بندی مشاهده می‌شود. پلاژیوکلازها به ۳ صورت در مقاطع دیده می‌شوند:

نوع اول- میکرولیت: میکرولیت به کانی‌هایی اطلاق می‌شود که به صورت تیغک‌های بسیار ریز و ظریف بوده و طول آنها بیشتر از عرضشان است (نصر اصفهانی و احمدی، ۱۳۸۴). درسنگ‌های بازالتی منطقه فردوس میکرولیت‌های پلاژیوکلاز به وفور در مقاطع میکروسکوپی دیده می‌شوند (شکل ۳ – ۳،

.(A



شکل ۳-۱: A) تصاویری از بافت و کانی‌های سازنده لیتیک‌توف‌های منطقه فردوس دارای خرده سنگ‌هایی از جنس آندزیت. B) تصویر لیتیک توف منطقه مورد مطالعه به همراه کلسیت و پلاژیوکلاز شکل‌دار و خرده سنگ‌هایی از جنس آندزیت. Cal: کلسیت، Pl: پلاژیوکلاز.



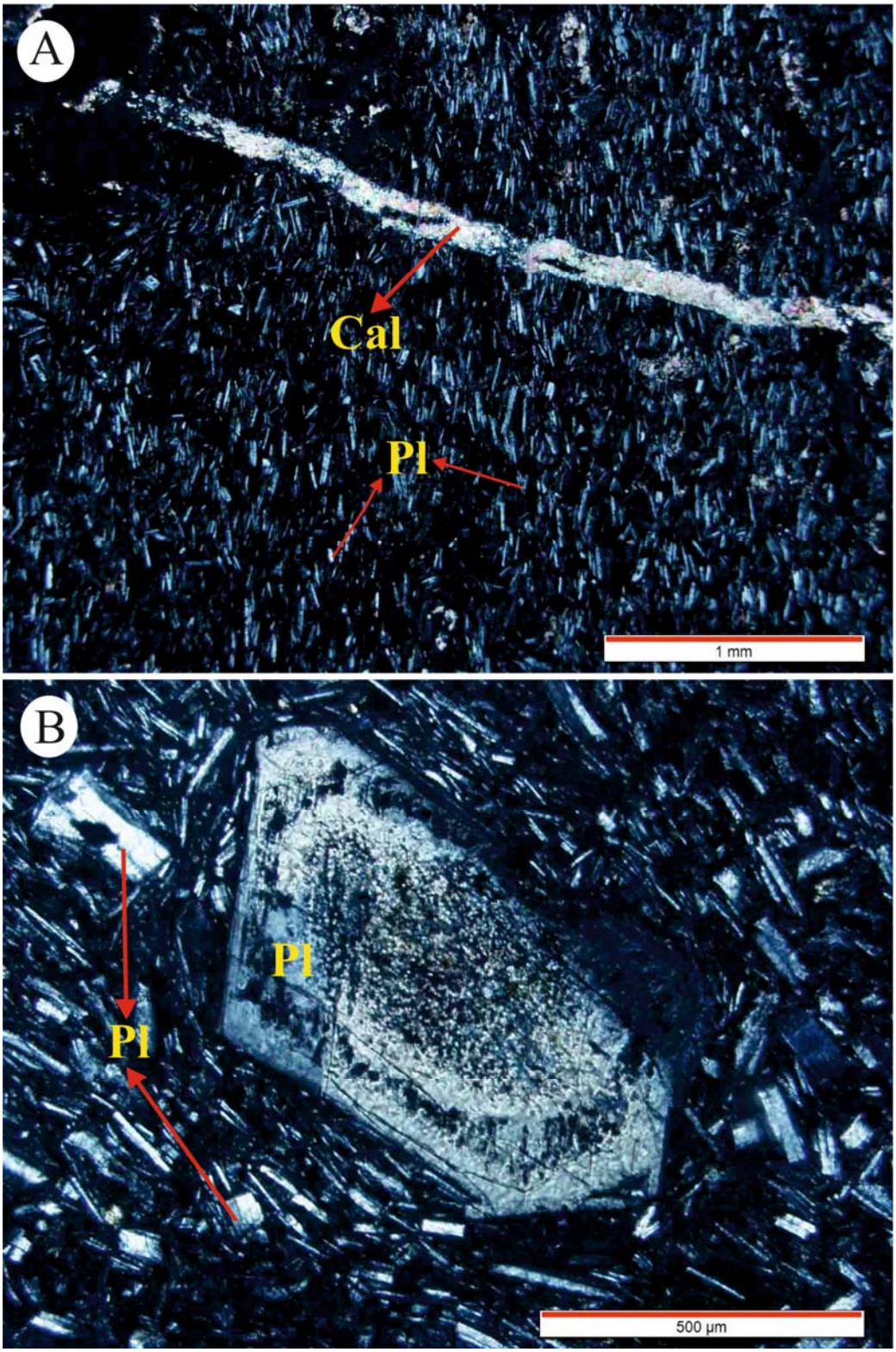
شکل ۳-۲: تصاویری از بافت پورفیری، میکرولیتی پورفیری و گلومروپورفیری در بازالت‌ها (A) بافت گلومروپورفیری. (B) بافت پورفیری و سریت که در آن بلورهای پلاژیوکلاز در اندازه‌های کوچک، متوسط و درشت قابل مشاهده هستند. Pl: پلاژیوکلاز.

نوع دوم- فنوکریست‌های دارای بافت غربالی: بافت غربالی ریز و درشت یکی از جالب‌ترین بافت-های موجود در سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه می‌باشد که حاکی از سرگذشت پیچیده ماگمای والد این سنگ‌ها دارد (شکل ۳ – ۳، B). بافت غربالی در پلاژیوکلازهای مورد بررسی به صورت حفرات درشت در تمام سطح، فقط در حاشیه، هم در حاشیه و هم در مرکز و یا فقط در مرکز پلاژیوکلاز-های قابل مشاهده است. به بافت غربالی که تمام سطح پلاژیوکلازها را پوشانده، بافت غربالی هموژن گفته می‌شود (Meghan, 2006).

سازوکار تشکیل بافت غربالی می‌تواند به علت ورود یک پالس ماگمایی جدید به درون آشیانه ماگمایی تفریق یافته باشد (Gill, 2010؛ Pudlo and Franz, 1995). همچنین این بافت می‌تواند بر اثر جا به جایی بلورها از مناطق کم دما به مناطق داغ مخزن ماگمایی (جریان همرفتی)، کاهش فشار ناشی از بالا آمدن ماگما و یا افزایش فشار بخار آب نیز تشکیل شود (Gill, 2010؛ Stewart and Pearce, 2004؛ Monfaredi et al., 2009؛ Renjith, 2014).

نوع سوم- فنوکریست‌های پلاژیوکلاز بدون بافت غربالی: داشتن ماکل پلی‌سنتتیک، کارلسباد و عدم وجود بافت غربالی از مشخصات مهم این پلاژیوکلازها می‌باشد. منطقه بندی در پلاژیوکلازها را می‌توان هم به تغییرات شرایط فیزیکی(کاهش دما و فشار) و هم به تغییرات شیمیایی و تغییر ترکیب ماگما بر اثر ورود ماگمای جدید به آشیانه ماگمایی نسبت داد (Ustunisik et al., 2014؛ Perugini and Poil, 2012).

پیروکسن‌ها از دیگر کانی‌های موجود در سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه هستند، براساس زاویه خاموشی که حدود ۳۸ درجه می‌باشد از نوع اوژیت می‌باشند. از ویژگی بارز پیروکسن‌ها، تجمع آن با بلورهای پلاژیوکلاز و سایر کانی‌هاست که سبب به وجود آمدن بافت گلومروپورفیری شده است. کانی‌های کلسیت، سریسیت و کلریت که از دگرسانی پلاژیوکلاز، پیروکسن، هورنبلند و بیوتیت حاصل شده‌اند از مهمترین کانی‌های ثانویه سنگ‌های بازالتی منطقه فردوس هستند.



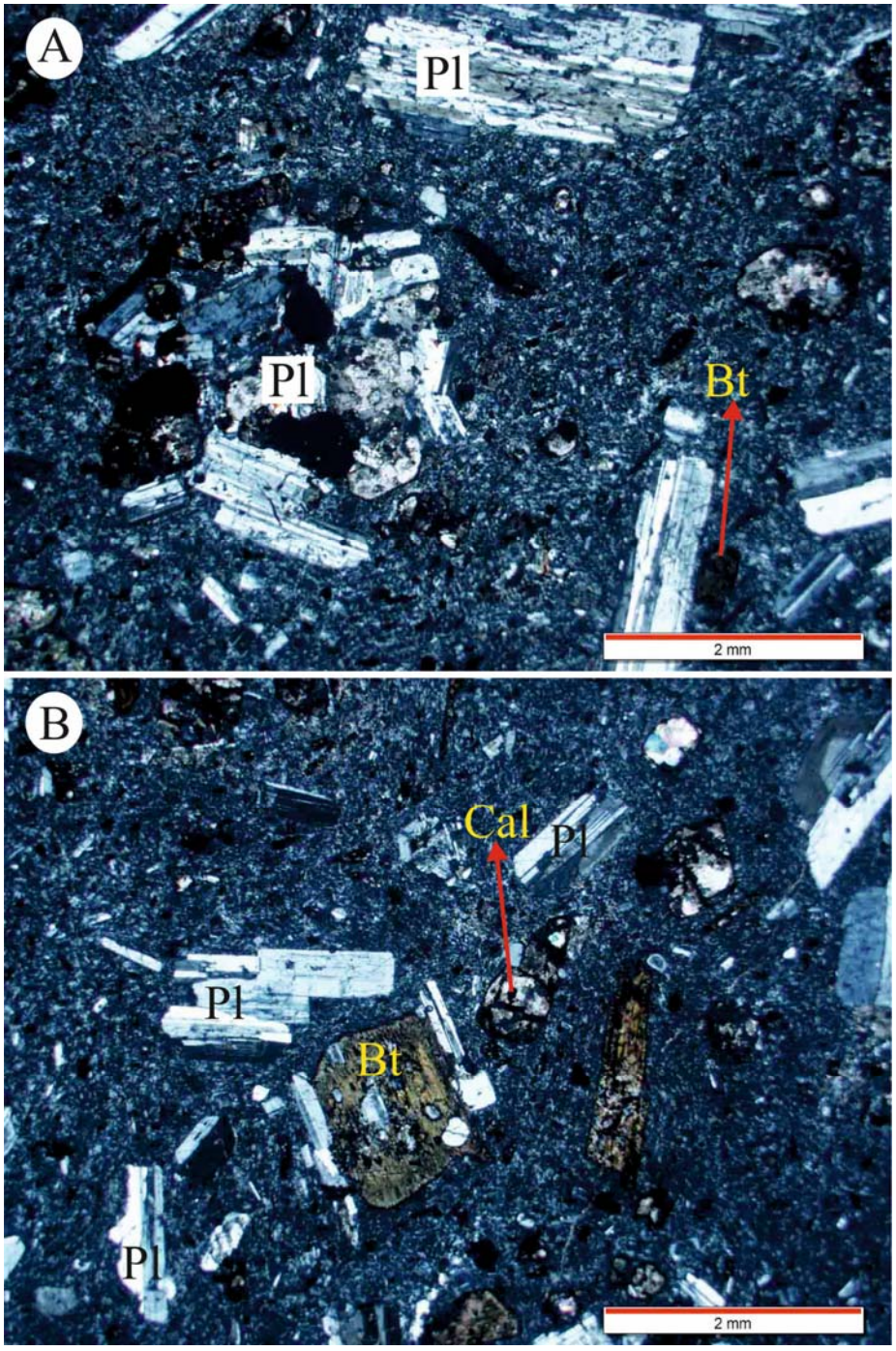
شکل ۳-۳: A) خمیره میکرولیت از جنس پلاژیوکلاز به همراه رگچه کلسیتی موجود در سنگ‌های بازالتی منطقه فردوس؛ B) بافت غربالی، جریانی و منطقه‌بندی در پلاژیوکلاز این سنگ‌ها. Cal: کلسیت، Pl: پلاژیوکلاز.

ب) آندزیت و آندزیت بازالتی: پس از بازالت‌ها سنگ‌های آندزیت و آندزیت بازالتی فراوان‌ترین سنگ های آتشفشانی محسوب می‌شوند و در زیر میکروسکوپ دارای کانی‌های هورنبلند، بیوتیت و پلاژیوکلاز هستند. از جمله بافت‌های مهم در آن‌ها می‌توان به بافت پورفیری، گلومروپورفیری، غربالی و بادامکی اشاره نمود (شکل ۳-۴). بافت بادامکی حاصل حفرات موجود در آندزیت بازالت‌ها است که توسط کانی-های ثانویه کلسیت و کلریت پرشده است. بافت گلومروپورفیری حاصل تجمع درشت بلورهای پلاژیوکلاز در زمینه‌ای ریز بلور از پلاژیوکلاز، بیوتیت و آمفیبول است. این بافت ضمن صعود ماگما به وجود می‌آید. بدین گونه که بلورها با یکدیگر برخورد کرده و چناچه شبکه بلوری آنها با یکدیگر موازی باشد بهم دیگر چسبیده و گلومرول‌ها را ایجاد می‌کنند (Shelly, 1993). بافت پوئی‌کیلیتیک نیز از دیگر بافت‌های موجود در این سنگ‌ها می‌باشد که ناشی از حضور کانی هورنبلند درون پلاژیوکلاز می‌باشد. این بافت نشان می‌دهد که آمفیبول قبل از پلاژیوکلاز متبلور شده است (قاسمی و همکاران، ۱۳۸۹). هورنبلند و بیوتیت از جمله کانی‌های فرومنیزین موجود در سنگ‌های آتشفشانی منطقه فردوس هستند این‌ها اغلب به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار قابل مشاهده می‌باشند و در بیشتر نمونه‌ها دارای حاشیه سوخته هستند و اپاسیتی شده‌اند. حاشیه سوخته در کانی‌های آمفیبول و بیوتیت به علت واکنش‌های اگزوترومیکی در نزدیکی سطح زمین است (Best, 2003). اپاسیتی شدن نشانه بالا بودن فوگاسیته اکسیژن و یا فشار بخار است (Best, 2003).

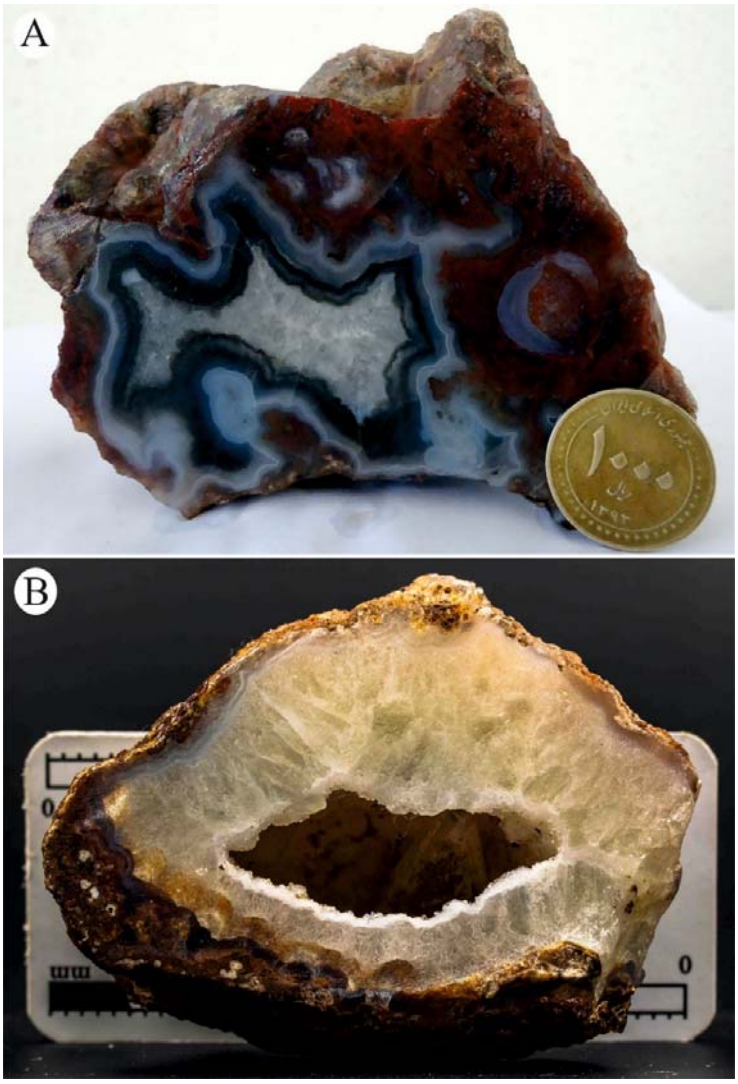
۳- ۳- آگات‌ها

آگات‌های منطقه فردوس دارای لایه‌های با رنگ‌های متفاوت هستند و به طور گسترده در شکل و اندازه های مختلف قابل مشاهده می باشند. این آگات‌ها اغلب از حاشیه به سمت مرکز شامل لایه‌های متحدالمرکز کلسدونی، کوارتزهای درشت بلور و حفره مرکزی پر شده با کواتز یا کلسیت هستند (شکل ۳-۵، A). این حالت می‌تواند نشان دهنده مراحل متفاوت رشد باشد. در بیشتر نمونه‌های مورد بررسی بخش مرکزی آگات‌ها توخالی می‌باشد (شکل ۳-۵، B). آگات‌های منطقه در برابر فرسایش نسبت به

سنگ میزبان‌های اطرافشان مقاوم بوده و به صورت بازمانده و جدا از آنها قابل رؤیت هستند.



شکل ۳-۴: (A) تصویر میکروسکوپی از سنگ‌های آندزیتی منطقه فردوس. بافت غربالی و گلومروپورفیری در پلاژیوکلازها و (B) بافت پورفیری. Pl: پلاژیوکلاز، Bt: بیوتیت، Cal: کلسیت.



شکل ۳-۵: A) نمایی از آگات‌های منطقه فردوس که دارای لایه‌های متحدالمرکز به رنگ‌های سیاه و سفید است که بخش مرکزی آن توسط کوارتزهای درشت بلور پرشده است. B) تصویری از ژئود آگاتی منطقه مورد مطالعه که از حاشیه به سمت مرکز دارای لایه‌های متحدالمرکز از آگات و درشت بلورهای کوارتز است و مرکز آن توخالی می‌باشد.

۳- ۳- ۱- تقسیم‌بندی آگات‌ها بر اساس رنگ

مهمترین فاکتور در نامگذاری و طبقه‌بندی آگات‌ها رنگ آنها می‌باشد. به‌طور کلی آگات‌های منطقه فردوس بعد از برش، رنگ‌های بسیار جذاب و زیبایی از قبیل سبز، زرد، قرمز، صورتی، سفید، خاکستری و سیاه از خود به نمایش می‌گذارند. آنها اگرچه عمدتاً از سیلیس تشکیل شده‌اند، ولی وجود ناخالصی موجود در آنها سبب جذب بعضی از طول موج‌های نور شده، که نتیجه این امر ایجاد رنگ های متفاوت

در آنها ست (Idris et al., 2012؛ Gotze, 2011؛ انصاری‌فر، ۱۳۹۶).

آگات‌های سفید خاص‌ترین نوع آگات قلمداد می‌شوند و هرچه رنگ سفید و شفافیت آن بیشتر باشد به همان میزان درجه خلوص بالاتری نیز دارد. این آگات‌ها در منطقه فردوس از فراوانی بیشتری برخوردار هستند. آگات‌های سرخ که کارنلین نامیده می‌شود، محبوب‌ترین نوع در میان آگات‌های منطقه فردوس هستند. کارنلین از نام کرنل[1] نام نوعی گیلاس به رنگ قرمز گوشتی تا قهوه‌ای مایل به قرمز در زبان لاتین گرفته شده است. همچنین به آگات‌های سرخ که دارای لایه‌های موازی هستند و یک یا چند لایه سفید یا سیاه رنگ در بین آنها دیده می‌شود، سارادونیکس نیز گفته می‌شود. سختی آگات‌های قرمز نسبت به سایر آگات‌های منطقه مورد مطالعه کمتر است و به علت نرمی و جلاپذیری خوب، برای ساخت نگین مناسب تر هستند (شکل ۳-۶). آگات‌های سیاه منطقه مورد مطالعه دارای ساختار لایه لایه بوده و در برخی نمونه‌ها لایه‌های سیاه و سفید در مجاورت هم قرار گرفته‌اند. آگات‌های زرد و سبز رنگ از گونه‌های پرطرفدار و کمیاب در بین آگات‌های منطقه فردوس می باشند.

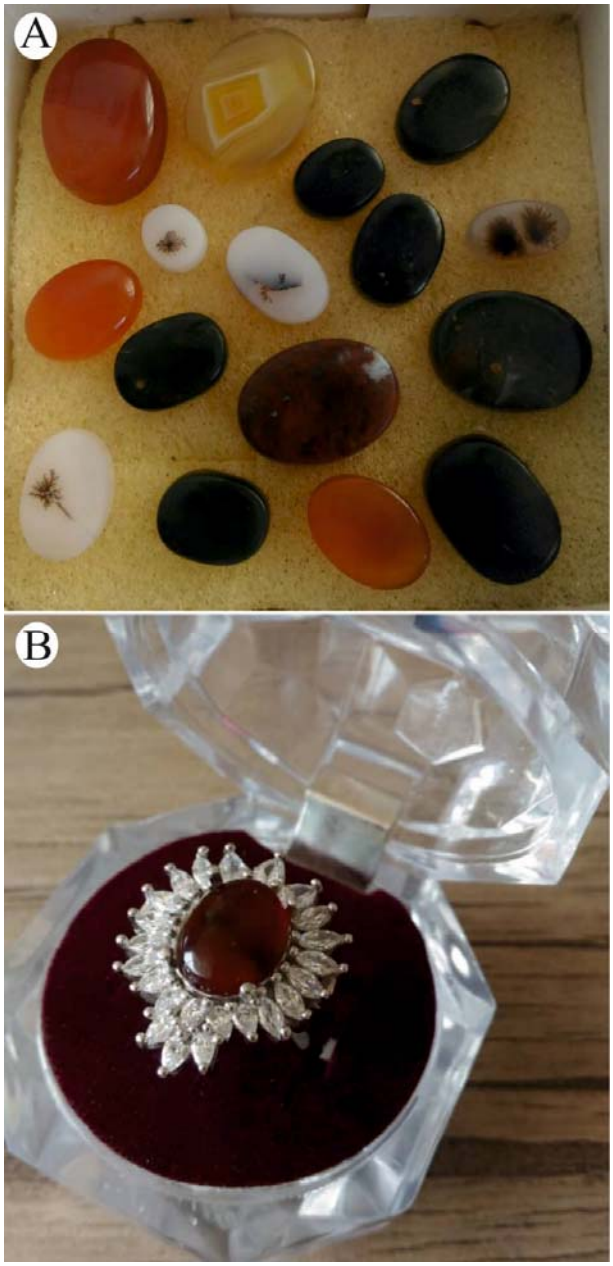
۳- ۳- ۲- طبقه‌بندی آگات‌ها بر اساس فاکتورشکل ظاهری

در منطقه فردوس کانی‌سازی سیلیس درون سنگ‌های آتشفشانی ائوسن-الیگوسن به شکل پرکننده حفرات و شکستگی‌ها رخ داده است. آگات‌های فردوس اغلب دارای اندازه بین ۱۰ تا ۲۵ سانتی‌متر هستند. این آگات‌های را می‌توان بر اساس شکل ظاهرشان به انواع آگات‌های متحدالمرکز (concentric/wall-lining agates) - خزه‌ایی (moss agate) - لوله‌ای (tabular agate) - رگه‌ای (vein agate) - لایه‌ای (banded/uruguay agate) – شجر (dendritic agate) و حفره پرکن (geode agate) تقسیم بندی کرد (Gotze, 2011؛ Lancu, 2009)، که در زیر به توضیح آن‌ها پرداخت می شود.

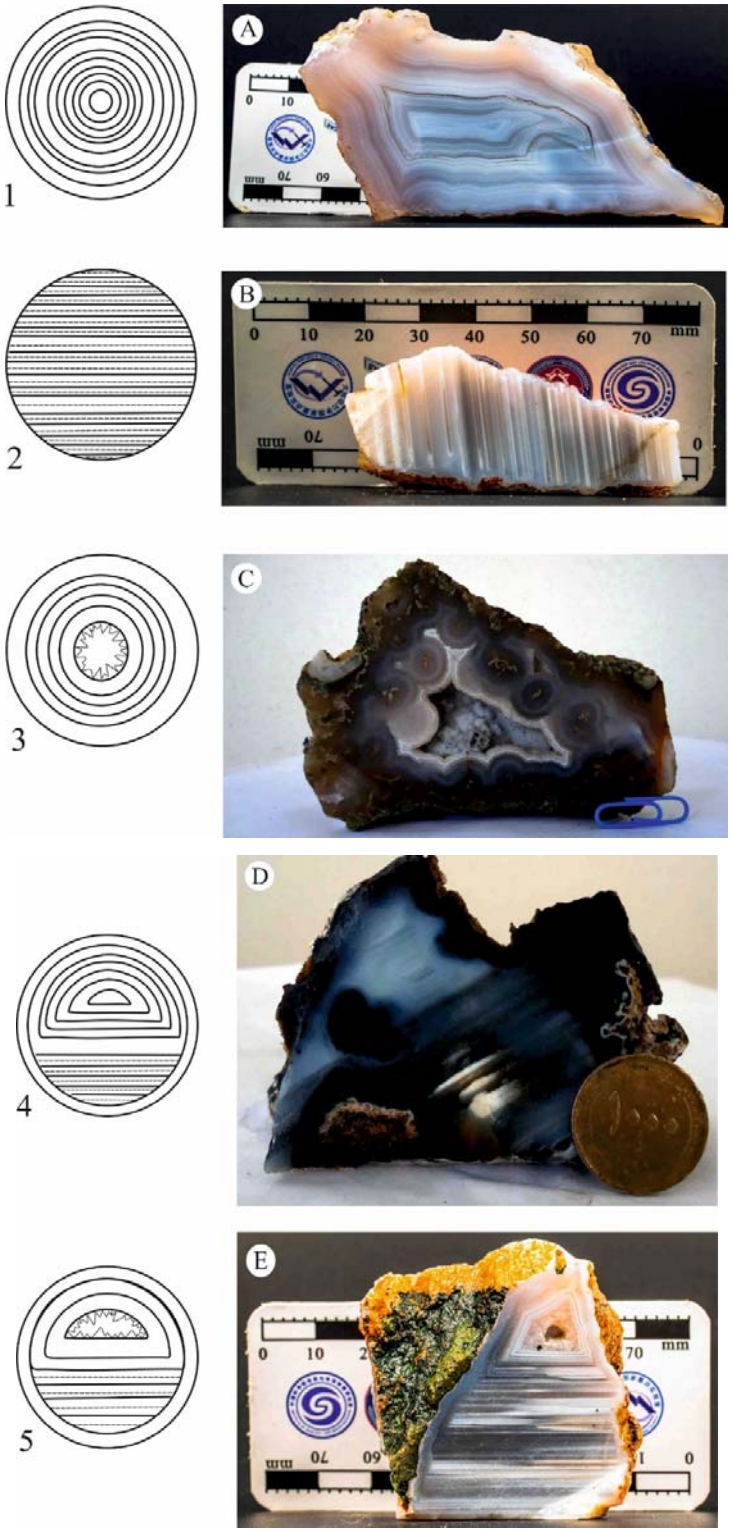
الف) آگات‌های متحدالمرکز و لایه‌ای: از جذاب‌ترین انواع آگات‌ها در منطقه مورد مطالعه هستند که بیشتر به رنگ سفید دیده می‌شوند. این آگات‌ها اکثراً با طرح کلی حفره‌های سنگ میزبان مطابقت دارند (شکل ۳-۷، A)، ولی گاها نیزً قسمت‌های داخلی آن‌ها با لایه‌های افقی پر شده است. لایه‌های مشاهده

1. Kornel

شده در این آگات‌ها احتمالاً نتیجه تغییر در نوع فاز سیلیکاته، اندازه بلورها و همچنین توزیع رنگ دانه‌های رنگی (کانی پاراژنتیک) در ماتریکس SiO_2 می‌باشند (Gotze, 2011). آگات‌های متحدالمرکز فردوس دارای ساختارهای متفاوتی هستند و به انواع ذیل تفکیک می‌شوند (شکل ۳-۷؛ Petranek, 2006).



شکل ۳-۶: A) نمایی از آگات‌های تراش و صیقل خورده منطقه فردوس به رنگ‌های سبز، زرد و قرمز به همراه آگات‌های شجر. B) تصویری زیبای نگین قرمز رنگ از نمونه‌های جمع‌آوری شده در این تحقیق که در شرکت بهساز گوهر پارس تهیه شده است.



شکل ۳-۷: شکلی شماتیک از انواع عمومی ساختارهای (ساختارهای نامگذاری شده ۱ تا ۵، ساختار کلی دیده شده در آگات‌های سراسر جهان هستند) آگات‌های متحدالمرکز و لایه‌ای. A) تصویری از آگات‌های متحدالمرکز در منطقه فردوس. B) آگات با لایه‌های موازی (افقی). C) آگات با لایه‌های متحدالمرکز همراه کوارتزهای ریز بلور در مرکز. D و E) ترکیبی از آگات‌های متحدالمرکز و لایه‌های افقی در منطقه مورد مطالعه.

نوع۱: آگات با نوارهای متحدالمرکز می‌باشند که بیشترین تنوع را در منطقه فردوس دارند (شکل ۳-۷، A).

نوع ۲: آگات با نوارهای موازی هستند که هر لایه در جهت موازی با لایه قبلی خود قرار گرفته است. این نوع نیز به وفور در منطقه رؤیت می‌شود (شکل ۳-۷، B).

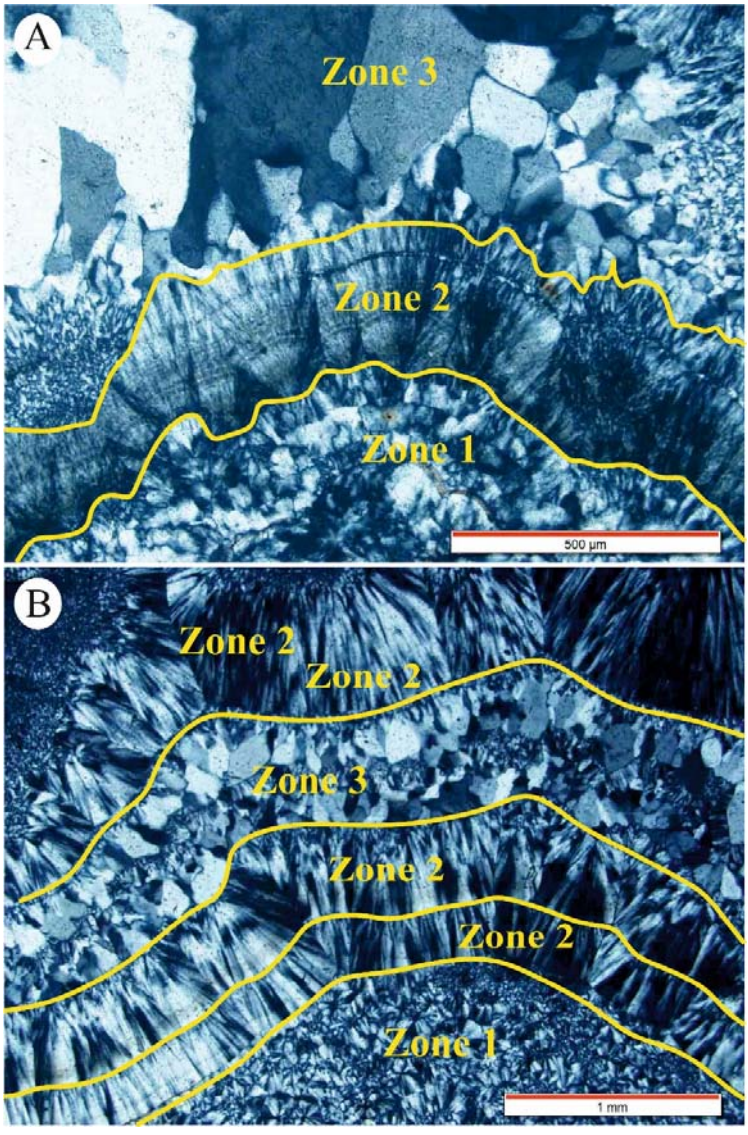
نوع ۳: آگات‌های متحدالمرکزی هستند که مرکز آنها توسط کوارتزهای درشت بلور و یا ریز بلور پر شده است (شکل ۳-۷، C).

نوع ۴ و ۵: ترکیبی از سه نوع قبل می‌باشند (شکل ۳-۷، D و E) که کوارتزهای میکروکریستالین در بالای لایه‌های ثقلی قرار گرفته‌اند و دارای زیر لایه‌هایی هستند، که موازی یکدیگر و دیواره حفره می باشند و ضخامت ثابتی دارند. کوارتزهای درشت که آخرین بلورهای متبلور شده هستند، از محلول‌های رقیق با ناخالصی کم تشکیل شده‌اند. به علت آنکه حجم محلول کم بوده، گاهاً نتوانسته‌اند تمام حجم حفره را پرکنند و فضای خالی در مرکز حفره باقی مانده است (Gotze, 2011). چنانچه اندازه حفره کوچک باشد سیال پایانی می‌تواند کل حفره را پر می‌کند (شکل ۳-۷، E). از این میان فراوانی نوع ۵ نسبت به بقیه ساختارها در منطقه مورد مطالعه کمتر است.

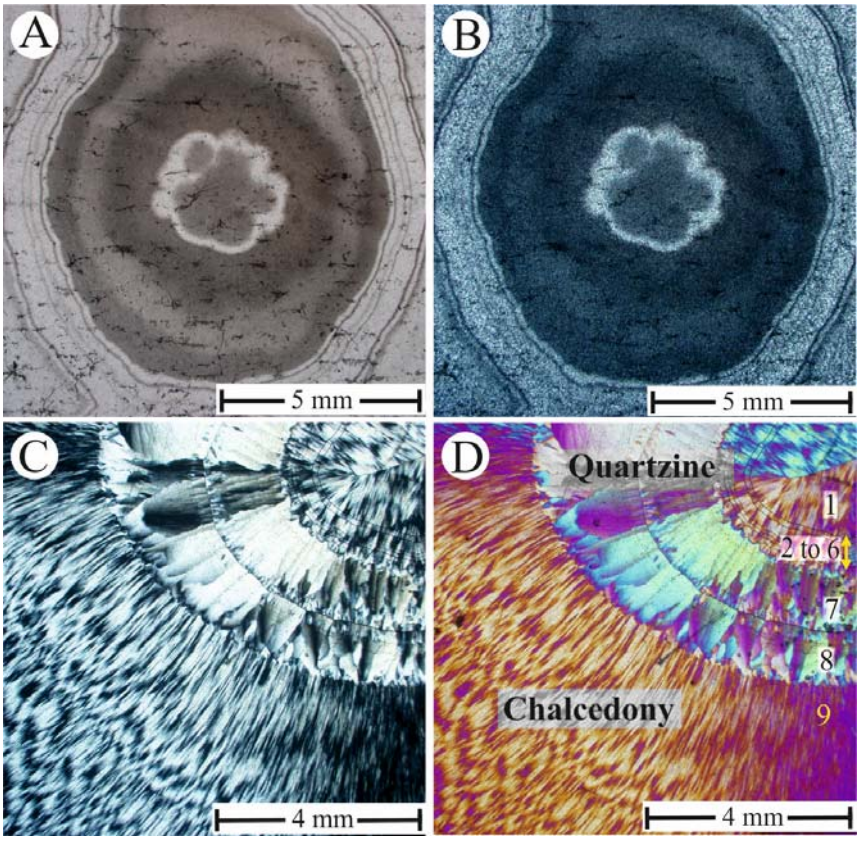
بر اساس مدل ارائه شده توسط گوتز (۲۰۱۱)، آگات‌های متحدالمرکز دارای سه زون می‌باشند که آنها را می‌توان اینگونه معرفی کرد (شکل ۳-۸، A). اولین زون، بیرونی‌ترین زون در آگات‌های منطقه را تشکیل می‌دهند که با عرض چندین میلیمتر شامل دانه‌های کریپتوکریستالین یا کلسدونی اسفروئیدی می‌باشند. زون دوم اغلب توسط کلسدونی فیبری تحت سلطه قرار گرفته است. زون سوم داخلی‌ترین بخش می‌باشد و در اغلب آگات‌ها از کوارتز میکروکریستالین تشکیل شده است. این ساختارها در بعضی از نمونه‌های منطقه مورد مطالعه به طور کامل توسعه پیدا نکرده‌اند و یا بعضی زون‌ها به صورت پی‌درپی تکرار شدند (شکل ۳-۸، B).

در ایجاد لایه‌بندی موجود در آگات‌های متحدالمرکز منطقه فردوس فرآیندهای مختلفی درگیر هستند. در تعدادی از آگات‌ها، لایه‌بندی بر اثر تغییر ترکیب شیمیایی بوجود آمده است (شکل ۳-۹، A). این در

حالی است که در تعدادی دیگر، تغییر اندازه دانه، سبب تشکیل لایه‌بندی شده است. علاوه بر این موارد، لایه بندی گاهاً نیز بر اثر تغییرات ریز ساختاری بوجود آمده است. برای مثال شکل ۳-۹، D از ۹ لایه تشکیل شده است که ۶ لایه‌های داخلی و آخرین لایه از ته نشست سیلیس به صورت کلسدونی ایجاد شده‌اند، در حالی که دولایه ۷ و ۸ از کوارتزین تشکیل شده‌اند.



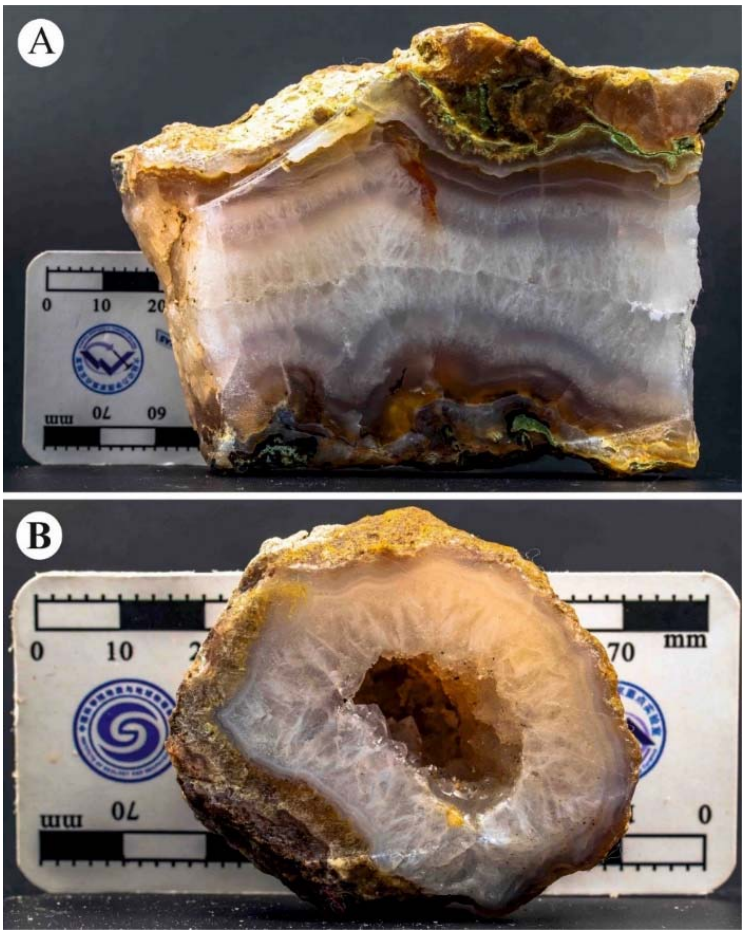
شکل ۳-۸: تصاویر میکروسکوپی از آگات‌های منطقه فردوس که در A) توسعه یافتن ۳ زون اصلی (کلسدونی اسفروئیدی (Zone1)، کلسدونی فیبری (Zone2) و کوارتز میکروکریستالین (Zone3)) را نشان می‌دهد و در B) تکرار پی در پی زون ۲ را به نمایش می‌گذارند.



شکل ۳-۹: A و B: نقش تغییر ترکیب شیمیایی در ایجاد لایه‌بندی در آگات‌های متحدالمرکز منطقه فردوس که به ترتیب در نورهای PPL و XPL نشان داده شده است. C و D: سکانسی از کلسدونی و کوارتزین فیبری در یک آگات سفید در منطقه مورد مطالعه به ترتیب در نور XPL و نور XPL به همراه تیغه ژیپس. همانطور که در این تصویر مشاهده می شود، کلسدونی ها با طویل شدگی منفی و کوارتزین با طویل شدگی مثبت در شکل D قابل مشاهده هستند.

اغلب خصوصیات نوری کلسدونی و کوارتزین مشابه می‌باشد (برای مثال هر دو در نور PPL بیرنگ و دارای برجستگی ضعیف بوده و دارای بیرفرنژانس خاکستری در نور XPL می‌باشند) و فقط طویل شدگی آنها متفاوت است. بدین گونه که کلسدونی‌ها دارای طویل شدگی منفی بوده و کوارتزین طویل شدگی مثبت دارد. لذا در تهیه شکل D، از تیغه ژیپس استفاده گردید که در این تصویر کلسدونی‌ها با طویل شدگی منفی پس از ورود تیغه ژیپس بیرفرنژانس زرد نشان می‌دهند (لایه‌های ۱ الی ۶ و ۹ روی شکل ۳ - ۹، D)؛ در حالی که فیبرهای کوارتزین که دارای طویل شدگی مثبت هستند، بیرفرنژانس آبی از خود به نمایش می‌گذارند (شماره های ۷ و ۸ روی شکل ۳ - ۹، D).

ب) آگات‌های رگه‌ای: آگات‌های رگه‌ای و حفره پرکن فراوانی کمتری نسبت به نوع متحدالمرکز و لایه‌ای در منطقه فردوس دارند (شکل ۳-۱۰). آگات‌های رگه‌ایی در منطقه دارای ضخامت‌های متغیر از سه سانتی‌متر تا ۳۰ سانتی‌متر هستند و دارای امتداد شمال باختر – جنوب خاوری و خاوری – باختری می‌باشند. شکل‌گیری آگات‌های رگه‌ای احتمالاً در ارتباط با ژئودهای آگاتی در سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه می‌باشد، چرا که این‌ها در جاهایی به هم متصل هستند. لذا می‌توان نتیجه گیری کرد که درز و شکاف‌های ایجاد شده بر اثر عوامل تکتونیکی نقش مهمی در تشکیل آگات های رگه‌ای و حفره‌ای داشته‌اند. این موضوع در نقاط دیگر جهان از قبیل Chihuahua, Mexico (Cross, 1996) و Chemnitz, Germany (Mockel and Gotze, 2007) نیز گزارش شده است.



شکل ۳-۱۰: A) تصویری زیبا از آگات رگه‌ای در منطقه فردوس و B) ژئود آگاتی در منطقه مورد مطالعه.

تشکیل لایه‌بندی در آگات‌های رگه‌ای منطقه فردوس احتمالاً بر اثر تغییرات ویژگی‌های سیال می‌باشد. از جمله این تغییرات می‌توان به سرد شدن، اختلاط دو یا چند سیال و واکنش سیال و سنگ میزبان اشاره نمود (Fournier, 1985).

ساختارهای کلوئیدی و فرم‌های اسفروئیدی در آگات‌های رگه‌ای شاهد خوبی برای ته‌نشینی سیلیس به طریق ژل سیلیس می‌باشد (Oehler, 1976). وجود یک ژل سیلیسی پیشرو نیازمند سیالات هیدروترمال فوق اشباع است. از آنجایی که حلالیت سیلیس آمورف در دمای پایین خیلی کم است (۳۶۴ ppm در ۱۰۰ °C)، سیالات با گردش می‌توانند به‌طور متناوب به مرحله فوق اشباع برسند (Fournier, 1985). چنین فرم‌های خاصی از SiO_2 با ساختار کلوئیدی در آگات‌های مخفی بلور تشکیل شده در سیستم‌های ژئوترمال فعال فراوان هستند. در دماهای بالا سیال‌های هیدروترمال مقادیر بالایی از SiO_2 دارند بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که فوق اشباع شدن و ته‌نشست چنین ساختارهایی در منطقه نیازمند تغییرات سریع در شرایط دما، فشار و ترکیب شیمیایی (pTx) بوده است (نظیر جوشش).

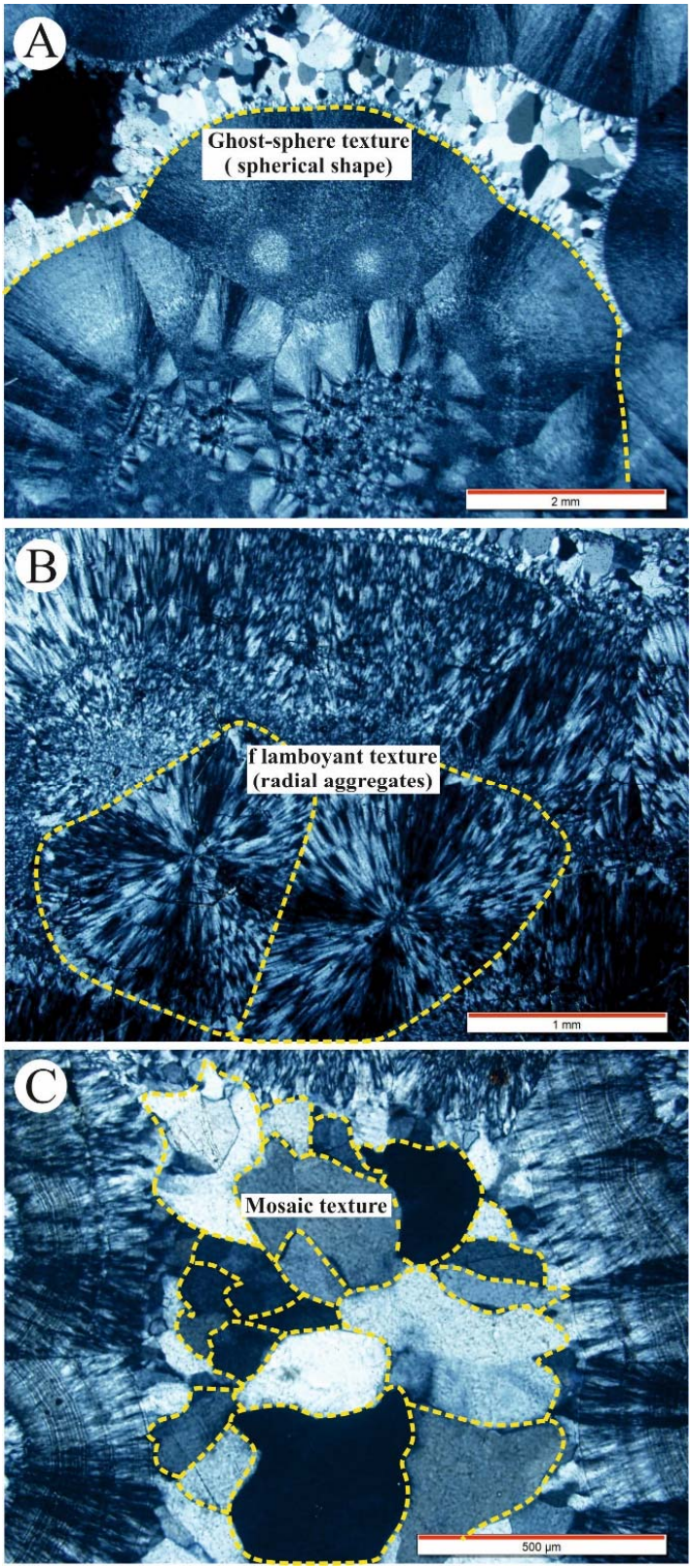
در آگات‌های رگه‌ای فردوس بافت‌های اسفروئیدی غالب می‌باشد. بافت اسفروئیدی موجود در این آگات‌ها به علت تغییرات شرایط فیزیکی- شیمیایی یا واکنش سیلیس‌های کلوئیدی (دارای بار منفی) با یون‌های هیدروکسیدهای آهن و آلومینیم (دارای بار مثبت) ایجاد شده است (Götze, 2011). چنین فرآیندهایی به نظر می‌رسد که باعث شده تعدادی از آگات‌های منطقه فردوس به صورت اسفروئیدی رشد کنند که این نحوه رشد یکی از ویژگی‌های شاخص کانی‌های آمورف می‌باشد. به عبارت دیگر، فرآیند تبلور در آگات‌های اسفروئیدی مورد مطالعه به نظر می‌رسد که از دیواره اتاق آگاتی با تشکیل کلسدونی اسفروئیدی شروع شده و به سمت مرکز حفره پیشروی کرده است (Götze, 2011).

تحقیقات نشان داد که تشکیل آگات‌های رگه‌ای در منطقه Erzgebirge (آلمان) در دمای حدود ۱۰۰ °C اتفاق افتاده است. همچنین آگات‌های رگه‌ای Schlottwitz در دمای ۶۰-۸۵ °C تشکیل شده‌اند، اگرچه داده‌های بدست آمده برای آگات‌های Coral, Halsbach در نزدیکی Freiberg بیانگر تشکیل آنها در دمای کمی بالاتر می‌باشد (۱۲۰-۱۳۰ °C).

در تعدادی از آگات‌های رگه‌ای منطقه فردوس، منطقه‌بندی مشاهده می‌شود که وجود آنها نشانه تشکیل در شرایط گرمابی است (Gotze, 2011). از سایر شواهدی که تشکیل آگات‌های منطقه را از سیال گرمابی تأیید می‌کند می‌توان به همراهی آمتیست با آنها اشاره کرد (شکل ۳-۱۱).

شکل ۳-۱۱: تصویری زیبا از آمتیست در منطقه فردوس که تشکیل آگات‌ها از سیال گرمابی را تأیید می‌کند.

براساس مطالعات دونگ (۱۹۹۵)، هنگامی که غلظت SiO_2 سیال زیاد باشد درجه پلی‌مریزاسیون سیال بالا بوده و بر اثر ته نشست ژل‌های سیلیسی بافت‌های ghost sphere، flamboyant تشکیل می‌شوند. این در حالی است که هنگامی که درجه پلی‌مریزاسیون کم باشد کوارتزها دارای زونینگ و بافت موزاییکی تشکیل می‌شوند. در منطقه مورد مطالعه در قسمت دیواره رگه‌ها و ژئودهای آگاتی بافت‌های ghost sphere، flamboyant دیده می‌شود (شکل ۳-۱۲،A و B) و در مراکز آنها کوارتزهای دارای منطقه‌بندی دیده می‌شوند (شکل ۳-۱۲، C) لذا می‌توان نتیجه گرفت که در ابتدا مقدار سیلیس سیال زیاد بوده است و بافت‌های ghost sphere، flamboyant تشکیل شده‌اند که این‌ها در دیواره ژئودهای آگاتی مشاهده می‌شوند با توجه به اینکه گاهاً کوارتزهای دارای منطقه‌بندی در قسمت‌های مرکزی رگه‌های آگاتی و ژئودها مشاهده می‌شوند (شکل ۳-۱۲، D)، به نظر می‌رسد که غلظت SiO_2، نرخ تبلور، نرخ سرد شدگی و فضای کافی برای رشد در مرحله پایانی کمتر از قبل بوده است.



شکل ۳-۱۲: تصویر میکروسکوپی از بافت‌های موجود در آگات‌های رگه‌ای منطقه فردوس. A) بافت ghost sphere. B) بافت flamboyant. C) بافت mosaic.

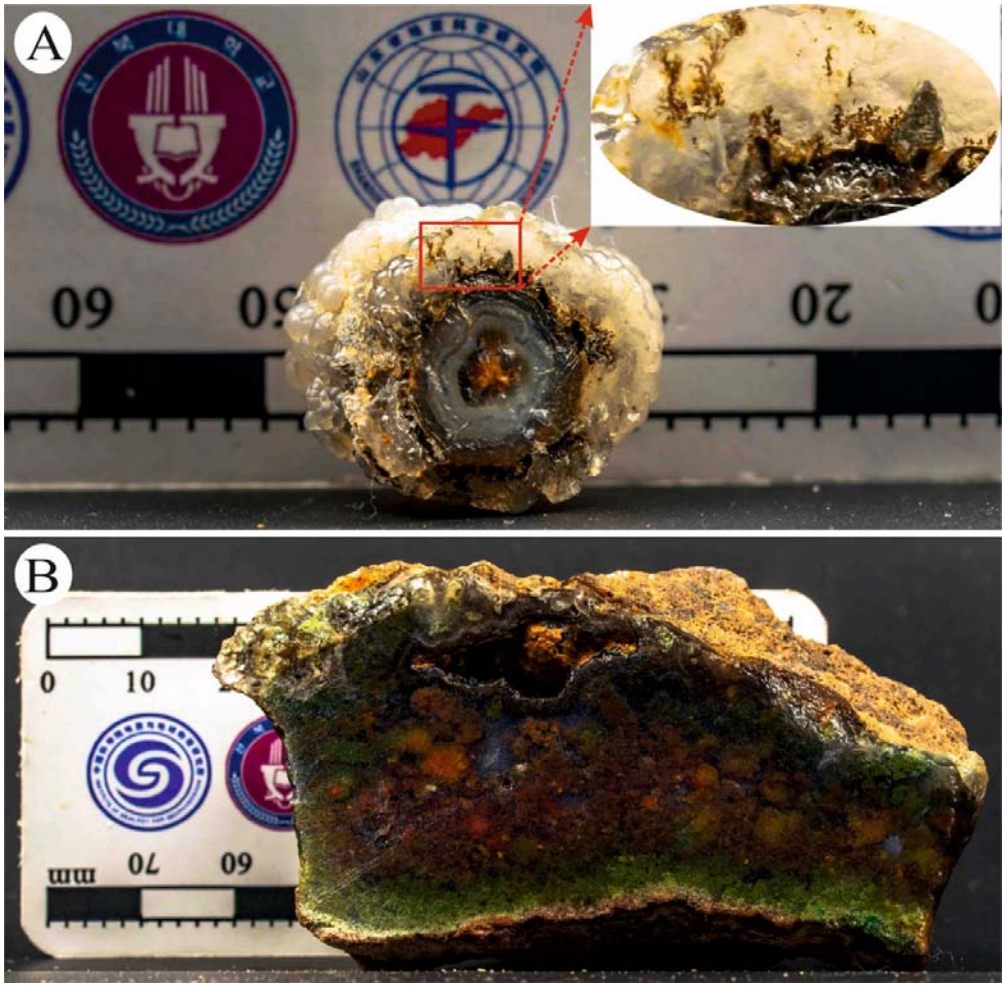
ژئودهای آگاتی در منطقه فردوس دارای ساخت نواری هستند (شکل ۳-۱۰، B) که احتمالاً از سرد شدن سریع ژل‌های سیلیسی در دیواره حفره‌ها و سرد شدن آرام آنها در بخش‌های داخلی‌تر حفره به وجود آمده است (Hajalilou et al., 2011). شرایط تشکیل آنها به شرح زیر می‌باشد:

نخست حفره یا فضای حاصل از شکستگی با ژل سیلیسی غلیظ پر می‌شوند. پیش از آغاز فرآیند تبلور ژل سیلیسی، فضای حفره به واسطه تبلور پوسته‌ای متشکل از کلریت، سلادونیت و کلسیت از محیط اطراف جدا شده و موجب محبوس شدن ژل می‌شود. شرایط تبلور در فضای هر حفره منحصر به فرد است (نظری، ۱۳۷۵). لذا آنچه که شکل و فرم تبلور را کنترل می‌کند عبارتند از درجه اشباع شدگی SiO_2، مقدار آب در محیط ژل، سرعت تبلور ژل و حضور کاتیون‌های مؤثر بر شکل تبلور کلسدونی.

درمرحله بعد کانی‌های انکلوزیونی که احتمالاً سیلیکات، اکسید و هیدروکسیدهای آبدار آهن هستند، روی دیواره حفره تشکیل می‌شوند و در داخل ژل رشد میکنند. چون در محیط ژل، رسوبگذاری روی دیواره‌ها تابع سقوط و جاذبه نیست، لذا در دور تا دور دیواره از سمت بیرون به داخل رشد می‌کنند. سپس با پایین‌تر آمدن دما، ژل سیلیسی تحت اشباع از سیلیس می‌شود و در نهایت سیلیس اضافی‌اش را به شکل لایه‌های کلسدونی روی دیواره رسوب می‌دهد. در نتیجه‌ی رسوبگذاری، غلظت سیلیس باقیمانده در فاز محلول به حد اشباع می‌رسد، از این به بعد با کاهش دما بقیه سیلیس به شکل بلورهای کوارتز روی هسته‌های تبلور بر روی درونی‌ترین لایه کلسدونی متبلور می‌شود. اگر سیلیس محلول برای پرکردن تمام حفره کافی نباشد، یک حفره خالی در وسط باقی خواهد ماند، به این ترتیب ژئود شکل خواهد گرفت.

ج) آگات‌ها شجر و خزه‌ایی: یکی از کمیاب‌ترین سنگ‌های منطقه فردوس آگات‌های شجر و خزه‌ایی هستند که در نوع خود بسیار زیبا و کم نظیر می باشند. شجر در زبان عربی به معنای درخت می‌باشد و دلیل نامگذاری این نوع از آگات، اشکال درخت مانند نقش بسته برروی آنها است. در این آگات‌ها ساختارهای تصویری یا نقوش انتزاعی دیده می‌شود که حاصل رشد همزمان اکسید منگنز به شکل

دندریتی به هنگام تبلور شبکه کریستالی سیلیسی می‌باشد (شکل ۳-۱۳، A). آگات‌های خزه‌ای دارای محتویاتی به شکل برگ و شاخه‌های خزه معمولاً از کانی اکتینولیت هستند (شکل ۱۳-۳، B).



شکل ۳-۱۳: نمایی از آگات‌های A) شجر و B) خزه‌ایی در منطقه فردوس.

فصل چهارم

رنگ آمیزی و بهبود کیفیت اگات ها

۴- ۱- مقدمه

همه کانی‌هایی که در روند اکتشاف و استخراج بدست می‌آیند کیفیت لازم برای استفاده شدن به عنوان گوهر را ندارند. از این رو در پروسه‌ای قرار می‌گیرند تا کیفیت آنها ارتقا پیدا کند. به تغییراتی که بر روی گوهرهای نامرغوب اعمال شده و باعث می‌شود که شفافیت، رنگ و یا به‌طور کلی کیفیت آنها افزایش یا تغییر پیدا کند، بهسازی[1] می‌گویند (کرمی، ۱۳۹۰؛ انصاری‌فر، ۱۳۹۶؛ روستا، ۱۳۹۷). رنگ کردن سنگ‌های گرانبها نه تنها بر ارزش آنها می‌افزاید، بلکه باعث فراوانی و رونق بازار آنها نیز می‌شود (قربانی، ۱۳۸۲).

بهسازی می‌تواند موجب افزایش و یا کاهش قیمت یک سنگ شود. چنانچه بهسازی موجب زیبا شدن یک سنگ شود قیمت آن را افزایش می‌دهد از سویی دیگر بهسازی ممکن است سبب از بین رفتن و متلاشی شدن گوهر شود. به همین دلیل باید در انتخاب روش بهسازی نهایت دقت صورت گیرد. یکسری روش‌ها هیچ‌گونه تغییری در ترکیب شیمیایی و هم چنین در جنس سنگ به وجود نمی‌آورند. ولی روش‌هایی نیز به‌کار گرفته می‌شود که با وارد کردن مواد شیمیایی در ترکیب اصلی به صورت آمیخته در سنگ‌ها باعث مرغوبیت رنگ می‌شود (قربانی، ۱۳۸۲).

بهسازی سنگ‌های قیمتی و فروش آنها به سال‌های بسیار دور باز می‌گردد، در یونان و رم باستان و حتی قبل از عصر مسیحیت بهسازی به وفور انجام می‌شده است. مصرف سنگ‌های جواهری شکل داده شده از ۳۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح به سطح بسیار حرفه‌ای رسیده بود و نمونه‌هایی از سومر (مزوپوتامیا)، هاراپا در پاکستان غربی امروز و یا از سلسله پادشاهان قدیم مصر بدست آمده است (پیرزاده، ۱۳۹۵). در میان جواهرات یافت شده در مقبره پادشاه تات در حدود ۱۳۰۰ سال قبل از میلاد مسیح سنگ کارنلینی یافت شده،که به روش حرارتی بهسازی شده است. پلینی بزرگ در کتاب خود به نام تاریخ طبیعی، روش‌های روغن زدن و رنگ کردن سنگ‌ها را بیان کرده است که با استفاده از جوشاندن سنگ در عسل در آن تغییر رنگ ایجاد کردند (Bostock, 1855). دانشمند و محقق ایتالیایی کامیلوس

1. Enhancment

لئوناردوس[1] درکتاب خود به نام آیینه سنگ‌ها که در سال ۱۵۰۲ میلادی به چاپ رسیده است، روش-هایی برای تشخیص سنگ‌های بهسازی شده ارائه نموده‌اند.

همانطور که گفته شد تغییر و تبدیل رنگ سنگ‌ها و کانی‌های گرانبها از گذشته مرسوم بوده و امروزه با پیشرفت علم و ارائه تکنولوژی‌های جدید، روش‌های مدرنی برای بهسازی سنگ‌ها ابداع شده است که بسته به نوع سنگ قیمتی دارد. این روش‌ها عبارتند از (انصاری‌فر، ۱۳۹۶؛ Weldon, 2016):

- اشباع سازی (Impregnation)
- پر کردن سنگ با روغن (Oiling)
- پرکردن (Filling)
- سوراخ کردن با لیزر (Laser drilling)
- انتشار (Diffusion)
- پوشاندن سطح سنگ (Coating)
- حرارت دهی (Heating)
- پرتوافکنی (Irradiating)
- پوشاندن سطح سنگ با روغن (Waxing)
- رنگ کردن (Dyeing)
- رنگ بری (Bleaching)

از این میان مواردهای فوق، سه روش حرارت دادن، اشعه رادیو اکتیو و محلول‌های شیمیایی از بقیه کاربرد بیشتری دارند که در زیر به توضیح آنها پرداخته می‌شود. در پایان نامه حاضر نیز این سه روش جهت بهسازی آگات‌های فردوس استفاده شد.

الف) حرارت دادن: از مدت‌ها قبل مشخص شده بود که حرارت دادن، رنگ بعضی از گوهرها را تغییر داده و یا بی‌رنگ کرده است. در این روش گوهر سنگ‌ها در معرض دمای بالا قرار گرفته و تأثیرات

1. Camillus Leonardus

حاصل از آن وابسته به نوع ماده، روش و دمای به کار رفته تغییر می‌کند. با استفاده از این روش تنها تعداد کمی از گوهرها به‌طور مطلوب عمل می‌کنند و کیفیت رنگ بعضی از آنها نیز کاهش می‌یابد. گوهرهایی که این روش در آنها بسیار مؤثر است، عبارتند از زیرکن، کوارتز، بریل، توپاز و زویزیت (تانزانیت) (Cornelis and Hurlbut, 1993). عامل اصلی در تغییر رنگ گوهرها در این روش مربوط به توزیع مجدد مؤلفه‌های رنگ ساز در آنهاست (Baur, 1997).

ب) استفاده از اشعه رادیو اکتیو: قرار دادن سنگ‌های قیمتی در معرض تابش یک منبع مصنوعی به منظور تغییر رنگ آن‌ها پرتوافکنی یا تابش اشعه نامیده می‌شود. این روش یکی از روش‌های جدید می‌باشد که در قرن بیستم توسعه یافته است. اشعه رادیواکتیو در بسیاری از گوهرها رنگ مطلوبی به وجود می‌آورد، اما تنها در موارد بسیار کمی این تغییر رنگ دائمی می‌باشد. منابع مختلف رادیواکتیو عبارتند از: پرتوهای ایکس، ذرات آلفای حاصل از یک شتاب دهنده نوترون‌های حاصل از پیل‌های اتمی و پرتوهای گامای حاصل از کبالت ۶۰. این روش مؤثرترین روش در بهبود رنگ الماس، توپاز، آمتیست و کوارتز است (Cornelis and Hurlbut, 1993).

ت) استفاده از محلول‌های شیمیایی: یکی از روش‌های قدیمی ایجاد رنگ در گوهر، رنگ کردن آن با یک ماده رنگی مناسب است. از آنجا که گوهر باید به اندازه‌ای متخلخل باشد که به محلول رنگ دهنده اجازه نفوذ داده شود، لذا این روش را می‌توان برای تعداد بسیار کمی از گوهرها نظیرکلسدونی، یشم و فیروزه کاربرد دارد (Cornelis and Hurlbut, 1993).

۴- ۲- روش انجام آزمایش و آماده سازی نمونه‌ها

رنگ آمیزی نمونه‌ها بدون برش آنها کمی مشکل می‌باشد. زیرا مشاهده فرآیند رنگ آمیزی و عمق نفوذ رنگ را با مشکل مواجه می‌سازد. لذا در ابتدا نمونه‌ها در اندازه‌ها و ضخامت‌های مختلف با دستگاه برش گوهر برش داده می‌شوند. بهتر است نمونه‌ها به شکل ورقه‌ای برش داده شوند سپس در پایان بر حسب نیاز به اشکال مختلف درآیند.

اساسی‌ترین امکاناتی که جهت رنگ آمیزی آگات‌ها مورد نیاز می‌باشد عبارتند از: ظروف شیشه‌ای در اندازه‌های مختلف جهت تهیه محلول‌های مورد نیاز و غوطه ور کردن نمونه‌ها در آن، اوون (فر) با قابلیت تنظیم دماهای مختلف، یک دستگاه اولتراسونیک جهت شست و شو و پاکسازی از ذرات ریز چسبیده به نمونه و یک هیتر جهت گرم کردن و تهیه محلول‌های مورد نیاز. تمیزی نمونه‌ها یک اصل مهم در آماده سازی جهت رنگ آمیزی آگات‌ها می‌باشد. ذرات ریز چسبیده به نمونه ، مواد روغنی و یا هرچیزی که می‌تواند در رنگ آمیزی تأثیر بگذارد، باید به‌طور کامل از بین برود. برای این منظور ابتدا نمونه‌ها توسط مواد شوینده شسته شده و سپس جهت از بین بردن ذرات گرد و غبار و اجزای جامد باقی‌مانده در درزو شکاف‌ها در دستگاه اولتراسونیک قرار داده می‌شوند. بعد از اینکه نمونه‌ها به‌طور کامل شسته شدند جهت خشک کردن در درون اوون (فر) در حرارت پایین قرار داده می‌شوند. بعد خشک شدن، نمونه‌ها جهت رنگ آمیزی آماده می‌باشند. به منظور انجام این آزمایش بهتر است از ظروف شیشه‌ای استفاده شود. زیرا به دلیل خورنده بودن بعضی از این مواد و واکنش دادن آنها با فلزات، ظروف (فلزی) جهت فرآیند رنگ آمیزی نامناسب هستند.

جهت آماده سازی نمونه‌ها برای رنگ آمیزی با پرتو گاما، آگات‌ها توسط دستگاه برش گوهر به اندازه‌های مختلف برش داده شدند و در مقابل تابش مستقیم و غیر مستقیم پرتو گاما با شدت‌های متفاوت قرار گرفتند.

۴- ۳- بهسازی آگات‌های فردوس

آگات‌های منطقه فردوس در رنگ‌های سفید، سبز، سیاه، قهوه‌ای زرد، قرمز و خاکستری مشاهده می-شوند. اگرچه این نمونه‌ها از زیبایی و جذابیت خاص خود برخوردارند، ولی بیشتر در رنگ‌های سفید قابل مشاهده هستند که چندان مورد پسند مردم نیستند. لذا با انجام این تحقیق سعی شده است که با بهسازی این آگات‌ها به رنگ‌هایی که بیشتر مورد پسند مشتری می‌باشد، نسبت به بالا بردن ارزش اقتصادی آن اقدام شود.

از روش‌های محلول‌های شیمیایی، حرارت دادن و اشعه رادیو اکتیو جهت بهسازی آگات‌های منطقه فردوس استفاده گردیده است که در ادامه به توصیف آنها می‌پردازیم.

۴- ۳- ۱- محلول‌های شیمیایی

در این مطالعه برای رنگ‌آمیزی آگات‌های سفید و بی رنگ منطقه مورد مطالعه از چند ماده شیمیایی از جمله کبالت کلراید، نیترات مس، کلراید مس، نیترات آهن و پتاسیم کرومات استفاده شد. در ادامه به چگونگی انجام آزمایش توسط هر یک از این مواد و مراحل آن پرداخته می‌شود.

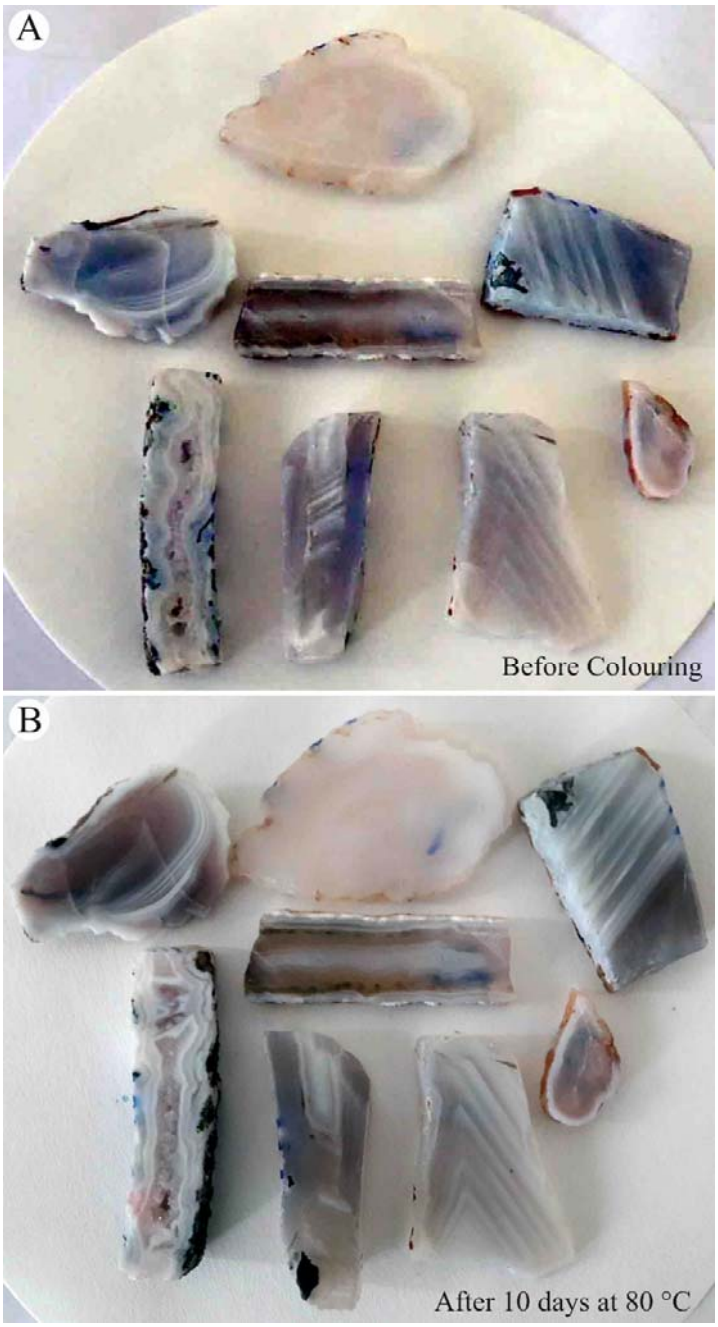
الف) کبالت کلراید هگزاهیدرات ($CoCl_2.6H_2O$)

این یک آزمایش یک مرحله‌ای می‌باشد که جهت انجام آن یک محلول فوق اشباع از کبالت هگزا کلراید با افزودن ۹۰ گرم از این ماده به ۱۸۷ میلی لیتر آب در یک ظرف شیشه‌ایی تهیه شده است. بعد از آماده شدن محلول مورد نظر، نمونه‌های از قبل شسته و خشک شده در درون آن قرار داده شدند و ظرف را به مدت دو هفته در اوون در دمای $25\ ^{\circ}C$ قرار دادیم. بعد از این مدت نمونه‌ها از محلول خارج شده و بعد از شست و شو، جهت خشک شدن در فضای باز و یا درون اوون در دمای پایین قرار داده شدند. در پایان هیچ تغییر رنگی در نمونه‌ها مشاهده نشد. این آزمایش همچنین در دماهای بالاتر جهت بررسی تأثیر دما در رنگ آمیزی تکرار شدند. بدین منظور محلول‌های دیگری از کبالت هگزا کلراید با همان نسبت مرحله قبلی تهیه و به آنها دماهای $50\ ^{\circ}C$ و ۸۰ اعمال گردید. در این آزمایش‌ها نمونه‌هایی که در دمای ۵۰ درجه قرار گرفته بودند، هیچ تغییر رنگی در آنها مشاهده نشد؛ اما در تعدادی از نمونه‌ها در دمای ۸۰ درجه تغییر رنگ بنفش جزئی مشاهده شد (شکل ۴-۱).

ب) نیترات مس $Cu(NO_3)_2.3H_2O$

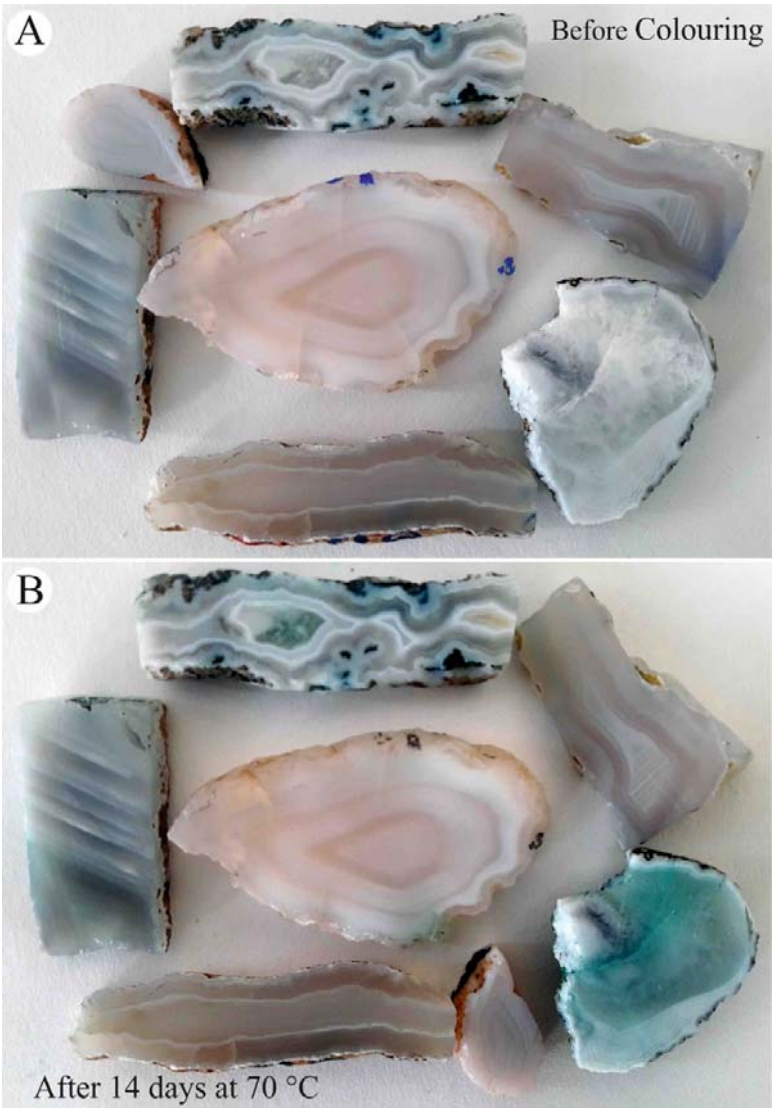
جهت انجام این آزمایش محلول اشباعی از نیترات مس تهیه شده است. نیترات مس ماده‌ای با حلالیت زیاد می‌باشد، بنابراین ۱۵۰ گرم از این ماده به ۸۰ میلی لیتر آب اضافه شده و ظرف شیشه‌ای محتوی آن روی هیتر قرار داده شد. بعد از اینکه محلول توسط آهنربا (Magnet) به خوبی هم زده شد، ۶ نمونه شسته و خشک شده از آگات‌های سفید و بی رنگ منطقه همراه با لایه‌بندی در محلول مورد نظر قرار

داده شد و محلول حاصل در دمای ۵۰ °C قرار گرفت. در طی مدت سه هفته این نمونه‌ها جهت ثبت تغییرات هر دو روز یکبار از داخل محلول خارج شده، شسته و خشک شدند اما هیچ تغییر رنگی در آنها مشاهده نشد. جهت بررسی سرعت رنگ آمیزی این آزمایش در دمای بالاتر نیز تکرار شد.



شکل ۴-۱: نمونه‌های قرار داده شده در محلول فوق اشباع کبالت هگزا کلراید. A) قبل از رنگ آمیزی. B) بعد از رنگ آمیزی.

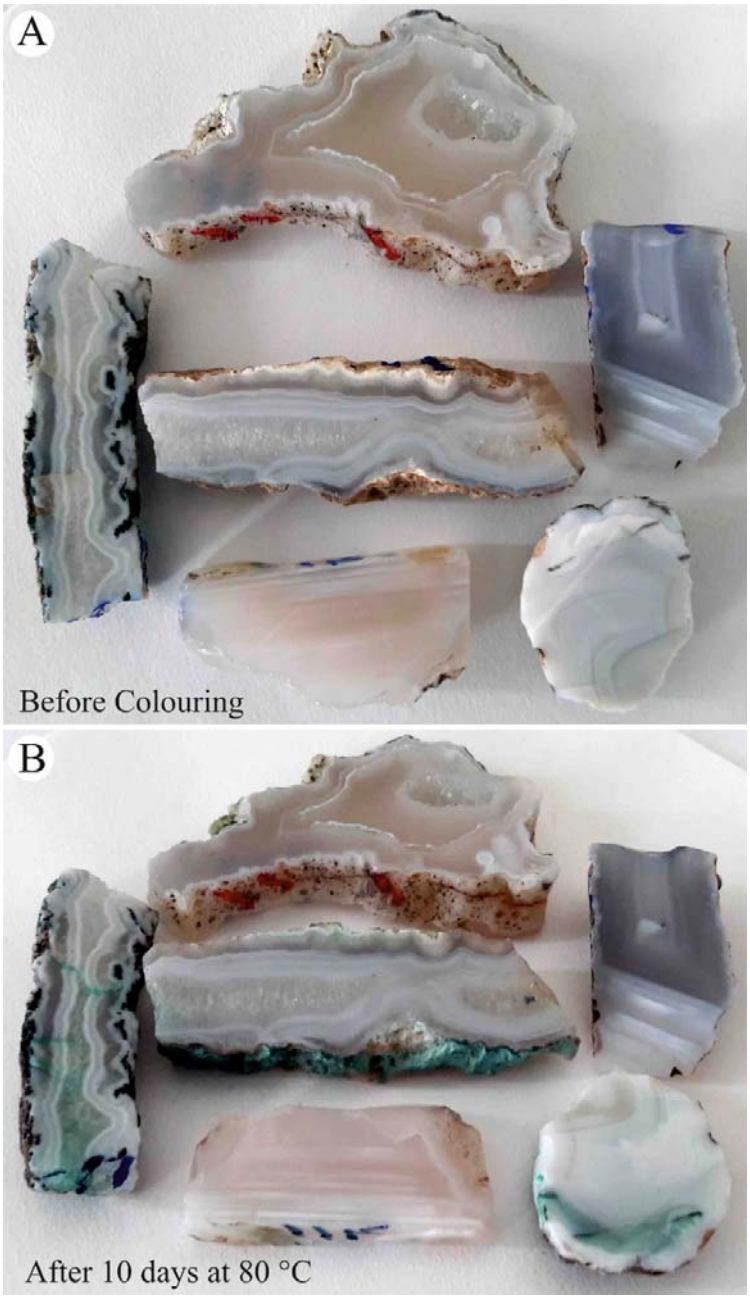
در مرحله دوم محلول اشباعی از نیترات مس با افزودن ۱۵۰ گرم از این ماده به ۸۰ میلی لیتر آب تهیه شد. سپس ۷ نمونه دیگر به آرامی در دمای ۷۰ °C در آن قرار گرفت. بعد گذشت دو هفته فقط کمی تغییر رنگ آبی در یکی از نمونه‌ها مشاهده شد که با ادامه آزمایش تغییر رنگ ثابت ماند و تغییری احساس نشد (شکل ۴-۲).



شکل ۴-۲: نمونه‌های قرار گرفته در نیترات مس در دمای ۷۰ °C بعد از گذشت ۱۴ روز.

در مرحله سوم محلول تحت اشباع از نیترات مس با همان نسبت قبلی تهیه شد و ۶ نمونه جدید مانند مراحل قبلی شسته و خشک شده و در داخل محلول قرار گرفتند و در دمای ۸۰ °C به مدت دو هفته

در اوون نگهداری شدند. بعد از گذشت ۱۰ روز شاهد تغییر رنگ آبی در تعدادی از نمونه‌ها شدیم که شدت رنگ در آنها با ادامه آزمایش تغییری نکرد (شکل ۳-۱). این سه مرحله از آزمایش تا چهار هفته ادامه یافت و هیچ تغییر رنگ دیگری در نمونه‌ها رؤیت نشد و شدت تغییر رنگ آبی در نمونه‌های رنگ شده نیز ثابت باقی ماند (شکل ۴-۳).



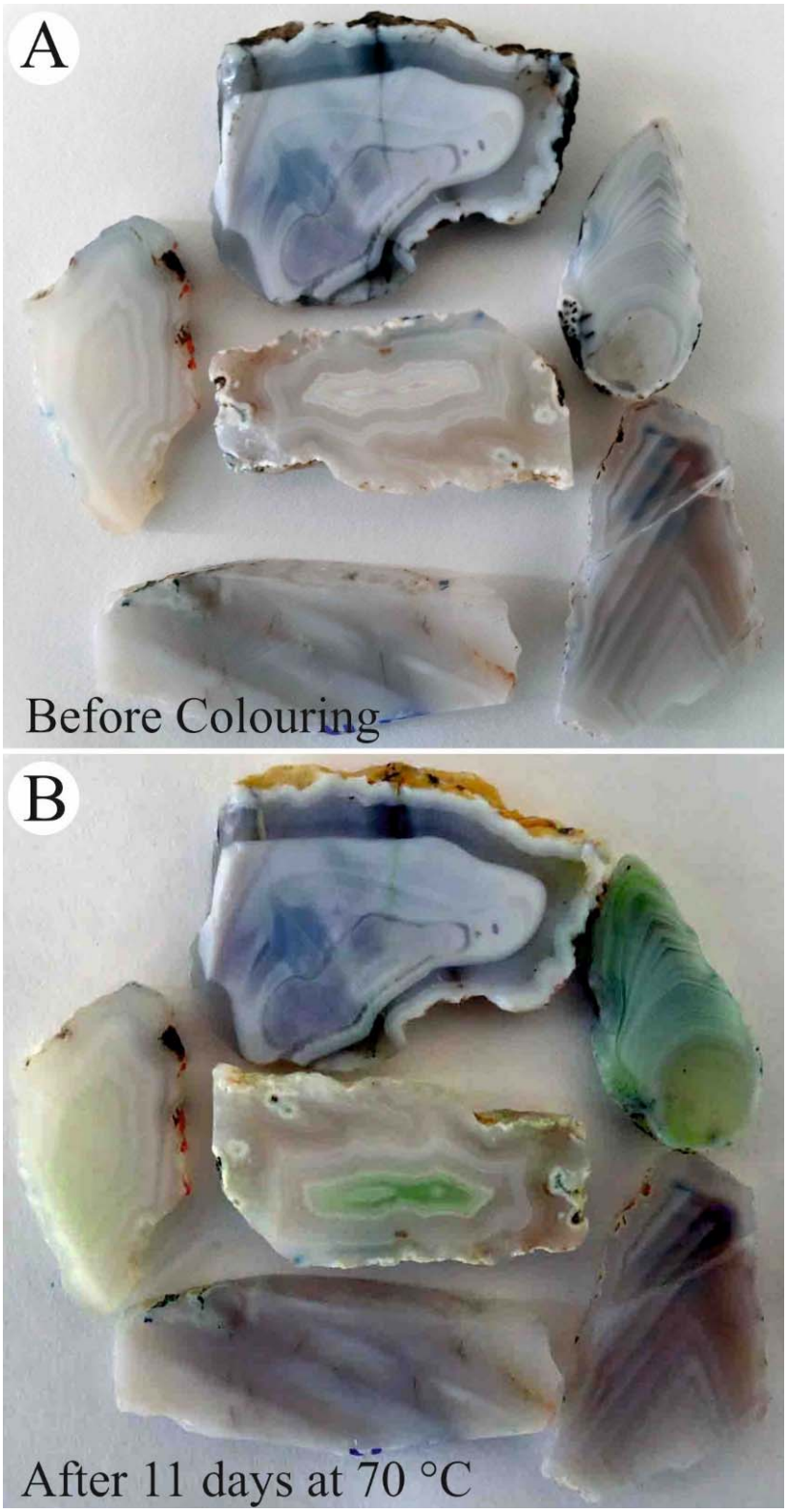
شکل ۴-۳: نمونه‌های قرار داده شده در محلول نیترات مس در دمای ۸۰ °C، که بعد از گذشت ۱۰ روز کمی رنگ گرفته‌اند. A) قبل از آزمایش. B) بعد از آزمایش.

پ) کلرید مس $CuCl_2.2H_2O$

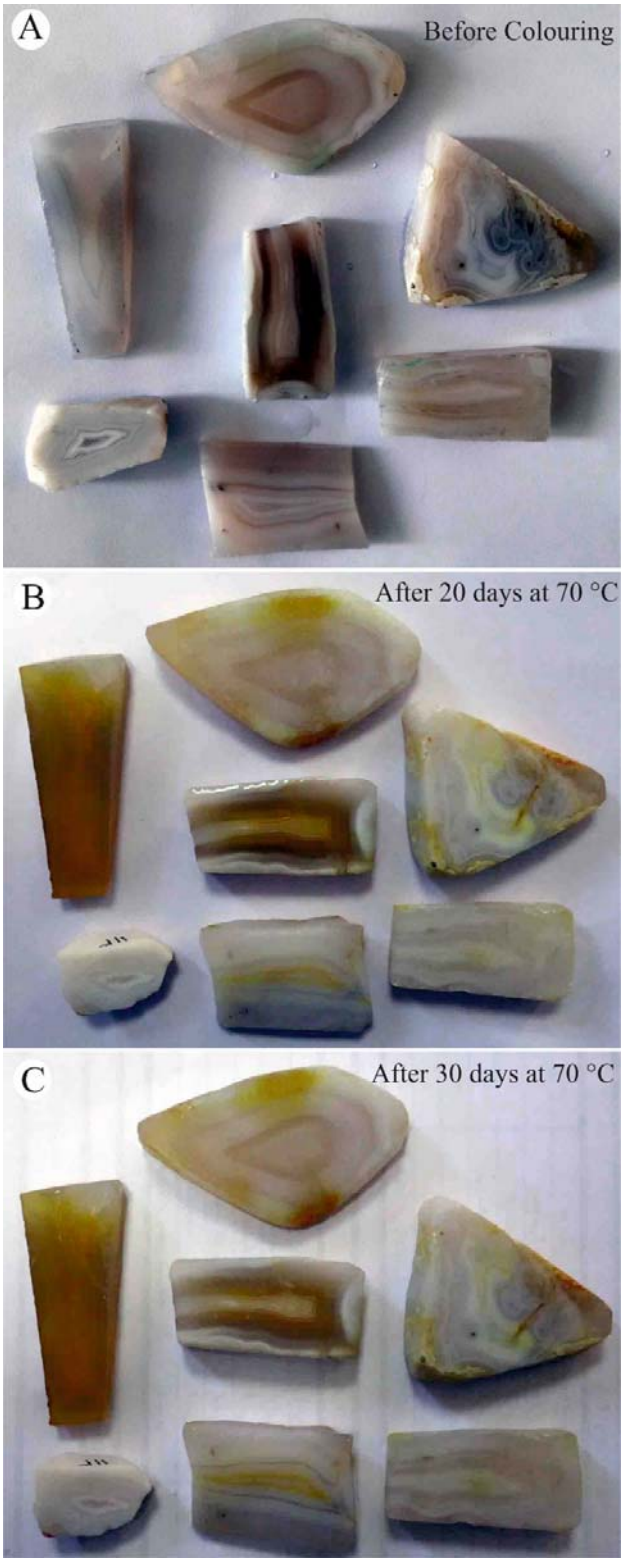
هدف استفاده از این ماده تغییر رنگ آگات‌های سفید به رنگ سبز می‌باشد. ابتدا ۶۰ گرم از این ماده به ۳۵ میلی لیتر آب اضافه شد و ظرف مورد نظر در یک دمای ملایم روی هیتر قرار داده شده تا کلرید مس به خوبی حل شود و در نهایت محلول اشباعی بدست آید. سپس نمونه‌ها در ظروف شیشه‌ای در محلول غوطه ور شدند و به مدت دو هفته در دمای $^{\circ}C$ ۵۰ قرار گرفتند. در این مدت نمونه‌ها در چندین نوبت جهت ثبت تغییر رنگ از محلول خارج شده شسته و خشک شدند، ولی هیچ تغییر رنگی در آنها مشاهده نشد. این آزمایش نیز مانند آزمایشات قبلی جهت تعیین سرعت رنگ آمیزی در دمای $^{\circ}C$ ۷۰ نیز تکرار شد. به این منظور مجدد محلولی اشباع از کلرید مس تهیه شد و تعدادی نمونه جدید در آن قرار گرفت در این مرحله بعد از گذشت ۵ روز فقط در دو نمونه تغییر رنگ سبز مشاهده شد که شدت تغییر رنگ در آنها بعد از ۱۱ روز کمی بیشتر شد و از آن پس هیچ تغییری مشاهده نشد (شکل ۴-۴).

ت) نیترات آهن $Fe(NO_3)_3$

از آنجایی که آگات‌های زرد بسیار مورد پسند مردم می‌باشند، لذا در این آزمایش از نیترات آهن جهت تغییر رنگ نمونه‌ها به زرد استفاده شده است. بدین منظور یک محلول اشباعی از نیترات آهن با افزودن ۱۱۰ گرم از این ماده به ۵۵ میلی لیتر آب تهیه شد. سپس نمونه‌ها در داخل محلول حاصل قرار داده شد و در دمای $^{\circ}C$ ۵۰ به مدت سه هفته نگهداری شدند. بعد از گذشت ۱۰ روز از غوطه‌ور شدن نمونه‌ها در محلول نیترات آهن، نمونه‌ها از ظرف خارج شد، شسته و خشک شدند، به نظر می‌رسد که هیچ گونه تغییر رنگی در آنها اتفاق نیافتاده است. در مرحله بعد ۷ نمونه جدید در محلول مورد نظر به همان نسبت قبلی در دمای $^{\circ}C$ ۷۰ قرار گرفت. در اینجا بعد از گذشت ۷ روز فقط کمی تغییر رنگ زرد در نمونه‌ها مشاهده شد. آزمایش ادامه یافت و تغییر رنگ بعد از گذشت ۱۲ و ۲۴ روز نیز ثبت گردید. نتایج نشان می‌دهد که حداکثر شدت تغییر رنگ در روز ۲۰ حاصل شده و بعد از آن هیچ تغییری در شدت رنگ زرد در نمونه‌ها دیده نشد (شکل ۴-۵).



شکل ۴-۴: نمونه‌های قرار داده شده در محلول کلرید مس در دمای ۷۰ °C.



شکل ۴-۵: نمونه‌های قرار داده شده در محلول نیترات آهن به مدت ۳۰ روز در دمای ۷۰ °C. A) قبل از رنگ آمیزی. B و C) بعد از رنگ آمیزی. همانطور که مشاهده می‌شود بعد از گذشت ۲۰ روز، تغییر رنگ زرد در نمونه‌ها حاصل شد و از آن به بعد تغییری در شدت رنگ آنها حاصل نشد.

پ) پتاسیم کرومات (K_2CrO_4)

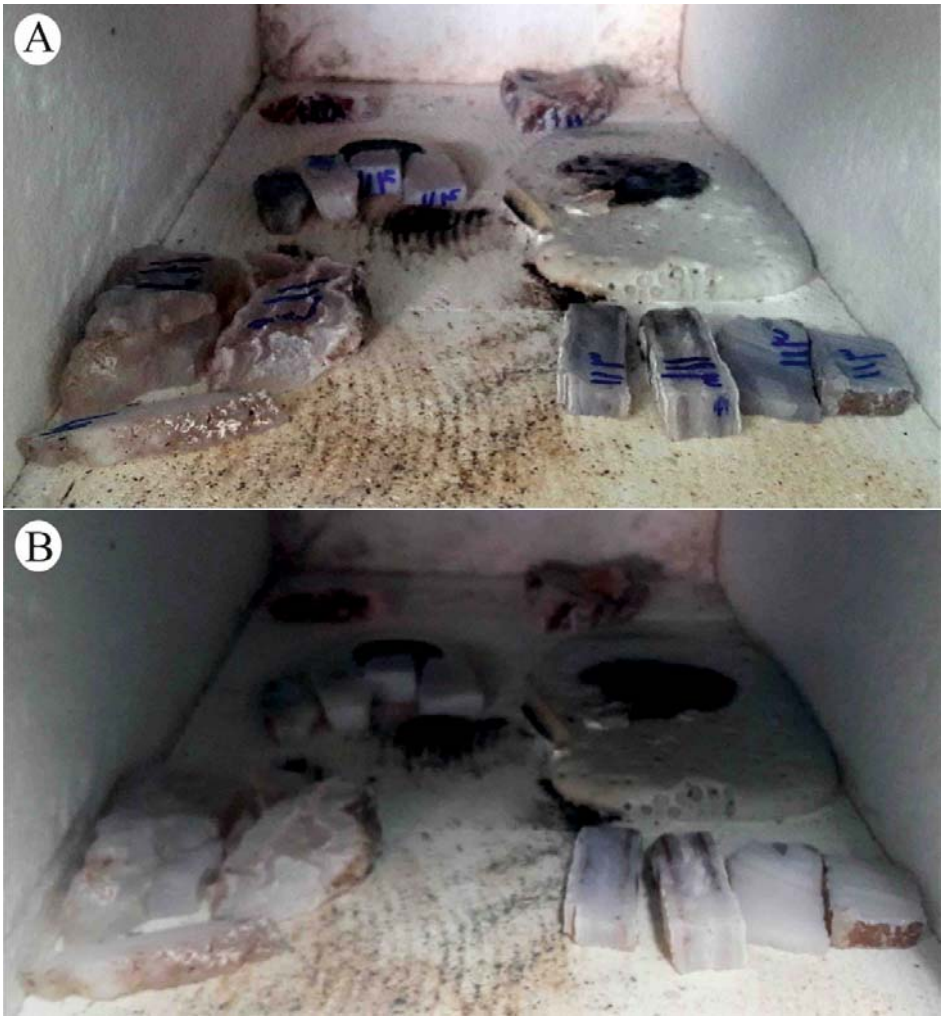
برای ایجاد رنگ زرد در آگات‌ها مورد مطالعه از پتاسیم کرومات استفاده شد. بدین منظور ۲۵۰ گرم از پتاسیم کرومات به ۲۵۰ میلی لیتر آب افزوده شد. محلول اشباع حاصل روی هیتر قرار گرفت و با استفاده از یک مگنت به خوبی هم زده شد. در مرحله بعد نمونه‌های شسته خشک شدند و با دقت در محلول مورد نظر قرار گرفتند. سپس ظرف شیشه‌ای در اوون با دمای $^{\circ}C$ ۵۰ قرار گرفت. بعد از گذشت ۱۰ روز تغییر رنگ چشم گیری مشاهده نشد.

این آزمایش در دمای $^{\circ}C$ ۷۰ نیز تکرار شد تا تأثیر دما در مدت زمان رنگ آمیزی تعیین شود. لذا محلول دیگری از پتاسیم کرومات با همان نسبت آزمایش قبلی تهیه شد. هشت نمونه آگات در محلول مورد نظر در دمای $^{\circ}C$ ۷۰ غوطه ور شدند. بعد یک هفته از قرار گرفتن نمونه‌ها متوجه هیچ گونه تغییر رنگی در نمونه‌ها مشاهده نشد. آزمایش در همان دمای تنظیم شده تا ۳۰ روز ادامه یافت، در این بازه نیز هیچ گونه تغییر رنگی حاصل نشد.

۴- ۳- ۲- حرارت دادن

روش بهسازی حرارتی از گذشته‌های دور برای تغییر رنگ گوهرها مورد استفاده قرار می‌گرفته است. این روش نسبت به روش بهسازی با مواد شیمیایی معمولاً تأثیر کمتری می‌گذارد چرا که تنها برخی از گوهرها به این روش تغییر مثبت نشان می‌دهند و کیفیت برخی بی تغییر می‌ماند و یا کاهش می‌یابد. از این روش جهت بهسازی و رنگ آمیزی آگات‌های منطقه فردوس استفاده شد. به این منظور ۱۰ نمونه از آگات‌های شیری رنگ منطقه مورد مطالعه به مدت ۴۸ ساعت در دمای $^{\circ}C$ ۴۰۰ درون کوره قرار داده شدند. بعد از سرد شدن نمونه‌ها، مشاهده شد رنگ آنها کمی روشن‌تر و شفاف‌تر شده است (شکل ۴-۶). گوهرهای شفاف نسبت به انواع کدر دارای ارزش بالاتری می باشند، لذا از این روش می توان برای شفاف نمودن آگات ها و افزایش قیمت آنها استفاده کرد.

از آنجایی که حرارت دادن باعث کاهش مقدار آب موجود در ترکیب شیمیایی کانی ها می گردد، لذا این تداعی می‌شود که شاید آگات‌های منطقه فردوس پس از بهسازی حرارتی برای رنگ کردن با مواد

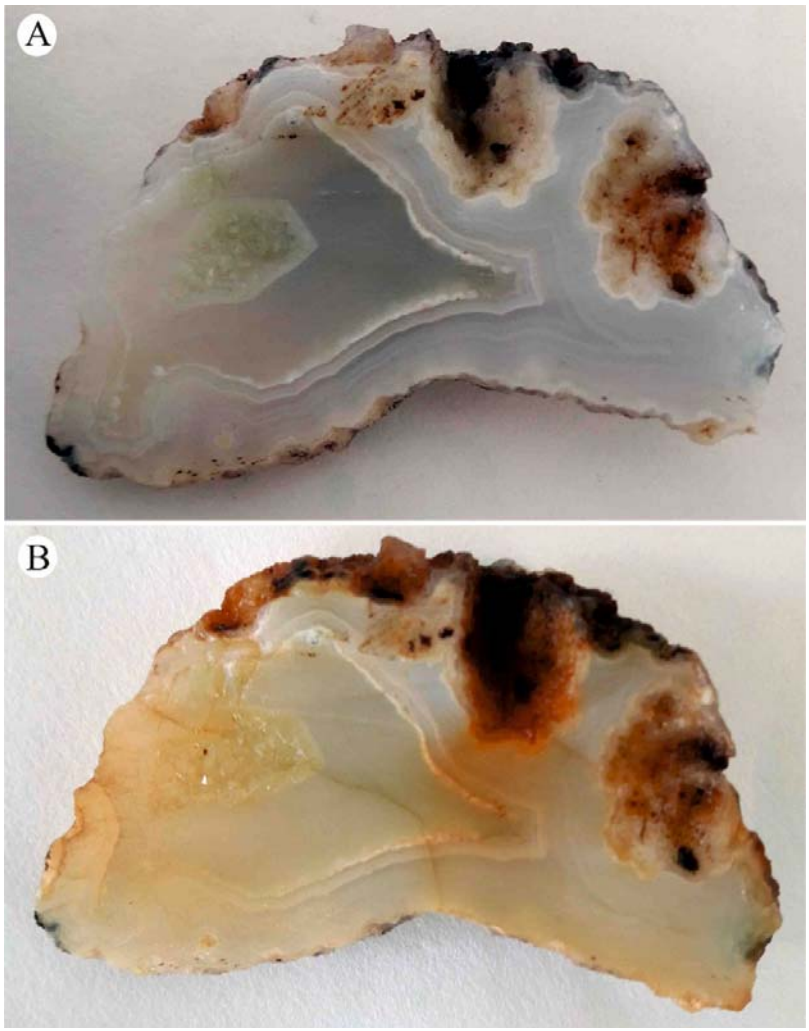


شکل .۴-۶: A) نمونه‌ها قبل از بهسازی حرارتی. B) نمونه‌ها بعد از بهسازی حرارتی، همانطور که مشهود است نمونه‌ها بعد از حرارت روشن و شفاف‌تر شدند.

شیمیایی مناسب‌تر باشند. به این منظور محلولی اشباع از کلرید مس با افزودن ۶۰ گرم از این ماده به ۳۵ میلی لیتر آب تهیه شد و یک نمونه از آگات‌های حرارت دیده در این محلول در دمای ۷۰ °C به مدت دو هفته قرار گرفت. جهت ثبت تغییر رنگ نمونه از محلول خارج، شسته و خشک شدند. مشاهده شد که نمونه شفافیت خود را از دست داده است. (شکل ۴-۷).

۴- ۳- ۳- اشعه رادیو اکتیو

یکی از ویژگی‌های عام تابش‌های هسته‌ای قابلیت یونش (جداسازی الکترون‌ها) از اتم‌هایی است که با آنها برهم کنش می‌کنند (به این دلیل تابش‌های هسته‌ای را معمولاً تابش‌های یونده می‌گویند). بار



شکل ۴-۷: نمونه حرارت دیده شده در محلول کلرید مس در دمای ۷۰ °C. A) نمونه حرارات داده شده قبل از رنگ کردن با محلول کلرید مس. B) نمونه حرارت داده شده بعد از رنگ کردن با محلول کلرید مس. همانطور که مشهود است نمونه حرارت داده شده شفافیت خود را از دست داده است.

الکتریکی کل (Q) یون‌های تولیدی در جرم (m) هوا را پرتوگیری (X) می‌نامند. تعریف مشخص پرتوگیری به صورت زیر است:

$$\mathbf{X}=\frac{\boldsymbol{Q}}{\boldsymbol{m}}$$

یکای آن در دستگاه SI کولن بر کیلوگرم است.

آهنگ جذب انرژی برای ماده های مختلف متفاوت است که در معرض این پرتوهای یوننده قرار گیرند.

میزان انرژیِ جذب شده (دز= D) از تابش یوننده را در واحد جرم ماده تعیین می‌کنند و متداولترین یکای آن راد (Rad)[1] نامیده می‌شود. یک راد برابر ۱۰۰ ارگ انرژی جذب شده در هر گرم ماده است. یکای دز جذب شده در دستگاه SI، گری (Gy) نامیده می‌شود که برابر جذب یک ژول انرژی در هر کیلوگرم ماده است، در نتیجه ۱Gy = ۱۰۰ Rad.

تأثیر یک تابش خاص بر یک ماده به دز جذب شده و عامل کیفیت آن (QF) بستگی دارد. حاصلضرب این دو کمیت را دز معادل می‌گویند (معادله ۴-۱).

$$DE = D.QF \quad \text{(معادله ۴-۱)}$$

اگر از راد به عنوان یکای دز استفاده شود، دز معادل بر حسب یکای رم (Rem)[2] به دست می‌آید. اگر از یکای گری در دستگاه SI استفاده شود، دز معادل بر حسب سیورت (Sv) خواهد بود. از آنجایی که عامل کیفیت برای اشعه گاما برابر با یک است طبق معادله ذکر شده در فوق یک سیورت برابر با یک گری می‌باشد (Krane, 1988).

بدین منظور ۱۴ نمونه از آگات‌های منطقه فردوس با رنگ‌های خاکستری، سفید، سبز، قرمز و زرد را در مقابل چشمه‌های تابش ^{192}Ir و ^{137}Cs قرار دادیم و نمونه‌های مورد نظر در طی ۱۱۲ روز تحت تابش غیر مستقیم پرتوهای گاما با شدت ۲ گری قرار گرفتند. در طی این مدت جهت ثبت تغییر رنگ هر دو روز یکبار نمونه‌ها از اتاق چشمه خارج می‌شدند، هیچ تغییر رنگی در آنها مشاهده نشد (شکل ۴-۸ و ۴-۹).

در مرحله بعدی ۱۰ نمونه دیگر از آگات‌ها جهت قرار گیری در برابر تابش مستقیم اشعه گاما به قطعات کوچک برش داده شدند و در محفظه چشمه‌ها گذاشته شدند. در این مرحله نمونه‌ها تحت تابش اشعه گاما با شدت بیشتری یعنی ۱۴ گری در طی مدت زمان ۸۰ روز قرار گرفتند که هیچ تغییر رنگی نیز در آنها رؤیت نشد.

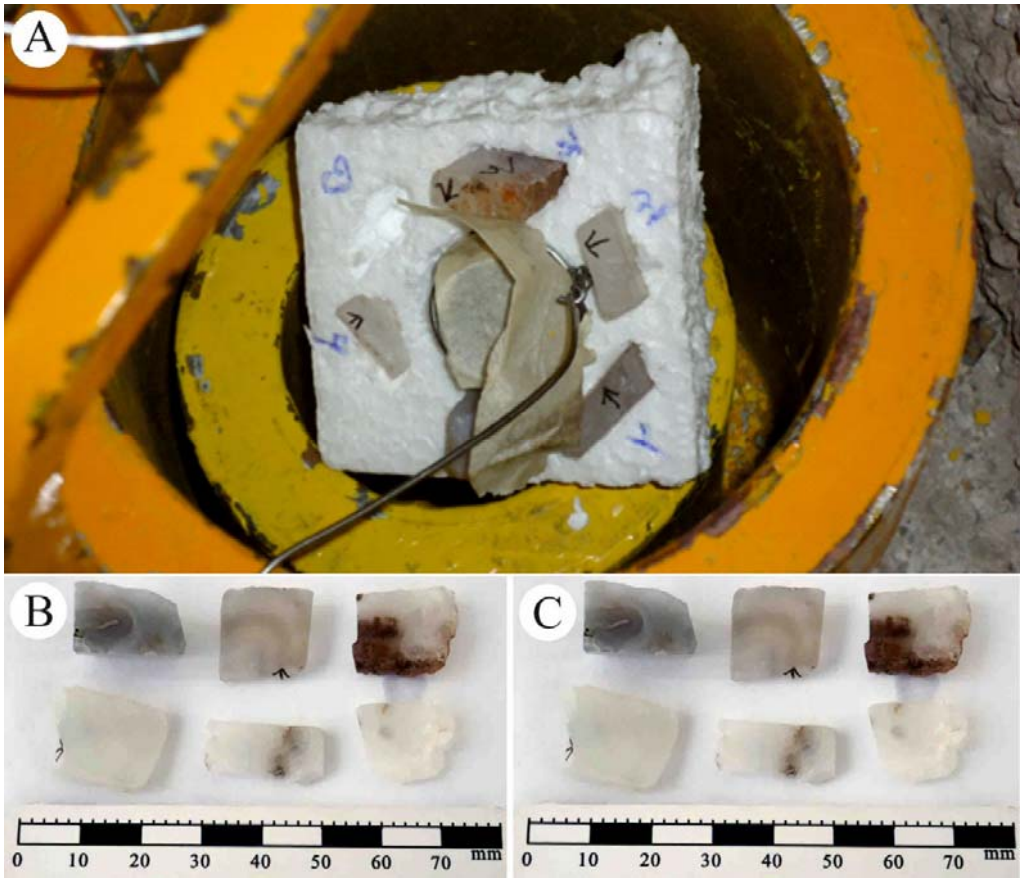
1. Radiation absorbed dose
2. Rontgen equivalent man

شکل ۴-۸: نمونه‌های آگات‌های منطقه فردوس به رنگ‌های سفید، قرمز، خاکستری، سبز و زرد، قبل از قرار گیری در برابر تابش غیر مستقیم اشعه گاما در مقابل چشمه‌های ^{192}Ir و ^{137}Cs.

در مرحله سوم از آن جهت که شاید در دو مرحله قبل نمونه‌ها دز کافی از پرتو گاما دریافت نکرده باشند، ۶ نمونه دیگر از آگات‌های منطقه مورد مطالعه را در اندازه‌های نگین‌های کوچک جهت قرار دادن در تماس مستقیم با چشمه ^{137}Cs برش دادیم. شدت تابش پرتو گاما در این مرحله ۵۵۴ گری می‌باشد که در طی مدت ۳۳ روز بر نمونه‌ها تابانده شد. با توجه به آنکه شدت تابش در این مرحله نسبت به دو

مرحله قبلی خیلی بیشتر می‌باشد اما هیچ گونه تغییری در نمونه‌ها حاصل نشد (شکل ۴-۱۰).

شکل ۴-۹: A) نمونه‌های آگات‌های منطقه فردوس بعد از قرار گیری در برابر تابش غیر مستقیم اشعه گاما در مقابل چشمه‌های ^{192}Ir و ^{137}Cs. بعد از گذشت ۱۱۲ هیچ تغییر رنگی در نمونه‌ها مشاهده نمی‌شود.



شکل ۴-۱۰: A) تصویری از قرارگیری نمونه‌ها در برابر چشمه ^{137}Cs ، نمونه‌ها در این محفظه تحت تابش مستقیم اشعه گاما قرار گرفتند. B) قبل از انجام آزمایش. C) بعد از انجام آزمایش، در طی ۳۳ روز نمونه‌ها ۵۵۴ گری انرژی دریافتند کردند که تغییر رنگی در آنها حاصل نشد.

فصل پنجم

ژئوشیمی اگات‌ها

۵ - ۱- مقدمه

در ساده‌ترین شکل ژئوشیمی را می‌توان به عنوان علمی تعریف کرد که با شیمی کل زمین و اجزای تشکیل دهنده آن سروکار دارد. علم ژئوشیمی به تعبیری گسترده‌تر از زمین‌شناسی می‌باشد. این علم با توزیع و مهاجرت عناصر شیمیایی در درون زمین و در ابعاد زمان و مکان سروکار دارد (Mason and Moore, 2010). به تعبیری دیگر، ژئوشیمی به معنای وسیع آن، علم شیمی کره زمین است و مانند سایر علوم شاخه‌های زیادی دارد. این شاخه‌ها شامل ۱) ژئوشیمی تئوری، ۲) ژئوشیمی کاربردی، ۳) ژئوشیمی اکتشافی، ۴) ژئوشیمی حالت جامد، ۵) ژئوشیمی رسوبی، ۶) ژئوشیمی ایزوتوپ‌های پایدار، ۷) ژئوشیمی هسته‌ای، ۸) ژئوشیمی آلی، ۹) ژئوشیمی عناصر کمیاب، و ۱۰) ژئوشیمی محیطی می-باشند (حسنی پاک، ۱۳۷۰).

انجام مطالعات کامل و دقیق پترولوژیکی بدون انجام مطالعات ژئوشیمیایی بر روی نمونه‌ها و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی امکان پذیر نیست. تفسیر منشأ و پتروژنز سنگ‌ها و گوهرسنگ‌ها نیازمند انجام مطالعات دقیق ژئوشیمیایی، پردازش داده‌ها و تحلیل درست نتایج حاصل است (Rollinson, 2014؛ انصاری فر، ۱۳۹۶). لذا پس از بررسی‌های صحرایی و پتروگرافی سنگ‌ها و گوهرسنگ‌های مورد مطالعه، بررسی خصوصیات ژئوشیمیایی آنها از اهیت زیادی برخوردار می‌باشد.

آگات‌ها به علت تنوع وسیع در شکل، بافت و ساخت به عنوان گوهرسنگ‌های مشهور و دیدنی تلقی می‌شوند. آگات همان کلسدونی لایه‌دار با فرمول شیمیایی SiO_2 می‌باشد، اما به طور جزئی‌تر کوارتز ماکروکریستالین و یا کوارتزین می‌تواند به صورت روی هم رشدی با لایه‌های کلسدونی در آگات همراه باشد (Godovikov et al., 1987؛ Blankenburg, 1987؛ Gotze et al., 1998؛ Moxon and Rios, 2004). آگات‌ها اغلب حاوی مقادیر قابل توجهی از ادخال‌های کانی و آب (۲-۱ درصد وزنی) به عنوان گروه سیانول و H_2O می‌باشند (Flörke et al., 1982؛ Moxon and Rios, 2004). این حقایق بیانگر آن است که این سنگ‌ها محصولات پیچیده‌ای در طبیعت هستند. از لحاظ آماری آگات‌ها عمدتاً در تمام انواع سنگ‌ها تشکیل می‌شوند. اکثر رخنمون‌های آگات در سراسر جهان مرتبط با سنگ‌های

آتشفشانی با مقادیر SiO_2 کم و متوسط (بازالت - آندزیت) و بالا (داسیت - ریوداسیت) هستند (Gotze, 2011؛ Richter et al., 2015) و معمولاً در حفرات سنگ میزبان‌های آتشفشانی شکل می‌گیرند (Moxon, 2006). نویسندگان زیادی تشکیل آگات‌ها را با دگرسانی و هوازدگی سنگ‌های میزبان آنها مرتبط دانسته‌اند (Gotze, 2011؛ Pabian and Zarins, 1994؛ Holzhey, 1995؛ Harder, 1993؛ Walger, 1954)؛ از طرفی آگات‌ها در سنگ‌های رسوبی به صورت رگه‌ای در شکاف‌ها و شکستگی‌ها و یا از محلول‌های دما پایین غنی از SiO_2 در منافذ و حفرات نیز تشکیل می‌شوند (Gotze, 2011؛ Gotze et al., 2009). در طول چند دهه اخیر پژوهش‌های گسترده‌ایی در زمینه‌های مختلف در سطح جهان بر روی آگات‌ها انجام شده که اطلاعات ما را در مورد نحوه پیدایش آنها افزایش داده است. با این وجود منشأ آگات‌ها به‌طور کامل شناخته نشده و همچنان بحث برانگیز است. به نظر می‌رسد که تشکیل آگات می‌تواند توسط یک نظریه پیچیده و ارزیابی زمین‌شناسی و همچنین داده‌های ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی توسعه یابد (Pabian and Zarins, 1994).

۵- ۲- منابع خطا در طی آماده‌سازی و تجزیه ژئوشیمیایی نمونه‌ها

قبل از بحث و بررسی در مورد روابط ژئوشیمیایی سنگ‌ها باید به فرآیندهایی اشاره کرد که ممکن است نتایج تجزیه شیمیایی سنگ‌ها را تحت تأثیر قرار دهند. به عنوان مثال: آلایش در طول آماده سازی نمونه، یک منبع مهم خطا در تجزیه شیمیایی است. این امر می‌تواند در طی خرد کردن و پودر کردن نمونه‌ها به خاطر آلایش با نمونه‌های قبلی و یا خود دستگاه آسیاب اتفاق افتد. برای حذف این آلایش، نمونه‌های سنگ و آگات منطقه فردوس توسط هاون تنگستن کارباید در دانشگاه تهران پودر گردید و پس از پودر کردن نمونه، کلیه قطعات هاون توسط مایع ظرف شویی و الکل تمیز شدند، همچنین کلیه قطعات و ملزومات دستگاه توسط کمپرسور هوا بعد از پودر کردن هر نمونه تمیز شدند. در هنگام بسته‌بندی نیز نهایت دقت و احتیاط به عمل آمده است. با این کار به راحتی خطای ناشی از مرحله پودر کردن نمونه‌ها به حداقل رسانده شد.

۵- ۳- مواد و روش‌ها

در طی بازدیدهای صحرایی حدود ۴۰۰ نمونه از آگات‌های منطقه فردوس به همراه سنگ‌میزبان آنها جمع‌آوری گردید. از این تعداد پنج نمونه آگات به رنگ‌های سفید (FA-113)، سیاه (FA-2-11)، سبز (FA-2-14)، زرد (FA-2-15) و قرمز (FA-2-17) به همراه چهار نمونه از سنگ آتشفشانی میزبان آنها جهت بررسی‌های دقیق‌تر و مطالعات ژئوشیمیایی انتخاب شدند. نمونه‌های ذکر شده جهت تعیین میزان عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب‌خاکی با روش‌های فلوئورسان پرتو ایکس (XRF) و طیف‌سنجی جرمی نشری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) مورد آنالیز قرار گرفتند.

عناصر اصلی به صورت درصد وزنی و عناصر کمیاب به صورت قسمت در میلیون (ppm) گزارش می شوند. حد آشکارسازی دستگاه برای عناصر اصلی wt% ۰/۰۵، عناصر کمیاب ppm ۱۰ – ۰/۱ و کمیاب‌خاکی ppm ۱- ۰/۰۲ می‌باشد. نتایج حاصل از آنالیز عناصر کمیاب به همراه اکسیدهای اصلی در جدول (۱-۵)، آورده شده است.

۵- ۴- ژئوشیمی آگات‌ها و سنگ میزبان

آگات‌ها به واسطه دارا بودن طرح و رنگ‌های زیبا، یکی از جذاب‌ترین کانی‌ها در طبیعت هستند و به بیش از ۳۰ رنگ مختلف در طبیعت دیده می‌شوند. از جمله عوامل اصلی تأثیرگذار در رنگ آگات‌ها می‌توان به وجود ادخال‌های مایع، جامد و گاز، و به ویژه حضور عناصر فلزی رنگ‌زا مثل آهن، کروم، مس، تیتانیوم، منگنز، کبالت و نیکل اشاره کرد (انصاری‌فر، ۱۳۹۶).

آگات‌های منطقه مورد مطالعه دارای مقادیر SiO_2 بین ۹۵/۷۸ تا ۹۸/۹۰ درصد وزنی و مقادیر جزئی از Fe_2O_3 (۰/۰۱-۱/۰۷ درصد وزنی)، Al_2O_3 (۰/۰۱-۰/۳۴ درصد وزنی)، Na_2O (۰/۱-۰/۱۵ درصد وزنی)، CaO (۰/۰۱-۰/۴ درصد وزنی)، TiO_2 (۰/۰-۰۱/۳۲ درصد وزنی)، K_2O (۰/۰-۰۱/۴۹ درصد وزنی) می‌باشد. مقادیر دیگر اکسیدهای اصلی (از قبیل P_2O_5 و MnO) تغییرات اندکی را نشان می‌دهند و در اکثر نمونه‌ها پایین‌تر از حد تشخیص دستگاه هستند (جدول ۵-۱).

جدول۵-۱. نتایج تجزیه‌ی ژئوشیمیایی پنج نمونه از آگات‌های منطقه فردوس و چهار نمونه از سنگ‌های میزبان آتشفشانی آنها . عناصر اصلی بر حسب درصد وزنی (wt٪) و عناصر فرعی بر حسب ppm گزارش شده‌اند.

Samples number	***FA-107***	***FA-2-12***	***FA-113***	***FA-117***	***FA-2-11***	***FA-113***	***FA-2-14***	***FA-2-15***	***FA-2-17***
Sample	Host rock	Host rock	Host rock	Host rock	Black agate	White agate	Green agate	Yellow agate	Red agate
SiO_2	59.31	57.01	58.95	57.78	98.68	98.9	95.78	98.33	98.73
TiO_2	0.82	1.05	0.98	0.95	0.01	0.01	0.01	0.32	0.01
Al_2O_3	17.3	16.88	16.66	16.7	0.01	0.07	0.34	0.07	0.01
Fe_2O_3	5.47	5.91	6.04	6.18	0.01	0.01	1.07	0.01	0.11
MnO	0.11	0.12	0.12	0.12	0.08	0.01	0.01	0.01	0.01
MgO	2.58	4.5	3.6	4.17	0.01	0.01	0.24	0.01	0.01
CaO	5.18	6.8	6.02	6.33	0.08	0.06	0.4	0.06	0.01
Na_2O	4.58	4.34	4.18	3.85	0.1	0.11	0.14	0.11	0.15
K_2O	1.94	1.19	1.43	2.03	0.01	0.01	0.49	0.01	0.01
Cr_2O_3	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
P_2O_5	0.32	0.28	0.28	0.26	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Total	97.62	98.09	98.27	98.38	99.01	99.21	98.5	98.95	99.07
Ba	367	196	236	285	163	52	50	7	4
Pb	21	19	15	17	0.75	0.75	2	0.75	0.75
Rb	61	92	108	130	169	0.75	22	0.75	0.75
Sr	443.7	296.1	261.4	310.3	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Zr	183	155	161	158	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75
Cr	34	120	78	77	2	8	3	8	5
Y	19.9	18.4	20.5	18.4	3.4	3.4	3.8	3.4	3.4
Cs	49.9	5	5.7	5.8	11.1	0.37	0.7	0.37	0.37
Ta	1.28	0.98	0.88	0.77	1.04	0.51	0.55	0.59	0.69
Nb	13.1	10.1	10.1	9.3	16.6	1.4	1.4	1.5	1.4
Hf	5.63	4.42	4.45	4.79	2.61	0.37	0.37	0.37	0.37
Sn	3.1	1.9	2	2.4	3.2	0.6	0.5	0.4	0.5
Th	18.32	6.55	7.82	9.11	18.8	0.44	0.51	0.45	0.42
U	4.9	1.6	2	2.5	6.3	0.1	1.24	2.8	38.3
V	92	99	101	101	17	17	30	16	18
LREE									
La	32	19	22	22	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Ce	70	43	52	50	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Pr	7.75	4.82	5.7	5.63	7.47	0.03	0.03	0.03	0.03
Nd	30.1	21.2	24.5	23.2	29	1.5	1.7	1.5	1.4
MREE									
Sm	5.81	4.2	4.83	4.59	5.45	0.28	0.34	0.27	0.25
Eu	1.16	1.13	1.21	1.14	1.26	0.07	0.07	0.07	0.07
Gd	5.22	4.06	4.62	4.36	4.83	0.03	0.03	0.03	0.03
Tb	0.69	0.61	0.67	0.62	0.71	0.1	0.11	0.1	0.07
Dy	4.79	4.22	4.57	4.39	4.69	0.65	0.72	0.65	0.64
HREE									
Er	2.61	2.28	2.61	2.37	2.61	0.22	0.27	0.23	0.23
Tm	0.38	0.33	0.38	0.34	0.39	0.07	0.07	0.07	0.07
Yb	2	1.8	2.1	1.8	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Lu	0.38	0.32	0.38	0.33	0.38	0.07	0.07	0.07	0.07

عناصر اصلی و کمیاب می‌توانند جانشین Si داخل آگات شده یا بصورت ادخال سیال یا ادخال‌هایی از کانی‌های دیگر در ساختمان آن وارد شوند (Götze et al., 2015). جانشینی ساختاری این عناصر محدود می‌باشد، چون تعداد کمی از یون‌ها (از قبیل Al^{+3}، Ga^{+3}، Fe^{+3}، Ge^{+4}، Ti^{4+} و P^{+5}) دارای شعاع و ظرفیت یونی مشابه Si^{+4} هستند. نتایج آنالیزهای ژئوشیمیایی آگات‌های منطقه فردوس نشان می‌دهد که این آگات‌ها غنی شدگی کمی از عناصر Al، Ca، Na و به مقدار کمتر از Mg و Fe نشان می‌دهند؛ این موضوع مؤید تشکیل این آگات‌ها بر اثر دگرسانی سنگ‌های آتشفشانی میزبان‌شان می‌باشد (جدول ۱-۵) (Götze et al., 2015). مقدار آهن و به تبعیت آن منیزیم موجود در آگات‌های سبز بیشتر از بقیه نمونه‌ها است؛ که این امر به خاطر تشابه ویژگی‌های شیمیایی آنها می باشد.

مقادیر عناصر کمیاب و عناصر خاکی کمیاب این آگات‌ها و سنگ میزبان‌های آنها نسبت به مقادیر کندریت (Boynton, 1984) و گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) بهنجار شدند تا اطلاعات بیشتر درباره ژئوشیمی آگات‌ها و سیال‌های تشکیل دهنده آن‌ها بدست آید. آنالیزهای انجام شده بر روی آگات‌های منطقه فردوس روندهای جالبی را در ارتباط با رفتار عناصر کمیاب نشان می‌دهد و کم و بیش در تمامی نمونه‌های مورد بررسی یکسان می‌باشند. شباهت‌ها در شکل و شیب الگوهای عناصر خاکی‌کمیاب آگات‌ها و سنگ آتشفشانی میزبان آنها این نتیجه را به دست می‌دهد که این عناصر توسط سیالات در حال گردش از سنگ میزبان آتشفشانی شسته شده و در رگه‌های آگاتی موجود در این سنگ‌ها ته‌نشست شده‌اند. در نمودار نرمالیزه شده نسبت به کندریت، نمودار آگات‌های منطقه فردوس پایین‌تر از نمودار سنگ‌های میزبان‌شان واقع می شوند که دلیل این امر ضریب جدایش کمتر آگات‌ها برای عناصر استفاده شده در ترسیم این دیاگرام نسبت به مجموعه کانیها موجود در سنگ میزبان آنها (از قبیل پیروکسن، پلاژیوکلاز و غیره) می‌باشد (Rollinson, 2014). در این شکل مقادیر عناصر کمیاب آگات‌های سیاه تقریباً برابر سنگ‌های آتشفشانی موجود در منطقه است. با توجه به اینکه این نمونه دارای ناخالصی‌های کوچک میکروسکوپی بود، لذا علت این امر احتمالاً به خاطر آن ناخالصی‌ها است. سنگ‌های آتشفشانی منطقه فردوس در نمودار عناصر خاکی کمیاب بهنجار شده

نسبت به کندریت، یک شیب منفی آرامی را از La تا Lu نشان می‌دهد و دارای غنی شدگی از LREE می باشند (شکل ۵-۱، A).

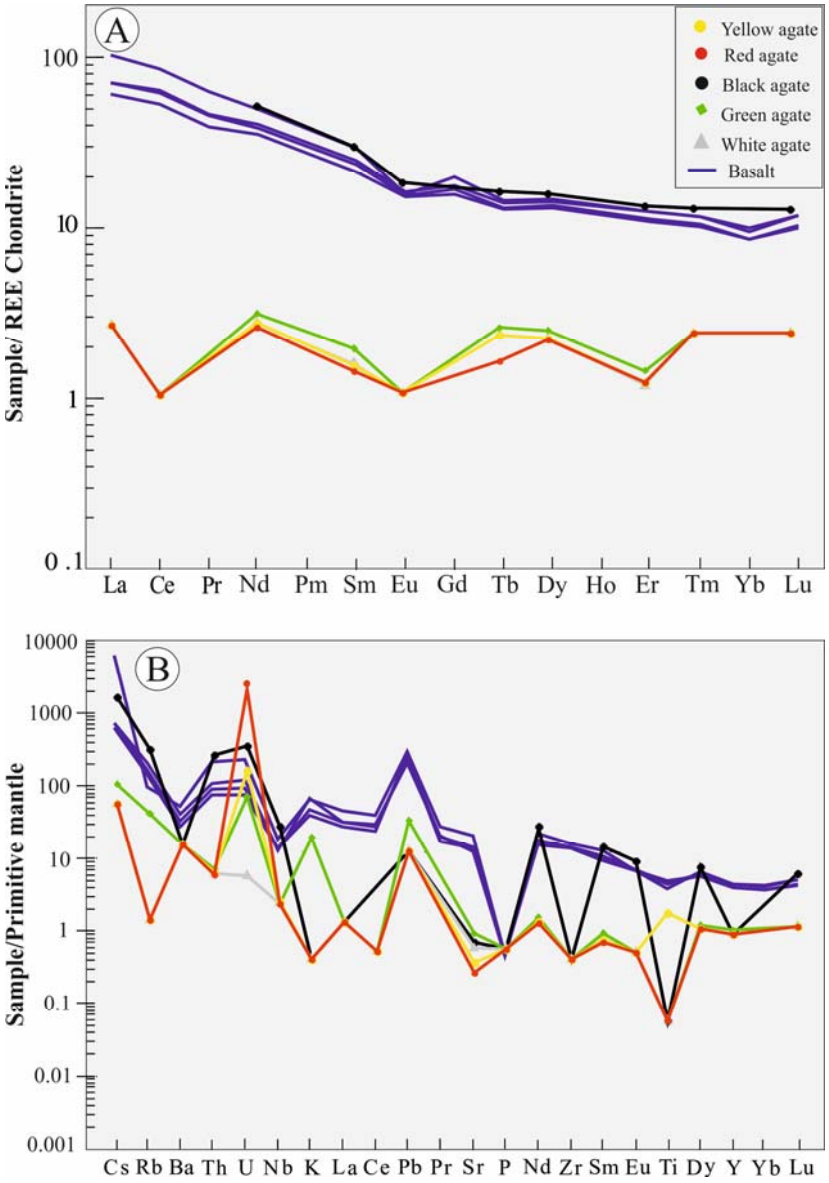
در بررسی الگوی تغییرات عناصر کمیاب بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (شکل ۵-۱، B)، عنصر U بیشترین آنومالی را در آگات‌های قرمز منطقه فردوس دارد. غلظت بالای U مشاهده شده در آگات‌ها (بخصوص آگات‌های قرمز) منطقه فردوس شگفت انگیز است و نشان می‌دهد فرآیندهای خاصی مسئول تحرک، حمل و انباشت آن‌ها بوده‌اند و نتیجه این امر سبب افزایش غلظت U در آگات‌های مورد مطالعه بیش از سنگ‌های آتشفشانی میزبان آنها شده است (جدول ۵-۱) (شکل ۵-۱، B).

تحرک U در طی آلتراسیون سنگ‌های آتشفشانی توسط زینسکی[1] (۱۹۷۹) مورد بررسی قرار گرفت که انباشت همزمان و توأم Si و U را مشاهده کرد. بر اساس این فرض که حمل و نقل ترکیبات شیمیایی عمدتاً توسط فرایندهای انتشار در مایعات آبی تحقق می‌یابد (به عنوان مثال Si به عنوان اسید سیلیس مونومر[2] $Si(OH)_4$)، پورتر و وبر[3] (۱۹۷۱) استنباط کرده‌اند که عنصر U به صورت یون اورانیل (UO_2^{2+}) وارد اسید سیلیس مونومر شده و به صورت کمپلکس $UO_2SiO(OH)_3^+$ حمل و نقل می‌شود. علاوه بر آن، حضور کانی کلسیت به همراه پلی‌مورف‌های سیلیس در آگات‌های منطقه فردوس به همراه غلظت برخی از عناصر (مانند U، Ca، Na) در آگات نشان می‌دهد ترکیبات کلر احتمالاً نقش مهمی در آلتراسیون سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه و تحرک، حمل و انتقال SiO_2 و دیگر ترکیبات شیمیایی داشته است (Götze et al., 2012).

وجود ترکیبات فرار مانند Cl، ClO، HCl و $ClONO_2$ که حمل و نقل عناصر را تسهیل می‌کنند (Schmincke, 2004)، ممکن است توضیح دیگری برای تشکیل آگات‌های منطقه فردوس ارائه دهند، زیرا حمل و نقل Si و U توسط این فازهای گازی بسیار کارآمد است. سپس فرآیندهای ته‌نشینی باعث ایجاد پیوند بین مولکول‌های اسید سیلیسیک مونومر شده و به شکل‌گیری اسید سیلیسیک پلیمری

1. Zielinski
2. Monomeric silicic acid
3. Porter and Weber

منجر می‌شود. در این حین اورانیوم با هر غلظتی می‌تواند از محلول به خاطر وجود مناطق جذب بالا در ترکیبات سیلیس طبیعی (۰/۵ m^2/g برای کوارتز تا ۲۰ m^2/g برای اپال؛ Götze et al., 2015)، جذب شود و غلظت آن در آگات‌ها بالا رود.



شکل ۵-۱: A: نمودارهای عناصر کمیاب بهنجار شده نسبت به کندریت (Boynton, 1984) برای آگات‌های منطقه فردوس و سنگ‌های آتشفشانی میزبان‌شان که یک روند مشابه نشان می‌دهند. B: آگات‌ها مورد مطالعه دارای غنی‌شدگی زیادی از عنصر U نسبت به سنگ‌های آتشفشانی میزبان‌شان در نمودار بهنجار شده نسبت گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) هستند.

در نمودارهای بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه، سنگ‌های آتشفشانی منطقه از عناصر نادر خاکی سبک (نظیر Cs و La) و لیتوفیل بزرگ یون (نظیر K) غنی شدگی و از عناصر نادر سنگین (نظیر Y) و عناصر با شدت میدان بالا (از قبیل Ti) تهی‌شدگی نشان می‌دهند که شاخص ماگماهای کالک آلکالن تشکیل شده در مناطق فرورانش است (Wilson, 2007). بی‌هنجاری مثبت Pb در این سنگ های آتشفشانی بیانگر تشکیل این سنگ‌ها از گوشته متاسوماتیسم شده و آلایش با پوشته قاره‌ای است (Rollinson, 2014). همچنین تهی شدگی Nb در این دیاگرام‌ها نیز تشکیل ماگمای والد سنگ‌های آتشفشانی میزبان آگات‌های مورد مطالعه را در زون‌های فرورانش تأیید می‌کند (Wilson, 2007).

۵- ۵- طیف سنجی رامان

در روش آنالیز رامان از یک میکروسکوپ نوری به همراه دستگاه رامان استفاده می‌شود. در حقیقت ترکیب میکروسکوپ و طیف سنجی رامان روش بسیار مفیدی را بدست می‌دهد. بدینگونه که توسط میکروسکوپ نوری کل سطح نمونه اسکن شده و نقطه مورد نظر برای بررسی سطح انتخاب می‌شود. سپس سطح نمونه با باریکه لیزر در محدوده فرابنفش (UV)، مرئی (Vis) یا نزدیک فروسرخ (NIR) تحت تابش قرار می‌گیرد. نور پراکنده شده با یک لنز جمع‌آوری می‌شود و از میان یک فیلتر یا طیف‌سنج برای بدست آوردن طیف رامان عبور داده می‌شود. در نهایت از بازتاب اشعه لیزری که توسط میکروسکوپ بر روی نقطه مورد نظر کانونی شده است طیف مورد نظر رسم می‌گردد.

در ابتدا سعی گردید فازهای مختلف سیلیس برحسب پارامترهای شبکه بلور توسط دستگاه XRD تفکیک گردد، ولی به نظر می‌رسد که تخمین توزیع فازهای مختلف سیلیس توسط این تکنیک غیر قابل انجام است. چرا که در بررسی‌های میکروسکوپی به وجود کلسدونی در نمونه‌ها پی برده شد، ولی نتایج XRD فقط حضور کوارتز α را در نمونه‌ها به اثبات رساند (شکل ۵ – ۲، A). بنابراین در ادامه از تکنیک رامان برای مطالعه این تفاوت‌های ساختاری بهره گرفته شد. موگانیت یکی از فازهای سیلیسی است که بخاطر خصوصیات نوری و همرشدی ظریف آن با کلسدونی و کوارتز، به دشواری می‌توان به

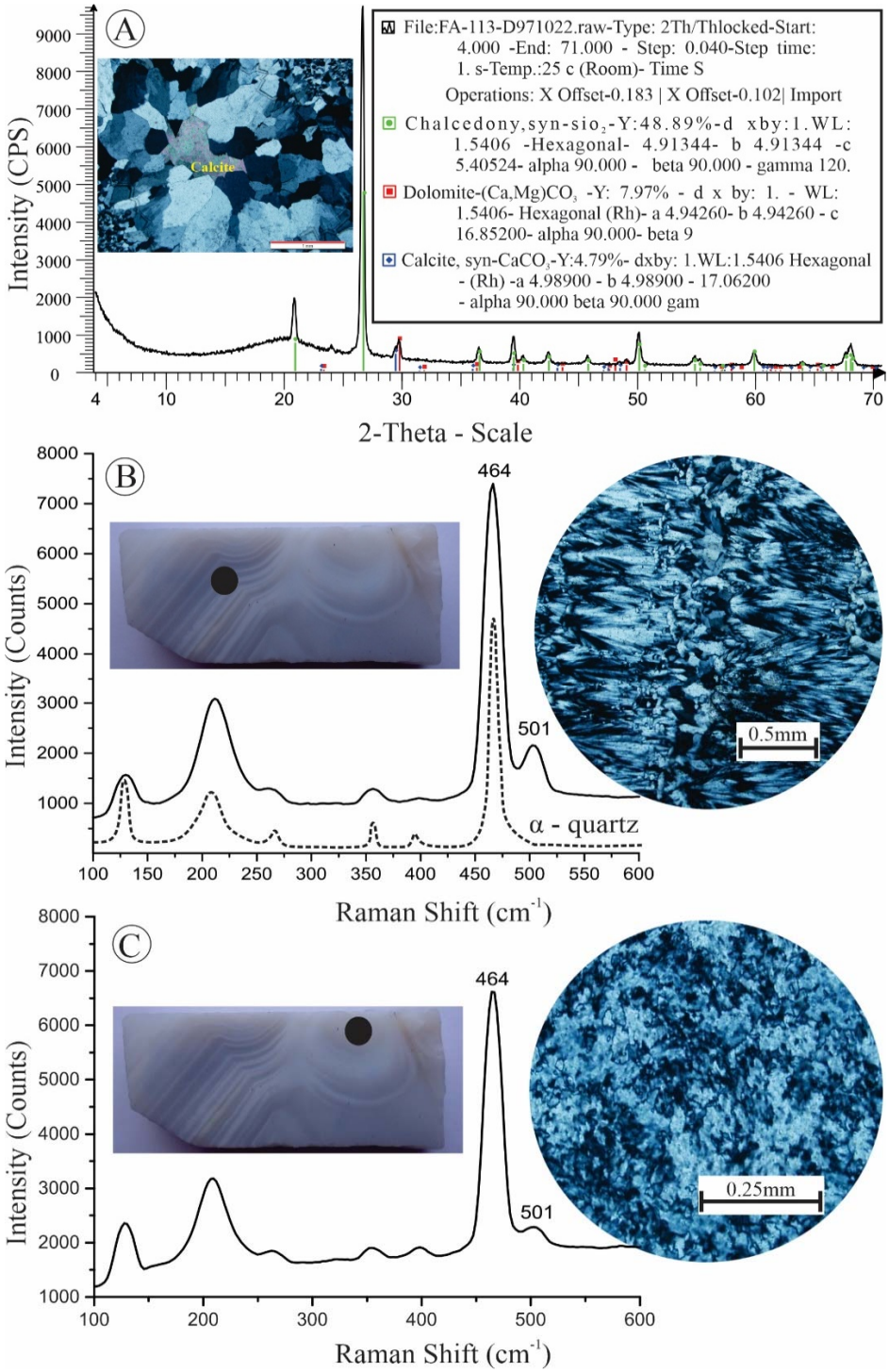
حضور آن در آگات پی‌برد. بررسی‌های اسپکتروسکوپی رامان نشان داد که موگانیت و کوارتز بر اساس ویژگی‌های طیفی متفاوت قابل تشخیص هستند (Kingma and Hemley, 1994). کاربرد این روش برای آگات‌های منطقه فردوس وجود این کانی‌ها را در بخش‌هایی از آنها و حتی لایه‌های کلسدونی به اثبات رساند (شکل ۵ -۲، B و C). بررسی توزیع موگانیت در آگات‌های منطقه فردوس نشان داد که کلسدونی فیبری که به رنگ خاکستری و شفاف مشاهده می شود، دارای مقدار موگانیت بیشتری نسبت به کلسدونی‌های نودولی سفید کدر می‌باشند که در مرکز ژئودهای آگاتی دیده می‌شوند (شکل ۵ -۲، B و C). این نتایج مشابه مطالعات دامانسکا-سلویک و همکاران (Dumańska-Słowik et al., 2018) می‌باشد که بر روی آگات‌های منطقه پوزکی گونه[1] در لهستان بدست آمده است. وجود موگانیت در این آگات‌ها حکایت از تشکیل آنها در محیط‌های تبخیری و غنی از آلکالن و سولفات دارد (Heaney and Post, 1992).

حضور و توزیع فضایی مقدار موگانیت در آگات‌ها نه تنها نتیجه‌ای از فرایندهای تبلور اولیه نظیر دما و شرایط شیمیایی است؛ بلکه متأثر از فرایندهای ثانویه نظیر سن و دگرگونی نیز می باشد (Götze, 2011). با توجه به اینکه دو آنالیز انجام شده در این مقاله از لایه‌های مختلف یک نمونه صورت گرفته است، لذا تفاوت در مقدار موگانیت احتمالاً نتیجه تغییر در فرآیندهای اولیه نظیر دما و شرایط شیمیایی بوده است.

یکی دیگر از کانی‌های همراه با سیلیس در آگات‌های منطقه فردوس، بلورهای کلسیت هستند که در زیر میکروسکوپ و همچنین در آنالیز XRD مورد شناسایی قرار گرفت (شکل ۵ – ۲، A). به نظر می‌رسد که سیال حاوی بیکربنات (CO_3^{2-}) و یون کلسیم آزاد شده از تجزیه سنگ‌های آندزیتی و بازالتی مسیر منجر به تشکیل کلسیت به‌صورت فاز تأخیری بعد از سیلیس شده است (شکل ۵ – ۲، A). همانطور که در این شکل مشاهده می‌گردد، بلورهای کلسیت فضای خالی بین کوارتز یا کلسدونی در بخش مرکزی ژئودها را پر کرده است که حکایت از مراحل پیشرفته تشکیل آگات است (Dumańska-

1. Płóczki Górne

.(Słowik et al., 2018



شکل ۵-۲: A: آنالیز XRD که به حضور کوارتز α و کلسیت در آگات‌های منطقه فردوس اشاره دارد. B و C: نتایج اسپکتروسکوپی رامان می‌باشد که نشان دهنده حضور فازهای موگانیت (با پیک ۵۰۱ cm^{-1}) و کوارتزین (با پیک cm^{-1} ۴۶۴) در نمونه‌ها است. مقدار موگانیت در آگات‌های فیبری (شکل B) بیشتر از نودول‌های آگاتی سفید رنگ (شکل C) می‌باشد.

فصل ششم

ویژگی‌های صنعتی آگات‌ها

۶- ۱- مقدمه

بیش از ۹۰ درصد مردم ایران با ۴ نوع سنگ عقیق، فیروزه، زمرد و الماس آشنا هستند. در این بین عقیق معروف‌تر از سه نوع دیگر می‌باشد که علت آن احتمالاً ریشه در باورهای مذهبی ما دارد؛ چرا که عقیق جزء سنگ‌های کریمه (سنگ‌های سفارش شده در اسلام و روایات) است. روایات متعددی داریم که اهل بیت (ع) به خواص معنوی، فرامادی و درمانی عقیق اشاره کرده‌اند. حتی روایتی وجود دارد که برای مؤمن نشانه‌هایی قائل شده‌اند و یکی از این نشانه‌ها استفاده از انگشتر عقیق است. ایجاد آرامش، تقویت اعتماد به نفس، غلبه بر انرژی‌های منفی و دفع فقر تنها چند خاصیت از خواصی است که برای این سنگ گفته می‌شود.

عقیق‌ها جزء انواع سنگ‌های نیمه قیمتی محسوب می‌شوند که در طبیعت با ابعاد چند میلی متری تا چند متری قابل مشاهده‌اند. این ها به صورت لایه لایه، با رنگ و بافت‌های متنوعی یافت می‌شوند.

صنعت جواهرسازی و تراش گوهرها یکی از کم هزینه‌ترین صنایع محسوب می‌شود و زمینه‌های توسعه و رشد این صنعت به خوبی در ایران وجود دارد. ایران به جهت جایگاه زمین‌شناسی خود، در بخش سنگ‌های نیمه قیمتی دارای منابع غنی، متنوع و گاه منحصر به فرد همچون عقیق می‌باشد که پتانسیل سرشاری را در حوزه صنعت و تجارت جواهرات برای کشور فراهم آورده است. اما متأسفانه این پتانسیل بالقوه به علت برخی کاستی‌ها، عرصه مناسبی را برای بروز و شکوفایی به‌دست نیاورده و با محدودیت‌های بسیاری مواجه است (مجتهدزاده، ۱۳۹۵).

ضروری است بدانیم که بازار ۴ میلیارد دلاری گوهرها به عنوان یکی از کالاهای بهادار و کم حجم از داد و ستد فراوانی برخوردار است (بصیری و سلماسی، ۱۳۸۹). صنعت تراش گوهر در کشوری نظیر هند ۶۳ میلیون نفر را به اشتغال در این صنعت درآورده و درآمدی تا ۳۰ میلیارد دلار در سال عاید این کشور می‌کند. الگویی که می‌توان در کشوری نظیر ایران با این همه پتانسیل معدنی، توان و خلق و خوی احساسی از آن بهره برد و در کوتاه مدت اشتغال و درآمدزایی انبوه ایجاد کرد (پارس کانی، ۱۳۸۵).

در ایران بازار گوهرها از رونقی نسبی برخوردار است. فیروزه، عقیق و انواع گارنت اقلام عمده گوهرهای مورد داد و ستد را شامل می‌شود که علاوه بر بازار داخلی، به کشورهای حاشیه جنوبی خلیج فارس نیز صادر می‌گردند. با وجود این بسیار تأسف بار است که با وجود ذخایر و معادن عقیق در ایران، باز هم کشور ما وارد کننده عقیق از کشورهایی مثل یمن می باشد و سالانه حدود ۳۰۰ میلیون دلار به این امر اختصاص می یابد (بصیری و سلماسی، ۱۳۸۹)

صنعت تراش عقیق‌ها شامل کنده‌کاری روی عقیق یا برجسته کاری روی آن و تولید اشیاء کوچک، هنری و تزیینی از آن است. پیشینه تراش عقیق در ایران به عهد سومر (بین سال‌های ۵۵۰۰ تا ۴۰۰۰ پیش از میلاد) بر می‌گردد (پارس کانی، ۱۳۸۵). روش کار در این صنعت به این شکل است که پس از برش سنگ، ابتدا آن را به وسیله چرخ تراش داده، سپس جلا می‌دهند و نهایتاً طرح مورد نظر را روی آن به‌وسیله قلم‌های مخصوص حکاکی می کنند. شهر مشهد مرکز تراش عقیق در ایران می‌باشد (پارس کانی، ۱۳۸۵).

در داخل کشور در زمینه نیروی انسانی نیمه ماهر در صنعت طلا و جواهر سازی دارای مزیت رقابتی هستیم، اما به دلیل عدم شناخت کامل گوهرها، اندک بودن واحدهای تراش گوهر و قدیمی بودن تجهیزات جواهرسازی، ایران به تدریج در حال حذف از چرخه تولید جهانی زیورآلات است. حال با توجه به این موضوع ضروری است که براساس امکانات موجود و نظر به وجود منابع و بازار مصرف داخلی و جهانی این محصول، حول چهار محور اکتشاف، آموزش، تراش گوهر و بازرگانی توجهی خاص به این صنعت شود (پارس کانی، ۱۳۸۵).

۶- ۲- سنتی بودن بازار گوهرها در ایران

در ابتدای امر می‌توان به اصلی‌ترین معضل بازار جواهرات ایران و منطقه فردوس، یعنی سنتی بودن این بازار اشاره نمود. به جرأت می‌توان گفت که بخش اعظمی از فعالان بازار جواهرات ایران، چه در حوزه خریدار و چه در حوزه فروشنده، از علم روز جواهرات به دور بوده و شناخت چندانی با مبانی و اصول

جواهرات ندارند و تنها بر پایه شنیده‌ها و دانسته‌های سینه به سینه و پیشین خود، به خرید و فروش و ارزیابی آنها اقدام می‌نمایند. بسیاری از فروشنده‌گان عقیق‌ها در منطقه فردوس، کشاورزان و چوپان‌هایی هستند که به طور تصادفی در کوه و دشت به این سنگ‌ها بر می‌خورند و آنها را جمع‌آوری می‌کنند. بسیاری از این افراد اقدام به خرید دستگاه‌های تراش و ساب می‌کنند که با توجه به تکنیک‌ها و دستگاه‌های ساده و قدیمی که استفاده می‌کنند تراش‌های‌شان ساب معمولی دارد. در طی نیم قرن اخیر، تکنیک‌های فرآوری، تراش، شناخت و ساخت گوهرها متحول شده و روند بسیار سریعی را در این شاخه ایجاد نموده است که عدم آشنایی این تکنیک‌ها و مشکلاتی از قبیل عدم دسترسی به دوره‌های آموزشی پیشرفته گوهرتراشی و جواهرسازی، هزینه بالای دوره‌های آموزشی، عدم تجهیز کارگاه‌های جواهرسازی و عدم وجود فضای مناسب مانع توسعه به‌روز این صنعت در استان خراسان جنوبی و به ویژه منطقه فردوس شده است.

عدم آشنایی بخش بزرگی از دست اندرکاران این صنعت با علم روز جواهرات، نوعی خلأ در هماهنگی و همخوانی را بین سطح بازار داخلی و جهانی به وجود آورده است. عدم شناخت باعث می‌شود که یکی از پایه‌های بنیادین این صنف، یعنی مقوله اعتماد و اطمینان، دچار تزلزل شده و آینده این صنعت را تهدید نماید. خریداران در بسیاری از شاخه‌های تجارت، از دانش فنی کمتری نسبت به فروشندگان و عرضه کنندگان برخوردار هستند. این امر باعث می‌گردد تا عرضه کنندگان بتوانند با ایجاد نیازها و خواسته‌های جدید برای مخاطبان، جهت دهی بازار را هدایت نمایند. برای عبور از بازار سنتی نیاز است نوعی همگام سازی و بروز رسانی منطبق بر استانداردهای جهانی بین مخاطبان صورت پذیرد. این امر می‌بایست با ارتقاء سطح آگاهی و علمی هر دو گروه (فروشندگان و خریداران) همراه باشد. از سوی دیگر ایجاد عرصه برای شکل گیری نگاه جدید و فراهم آوردن بستر مناسب برای بروز خلاقیت و تنوع در تمامی جنبه‌ها، از الزامات یک جهش همه جانبه در صنعت جواهرات کشور است (مجتهدزاده، ۱۳۹۵). علاوه بر آن، از آنجایی که سنگ‌های قیمتی و نیمه قیمتی می‌توانند یک منبع درآمد و اشتغال باشند، می‌توان با افزایش سطح آگاهی در نحوه تراش و صیقل آنها و به کارگیری از امکانات کارگاهی، این سنگ‌ها را به گوهر

تبدیل کرد و با فروش آنها در بازار سود شایانی را بدست آورد.

۶- ۳- تراش دامله

به‌طور کلی سنگ‌ها از نظر برش به سه دسته دامله (Cabochon)، صفحه‌ای (Facet) و فانتزی (Fancy) تقسیم می‌شوند. در کشور تراش دامله محبوب‌ترین شکل را در تراش گوهرها دارد. از این رو به توضیح و شرح آن می‌پردازیم.

نام Cabochon از کلمه فرانسوی Caboche به معنای گنبد کوچک گرفته شده است. در این نوع برش قسمت بالای گوهر دارای شکل محدب و قسمت زیرین آن مسطح است که حالتی گنبدگونه دارد. به این نوع تراش در ایران کابوشن یا دامله می‌گویند (شکل ۶-۱). یکی از بزرگترین مزیت‌های این روش تراش، به صرفه بودن آن است زیرا در مقایسه با تراش‌های دیگر وزن کمتری از سنگ خام (Rough) در حین تراش از بین می‌رود و در نتیجه سنگ حاصل، وزن بیشتری خواهد داشت. از لحاظ تکنیکی دامله ها در واقع برش نمی‌خورند بلکه به آرامی شکل داده می‌شوند. شکل دادن به یک سنگ به صورت دامله بسیار ساده‌تر از صفحه ای زدن آن است. زیرا ایجاد تعداد زیادی صفحه کوچک روی سطح نمونه کار آسانی نیست. سنگ‌ها با برش دامله ممکن است در اشکال مختلفی برش داده شوند که البته شکل بیضی (Oval) با اختلاف بسیار زیاد از سایر اشکال برش، پرطرفدارترین شکل است. گوهرهایی که معمولاً به صورت دامله برش می‌خورند عبارتند از اپال (Opal)، فیروزه (Turquoise)، انیکس (Onyx)، سنگ ماه (Moonstone)، یاقوت ستاره‌ای (Star Sapphire)، عقیق (Agate) و در کل اغلب برای گوهرهایی که از شفافیت بالایی برخوردار نیستند و یا برای نمایش بهتر پدیده آنها از این برش استفاده می شود. از جهتی دیگر گوهرهایی که دارای سختی نسبتا پایین (زیر ۷) هستند نیز اکثرا به صورت دامله شکل داده می‌شوند. زیرا خراش‌های کوچک، خود را بر روی سنگ‌های صفحه‌دار بیشتر نمایان می‌کنند.

شکل ۶-۱: تصویری از تراش دامله (بیضی شکل) آگات‌های خزه‌ایی منطقه فردوس.

۶- ۳- ۱- مراحل تهیه نگین های عقیق منطقه فردوس

جهت تراش و صیقل عقیق های مورد مطالعه به صورت دامله کارهای زیر انجام گردید:

الف) انتخاب سنگ

ب) برش

پ) ایجاد فرم پایه

ت) شکل دادن

ث) پولیش و پرداخت نهایی

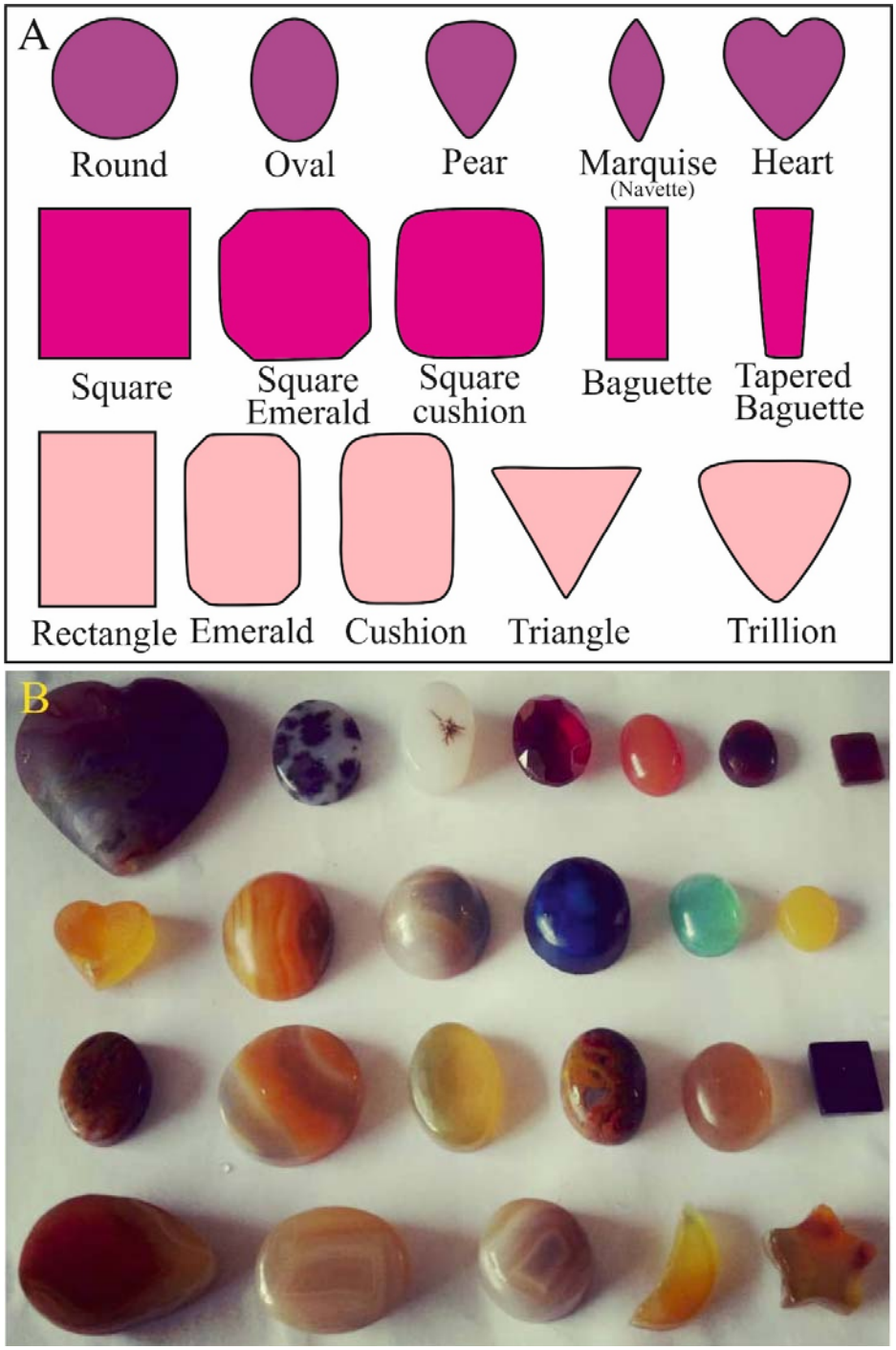
در ابتدا سنگی انتخاب می‌شود که عاری از هرگونه ترک، شکستگی و حفره باشد. سپس نمونه مورد نظر توسط دستگاه لاشه بر، به ورقه‌ها و قطعات کوچکتر برش داده می شود که اصطلاحاً به آنها اسلب (Slab) گفته می‌شود (شکل ۶-۲). این برش ها باید در جهتی باشد که زیباترین جلوه را نشان دهند. در مرحله بعدی، در سطح اسلب، شکل دلخواه توسط شابلون ترسیم می‌شود (شکل ۶-۳) (الگوهای مناسب برای عقیق‌های منطقه مورد مطالعه بیشتر بیضی (دامله) و قلبی شکل بودند). استفاده از شابلون

همیشه ضروری نیست. هنگامی که مکان مناسب برای برش سنگ انتخاب شد، محل مورد نظر را با مداد آلومینیومی علامت گذاری می شود. استفاده از وسایل اثر گذار جوهری برای علامت گذاری مناسب نیست، چون آلودگی‌هایی را در سنگ ایجاد می‌کند که برای حذف آنها مجبور به تراش دادن آن قسمت خواهیم بود.

شکل ۶-۲: تصویری از اسلب‌های تهیه شده از آگات‌های منطقه فردوس قبل از تراش و صیقل.

پس از علامت گذاری، نوبت برش نمونه‌ها است. از آنجایی که نمونه‌های عقیق نسبت به سایر سنگ‌ها سخت‌تر هستند، از تیغه‌های برش الماسه برای برش آنها استفاده می‌شود. در این مرحله جهت کاهش

اصطکاک و حرارت از آب استفاده می‌شود. در این مرحله همچنین لبه و گوشه‌های اضافی از بین می‌رود و به طور مرتب اندازه سنگ با شابلون یا رکاب نگین کنترل می‌شود.



شکل ۶-۳: A) شکلی شماتیک از طرح و الگوهایی که می‌توان با استفاده از شابلون بر روی نمونه ترسیم کرد. B) نمایی از انواع برش و تراش به فرم‌های مختلف به شکل بیضی، قلب، مکعبی و ستاره‌ای.

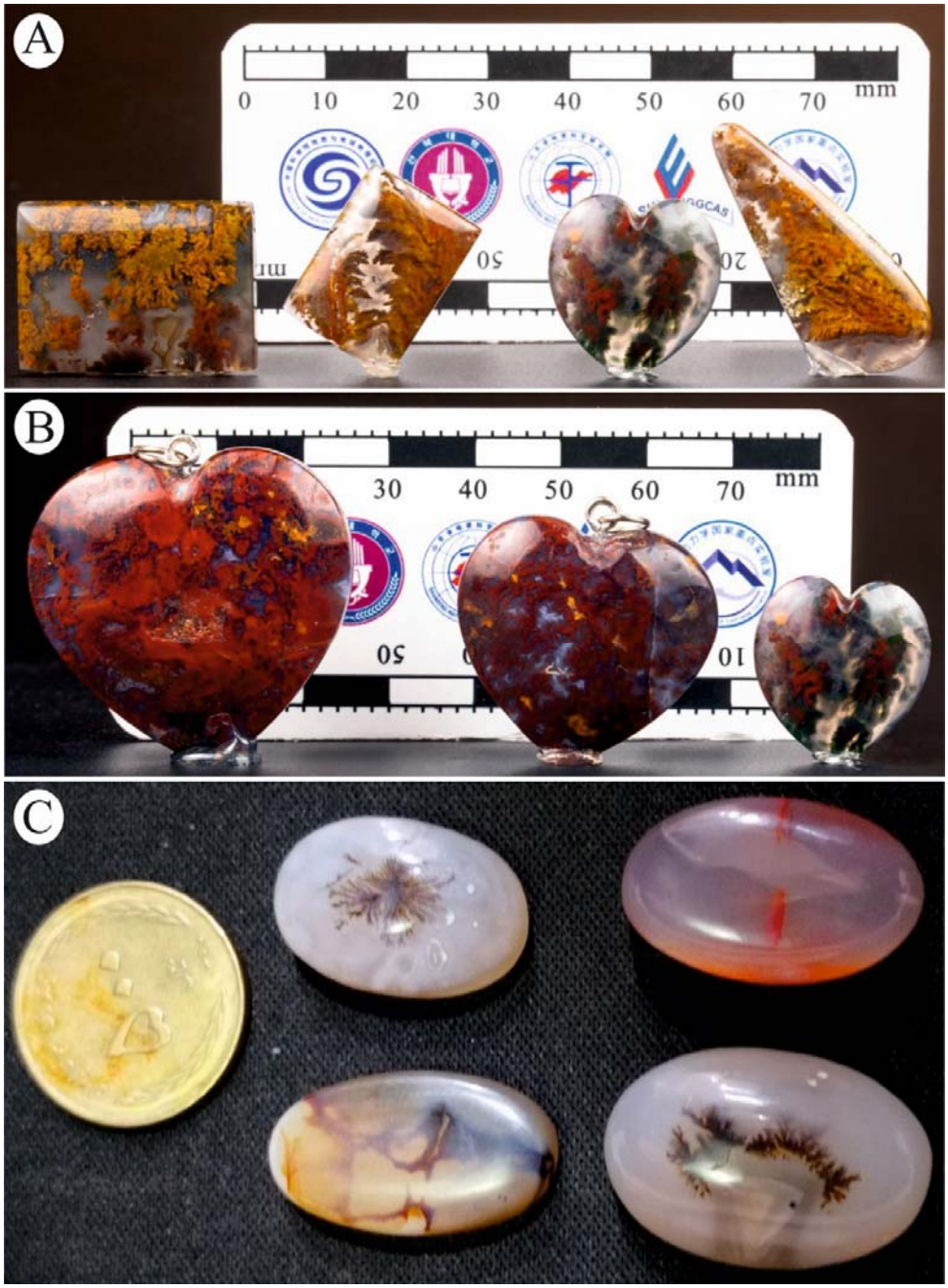
در حین انجام کار و تراش نگین، ممکن است نمونه از دست خارج شده و به اطراف پرتاب شود. برای جلوگیری از این اتفاق، شکستن و گم شدن، نمونه توسط یک چسپ مخصوص (Dop stick) به میله های چوپی چسبانده می‌شود سپس فرم محدب در عقیق ایجاد می‌شود. قابل به ذکر است که در این مرحله، عقیق آرام و پیوسته و با فشار ثابت چرخانده می‌شود. در نهایت از سمباده های ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ مش و نمد های پشمی جهت براق نمودن سطح نگین استفاده می شود. لازم به ذکر است که هر چه سختی سنگ بیشتر باشد از سمباده های زبرتر (برای مثال ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ مش) برای شروع کار و در مراحل نهایی به ترتیب از سمباده های نرم تر استفاده می‌شود (شکل ۶-۴).

۶- ۴- لزوم توجه مضاعف به مقوله تراش گوهر

یکی از واقعیات بازار جواهرات ایران، ضعف شدید در حوزه تراش فست و فانتزی است. بخش اعظمی از ارزش افزوده در حوزه جواهرات و گوهرها، در بخش تراش ایجاد می‌شود و می‌تواند ارزش نمونه‌ی خام را به شدت ارتقاء دهد. میزان این ارزش افزوده در بخش تراش فست و فانتزی قابل قیاس با دامله نبوده و از جایگاه بسیار برتری برخوردار است. ساده بودن نسبی ابزار تراش دامله، کم هزینه بودن فرآیند آن و سبک رایج زیورآلات، باعث شده تا گرایش غالب بازار به این سمت هدایت شود. اما در مورد تراش فست و فانتزی، ابزارآلات تراش، محاسبات، پیچیده بودن فرآیند تراش، کمبود اساتید متخصص و هزینه بالای آموزش باعث گردیده تا نیروی حرفه‌ای در این بخش به ندرت وارد شده و کمبودی جدی را در این بخش ایجاد نماید.

از سوی دیگر سلیقه و ذائقه مخاطبان محدود به انواع تراش‌های موجود در بازار است و اغلب به نمونه‌هایی با تراش دامله منحصر می‌گردد. بازارهای مهم جواهرات نیمه قیمتی ایران در کنار اماکن متبرکه و مذهبی شکل گرفته‌اند و سلیقه ایجاد شده توسط این بازارها مسیر تحول این بخش را مشخص می‌نماید. لذا بخش وسیعی از گوهرها، بنا بر نیاز این بازار به سبک دامله تراش داده می‌شوند تا بتوانند نیاز این بازارهای مهم را تغذیه نمایند. توجه به مبحث تراش و مقوله گوهر تراشی، تأثیر مستقیم بر

وجهه بازار جواهرات داشته و سطح کمی و کیفی محصولات را به‌شدت ارتقاء می‌دهد.



شکل ۶-۴: تصاویری از آگات‌های تراش و صیقل خورده بسیار زیبا منطقه فردوس. A) آگات‌های شجر و خزه‌ایی که به فرم‌های مستطیلی، اشک مانند و قلبی شکل تراش خورده‌اند. B) آگات‌های منظره مورد مطالعه که به صورت قلب‌های زیبا و جذاب شکل داده شده‌اند. C) برش دامله و بیضی شکل از آگات‌های شجر و قرمز رنگ منطقه.

۶- ۵- بازار سنگ‌های قیمتی و نیمه قیمتی

امروزه استخراج، فرآوری و صادرات گوهرها بخش مهمی از اقتصاد کشورهایی چون برزیل، کلمبیا، آفریقای جنوبی، استرالیا، تایلند، چین، هند، اتحادیه اروپایی و ایالات متحده آمریکا را تشکیل می‌دهد. به طوری که تصور حذف این صنعت برای تعدادی از این کشورها حکم حذف صنعت نفت در کشورما را دارد (بصیری و سلماسی، ۱۳۸۹). بزرگ‌ترین وارد کنندگان سنگ‌های قیمتی و نیمه قیمتی در جهان به ترتیب ایالات متحده آمریکا و ژاپن هستند که حدود ۷۰-۸۰ درصد واردات را در جهان به خود اختصاص می‌دهند. بزرگ‌ترین صادرکنندگان، نیز سه کشور آسیایی هنگ کنگ، تایلند و هند هستند (بصیری و سلماسی، ۱۳۸۹). اولین آمار موجود در مورد سنگ‌های قیمتی در ایران مربوط به سال ۱۳۸۰ می‌باشد. طبق برآورد برخی از کارشناسان، ۴۵ میلیون دلار گردش مالی در در سال ۱۳۸۰ در زمینه سنگ‌های قیمتی در ایران ثبت شده است. از این مقدار ۷۰ درصد مربوط به الماس، یاقوت و زمرد و ۳۰ درصد مربوط به دیگر سنگ‌های قیمتی بوده است.

یک بررسی و مجموعه بازدیدهای که در سطح کشور به عمل آمد، حکایت از واردات قابل توجه سنگ-هایی قیمتی از جمله الماس، زمرد و یاقوت به ایران دارد. افزون بر این سنگ‌ها، انواع عقیق، هماتیت، یشم و غیره به صورت‌های ساخته شده مانند انگشتر، تسبیح، نگین و نیز انواع فیروزه و لاجورد افغانستان به صورت خام از طریق قاچاق وارد می‌شود. طبق یک برآورد میزان واردات سالیانه سنگ‌های قیمتی ایران ۴۰۰ میلیون دلار برآورد شده است (Kashani, 2007).

نتیجه گیری و پیشنهادات

مهمترین نتایج بدست آمده از مطالعات صحرایی، پتروگرافی، ژئوشیمی صورت گرفته بر روی آگات‌های منطقه فردوس و سنگ میزبان آتشفشانی آن‌ها و همچنین نتایج حاصل از به کار گیری محلول‌های شیمیایی، حرارت و اشعه گاما جهت بالا بردن کیفیت و زیبایی بخشیدن به این آگات‌ها به شرح ذیل می‌باشند:

- ✓ سنگ‌های میزبان آگات‌های فردوس بیشتر شامل بازالت، آندزیت و لیتیک‌توف می‌باشد که در این میان فراوانی آگات‌ها بیشتر در سنگ‌های بازالتی مشاهده می‌شود. علاوه بر آگات‌ها ژاسپر، کلسیت، ژیپس، اپال و آمتیست در منطقه به چشم می‌خورد.
- ✓ سنگ‌های بازالتی و آندزیتی منطقه دارای درصدهای متفاوتی از کانی‌های پیروکسن، پلاژیوکلاز و به مقدار کمتر الیوین (که گاهاً ایدنگزیتی شده‌اند) و بیوتیت می‌باشند که بافت غالب در آنها پورفیری، گلومروپورفیری و غربالی می‌باشد. پلاژیوکلازها از نظر اندازه کوچک، متوسط و بزرگ می‌باشند که به صورت میکرولیت نیز در زمینه سنگ حضور دارند. سنگ‌های لیتیک توف دارای خرده‌های آندزیت بوده و از کانی‌های پلاژیوکلاز وکوارتز تشکیل شده‌اند.
- ✓ آگات‌های منطقه فردوس دارای تنوع رنگی سفید، زرد، قرمز، سیاه، خاکستری و سبز می‌باشند و به انواع شجر، رگه‌ای، متحدالمرکز، حفره‌ای، لایه‌ای، لوله‌ای، حفره پرکن، گل کلمی تقسیم می‌شوند. ضخامت رگه‌های آگاتی موجود در منطقه از سه تا ۳۰ سانتی‌متر متغیر می‌باشد.
- ✓ آگات‌های فردوس بیشتر دارای رنگ‌های سفید و بی‌رنگ هستند که کمتر مورد پسند مردم می‌باشند. لذا سعی شد با رنگ‌آمیزی این آگات‌ها به رنگ‌هایی که بیشتر مورد پسند مشتری می‌باشد، نسبت به بالا بردن ارزش اقتصادی آن‌ها اقدام شود و گامی در جهت رشد و توسعه صنعت گوهر سنگ‌ها برداشته شود.
- ✓ جهت رنگ‌آمیزی آگات‌های منطقه فردوس از محلول‌های شیمیایی استفاده شد. با استفاده از محلول کبالت کلراید هگزاهیدرات رنگ سفید تعدادی از آگات‌ها به رنگ بنفش تغییر یافت. از محلول پتاسیم کرومات جهت رنگ‌آمیزی نمونه‌ها به رنگ زرد استفاده شد. محلول نیترات

آهن رنگ آگات‌های سفید را به رنگ زرد تغییر داد. با استفاده از محلول نیترات مس، آگات‌های منطقه به رنگ آبی درآمد و در نهایت محلول کلرید مس رنگ‌ها آگات‌های مطالعه شده را به رنگ سبز تغییر داد. جهت رنگ‌آمیزی از روش حرارت دادن نیز استفاده شد که این تکنیک سبب بهبود کیفیت آگات‌های سفید رنگ منطقه گردید به طوری که شفاف‌تر شدند و از آنها جهت تهیه نگین‌های بسیار زیبا استفاده شد. از تکنیک اشعه گاما نیز جهت بهسازی استفاده شد که تغییر رنگی در نمونه‌ها مشاهده نگردید. با توجه به نتایج بدست آمده و تغییر رنگ‌های مشاهده شده در نمونه‌های مورد بررسی، می‌توان گفت که رنگ‌پذیری و بهبود کیفیت آگات‌های منطقه فردوس بسیار کم و ناچیز است.

- ✓ با استفاده از نتایج حاصل از آنالیز ژئوشیمی آگات‌های منطقه فردوس و سنگ میزبان‌های آتشفشانی آنها به بررسی ویژگی‌های ژئوشیمی این آگات‌ها پرداخته شد و نحوه ارتباط آن‌ها با سنگ‌های میزبان آتشفشانی بررسی شد. بر این اساس آگات‌های مطالعه شده دارای مقادیر SiO_2 بین ۹۵/۷۸ تا ۹۸/۹۰ درصد وزنی و مقادیر جزئی از Fe_2O_3 (۰/۰۱-۱/۰۷ درصد وزنی)، Al_2O_3 (۰/۰۱-۰/۳۴ درصد وزنی)، Na_2O (۰/۱-۰/۱۵ درصد وزنی)، CaO (۰/۰۱-۰/۴ درصد وزنی)، TiO_2 (۰/۰-۰۱/۳۲ درصد وزنی)، K_2O (۰/۰-۰۱/۴۹ درصد وزنی) می‌باشند.
- ✓ شباهت در شکل و شیب الگوهای عناصر خاکی کمیاب آگات‌ها و سنگ آتشفشانی میزبان آنها این نتیجه را به دست می‌دهد که این عناصر توسط سیالات در حال گردش از سنگ میزبان آتشفشانی شسته شده و در حفرات و رگه‌های آگاتی موجود در این سنگ‌ها ته نشست شده است.
- ✓ روند کلی الگوی عناصر خاکی کمیاب این آگات‌ها شیب منفی ملایمی نشان می‌دهند. فراوانی عنصر U در آنها از همه بیشتر است. دلیل این امر آزاد شدن همگام عناصر Si و U ناشی از آلتراسیون سنگ‌های میزبان و به دنبال آن تبدیل U به یون اورانیل (UO_2^{2+}) و تشکیل پیوند با سطح تترائدرهای سیلیس است.

- ✓ الگوی عناصر خاکی کمیاب سنگ‌های آتشفشانی میزبان منطقه یک شیب منفی آرام از La تا Lu را نشان می‌دهند و از عناصر نادر خاکی سبک (نظیر Cs و La) و لیتوفیل بزرگ یون (نظیر K) غنی شدگی و از عناصر نادر سنگین (نظیر Y) و عناصر با شدت میدان بالا (از قبیل Ti) تهی‌شدگی نشان می‌دهند که شاخص ماگماهای کالک آلکالن تشکیل شده در مناطق فرورانش است.

پیشنهادات

- ✓ تاکنون آگات‌ها در منطقه فردوس به صورت پلاسری و از بخش‌های سطحی برداشت شده‌اند. پیشنهاد می‌شود به‌منظور تعیین گسترش عمقی رگه‌های آگات‌دار ارزیابی‌های تحت الارضی از جمله حفر گمانه‌های اکتشافی در منطقه صورت گیرد.
- ✓ ارزیابی دقیق بهسازی آگات‌ها با تکنیک‌های مدرن و بکارگیری محلول‌های دیگر بسیار ضروری می‌باشد.

منابع

ابراهیمی، خ.، ذبیحی، ر.، (۱۳۸۹) **"مناطق امید بخش ایران برای اکتشاف سنگ‌های قیمتی"**. همایش ملی تبیین جایگاه سنگ‌های قیمتی و نیمه قیمتی، مشهد مقدس.

احمدی، ر.، کاظمی مهرنیا، ا.، ثمری، ح.، مهاجران، ک.، (۱۳۹۰) **"عملکرد گسل‌ها و نقش آنها در شکل گیری سیمای زمین‌شناسی و متالوژنی ذخیره پهنه کمر خوسف (جنوب باختر بیرجند)"**. اولین همایش ملی زمین‌شناسی ایران، شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز.

اعتمادی، ب.، نخبه الفقهایی، ع.، (۱۳۸۹) **"نقش فرآیندهای ساختاری و زمین‌شناسی در پیدایش سنگ‌های قیمتی و نیمه قیمتی در ایران"**. دومین همایش ملی تبیین جایگاه سنگ‌های قیمتی و نیمه قیمتی در کشور، سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری.

آقانباتی، ع.، (۱۳۸۳) **"زمین‌شناسی ایران"**. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.

انصاری فر، ا.، (۱۳۹۶) **"بالا بردن کیفیت آگات‌های رضا آباد خارتوران و تعیین منشأ آن‌ها بر اساس ایزوتوپ‌های پایدار، جنوب شرق شاهرود (ایران مرکزی)"**. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

اوهانیان، ت.، (۱۳۵۲) **"بررسی‌های زمین‌شناسی و پترولوژی سنگ‌های آذرین جنوب بیرجند"**. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران.

بصیری، م.ح.، سید سلماسی، س.، (۱۳۸۹) **"راهبردهای توسعه صنعت سنگ‌های قیمتی در ایران"**. فصلنامه علوم زمین، شماره ۷۶، صفحات ۱۰۷تا ۱۱۲.

پیرزاده، س.، (۱۳۹۵) **"بررسی تنوع رنگ در فلوئوریت‌های معادن کوه سفید (مشهد) و مهماندویه (دامغان) با توجه به مطالعات طیف سنجی مادون قرمز"**. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه دامغان، ۱۲۱ص.

خواجه بیدختی، ح.، (۱۳۸۸) **"پژوهش‌های پیرامون سنگ¬های قیمتی و نیمه قیمتی در ایران**

و جهان". چاپ مهلا، ۴۱۲ص.

رضایی دشت بیاض، محمد.، زرین کوب، م.ح.، محمدی، س.س.، (۱۳۹۱) **"مطالعه زمین‌شناسی و دگرسانی سنگ های آذرین ترشیری شمال باختر گزنشک خراسان جنوبی"**. چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، بیرجند، دانشگاه بیرجند.

روستا، س.، (۱۳۹۷) **"تغییر رنگ و بهسازی آمتیست‌های ترود (سمنان) و قلعه زری (خراسان جنوبی)"**. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه دامغان، ۱۰۳ص.

زرین‌کوب، م.ح.، (۱۳۷۹) **"پترولوژی و ژئوشیمی مجموعه‌های افیولیت جنوب بیرجند"**. رساله دکتری، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۳۰۰ص.

سپاهی، ع.، (۱۳۸۱) **"مطالعه روابط ساختاری گرانیتوئیدهای الوند و سنگ‌های میزبان آنها"**. ششمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، کرمان، انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه باهنر کرمان.

سلیم، ل.، (۱۳۹۱) **"پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های آتش‌فشانی و نیمه نفوذی منطقه چشمه خوری (غرب بیرجند)"**. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، ۱۳۷ص.

سلیم، ل.، زرین کوب، م.ح.، محمدی، س.س.، (۱۳۹۱) **"ساخت و بافت آگات‌های منطقه چشمه خوری (شمال غرب بیرجند)"**. چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه بیرجند.

سمیعی، س.، حیدریان شهری، م.ر.، کریم پور، م.ح.، قادری، م.، (۱۳۹۱) **"تفسیر داده های IP/RS بر مبنای داده های زمین‌شناسی، آلتراسیون و کانی‌سازی در منطقه اکتشافی خونیک، خراسان جنوبی"**. چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، بیرجند، دانشگاه بیرجند.

عبدالهی، ه.، امینی، ا.، (۱۳۹۲) **"پرعیارسازی نمونه های کانسنگ استیبنیت شوراب فردوس**

(خراسان جنوبی) به روش‌های ثقلی و فلوتاسیون". سی و چهارمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور.

غلامی, ا.، محمدی، س.س.، (۱۳۸۱) **"بررسی تاثیر ساخت‌های زمین‌شناسی و خصوصیات کانی-شناسی مجموعه سنگی بر تشدید زمین لغزش در جنوب بیرجند"**. ششمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، کرمان، دانشگاه باهنر کرمان.

قاسمی، ح.، (۱۳۹۴) **"پتروگرافی و پتروژنز سنگ‌های دگرگونی"**. انتشارات دانشگاه شاهرود، ۵۶۲ص.

قاسمی، ح.، لنکرانی، م.، همام، س.م.، (۱۳۸۹) **"پترولوژی سنگ‌های آذرین"**. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، ۵۵۶ص.

پارس کانی.، (۱۳۸۵) **"پیش طرح احداث مجتمع مهندسی پژوهشی تولیدی گوهرشناسی و گوهرتراشی"**. ۶۷ص.

قربانی، م.، (۱۳۸۲) **"سنگ‌ها و کانی‌های گرانبها (گوهرها) و جایگاه آن‌ها در ایران"**. انتشارات آرین زمین، تهران، چاپ اول، ۳۹۶ص.

کرمی، پ.، (۱۳۹۰) **"تحقیقات مشترک تیم گوهرشناسی"**. مؤسسه ارتقا صنعت طلا و جواهر ایران و مرکز بهسازی و پژوهش گوهرها .

مجتهدزاده، ا.ح.، (۱۳۹۵) **"بررسی عوامل بازدارنده رشد و تحول صنعت جواهرات در ایران"**. سومین همایش ملی گوهرشناسی و بلور شناسی انجمن بلور شناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

محمدی، س.س.، نخعی، م.، (۱۳۸۰) **"بررسی ترکیب کانی‌شناسی، شیمیایی و جایگاه زمین شناسی پرلیت منطقه سربیشه (جنوب شرق بیرجند)"**. پنجمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، تهران، انجمن زمین‌شناسی ایران.

نادرمزرجی، س.، کریم پور، م.ح.، ملکزاده شفارودی، ا.، (۱۳۹۶) **"زمین‌شناسی، دگرسانی، کانه‌زایی، ژئوشیمی اکتشافی و پترولوژی توده‌های نفوذی در محدوده اکتشافی شاه سلطان علی (جنوب غربی بیرجند، استان خراسان جنوبی)"**. فصلنامه زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۹، شماره ۱.

نجفی، ع.، کریم پور، م.ح.، عبدی، م.، (۱۳۸۹) **"مروری بر زمین‌شناسی، ژئوشیمی و کانی سازی معدن متروکه مس- طلای رگه ای حیدری، جنوب کجه، فردوس"**. نخستین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد.

نخعی، ملیحه.، کریم پور، م.، ابراهیمی، خ.، مظاهری، ا.، (۱۳۸۳) **"مطالعه زمین‌شناسی، ژئوشیمی و کانی‌شناسی معادن بنتونیت منطقه فردوس-سرایان (برون، حسامیه و چاه طلب)"**. هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود.

نصر اصفهانی، ع.خ.، احمدی، م.، (۱۳۸۴) **"پتروگرافی سنگ‌های آذرین"**. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، ۲۷۲ ص.

نظری، م.، (۱۳۷۵) **"کانی‌شناسی و ژنز آگات‌ها و ژئودهای شرق خور و رابطه آن با تشکیل بنتونیت‌ها"**. مجموعه مقالات دومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران .

یوسف زاده، م.ح.، (۱۳۸۸) **"پتروگرافی، ژئوشیمی و پتروژنز سنگ‌های آتش‌فشانی ترشیری منطقه بیرجند –خوسف با نگرشی ویژه بر آنکلاوهای موجود در آن"**. رساله دکتری، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ۲۸۶ ص.

یوسف زاده، م.ح.، (۱۳۹۳) **"پتروگرافی سنگ¬های آتشفشانی ترشیری منطقه خور- سه چنگی (غرب خوسف، استان خراسان جنوبی) با نگرشی بر پرلیت زایی"**. ششمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان .

یوسف زاده، م.ح.، پورمعافی، س.م.، عابدینی وثوقی، م.، امامی، م.ه.، (۱۳۸۵) **"سنگ‌شناسی و زمین-شیمی آتشفشان‌های دوران سوم در منطقه بیرجند با تأکیدی بر آنکلاوهای آن"**. مجموعه مقالات چهارمین همایش انجمن بلور شناسی و کانی‌شناسی ایران، صفحات ۳۴۰تا۳۴۸.

Aghanabati, S.A., (2004) **"Iran Geology. Geological Survey of Iran".** 400 p.

Baur, P.E., (1997) **"The south sandwich Islans: III. Petrology of the volcanic rocks".** Br, Antrack Surv: Scientific Repors. No93.

Best, G., (2003) **"Igneous and metamorphic petrology"**. Blackwell Science, 729p.

Blankenburg, H.J., (1988) **"Achat: Eigenschaften, Genese, Verwendung. VEB Deutscher Verlag fur Grundstoffindustrie"**. Leipzig, 203p.

Bostock, J., Riley, M.D., Esq, B.A., (1855) **"The natural History. Pling the elder".**

Boynton, W.V., (1984) **"Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: P. Henderson (Editor), Rare Earth Element Geochemistry"**. Elsevier, Netherlands, p: 63–114.

Cornelius, S., Hurlbut, Jr., (1993) **"Manual of mineralogy (after James D. Dana)".** 21st ed., Wiley international ed. New York.

Cross, B.L. (1996) **"The agates of Northern Mexico".** Burgess Publishing Division, Edina, Minnesota.

Dong, G., Morrison, G., Jai reth, S., (1995) **"Quartz texturesin epithermal veins, Queensland - Classification, origin, and implication"**. Economic Geology, 90, p:1841-1856.

Dumańska-Słowik, M., Powolny, T., Sikorska-Jaworowska, M., Gaweł, A., Kogut, L., Poloński, K., (2018) **"Characteristics and origin of agates from Płóczki Górne (Lower Silesia, Poland): A combined microscopic, micro-Raman, and cathodoluminescence study"**. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 192, p: 6-15.

Eftekhar-nezhad, J., Rutther, A., (1977) "Geological quadrangle map of Iran No. J6 (Ferdows sheet), scale 1:250000". Geological Survey of Iran.

Florke, O.W., Kohler-Herbertz, B., Langer, K., Tonges, I., (1982) **"Water in microcrystalline quartz of volcanic origin: Agates".** Contributions to Mineralogy and Petrology". 80, p: 324-333.

Fournier, R.O. (1985) **"The behavior of silica in hydrothermal solution"**. Reviews in

Economic Geology, 2, p:45-61.

Gill, R., (2010) **"Ignouse rocks and processes apractical guide"**. Department of Earth Sciences Royal Holloway University of London, 472 pp.

Godovikov, A.A., Ripinen, O.I., Motorin, S.G., (1987) **"Agate. Izd. Nedra"**. Moscow Zin Russia.

Götze, J., (2011**) "Agate Fascination between legend and science"**. In: Zenz, J. (Ed.) Agates III. Bode-Verlag, 117p.

Götze, J., Gaft, M., Möckel, R., (2015) **"Uranium and uranyl luminescence in agate/chalcedony".** Mineralogical Magazine, 79: 985-995.

Götze, J., Möckel, R., Kempe, U., Kapitonov, I., Vennemann, T., (2009) **"Characteristics and origin of agates in sedimentary rocks from the Dryhead area, Montana, USA"**. Mineralogical Magazine, 73, p: 673-690.

Götze, J., Nasdala, L., Kleeberg, R., Wenzel, M., (1998) **"Occurrence and distribution of moganite in agate/chalcedony: A combined micro-Raman, Rietveld, and cathodoluminescence study"**. Contributions to Mineralogy and Petrology. 133, p: 96-105.

Götze, J., Schrön, W., Möckel, R., Heide, K., (2012) **"The role of fluids in the formation of agate"**. Chemie der Erde, 72, p: 283-286.

Hajalilou, B., Vusuq, B., (2010) **"Gemological Potentials of East Azerbaijan Province, NW of Iran"**. 63rd Geological Kurultai of Turkey, MTA, Ankara, Turkey, p:5-9.

Hajalilou, B., Vusuq, B., Moazzen, M., (2011) **"Mineralogy, geochemistry, gemology and color variation in agates from the Mianeh area, NW Iran"**. Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 19, p: 427- 438. (in Persian with English abstract).

Harder, H., (1993) **"Agates-formation as a multi component colloid chemical precipitations at low temperatures"**. Neues Jahrbuch fur Mineralogie, Abhandlungen , 1993, p: 31-48.

Heaney, P.J., Post, J.E., (1992) **"The widespread distribution of a novel silica polymorph in microcrystalline quartz varieties"**. Science, 255(5043), p: 441-443.

Holzhey, G., (1995) **"Herkunft und Akkumulation des SiO2 in Rhyolithkugeln aus Rotliegendvulkaniten des Thüringer Waldes"**. Geowissenschaftliche Mitteilungen von Thüringen, 3, p:31-59.

Hurlbut, C.S.Jr., Kammerling, R.C., (1991) **"Gmology, 2nd ed.New York".** 130, 2, 337pp.

Iancu, O.G., Toda, D.P., Iancu, G., (2009) **"Mineral chemistry of some agates from Gurasada (Mureş Valley, Romania)"**. Studia Universitatis Babeş-Bolyai, 54, 37 – 41p.

Idris, S., Ghazali, Z., Hashim, S.A., Shamshad, A., Mohd Suhaimi, J., (2012) **"Electron beam irradiation of gemstone for color enhancement"**. AIP Conference Proceedings, Malaysian Nuclear Agency, Bangi, Selangor, Malaysia, 197, 1482.

Karimpour, M.H., Stern, C.R., Farmer, L., Saadat, S., Malekezadeh, A., (2011) **"Review of age, Rb-Sr geochemistry and petrogenesis of Jurassic to Quaternary igneous rocks in Lut Block, Eastern Iran"**. Journal of Geopersia 1, p:19-36.

Krane, K.S., Wiley, J., (1988) **"Introductory Nuclear Physics".**

Kashani, H., (2007) **"The plan of establishing of gem tower in Iran".** Ministry of Industries and Mines.

Kingma, K.J., Hemley, R.J., (1994) **"Raman spectroscopic study of microcrystalline silica"**. American Mineralogist, 79, p: 269-273.

Lotfi, M., 1995. Geological map of Sarghanj, scale 1: 100 000. Geological survey of Iran.

Mason, B., Moore, C., (2010) **"Principles of Geochemistry"**. Department of Geology, College of Sciences, Shiraz University, 370p.

Meghan, L., (2006) "**Magmatic environment producing textural and compositional zoning in plagioclase phenocrysts of the 1968-1996 eruption at Arenal volcano, Costa Rica"**. Department, Portland state Univ, P. O. Box., 751.

Monfaredi, B., Masoudi, F., and Tabbakh Shabani, A.A., (2009) **"Magmatic interaction as recorded in texture and composition of plagioclase phenocrysts from the Sirjan area, Urumieh-Dokhtar magmatic arc, Iran"**. Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran, 20, p: 243-251.

Moxon, T., Reed, S.J.B., (2006) **"Agate and chalcedony from igneous and sedimentary hosts aged from 13 to 3480 Ma: a cathodoluminescence study"**. Mineralogical Magazine, 70, p: 485-498.

Moxon, T., Rios, S., (2004) **"Moganite and water content as a function of age in agate: An XRD and thermogravimetric study"**. European Journal of mineralogy, 16, p: 269-278.

Möckel, R., Götze, J., (2007) **"Achate aus sächsischen Vulkanitende rzgebirgischen**

Beckens". Veröffentlichung Museum für Naturkunde Chemnitz, 30,p: 25-60.

Oehler, J.H. (1976) **"Hydrothermal crystallization of silica gel"**. Geological Society of America Bulletin, 87, p:1143-1152.

Pabian, R.K., Zarins, A., (1994) **"Banded Agates, Origins and Inclusions"**. Educational Circular No. 12, University of Nebraska, Lincoln, 32p.

Perugini, D., and Poli, G., (2012) **"The mixing of magmas in plutonic and volcanic environments. analogies and differences"**. Lithos 153: 261–277.

Petránek, J. (2006) **"Entstehung von gravitations- und adhäsionsgebänderten Achaten in Raum und Zeit und in Abhängigkeit vom Klima"**. Der Aufschluss, 57, p:129-150.

Porter, R.A., Weber Jr, W.J., (1971) **"The interaction of silicic acid with iron (III) and uranyl ions in dilute aqueous solution"**. Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry, 33, p: 2443-2449.

Pudlo, D., and Franz, G., (1995) **"Records of deep seated magma chamber processes from plagioclase and amphibole phenocryst in Pan-Africa dyke rocks"**. (eds.Bear and Heyman): Balkema.Rotterdom, p:251-262.

Renjith, M.L., (2014) **"Micro-textures in plagioclase from 1994-1995 eruption, Barren Island Volcano: Evidence of dynamic magma plumbing system in the Andaman subduction zone"**. Geoscience Frontiers 5: 113-126.

Richter, S., Gotze, J., Niemeyer, H., Mockel, R., (2015) **"Mineralogical investigations of agates from Cordonde Lila, Chile"**. Andean Geology, 42, p: 386-396.

Rollinson, H., (2014) **"Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation"**. Routledge, United States of America, 352 p.

Schmincke, H.U., (2004) **"Volcanism (Vol. 28)"**. Springer, Germany, 324 p.

Shahabpour, J., (1994) **"Post-mineralization breccia dike from the Sar Cheshmeh porphyry copper system, Kerman, Iran"**. Exploration and Mining Geology. 3, p. 39-34.

Shelley, D., (1993) **"Igneous and metamorphic rocks under the microscope"**. Chapman and Hall, University Press, Cambridge, Great Britain, 455 p.

Stewart, M., Pearce, T., (2004) **"Sieve-textured plagioclase in dacitic magma: Interference imaging results"**. American Mineralogist, 89, p:348-351.

Sun, S.S., McDonough, W.F., (1989) **"Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes"**. Geological

Society, London, 42, p: 313-345.

Ustunisik, G., Kilinc, A., Nielsen, R.L., (2014) **"New insights into the processes controlling compositional zoning in plagioclase"**. Lithos 200-201, p: 80-93.

Walger, E., (1954) **"Das Vorkommen von Uruguay-Achaten bei Flonheim in Rheinhessen, seine tektonische Auswertung und seine Bedeutung für die Frage nach der Achatbildung"**. Jahresbericht Mitteilungen Oberrheinische Geologisch Vereingung, 36, p:20-31.

Weldon, R., (2016) **"An Introduction to Gem Treatments".** http://www.gia.edu/gem-treatment.

Wilson, B.M., (2007) **"Igneous petrogenesis a global tectonic approach"**. Springer, Netherlands, 466 pp.

Zielinski, R.A., (1979) **"Uranium mobility during interaction of rhyolitic obsidian, perlite and felsite with alkaline carbonate solution"**. Chemical Geology, 27, p: 47-63.

Abstract

The Ferdows agates, located at 120 km NW Birjand, are parts of Central Iranian (Lut block). Silica mineralization (Agate) occurred in Eocene-Oligocene volcanic units such as basalt, andesite, basaltic andesite and pyroclastic rocks (tuff and lithic tuff) with two major structures including vein and filling cavities. The agates can be oberserved in different shape and pattern such as moss, dendritic, concentric, layered, tabular, cauliflower that are white, green, yellow, black, red and gray in colors. Petroghraphy observations and Raman spectroscopy revealed that the agate of Ferdows was composed mainly of chalcedony, moganite and quartzine, and calcite are the only minor mineral observed in them. As most of the study agates area are white and colorless, the variety of chemical solutions (such as cobalt chloride hexahydrate, copper chloride, iron nitrate, potassium chromate and nitrate Copper), gamma-ray and heating techniques were used to to enhance their quality and economic value. The results show that these metods had little effect on their quality. The Ferdows agates have SiO_2= 95.78 to 98.9 wt% with minor value of CaO, Fe_2O_3, Al_2O_3 and Na_2O. They show a slight negative slope in the normalized chondrite and primitive mantle diagrams and their trace elements are lower than the host volcanic rocks. The abundance of U is equal to or even higher in red agate than in host rocks. This is due to the release of the Si and U elements due to the alteration of the host rocks, followed by the conversion of U to uranyl ions and the formation of bonds with the surface of silica tetraers. Similarities in the trace elements designs of volcanic agates and rocks indicate that these elements are mobilized by fluid circulation during late- or post-volcanic altration activity.

Keywords: Geochemistry, Raman spectroscopy, Agate, Ferdows, South Khorasan, Central Iran.

Shahrood University of technology

Faculty of Earth Sciences

Department of Petrology and Economic Geology

Geology, genesis, industrial properties and enhancement of Ferdows agates

Author:

Hadis Aghaei Ghoje

Supervisors

Dr. Mehdi Rezaei-Kahkhaei

Dr. Farajollah Fardoost

Thesis submitted for MSc degree

September 2019