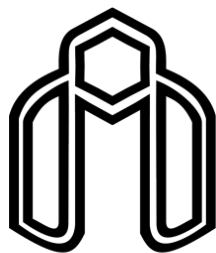


رسالة محمد



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین

گروه پترولوژی و زمین شناسی اقتصادی

بالا بردن کیفیت آگات های رضا آباد خارتوران و تعیین منشأ آن ها براساس
ایزوتوپ های پایدار، جنوب شرق شاهرود (ایران مرکزی)

نگارنده:

ام البنین انصاری فر

استاد راهنما:

دکتر مهدی رضایی کهخایی

استاد مشاور:

دکتر حبیب الله قاسمی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ۱۳۹۶

تقدیم اثر

تقدیم به تمام کسانی که دوستان دارم و دوستم دارند.
خدای رابی ساگرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته،
تا در سایه درخت پربار وجودشان بیایم،
و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم، و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم.
والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم، و نشان دلیلی است بر بودنم،
چرا که این دو وجود، پس از پروردگار، مایه هستی ام بوده اند و دستم را گرفتند،
و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند.
آموذگاری که برایم زندگی، بودن و انسان بودن را معنا کردند.
حال، این برگ سبزی تقدیم به پدر و مادر کرامی ام
و به برادران عزیزم
و خواهران خوبم
آنها که مشوق و همراهم در این راه بودند.
تقدیم به وجود با ارزشتان...

شکر و قدردانی

ذک فضل من الله وکفی بالله علما

الهی ضعیفان رانهای، قاصدان رابر سرراهی، مؤمنان راکواهی، چه عزیز است آنکس که تو خواهی. الهی هر که تو را شناسد کار او باریک و هر که تو را نشناسد راه او تاریک. الهی از پیش خطر و از پس راهم نیست دستم گیر که جز تو پناهم نیست. الهی توانایی ده که در راه نیستم و بینایی ده که در چاه نیستم. الهی بر عجز خود آگاهم و بر بچاگرگی خود کواهم؛ خواست، خواست، خواست؛ من چه خواهم. الهی به قدردانی تو نادانم.

و اکنون که در سایه لطف الهی نگارش این پایان نامه را به پایان رسانده ام بر خود واجب میدانم از زحمات بی دریغ اساتید بزرگوارم جناب آقای دکتر مهدی رضایی کجانی به عنوان استاد راهنما و نیز جناب آقای دکتر حبیب ا... قاسمی به عنوان استاد مشاور که از چشمه علم میگردانان بر من بخشیدند، شکر و قدردانی نمایم.

در اینجا جا دارد از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر صادقان که در طول انجام این تحقیق از راهنمایی های ارزنده ایشان بی نصیب نبوده ام و سرکار خانم دکتر شیبی نهایت شکر و قدردانی را به عمل آوردم. و در پایان از تمام دوستان عزیزم از جمله خانم ها قصابی فیض، نصرالهی، خبره و محمدی و همچنین دوست عزیزم سرکار خانم حسنی زاده و بزرگانی چون آقای محمدیان مسئول کارگاه تهیه مقطع، که همواره در طول تحصیل مورد لطف و مهربانیشان بوده ام شکر می نمایم.

تعهد نامه

اینجانب ام البنین انصاری فر دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته پترولولژی دانشکده علوم زمین دانشگاه

صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بالا بردن کیفیت آگات های رضا آباد خارتوران و تعیین منشأ آن ها

بر اساس ایزوتوپ های پایدار، جنوب شرق شاهرود (ایران مرکزی) تحت راهنمایی دکتر مهدی رضایی

کهبخایی 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
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

مقالات مستخرج از این پایان نامه

الف) مقالات کنفرانسی:

Ansarifar, O., Rezaei Kahkhaei, M., (2015) "The coloring and enhancement of Torud opals, SE Shahrood, Iran". The second symposium of Gemology and Crystallography of Iran, University of Birjand, 19-20 November 2015.

Ansarifar, O., Rezaei Kahkhaei, M., (2016) "the petrographic characteristics of Reza Abad agates, SE Shahrood (Central Iran)". 34th National & 2nd International Geosciences Congress, Geological Survey of Iran, 22-24 February 2016.

Ansarifar, O., Rezaei-Kahkhaei, M., Ghasemi, H., (2017) "The effect of trace elements and major oxides in color variety of Reza Abad agates, SE Shahrood". 24th symposium of Crystallography and mineralogy of Iran, 169-175.

انصاری فر، ا.، رضایی کهخایی، م.، قاسمی، ح.، (۱۳۹۵)، " ژئوشیمی و پتروژنز سنگ های بازالتی دربرگیرنده آگات در منطقه رضا آباد، جنوب شرق شاهرود (ایران مرکزی)". سی و پنجمین گردهمایی ملی علوم زمین. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۱ تا ۳ اسفند ماه ۱۳۹۵.

انصاری فر، ا.، رضایی کهخایی، م.، قاسمی، ح.، (۱۳۹۵)، " تعیین دما و منشأ تشکیل آگات های رضاآباد با استفاده از ایزوتوپ های پایدار اکسیژن، جنوب شرق شاهرود (ایران مرکزی)". چهارمین همایش ملی گوهرشناسی و بلورشناسی انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران. دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

ب) مقالات ISI و علمی پژوهشی:

Rezaei-Kahkhaei, M., Ansarifar, O., Ghasemi, H., (2017) "Reza Abad agates from Central Iran and their color treatment", *Gems & Gemology* (Under review).

رضایی کهخایی، م.، انصاری فر، ا.، (۱۳۹۶) "مطالعات ژئوشیمی آگات های رضا آباد، جنوب شرق شاهرود، ایران مرکزی"، فصلنامه زمین شناسی ایران (در دست داوری).

چکیده:

آگات های منطقه ی رضا آباد در ۱۵۰ کیلومتری جنوب شرق شاهرود در داخل سنگ میزبان های آتشفشانی ائوسن قرار دارند. این منطقه در بخشی از نوار ماگمایی شمال ایران مرکزی و در محدوده شمال غرب روستای رضاآباد واقع شده است. سنگ های میزبان این آگات ها بیشتر شامل بازالت، آندزیت بازالت و سنگ های آذرآواری می باشند. آگات های رضاآباد در رنگ های مختلف قرمز، قهوه ای، زرد، سبز، خاکستری، سفید و سیاه و اغلب به صورت رگه ای مشاهده می شوند. رگه های تشکیل دهنده ی این آگات ها دارای ضخامت متغیر ۳ میلی متر تا ۳۰ سانتی متر می باشند. اگرچه آگات های منطقه از زیبایی و جذابیت خاص خود برخوردارند ولی بیشتر آنها در رنگ های سفید و بی رنگ می باشند که چندان مورد پسند مردم نمی باشد. در این تحقیق سعی شده است که با رنگ آمیزی این آگات ها به رنگ های مردم پسند، نسبت به بالابردن ارزش اقتصادی آنها اقدام شود. جهت بهسازی آگات های منطقه رضا آباد از روش رنگ آمیزی با محلول های شیمیایی استفاده شده است. استفاده از محلول شکر-آب و اسید سولفوریک، رنگ آگات های سفید منطقه را به رنگ سیاه تغییر داد و از محلول کبالت کلراید هگزاهیدرات جهت رنگ آمیزی نمونه ها به رنگ بنفش مایل به صورتی استفاده شد. محلول نیکل نترات هگزاهیدرات رنگ آگات های سفید را به سبز و محلول پتاسیم کرومات رنگ آنها را به زرد تغییر داد. در نهایت از محلول پتاسیم فری سیانید-سولفات آهن جهت تغییر رنگ آگات های منطقه به رنگ آبی استفاده شد. براساس مطالعات ژئوشیمی، روند کلی الگوی عناصر خاکی کمیاب این آگات ها دارای شیب منفی از La تا Nd است که از عناصر خاکی کمیاب سبک (LREE) از قبیل La و Ce غنی شده اند و از Nd تا Yb بصورت تقریباً مسطح است. عناصر وانادیوم، باریوم و استرانسیوم از بیشترین فراوانی خصوصاً در آگات های قهوه ای و سیاه برخوردار می باشند. علاوه بر این فراوانی اورانیوم به طور خاصی در آگات های سیاه بالا است که می تواند بخاطر تمرکز بالای این عنصر در سیال تشکیل دهنده ی آگات باشد. شباهت ها در شکل و شیب الگوهای عناصر خاکی کمیاب آگات ها و سنگ های آتشفشانی میزبان آنها این نتیجه را به دست می دهد که عناصر تشکیل دهنده ی آگات ها ممکن است توسط سیالات در حال گردش از سنگ آتشفشانی میزبان نشأت گرفته باشند. براساس نتایج حاصل از انجام آنالیز ایزوتوپ های پایدار اکسیژن، مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ آگات های مورد مطالعه در محدوده ای بین $23/8\%$ تا $26/6\%$ واقع می شوند. دمای تشکیل آگات های مورد بررسی با مقدار $\delta\text{w} = -6/3$ گستره ای بین $35/7^\circ\text{C}$ تا $48/3^\circ\text{C}$ را شامل می شود که به ترتیب کمترین دما مربوط به آگات های سبز (با بالاترین مقدار $\delta^{18}\text{O}$) و بیشترین دما مربوط به آگات های خاکستری (با کمترین مقدار $\delta^{18}\text{O}$) می باشد. مقایسه ی داده های $\delta^{18}\text{O}$ آگات های منطقه رضا آباد با داده های منتشر شده از آگات های یافت شده در سنگ میزبان های اسیدی و بازالتی از سراسر جهان به دمای پایین رسوب گذاری آگات های منطقه اشاره دارد.

کلمات کلیدی: آگات، رنگ آمیزی، ژئوشیمی، ایزوتوپ های پایدار اکسیژن، بازالت، شاهرود.

فهرست مطالب

فصل اول : کلیات	۱
۱-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه	۲
۲-۱- راههای ارتباطی	۳
۳-۱- آب و هوا و پوشش گیاهی منطقه	۳
۴-۱- ژئومورفولوژی منطقه	۵
۵-۱- مطالعات پیشین	۵
۶-۱- ضرورت و اهداف مطالعه	۸
۷-۱- روش مطالعه	۱۰
فصل دوم: زمین شناسی عمومی و پتروگرافی	۱۳
۱-۲- مقدمه	۱۴
۲-۲- واحدهای سنگی منطقه و پتروگرافی	۱۶
۱-۲-۲- واحدهای آتشفشانی ائوسن	۱۹
۳-۲- زمین شناسی ساختمانی	۴۰
۴-۲- زمینشناسی اقتصادی و پتئوسیل معدنی منطقه مورد مطالعه	۴۱
فصل سوم: رنگ آمیزی و بهبود کیفیت آگات ها	۴۳
۱-۳- مقدمه	۴۴
۲-۳- بهسازی	۴۶
۳-۳- روش انجام آزمایش و آماده سازی نمونه ها	۴۷
۴-۳- رنگ کردن (DYEING)	۴۸
۵-۳- آلودگی زیست محیطی و پایداری رنگ نمونه ها	۶۰
فصل چهارم: ژئوشیمی آگات ها	۶۳
۱-۴- مقدمه	۶۴
۲-۴- منابع بروز خطا در طی آماده سازی و تجزیه شیمیایی نمونه ها	۶۷
۳-۴- مواد و روش ها	۶۷
۴-۴- ژئوشیمی آگات ها	۶۹
۵-۴- ژئوشیمی سنگ های آتشفشانی	۷۳
فصل پنجم: ایزوتوپ های پایدار اکسیژن	۷۷
۱-۵- مقدمه	۷۸
۲-۵- مواد و روش ها	۷۹
۳-۵- ایزوتوپ اکسیژن	۸۰
۴-۵- دمای تشکیل و منشأ آگات ها	۸۴
فصل ششم: نتیجه گیری	۸۹
منابع	۹۳

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه نسبت به روستای رضآباد.....	۲
شکل ۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه رضا آباد بر روی تصاویر ماهواره‌ای.....	۳
شکل ۳-۱- راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه.....	۴
شکل ۴-۱- تصویری از چشم انداز کویر، شتر و پوشش گیاهی ضعیف آن در شمال شرق رضآباد.....	۵
شکل ۵-۱- چشم اندازی از موروفولوژی آرام منطقه مورد مطالعه.....	۶
شکل ۱-۲- نقشه ساده شده‌ی زون‌های ساختاری ایران و موقعیت منطقه مورد مطالعه.....	۱۶
شکل ۲-۲- نقشه زمین شناسی ساده شده‌ی منطقه رضآباد.....	۱۷
شکل ۳-۲- نمایی از سنگ های بازالتی، آگلومراها و آگات ها به همراه سنگ میزبان بازالتی آنها.....	۱۸
شکل ۴-۲- رگه هایی از آگات به ضخامت تقریبی ۱۰ سانتی و ۵ سانتی متر.....	۱۹
شکل ۵-۲- نمایی از بازالت های منطقه رضا آباد که دربرگیرنده ی آگات های سیاه و خاکستری می باشد.....	۲۱
شکل ۶-۲- تصویری از آگات سیاه صیقل خورده داخل سنگ میزبان های بازالتی منطقه.....	۲۱
شکل ۷-۲- تصویری از آگات خاکستری مشاهده شده در میان سنگ میزبان بازالتی منطقه.....	۲۲
شکل ۸-۲- مقاطع میکروسکوپی از بازالت های منطقه رضآباد.....	۲۲
شکل ۹-۲- (a) مقطع نازکی از بازالت با بافت سری ایت. (b) تصویر میکروسکوپی لیتیک توف در منطقه.....	۲۳
شکل ۱۰-۲- منطقه بندی مشاهده شده در پلاژیوکلازهای موجود در سنگ میزبان بازالتی منطقه.....	۲۶
شکل ۱۱-۲- تصویر میکروسکوپی از یک فنوکریست پلاژیوکلاز با بافت غربالی.....	۲۶
شکل ۱۲-۲- تصویری از آیدنگزیتی شدن یک فنوکریست الیوین.....	۲۷
شکل ۱۳-۲- (a) نمایی از سنگ های آندزیتی منطقه مورد مطالعه. (b) نمونه ای از آگات زرد.....	۳۰
شکل ۱۴-۲- نمونه ای از آگات زرد رنگ که در تماس با آگات های سفید، قهوه ای و سیاه می باشد.....	۳۱
شکل ۱۵-۲- تصاویر میکروسکوپی از سنگ های آندزیتی منطقه.....	۳۱
شکل ۱۶-۲- نمایی از آگلومراهای موجود در منطقه.....	۳۲
شکل ۱۷-۲- نمونه ای از آگات های قهوه ای که در میان واحدهای آگلومرای منطقه به چشم می خورند.....	۳۳
شکل ۱۸-۲- نمایی از مارن های ائوسن در تناوب با لایه ی ماسه سنگی قرمز به ضخامت یک متر.....	۳۳
شکل ۱۹-۲- تصویری از آگات قرمز رنگ صیقل خورده درون مارن های قرمز رنگ ائوسن.....	۳۴
شکل ۲۰-۲- کنتاکت واحد مارنی و بازالتی ائوسن در منطقه مورد مطالعه (a). نمایی از تپه های مارنی کرم رنگ (b).....	۳۵
شکل ۲۱-۲- نمونه ای از آگات های سبز موجود در واحدهای مارنی منطقه مورد مطالعه.....	۳۶
شکل ۲۲-۲- نمونه ای از آگات سفید رنگ صیقل خورده درون واحد مارنی کرم رنگ منطقه.....	۳۶
شکل ۲۳-۲- نمایی از تراس های آبرفتی موجود در منطقه ی رضآباد.....	۳۷
شکل ۲۴-۲- تصاویری از پادگانه های آبرفتی جوان برگرفته از تصویر ماهواره ای Google earth.....	۳۸
شکل ۲۵-۲- تصویری از تپه های ماسه ای شمشیری شکل مشاهده شده در منطقه رضآباد.....	۳۹
شکل ۲۶-۲- تصویری از پهنه های نمکی مشاهده شده در قسمت جنوبی منطقه (تهیه شده از Google Earth).....	۳۹
شکل ۲۷-۲- تصویری ماهواره ای از گسل امتداد لغز با روند شمال شرقی - جنوب غربی.....	۴۰
شکل ۱-۳- تصویری از مواد شیمیایی استفاده شده در رنگ آمیزی آگات های منطقه.....	۵۱

- شکل ۳-۲- نمونه های قرار داده شده در محلول غلیظ شکر- سولفوریک اسید..... ۵۲
- شکل ۳-۳- نمونه های قرار داده شده در محلول فوق اشباع کبالت هگزا کلراید از رنگ آمیزی ۵۳
- شکل ۳-۴- نمونه های قرار داده شده در محلول اشباع نیکل نیترات هگزاهیدرات به مدت دو هفته در دمای 25°C ۵۴
- شکل ۳-۵- نمونه های قرار داده شده در محلول نیکل نیترات هگزاهیدرات در دمای 70°C ۵۵
- شکل ۳-۶- نمونه های قرار گرفته در محلول پتاسیم کرومات به مدت دو هفته در دمای 25°C ۵۶
- شکل ۳-۷- نمونه های قرار گرفته در محلول پتاسیم کرومات به مدت یک هفته در دمای 50°C ۵۷
- شکل ۳-۸- نمونه های قرار گرفته در محلول پتاسیم کرومات در دمای 70°C ۵۸
- شکل ۳-۹- نمونه های قرار داده شده در محلول پتاسیم فری سیانید-سولفات آهن در دمای اتاق ۵۹
- شکل ۳-۱۰- نمونه های قرار گرفته در پتاسیم فری سیانید-سولفات آهن در دمای 50°C بعد از گذشت یک هفته ۶۰
- شکل ۳-۱۱- نمونه های قرار داده شده در محلول پتاسیم فری سیانید-سولفات آهن در دمای 70°C ۶۱
- شکل ۴-۱- نمودار تغییرات آگات های رضا آباد (Harker, 1909)..... ۷۲
- شکل ۴-۲- نمودار توزیع عناصر ناسازگار (نمودار عنکبوتی) بهنجار شده نسبت به کندریت ۷۵
- شکل ۵-۱- تغییرات $\delta^{18}\text{O}$ آگات های منطقه رضاآباد و مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ مخازن طبیعی ایزوتوپ اکسیژن ۸۲
- شکل ۵-۲- مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ آگات های منطقه و مقایسه آنها با داده های ایزوتوپ اکسیژن از سراسر دنیا..... ۸۸

فهرست جداول

- جدول ۳-۱- نتایج به دست آمده از آنالیز شیمیایی کبالت کلراید و پتاسیم کرومات ۶۱
- جدول ۴-۱- نتایج تجزیه ی ژئوشیمی شش نمونه از آگات های منطقه رضاآباد در شش رنگ مختلف ۷۰
- جدول ۴-۲- نتایج تجزیه ی ژئوشیمی سه نمونه از سنگ میزبان های آتشفشانی منطقه رضا آباد ۷۴
- جدول ۵-۱- مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ اندازه گیری شده برای شش رنگ از آگات های منطقه رضاآباد ۸۴
- جدول ۵-۲- دماهای تشکیل محاسبه شده برای آگات های رضا آباد ۸۷

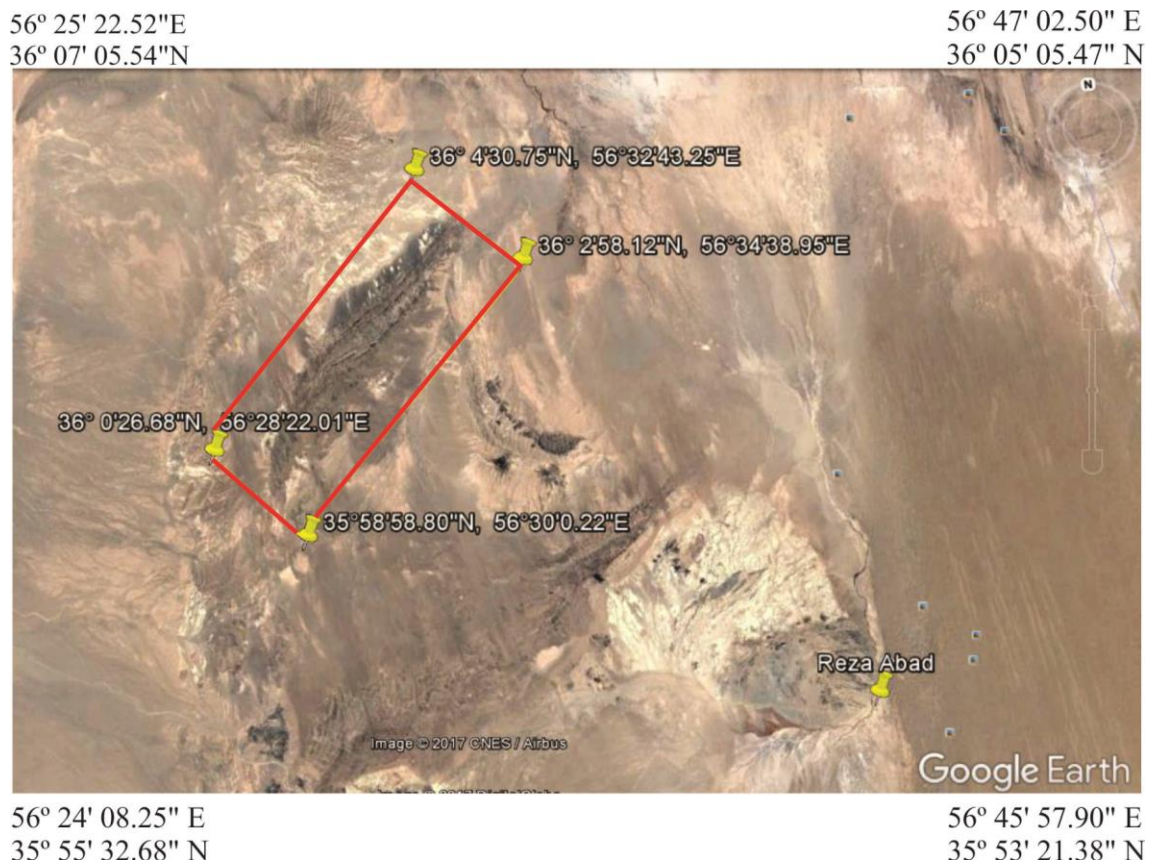
فصل اول

کلیات



۱-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه رضاآباد در بخشی از نوار ماگمایی شمال ایران مرکزی و در محدوده جنوب شرق شاهرود و شمال غرب روستای رضا آباد واقع شده است (شکل ۱-۱). در این منطقه فعالیت های ماگمایی دوره زمانی ائوسن صورت گرفته است که غالباً به صورت روانه های گدازه، آگلومرا، توف، توفیت، کریستال لیتیک توف، لیتیک توف و ... می باشد. منطقه مورد نظر بخشی از نقشه های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ داورزن و ابریشم رود محسوب می شود که در آن آگات ها به صورت رگه ای و نواری مشاهده می شوند و بین طول های $36^{\circ} 25' 22/52''$ تا $36^{\circ} 47' 02/50''$ شرقی و عرض های $35^{\circ} 58' 58/80''$ تا $36^{\circ} 07' 05/54''$ شمالی واقع شده است. در شکل ۱-۲ موقعیت جغرافیایی منطقه بر روی تصویر ماهواره ای برگرفته از **Google Earth** نشان داده شده است.



شکل ۱-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه نسبت به روستای رضاآباد بر روی تصویر ماهواره ای برگرفته از **Google Earth** و مختصات جغرافیایی آن.

۱-۲- راههای ارتباطی

تنها جاده ارتباطی موجود، راه آسفالته‌ای است که از شاهرود به بیارجمند و سپس به کاشمر وصل می‌شود. دیگر جاده‌های ارتباطی موجود خاکی می‌باشند که از آن جمله می‌توان به جاده خاکی‌ای اشاره کرد که از غرب کویر احمدآباد عبور می‌کند و از احمدآباد به رضا آباد و در انتها به مزینان وصل می‌شود (شکل ۱-۳).

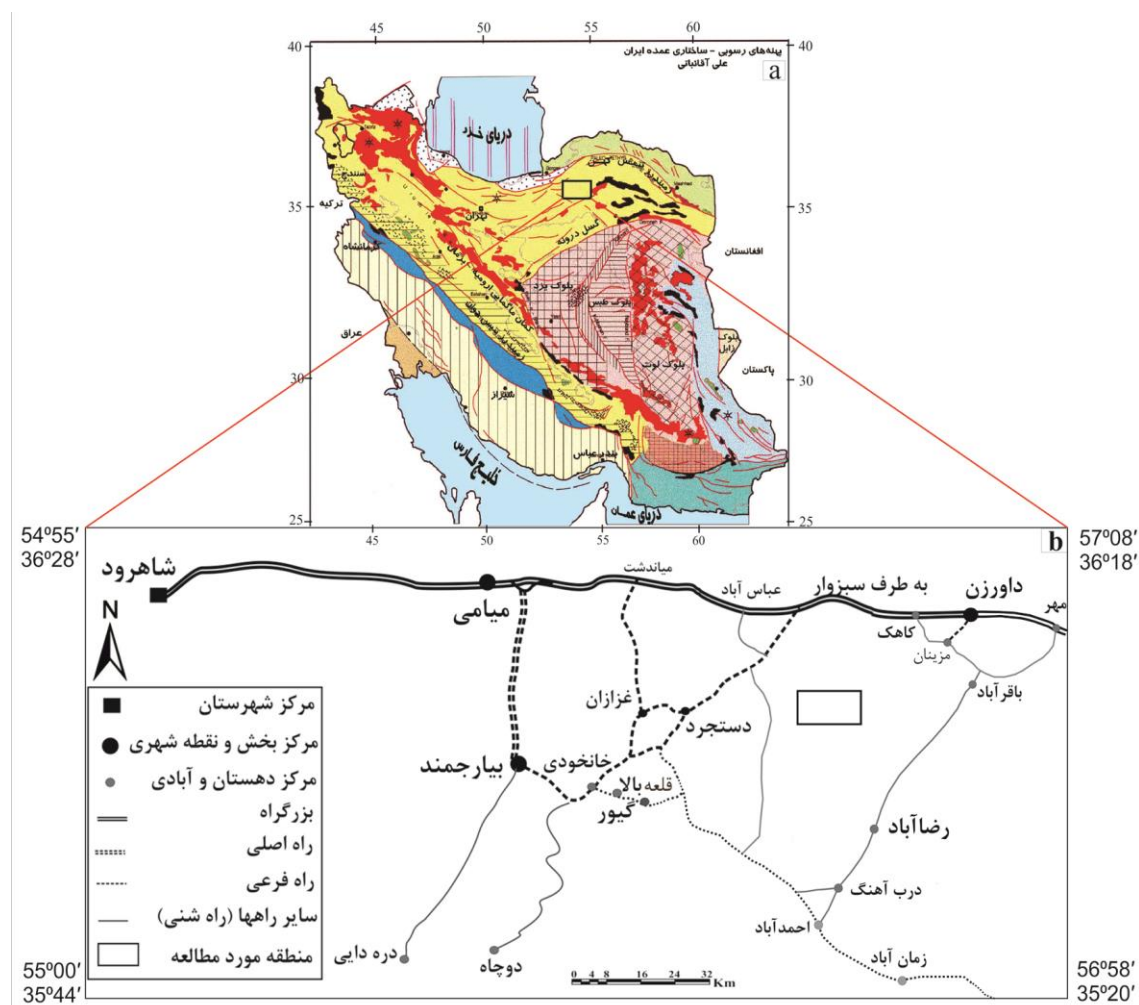


شکل ۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه رضا آباد بر روی تصاویر ماهواره‌ای برگرفته شده از Google Earth.

۱-۳- آب و هوا و پوشش گیاهی منطقه

منطقه رضا آباد، جزء مناطق خشک و کویری به شمار می‌رود. میانگین بارش سالانه آن بین ۵۰ تا ۱۰۰ میلیمتر در سال می‌باشد. این منطقه دارای اقلیم خشک و بیابانی است ولی به طور ویژه

ای برای زیست برخی از گونه‌های گیاهی و جانوری مناسب است. گونه‌های گیاهی با تنوع قابل ملاحظه‌ای در منطقه یافت می‌شوند که بسیاری از آنها دارای اهمیت دارویی هستند. مردم این منطقه به کشاورزی و دامداری می‌پردازند. محصولات کشاورزی و دامی منطقه شامل گندم، هندوانه، فلفل قرمز، آفتاب‌گردان، پنبه، گوسفند، بز و شتر هستند.



شکل ۱-۳- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد نظر بر روی نقشه پهنه‌های زمین‌ساختاری ایران (a) و راه‌های دسترسی به آن (b) (نقشه زمین‌شناسی از آقنابتی، ۲۰۰۴ اقتباس شده است).

پارک ملی حفاظت شده خارتوران که در فاصله ۴۸ تا ۱۴۹ کیلومتری شهر بیارجمند واقع شده، از اماکن مهم و دیدنی منطقه است. این پارک ملی، بزرگ‌ترین ذخیره‌گاه زیست‌کره در ایران به‌شمار می‌آید. پارک ملی خارتوران دومین منطقه حفاظت شده در ایران است و به وجود یوزپلنگ در این

منطقه معروف می‌باشد. علاوه بر آن حیواناتی دیگر نظیر شتر، گورخر، آهو، گرگ، کبک، قوچ، بزکوهی، عقاب سیاه و عقاب طلایی نیز در آن یافت می‌شوند (شکل ۱-۴).



شکل ۱-۴- تصویری از چشم انداز کویر، شتر و پوشش گیاهی ضعیف آن در شمال شرق رضاآباد.

۱-۴- ژئومورفولوژی منطقه

ژئومورفولوژی هر منطقه شدیداً تحت تأثیر جنس واحدهای سنگی و نوع فعالیت‌های زمین ساختی می‌باشد. منطقه مورد مطالعه با ارتفاع ۸۱۰ متر از سطح دریا، شامل زمین‌های پست و شوره‌زار کویری می‌باشد که از تپه‌ها و روانه‌های ماسه‌ای به شکل برخان، پوشیده شده‌اند و از توپوگرافی نسبتاً همواری برخوردار است (شکل ۱-۵). این منطقه شامل بخش‌های شیلی، مارنی و نهشته‌های آذرآواری ائوسن نیز می‌باشد.

۱-۵- مطالعات پیشین^۱

به لحاظ ویژگی‌های جغرافیایی منطقه و نبود ذخایر اقتصادی قابل توجه در این بخش از کشور،

1-Literature review

مطالعات اندکی بر روی آن صورت گرفته است که به شرح زیر می باشد.



شکل ۱-۵- چشم اندازی از موروفولوژی آرام منطقه مورد مطالعه.

- غفاری نیک (۱۳۷۸) تاریخچه دگرریختی واحد آهکی - شیلی کرتاسه زیرین ناحیه احمدآباد را بررسی کرده است.
- سلامتی (۱۳۷۹) گزارش زمین شناسی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ احمدآباد را تهیه کرده است.
- رادفر و کهنسال (۱۳۸۱) گزارش و نقشه زمین شناسی داورزن با مقیاس ۱:۱۰۰/۰۰۰ را تهیه کردند.
- نواب مطلق (۱۳۸۳) نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ابریشم رود را تهیه کرده است.
- قاسمی و آسیابانها (۱۳۸۵) به معرفی و تفکیک رخدادهای دگرگونی منطقه دلبر، جنوب شرق شاهرود، پرداختند.
- صالحی نژاد رنجبر (۱۳۸۷) پترولوژی و ژئوشیمی گنبد های ساب ولکانیک منطقه باشتین (غرب سبزوار) را در غالب پایان نامه کارشناسی ارشد مطالعه نمود.
- برهمند (۱۳۸۹) موقعیت چینه‌شناسی و پتروژنز بازالت‌های نئوژن منطقه احمدآباد (خارتوران - جنوب شرق شاهرود) را مطالعه نمود و سپس آن‌ها را با توده‌های نفوذی گابرو-دیوریتی گرمسار مورد مقایسه قرار داد. نامبرده معتقد است، در مناطق شرقی و جنوب شرقی شاهرود، در میان مارن‌های

قرمز رنگ ژئوپس‌دار الیگوسن (معادل با سازند قرمز زیرین)، یک سری گدازه‌های بازالتی با ترکیب الیوین بازالت تا بازالت فوران کرده‌اند. این سنگ‌ها در نمودارهای پتروژنتیکی و تعیین محیط تکتونوماگمایی، در جایگاه بازالت‌های پشت کمانی (BABB) قرار می‌گیرند که از ذوب بخشی تقریباً ۱۰ درصدی یک منبع گوشته‌ای گارنت لرزولیتی غنی شده بوجود آمده‌اند.

- اکرمیان و همکاران (۱۳۸۹) ویژگی‌های ماگماتیسم آندزیتی-داسیتی ائوسن میانی- فوقانی در منطقه زمان‌آباد، جنوب شرق شاهرود را در غالب مقاله کنفرانسی در چهاردهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران ارائه نمود.

- قاسمی و همکاران (۱۳۹۰) گدازه‌های بازالتی شرق و جنوب شرق شاهرود را مطالعه کرده‌اند و آنها را شاهدهی بر جایگاه پشت کمانی حوضه الیگومیوسن ایران مرکزی دانسته‌اند. ماگمای سازنده این سنگ‌های بازیک از یک منبع گوشته‌ای گارنت لرزولیتی غنی شده سرچشمه گرفته که در یک محیط کششی پشت کمان فوران نموده است.

- رضوی (۱۳۹۰) پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن ناحیه داورزن- سبزوار را مطالعه کرده است و ماگمای سازنده سنگ‌های آتشفشانی ناحیه داورزن را از نوع کالکوالکالن معرفی کرده است که در جایگاه کمان قاره قرار می‌گیرند. ولی ماگمای سازنده منطقه کلاته سادات را ماگمایی آلکالن در نظر گرفته که در جایگاه بازالت‌های پشت کمانی قرار می‌گیرند.

- مردانی (۱۳۹۰) به بررسی پترولوژی، ژئوشیمی و تحلیل رخساره‌های سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی ائوسن منطقه پهناوز (جنوب بیارجمند - شاهرود) پرداخته‌است. سنگ‌های آتشفشانی پهناوز دارای ترکیب غالب تراکی‌بازالتی هستند و ماهیت آلکالن نشان می‌دهند. ماگمای سازنده تراکی‌بازالت‌های مورد نظر از منشأ گارنت لرزولیتی حاصل شده است که از لحاظ جایگاه تکتونیک در یک محیط کششی حاشیه‌ای قاره‌ای مرتبط با کمان ماگمایی حاشیه فعال قاره‌ای یا پشت کمانی تشکیل شده است.

- شیخی قشلاقی (۱۳۹۲) ولکانیسم جنوب و جنوب غرب طرود و ارتباط آن با تشکیل سنگ‌های قیمتی

را در قالب پایان نامه کارشناسی ارشد مورد بررسی قرار داده است.

- بررسی کانی شناختی سیلیس های نیمه قیمتی جنوب طرود از دیدگاه جواهرشناسی با توجه به اهمیت فرآوری و تراش سنگ های گرانپها در ایران توسط وزارت صنعت، معدن و تجارت کشور (۱۳۹۲) انجام شد.

- شاه حسینی و همکاران (۱۳۹۲) به معرفی سنگهای قیمتی طرود و تاثیر آن بر توسعه اقتصادی پایدار پرداخته اند.

- شیخی قشلاقی و همکاران (۱۳۹۴) در قالب مقاله علمی-پژوهشی خصوصیات مینرالوگرافی، گوهرشناسی و ارتباط آن با کیفیت صیقل خوری در آگات های جنوب طرود را مورد مطالعه قرار داده است.

- پتروژنز و زمین شناسی ایزوتوپی سنگهای آذرین نفوذی پس از ائوسن نوار ماگمایی ترود- احمد آباد توسط یوسفی در قالب رساله دکتری در دست انجام است.

- بازالت های منطقه احمد آباد نیز توسط رستمی در قالب رساله دکتری در دست بررسی می باشد.

۱-۶- ضرورت و اهداف مطالعه

اگرچه ایران ذخایر معدنی گسترده ای از بیش از ۱۵۰ نوع گوهرسنگ از جمله انواع گارنت، فیروزه، عقیق، انواع کوارتز، کریزوکولا، فلوریت، تورمالین، یشم، ملاکیت، آندالوزیت، وزوویانیت و غیره را در اختیار دارد، اما در بازار تجارت گوهرسنگ ها سهم چندانی ندارد. براساس پایگاه اطلاع رسانی طلا و جواهر، ایران از نظر میزان ذخایر و کیفیت گوهرسنگ ها در میان ۱۰ کشور مطرح دنیا قرار دارد. با توجه به پتانسیل های گسترده در ایران و تعامل گسترده اش با کشورهای عربی حوزه خلیج فارس، می توان با رشد این صنعت، اشتغال زایی قابل توجهی را حتی برای افراد خاص مانند خانم های خانه دار و سرپرست خانه، معلولین و زندانیان ایجاد نموده و تولید ثروت ملی را به میزان قابل توجهی افزایش داد. صنعت گوهرسنگ ها چهارمین صنعت پر درآمد دنیا محسوب می شود که حدود ۸۵۰

میلیارد دلار گردش مالی داشته و در ضمن از ارزش افزوده بالایی برخوردار است که سهم ایران در دنیا بسیار ناچیز است (مؤسسه بین المللی سنگ ایران^۱، ۲۰۰۳).

به طور کلی توسعه صنعت گوهرسنگ ها در کشور ما دارای مزیت های قابل توجهی است که مهمترین آنها را به صورت زیر می توان برشمرد: (بصیری، ۱۳۸۹).

- بر اساس گزارش پی جویی سنگ های قیمتی ایران و شواهد یافت شده، بسیاری از سنگ های قیمتی مانند عقیق ها و کوارتزها در ایران وجود دارند و جای امیدواری است که در آینده بتوان ذخایری دیگر از آنها را اکتشاف نمود (شیخی مقدم، ۱۳۷۸). در نتیجه نیاز به واردات مواد خام از خارج را کاهش داده و قیمت تهیه مواد اولیه مورد نیاز برای تولید محصولات زینتی مناسب می باشد.

- زمینه مذهبی مصرف مصنوعات سنگی در ایران و کشورهای اسلامی مزیت دیگری برای تولید این محصولات است. در مجموع استفاده از سنگ های عقیق قرمز، عقیق زرد، عقیق سفید، فیروزه، یاقوت قرمز، یاقوت کبود، جید و زبرجد (پریدوت) در کتاب های مذهبی مسلمانان بسیار توصیه شده است و از فواید زیادی افزون بر زیبایی آنها برخوردار می باشند. این امر در کشورهای اسلامی دوردست نیز صادق است. برای مثال سنگ های یادشده در مالزی و اندونزی نیز طرفداران بسیاری دارد. در حال حاضر بخشی از تسبیح های سنگی وارداتی به عربستان از چین و تایلند وارد می شود. این در حالی است که به دلایل مختلف امکان رقابت برای ما جهت ورود به بازار کشورهای اسلامی، آن هم برای محصولاتی که جنبه مذهبی دارند به نحو مطلوب تری فراهم است (بصیری، ۱۳۸۹).

در خصوص استفاده از سنگ های قیمتی نیز آشنایی مصرف کنندگان ایران و منطقه به طور عمده محدود به الماس، یاقوت قرمز، یاقوت کبود و زمرد است. اما در صورتی که گوهرسنگ های دیگر نیز به خوبی به بازار معرفی و عرضه شوند و سیستمی برای تعیین ارزش و تحصیل اطمینان از قیمت فروش ایجاد شود، جایگاه خوبی برای مصرف دیگر گوهرها مانند گارنت سبز (دمانتوید)، یاقوت های رنگی و بعضی از انواع جید در ایران و منطقه حاصل خواهد شد.

- بسیاری از اینگونه محصولات نیازمند طراحی هنرمندانه، ابتکار، خلاقیت و ظرافت است. سوابق فرهنگی و هنری هنرمندان و طراحان در کشور ما نشان می دهد که در این زمینه قدرت رقابت خوبی وجود دارد و تولید محصولات زیبا می تواند زمینه خوبی را برای به ظهور رساندن این مزیت و توانمندی ایرانیان فراهم نماید.

- نیروی کار مناسب و وجود جوانان تحصیل کرده و جویای کار در کشور نیز از مزیت های دیگر توسعه این صنعت به شمار می آید.

با توجه به اهمیت سنگ ها و کانی های قیمتی و نیمه قیمتی که در بالا به آن اشاره شد و وجود پتانسیل های قابل توجه این مواد در کشور، متأسفانه تاکنون توجه چندانی به این ذخایر با ارزش خصوصاً در منطقه رضا آباد نشده است. لذا در این تحقیق تلاش شده است از مواد شیمیایی عالی و غیرآلی از قبیل مایع غلیظی از مخلوط شکر و آب، اسید سولفوریک، کبالت هگزا کلراید، نیکل نیترات هگزا هیدرات، پتاسیم کرومات، پتاسیم فری سیانید و سولفات آهن جهت افزایش کیفیت و رنگ آمیزی آگات های سفید و بی رنگ موجود در منطقه استفاده شود؛ تا بتوان از این طریق باعث رونق اقتصادی این قبیل گوهر سنگ ها در ایران و خصوصاً در منطقه مورد مطالعه شد و سهم ایران را در تولید گوهرسنگ های مطلوب و مورد پسند مردم افزایش داد. علاوه بر این، در این مطالعه سعی شده است به بررسی ویژگی های ژئوشیمی آگات های رضا آباد و سازو کار شکل گیری آنها پرداخته شود. در نهایت مطالعات ایزوتوپ های پایدار اکسیژن جهت تعیین دمای تشکیل آگات های مورد مطالعه و منشأ آنها انجام گرفته است.

۱-۷-۷- روش مطالعه

۱-۷-۱- مطالعات کتابخانه ای

ابتدا کلیه اطلاعات از قبل موجود اعم از گزارش ها، مقالات و پایان نامه های انجام شده مرتبط با موضوع این پایان نامه جمع آوری شد و مورد مطالعه قرار گرفت. برای دستیابی به نتایج بهتر، از نقشه های -

زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای Google Earth استفاده شد. تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت تا با شناسایی راه‌های دسترسی و شناخت زمین‌شناسی کلی منطقه، امکان انتخاب بهترین رخنمون‌ها جهت مطالعات و برداشت‌های صحرایی فراهم شود.

۱-۷-۲- مطالعات صحرایی و نمونه‌برداری

به منظور شناسایی دقیق واحدهای سنگی و بررسی دقیق روابط صحرایی آنها و نمونه‌برداری، به مدت شش روز در پاییز ۱۳۹۴ و فروردین ۱۳۹۵ بازدیدها و برداشت‌های صحرایی صورت پذیرفت و حدود ۳۰۰ نمونه از آگات‌های منطقه به همراه سنگ میزبان‌های آنها جمع‌آوری شد. پس از انجام مطالعات صحرایی دقیق، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی منطقه بر پایه یافته‌های جدید با استفاده از نرم‌افزار Arc Map ترسیم شد.

۱-۷-۳- مطالعات آزمایشگاهی

الف) مطالعات پتروگرافی

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

ب) تجزیه شیمیایی

پس از مطالعات پتروگرافی دقیق، تعداد ۶ نمونه از آگات‌های مورد مطالعه و ۳ 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 زمین‌شناسی دانشگاه تهران انجام شده است و در نهایت نمونه‌های آماده‌شده پس از شماره‌گذاری و بسته‌بندی به

آزمایشگاه ALS Chemix Company in Loughrea, Ireland جهت انجام آنالیز ژئوشیمی ICP-MS و ICP-AES فرستاده شد. نتایج حاصل از این آنالیزها در مطالعات ژئوشیمی آگات های رضا آباد و سنگ های آتشفشانی میزبان آنها مورد استفاده قرار گرفت.

ج) مطالعات ژئوشیمی ایزوتوپی

مطالعات ایزوتوپ پایدار اکسیژن جهت تعیین دما و منشأ تشکیل آگات های مورد مطالعه بر روی شش نمونه به رنگ های سیاه، سبز، سفید، خاکستری، قرمز و زرد انجام گرفته است. تجزیه و تحلیل ایزوتوپ اکسیژن با استفاده از روش واکنش با فلوئور بر روی آگات های پودر شده در آزمایشگاه ایزوتوپ پایدار دانشکده علوم زمین، دانشگاه Cape town آفریقای جنوبی انجام شده است. اکسیژن از راه فلوئوردار کردن با F_2 یا BrF_5 ، از سیلیکات ها و اکسیدها آزاد می شود و سپس برای اندازه گیری در طیف سنج جرمی در دمای بالا به CO_2 کاهیده می گردد. هنگامی که نسبت ایزوتوپ های اکسیژن در آب تعیین می شود، نمونه با مقدار کمی CO_2 ایجاد شده از مرحله قبلی به تعادل رسانده می شود و نسبت ایزوتوپ اکسیژن در CO_2 اندازه گیری می شود. نسبت $^{18}O/^{16}O$ در آب از ضریب تفکیک مشخص آب- CO_2 محاسبه می شود. در نهایت داده ها نسبت به یک استاندارد اندازه گیری و برحسب قسمت در هزار (‰) بیان شده اند.

فصل دوم

زمین شناسی عمومی و پتروگرافی

تشکیل و تمرکز کانسارها، بخصوص سنگ های قیمتی و نیمه قیمتی، وابستگی کامل به ترکیب پوسته زمین، ویژگیهای زمین ساختی، ماگمایی و دگرشکلی های عمده دارد. آنچه باید گفت این است که پیدایش ذخایر معدنی قانونمند بوده و پیدایش هیچ ذخیره معدنی را نمی توان تصادفی دانست. با در نظر گرفتن مراحل تکوین و تکامل هر سرزمین و ویژگیهای زمین شناسی هر ماده معدنی، می توان ادوار فلززایی و تشکیل مواد معدنی با ارزش را برای آن سرزمین مشخص نمود (اعتمادی، ۱۳۸۹).

ایران مرکزی یکی از واحدهای اصلی و عمده ای است که به شکل مثلثی در مرکز ایران قرار دارد و بزرگترین و پیچیده ترین واحد زمین شناسی ایران به حساب می آید. در این واحد، سنگ های پرکامبرین پستین تا کواترنر را می توان مشاهده کرد. از نظر زمانی و مکانی، فازهای گوناگون کوهزائی، ماگماتیسم و دگرگونی در ایران مرکزی رخ داده است. از آنجا که بیشتر فازهای کانی زایی ایران بر فازهای ماگمایی منطبق است به جرأت می توان گفت پتانسیل های مهم انواع و اقسام عقیق، انواع کوارتز و همچنین پتانسیل های مهم فیروزه، کریزوکلا، ملاکیت و آزوریت در ارتباط با دگرسانی سنگ های آندزیتی و داسیتی مرتبط با ماگماتیسم کالک آلکالن ترشیاری بوجود آمده اند (اعتمادی، ۱۳۸۹).

سیلیس های نیمه قیمتی که طیف وسیعی از کوارتزهای درشت بلور و رنگی (آمتیست، سیتزین، رز کوارتز و...) و سیلیس های آمورف (آپال، کلسدونی، آگات و ژاسپر) را شامل می شوند، در کمان های ماگمایی ترشیری (کمان های ارومیه - دختر، معلمان - خواف و البرز - آذربایجان) توزیع فراوانی دارند و قابل پی جویی هستند (اعتمادی، ۱۳۸۹). با توجه به وفور سنگ های کالک آلکالن از دوران ترشیاری و همراهی نزدیک این آگات ها با سنگ های مذکور می توان منابع عظیم آگات را از نواحی ذکر شده و دیگر مناطق دارای برونزدهای سنگ های آندزیتی-داسیتی مورد توجه قرار داد که تقریباً تمامی نواحی دارای چنین سنگ هایی واجد آگات و همچنین رگه های سیلیسی همراه زون های دگرسانی می باشند.

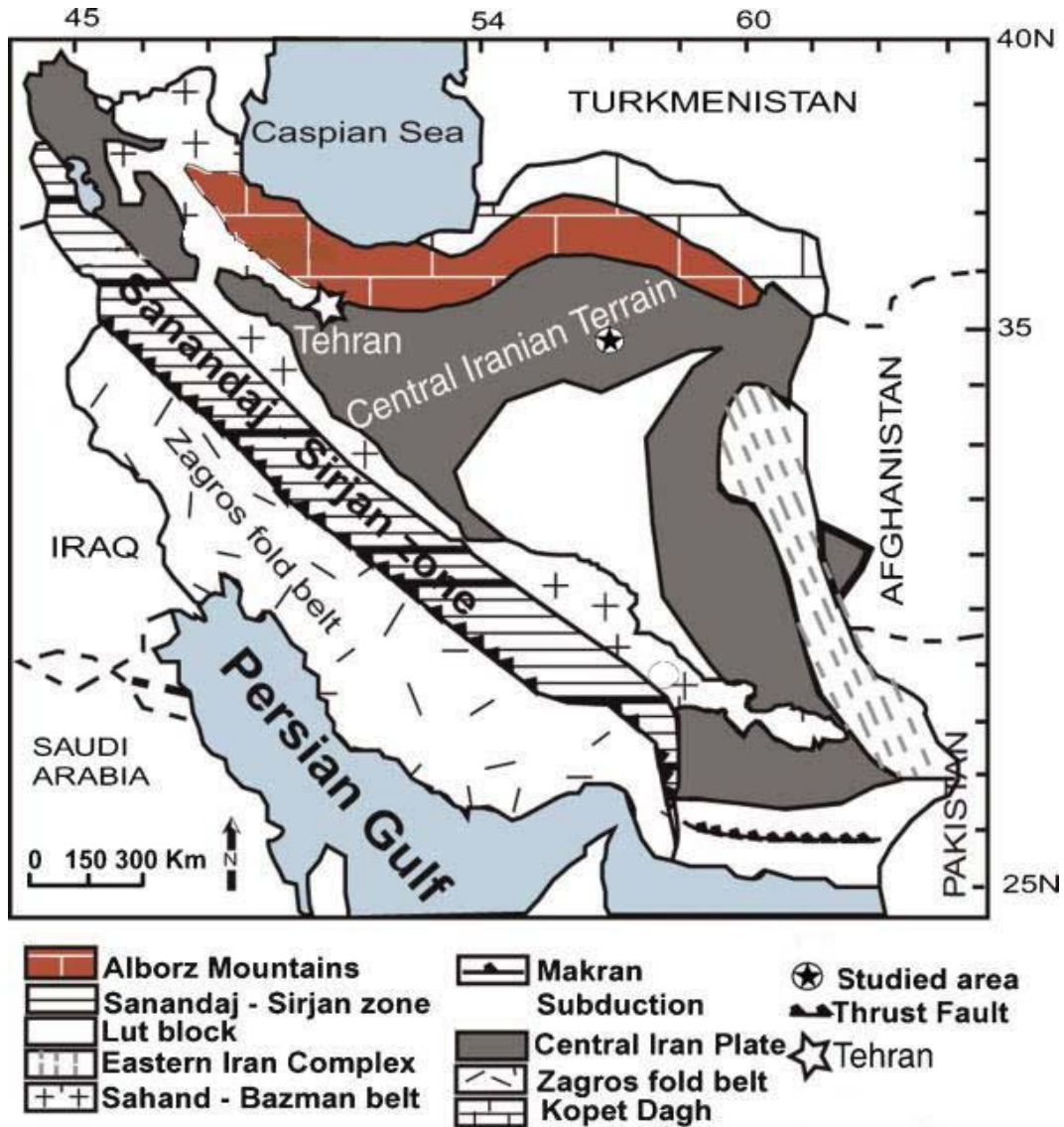
بیشترین ذخایر سیلیس نیمه قیمتی ایران مرکزی درون سنگ های آذرآواری و گدازه های ولکانیکی ائوسن تشکیل شده اند (اعتمادی، ۱۳۸۹). بسیاری از این ذخایر تا سالهای اخیر شناسایی نشده بودند، زیرا اغلب آنها در مناطق بیابانی قرار دارند که دسترسی به این مناطق سخت و طاقت فرسا است. با وجود پتانسیل های متعدد هنوز تحقیقاتی در مورد خاستگاه این ذخایر باارزش انجام نشده و از طرفی فعالیت های اکتشافی و استخراجی نیز به طور وسیع در این مناطق صورت نگرفته است.

کلید حل مسائل زمین شناسی در هر منطقه، بررسی صحرایی و یافتن شواهد کافی در روی زمین می باشد چرا که با پیشرفت تدریجی علم شاید بسیاری از فرضیه ها و تکنیک های 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. مطالعه شواهد صحرایی و روابط چینه شناسی بین واحدهای سنگی مختلف در هر منطقه، مهم ترین بخش از مطالعات تاریخچه زمین شناسی یک منطقه است. مطالعات صحرایی صحیح، پایه و اساس مطالعات میکروسکوپی و ژئوشیمیایی سنگهاست (قاسمی، ۱۳۹۴). در این فصل به بررسی زمین شناسی عمومی و واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه و همچنین خصوصیات پترولوژیکی آنها خواهیم پرداخت.

آگات های رضا آباد که مورد بحث این پایان نامه است، در فاصله ۱۵۰ کیلومتری جنوب شرق شاهرود و در بخش شمالی زون ساختاری ایران مرکزی واقع شده است (شکل ۲-۱). این منطقه در بخشی از نوار ماگمایی شمال ایران مرکزی قرار دارد که فعالیت های ماگمایی دوره ائوسن در آن صورت گرفته است. سنگ های همراه این آگات ها بیشتر شامل بازالت، آندزیت بازالت و سنگ های آذرآواری می باشند (شکل ۲-۲). این آگات ها در رگه هایی با ضخامت متفاوت از ۳ میلی متر تا ۳۰ سانتی متر تشکیل شده اند.

بازالت ها بیشترین گسترش را در منطقه دارند و فراوانی آگات ها بیشتر در این سنگ ها می باشد (شکل ۲-۳ و C). در بعضی مناطق واحدهای آتشفشانی در تناوب با آگلومراها می باشند که گسترش

فراوانی به خصوص در بخشهای شرق و جنوب شرقی منطقه دارند (شکل ۲-۳- b).

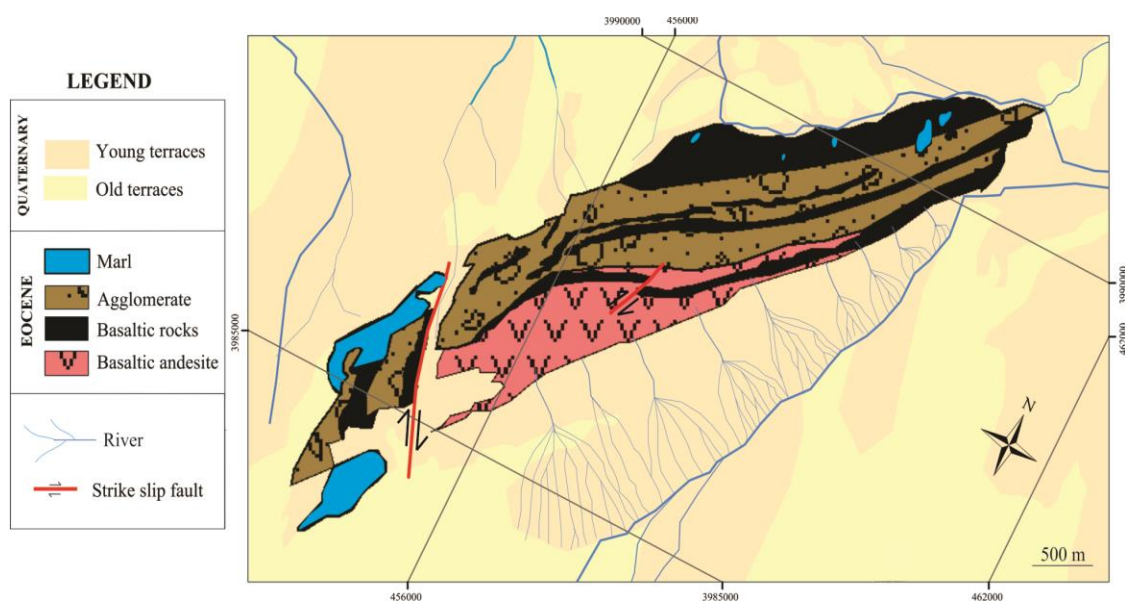


شکل ۲-۱- نقشه ساده شده‌ای از زون‌های ساختاری ایران و موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی آن (برگرفته از شهاب پور، ۱۹۹۴).

۲-۲- واحدهای سنگی منطقه و پتروگرافی

جهت بررسی رخنمون‌های سنگی منطقه سه مقطع عرضی مورد مطالعه و پیمایش قرار گرفته است و ویژگی‌های سنگ شناسی و پترولوژیکی آنها بررسی شده است. علاوه بر آن به بررسی رگه‌های آگات موجود در هر واحد سنگی پرداخته شده است. این آگات‌ها در شمال غرب روستای رضا آباد عمدتاً در

سنگ میزبان های آتشفشانی نظیر بازالت، آندزیت بازالت و آگلومراها و همچنین به طور گسترده در واحدهای مارنی ائوسن مشاهده می شوند (شکل ۲-۲). علی رغم اینکه شرایط تشکیل کانی های گروه کالسدونی و از جمله آگات یکسان است، تغییر شرایط محلی و موضعی باعث ایجاد رنگ، ساخت، بافت و ویژگی های متفاوت گوهرشناسی در آنها می شود.

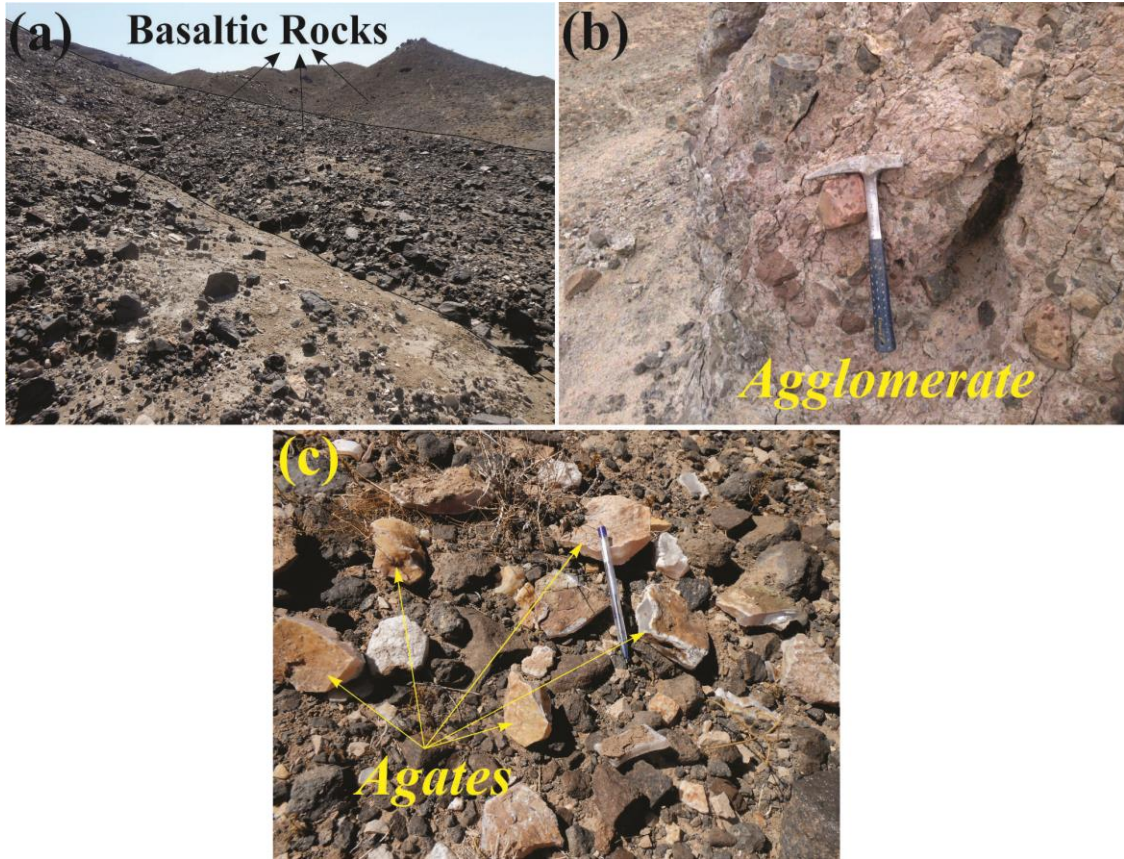


شکل ۲-۲: نقشه زمین شناسی ساده شده ی منطقه رضاآباد.

آگات ها عمدتاً به اشکال قلوه ای، رگه ای و رگچه ای یافت می شوند و معمولاً پرکننده حفرات سنگهای آتشفشانی هستند. ساختمان اکثر آگات های قلوه ای در ایران از خارج به طرف داخل شامل: پوسته، لایه کالسدونی شفاف و نوارهای کالسدونی بوده که توسط پوسته ای سبز رنگ (که غالباً از کلریت تشکیل شده است) پوشیده می شوند.

آگات (عقیق) از انواع کوارتز رشته ای با لایه های یک در میان کالسدون است. سنگ یمانی یا همان کالسدونی در صورتی که دارای لایه بندی باشد، آگات نامیده می شود. آگات ها در رنگ های بسیار متنوعی مثل زرد، سفید، آبی، سبزیمانی، سیاه، قرمز و... دیده می شوند که دارای نوارهای ظریف و موازی هم می باشند و اغلب به صورت منحنی و گاهی هم مرکز هستند. از انواع آگات ها می

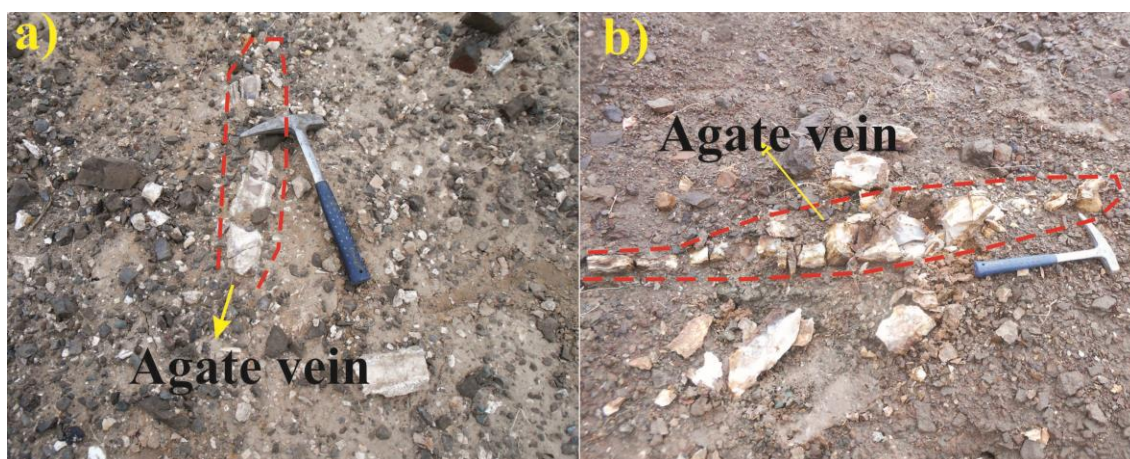
توان به آگات نواری (اونیکس)، آگات ابری و آگات خزه ای (Moss agate) اشاره نمود.



شکل ۲-۳-۱ (a) نمایی از سنگ های بازالتی منطقه مورد مطالعه. (b) آگلومراها که دارای تجمعی از قطعات بزرگ مواد آتشفشانی می باشند. (c) نمایی از آگات ها به همراه سنگ میزبان بازالتی آنها.

آگات های منطقه رضا آباد صرف نظر از دارا بودن تنوع رنگی و ظاهری زیبا عموماً فاقد لایه بندی بوده و کالسدونی نامیده می شوند. این آگات ها اغلب به صورت رگه ای در منطقه قابل مشاهده هستند که دارای ضخامت های متفاوتی از ۰/۵ سانتی متر تا ۳۰ سانتی متر می باشد (شکل ۲-۳-۱ a و b). رگه های آگاتی دارای امتداد شمال غرب- جنوب شرق و غربی- شرقی هستند که رگه هایی با جهت شمال غرب- جنوب شرق از ضخامت بیشتری برخوردار می باشند. آگات های منطقه رضا آباد وقتی برش داده می شوند رنگ های زیبایی از جمله قرمز، زرد، سبز، سیاه، قهوه ای، خاکستری و سفید از خود نشان می دهند که این تنوع رنگ و لایه بندی در بعضی نمونه ها باعث اهمیت بخشیدن

به این گوه‌های نیمه قیمتی در منطقه مورد مطالعه شده است. اگرچه آگات‌ها عمدتاً از سیلیس (SiO_2) تشکیل شده‌اند ولی تمامی آنها شبیه به هم نمی‌باشند که در این مورد ممکن است یک اتم توسط اتم دیگر، که همان ناخالصی‌ها می‌باشند، جایگزین شده و با جذب بعضی از طول موج‌های نور، سبب ایجاد رنگ شوند (ادریس^۱ و همکاران، ۲۰۱۲).



شکل ۲-۴-۲ (a) رگه‌ای از آگات به ضخامت تقریبی ۱۰ سانتی‌متر. (b) رگه‌ای از آگات به ضخامت ۵ سانتی‌متر در میان سنگ میزبان بازالتی منطقه.

واحدهای سنگی موجود در منطقه مورد مطالعه به شرح زیر می‌باشند.

۲-۲-۱- واحدهای آتشفشانی ائوسن

سنگ‌های آتشفشانی ائوسن شامل گدازه‌های بازالتی و آگلومراها می‌باشند. گدازه‌های بازالتی دارای ترکیب بازالت تا آندزیت بازالت هستند و بافت‌های پورفیری، گلومروپورفیری و هیالوپورفیری از ویژگی‌های بارز آنها می‌باشد.

با توجه به شواهد صحرایی سنگ‌های آتشفشانی منطقه را می‌توان به دو بخش عمده تقسیم کرد:

الف) افق‌های گدازه‌ای: بازالت و آندزیت بازالت

ب) افق‌های آذرآواری تا هیالوکلاستی به صورت آگلومرا و لیتیک توف

1- Idris

گدازه‌های بازالتی به صورت گسترده در این واحد رخنمون دارند و همراه با توف‌ها و آگلومراها مشاهده می‌شوند. این گدازه‌ها به رنگ سیاه و خاکستری متمایل به سبز دیده می‌شوند. فنوکریست‌های پلاژیوکلاز به خوبی در آن‌ها دیده شده و گاهی نیز فنوکریست‌های پیروکسن با رنگ تیره خودنمایی می‌کند.

الف) واحدهای بازالتی و آندزیت بازالتی ائوسن

سنگ بازالت، از گروه سنگ‌های آذرین است که حاصل فعالیت‌های آتشفشانی است و در ایران به وفور وجود دارد. بازالت سنگی متراکم و سخت است و فراوانترین سنگ آذرین بیرونی محسوب می‌شود. کم بودن میزان سیلیس باعث می‌شود تا ماگمای بازالتی گرانیروی کمی داشته باشد و به همین دلیل گدازه‌های بازالتی می‌توانند ده‌ها کیلومتر بر روی زمین حرکت کنند.

سنگ‌های بازالتی شمال غرب رضا آباد در صحرا دارای ظاهری خاکستری تا سیاه رنگ بوده و اغلب ریز بلور و همگن می‌باشند (شکل ۲-۵) و فراوانی آگات‌های سیاه در آنها بیشتر می‌باشد. این آگات‌های سیاه فاقد لایه بندی می‌باشند (شکل ۲-۶). علاوه بر آگات‌های سیاه، در میان سنگ میزبان‌های ولکانیکی منطقه آگات‌هایی با رنگ خاکستری نیز مشاهده می‌شوند که رگه‌هایی با ضخامت زیاد بیش از ۲۰ سانتی متر را تشکیل می‌دهند و معمولا نیمه شفاف تا کدر بوده و فاقد ادخال می‌باشند (شکل ۲-۷).

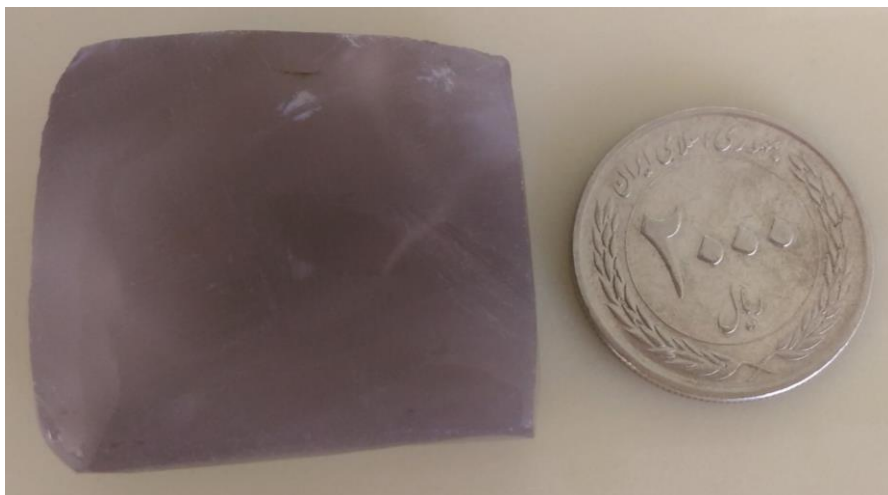
حدود هشت مقطع نازک از سنگ‌های آتشفشانی ائوسن منطقه جهت مطالعات پتروگرافی دقیق تر آماده شد و مورد بررسی قرار گرفت. سنگ‌های همراه این آگات‌ها بیشتر شامل سنگ‌های بازالتی با درصدهای متفاوتی از کانی‌های پیروکسن، پلاژیوکلاز و الیوین می‌باشند و براساس درصد کانی‌های تشکیل دهنده ی آنها به سه گروه بازالت، الیوین بازالت و آندزیت بازالت تقسیم بندی می‌شوند که بافت‌های پورفیری، هیالومیکرولیتیک پورفیری و گلومروپورفیری نشان می‌دهند (شکل ۲-۸، a,b,c).



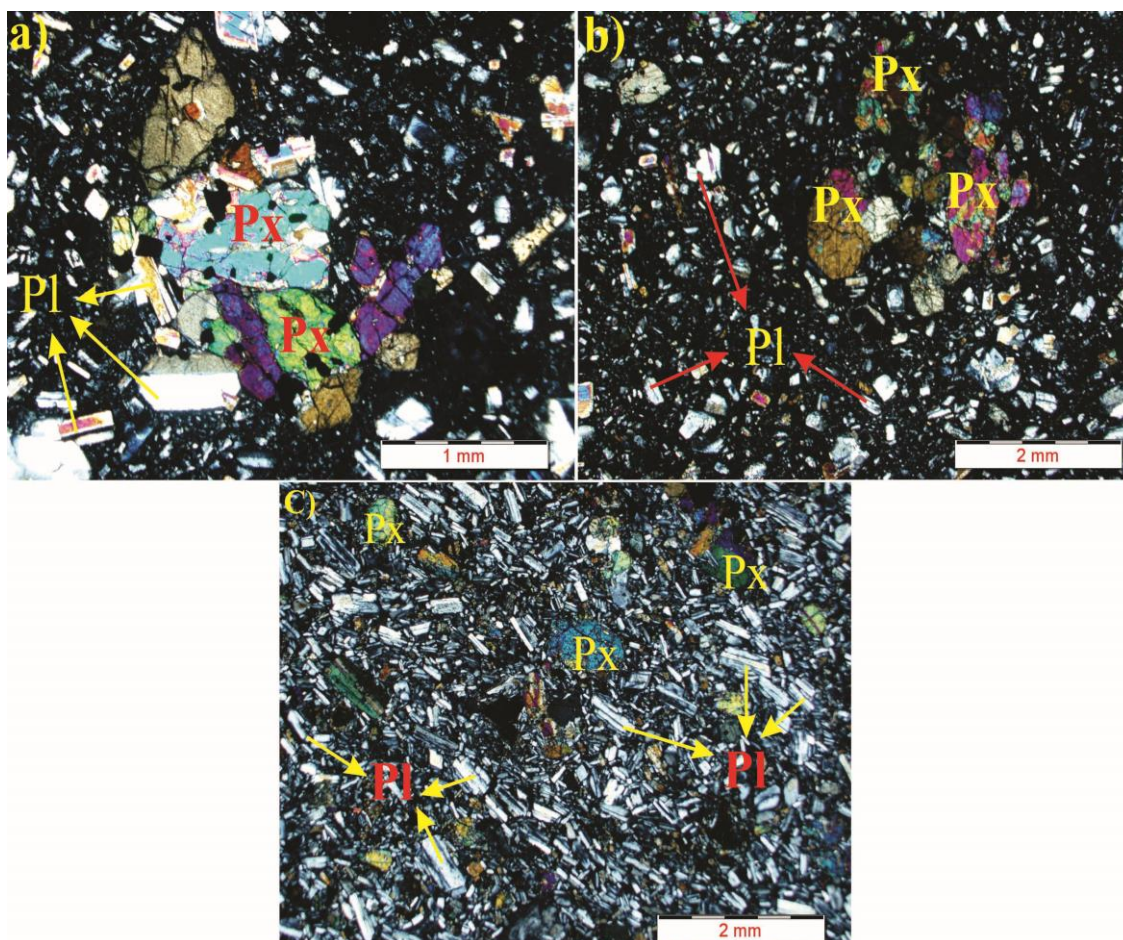
شکل ۲-۵- نمایی از بازالت های منطقه رضا آباد که دربرگیرنده ی آگات های سیاه و خاکستری می باشد.



شکل ۲-۶- تصویری از آگات سیاه صیقل خورده که از داخل سنگ میزبان های بازالتی منطقه جمع آوری شده است.

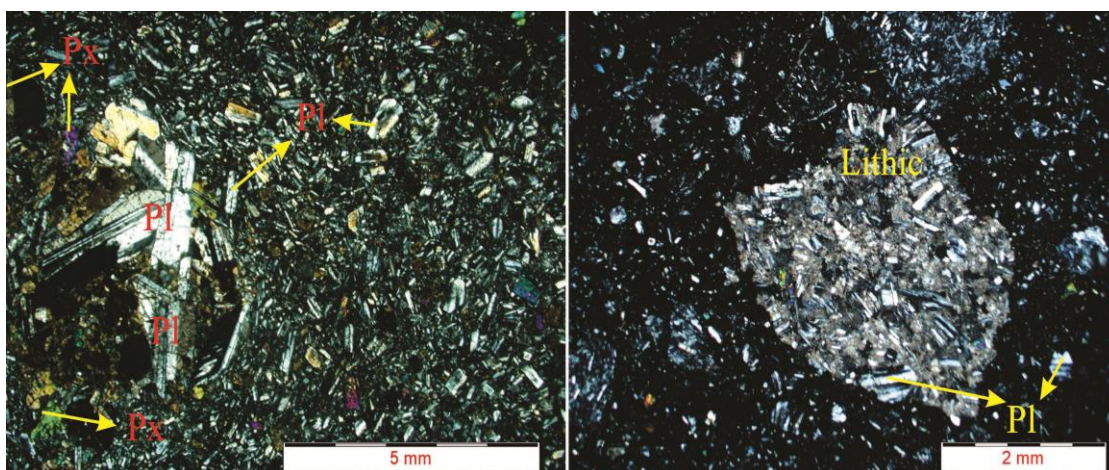


شکل ۲-۷: تصویری از آگات خاکستری صیقل خورده که از داخل سنگ های بازالتی جمع آوری شده است.



شکل ۲-۸- مقاطع میکروسکوپی از بازالت های منطقه رضآباد با درصدهای مختلفی از کانی های پلاژیوکلاز و پیروکسن با بافت گلمروپورفیری و هیالومیکرولیتیک پورفیری. بلورهای درشت پیروکسن کنار یکدیگر که توسط اجتماعی از بلورهای بسیار ریزدانه تر که تحت عنوان زمینه شناخته می شوند احاطه شده اند (a و b). تجمعی از بلورهای پیروکسن و پلاژیوکلاز با بافت هیالومیکرولیتیک پورفیری (c). Px: پیروکسن، Pl: پلاژیوکلاز.

ماگمای سازنده این بازالت ها دارای گرانروی پایین و دمای زیاد بوده است. کانی‌های اصلی آن‌ها را درشت بلورهای کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز شامل می‌شوند، به علاوه این کانی‌ها به صورت ریز بلور در زمینه سنگ نیز مشاهده می‌شوند. پلاژیوکلازها کاملاً شکل دار و زیبا و از نظر اندازه کوچک، متوسط و بزرگ با بافت سری ایت می‌باشد (شکل ۲-۹، a) (ویتنام کراس^۱، ۱۹۰۶). لیتیک توف از دیگر انواع سنگ های میزبان منطقه می باشد که دارای گسترش خیلی کم بوده و شامل مقدار زیادی از خرده سنگ های دارای پلاژیوکلاز، پیروکسن و کوارتز می باشد (شکل ۲-۹، b).



شکل ۲-۹ (a) مقطع نازکی از بازالت با بافت سری ایت. بلورهای پلاژیوکلاز در اندازه های کوچک، متوسط و درشت قابل مشاهده هستند. (b) تصویر میکروسکوپی لیتیک توف در منطقه مورد مطالعه که شامل تجمعی از خرده سنگ های پلاژیوکلازدار می باشد.

کانی الیوین همراه با کانی‌های اوپک به دلیل فراوانی اندک از کانی‌های کمیاب سنگ‌های بازالتی محسوب می‌شوند. الیوین‌ها اغلب ایدنگزیتی شده‌اند. کانی‌های اوپک موجود در بازالت‌ها شامل مگنتیت و تیتانومگنتیت می‌باشند. کانی‌های ثانویه موجود در سنگ های بازالتی غالباً شامل زئولیت و کلسیت هستند که حفرات موجود در آنها را پر کرده و به تشکیل بافت آمیگدالوئیدال منجر شده‌اند. مطالعات سنگ‌نگاری دقیق بر روی مقاطع نازک میکروسکوپی تهیه شده از نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهند که این سنگ‌ها دارای بافت‌های میکرولیتی پورفیری، گلمروپورفیری و هیالوپورفیری

1- Whitman Cross

هستند. گسیخته شدن لخته‌ها، انباشته‌های ماگمایی موجود در کف (الیوین‌ها و پیروکسن‌ها) و یا سقف (پلاژیوکلازها) آشیانه‌ها و دیواره‌های متبلور آشیانه‌های ماگمایی از سازوکارهای ارائه شده برای تشکیل بافت گلومروپورفیری هستند (بست^۱، ۲۰۰۳). درشت بلورهای کلینوپیروکسن به صورت شکل دار تا نیمه شکل دار مشاهده می‌شوند و براساس ویژگی‌های نوری به ویژه زاویه خاموشی دارای ترکیب اوزیتی هستند. نبود ارتوپیروکسن و حاشیه واکنشی در پیرامون الیوین‌ها، بیانگر ماهیت قلیایی ماگمای سازنده بازالت‌های منطقه است (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۲). تجمع درشت بلورهای کلینوپیروکسن به همراه دیگر کانی‌ها و به ویژه پلاژیوکلاز، به تشکیل بافت گلومروپورفیری در این سنگ‌ها انجامیده است. بافت گلومروپورفیری نیز بیانگر مراحل مختلف تحول ماگما در مسیر بالآمدگی در آشیانه‌های ماگمایی مختلف است (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۴).

نحوه ایجاد بافت‌های پورفیری بدین گونه است که ماگما در اعماق زمین آهسته شروع به تبلور می‌نماید، در این شرایط بلورهای درشت (فنوکریست‌ها) رشد می‌کنند و سپس قبل از انجماد کامل ممکن است ماگما به سطح زمین فوران نماید در نتیجه مایعات باقیمانده به سرعت متبلور شده و تشکیل زمینه دانه ریز را می‌دهند و یا اینکه بلافاصله منجمد شده و زمینه شیشه‌ای را بوجود می‌آورد (سپاهی، ۱۳۸۱). طبق نظر ژو^۲ و همکاران (۲۰۰۹)، بافت گلومروپورفیری نتیجه تجمع فنوکریست‌هاست و شامل سه مرحله می‌باشد. مرحله اول: در طی جایگزینی ماگمای اولیه در مخزن ماگمایی و در مراحل اولیه تبلور، فنوکریست‌ها حاصل می‌شوند. مرحله دوم: تزریق تصادفی مذاب به درون ماگمای در حال تبلور موجود در مخزن ماگمایی، به اختلاط مذاب‌ها منجر می‌شود. کاهش چگالی و گرانیوی مذاب دربردارنده فنوکریست‌ها، باعث تجمع فنوکریست‌های چگال‌تر به صورت انباشتی^۳ در کف مخزن ماگمایی می‌شود. مرحله سوم: تزریق ماگمای چگال‌تر با حرکت سریع به سمت بالا، سبب آشفته شدن مخزن، انتقال مذاب و افزایش فشار درون مخزن ماگمایی می‌گردد.

1- Best

2- Xu

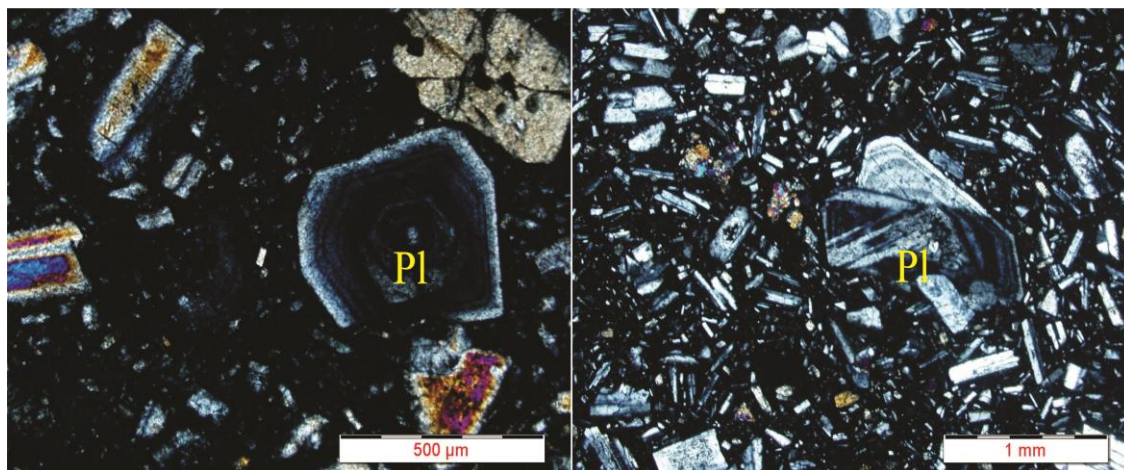
3- Cumulate

افزایش فشار وارده بر مذاب باعث شکسته شدن تجمعات بلوری زودرس موجود در کف مخزن ماگمایی عمیق شده و باعث انتقال آنها به درون مخزن ماگمایی کم عمق تر می شود. در این زمان، کاهش فشار باعث ایجاد نیروی کششی برای فنوکریست‌های انباشتی شده و جوشش و احتمالاً انفجار مذاب مذکور را در پی دارد. در اثر تزریق و انتقال مذاب، تنش برشی بین بلورهای انباشتی و مذاب ایجاد می شود. نیروهای کششی و تنش برشی، منجر به شکسته شدن بلورهای انباشتی و تولید اجتماعات گلومروپورفیری می شوند (جمشیدی، ۱۳۸۹).

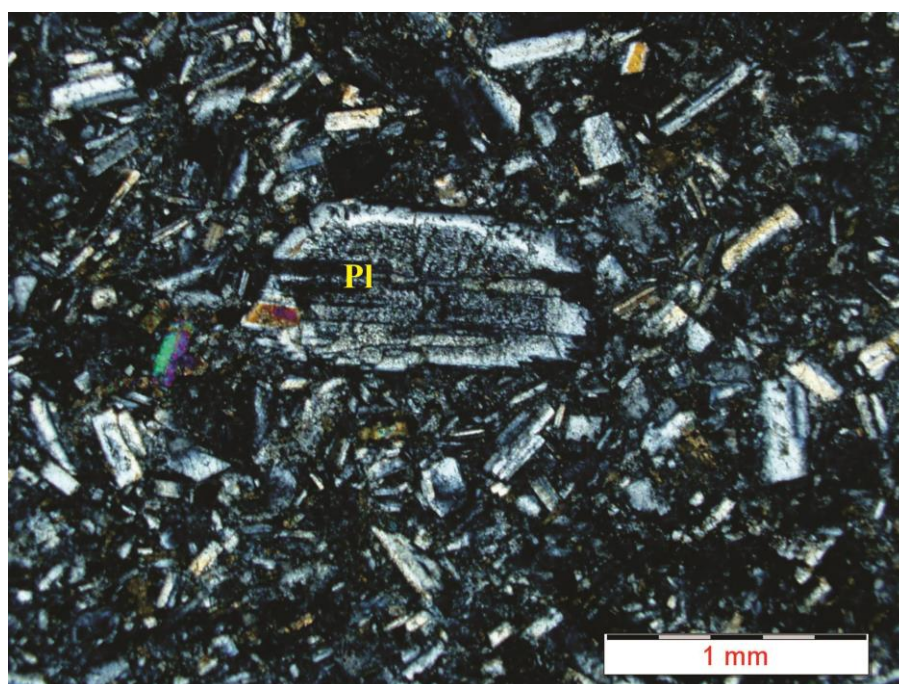
پلاژیوکلازها فراوانترین کانی موجود در بازالت‌های منطقه هستند. پلاژیوکلازها، بیشتر به صورت شکل دار تا نیمه شکل دار و با ماکل آلبیتی، به دو صورت درشت بلور و میکروولیت، در زمینه این سنگ ها حضور دارند. اگرچه حضور آب مانعی در جهت پایداری پلاژیوکلازهاست (ریگتر و روزاس الگورا^۱، ۲۰۰۱)، ولی فراوانی قابل توجه پلاژیوکلازها به صورت درشت بلور و میکروولیت، به همراه نبود بلورهای آمفیبول در سنگ های منطقه، نشان از تبلور این سنگ ها از یک ماگمای بازالتی خشک و فقیر از آب را دارد. در واقع، دو نسل پلاژیوکلاز را می توان در سنگ های منطقه تشخیص داد و علت تشکیل این دو نسل، در ارتباط با دوره های متفاوت سرد شدن ماگماست. به طوری که درشت بلورها می توانند به علت وجود یک مرحله سرد شدن آرام و طولانی مدت و توقف ماگما در یک آشیانه ماگمایی ایجاد شده باشند، ولی میکروولیت ها در خلال بالآمدگی پایانی و جایگیری ماگما در سطح زمین، تشکیل شده اند. بیشتر پلاژیوکلازها دارای بافت غربالی و منطقه بندی هستند (شکل ۲-۱۰ و ۲-۱۱). سازوکار تشکیل بافت غربالی در پلاژیوکلازها نیز همانند کلینوپیروکسن هاست و می تواند به دلیل تغییر ترکیب ماگمای در حال تبلور بر اثر ورود ماگمای داغ و تازه به درون مخزن ماگمایی، افزایش دما به دلیل ورود ماگمای داغ و یا انتقال بلورها از مناطق کم دما به مناطق داغ مخزن به دلیل بروز جریان های همرفتی، کاهش فشار لیتواستاتیک بر اثر بالا آمدن ماگما و یا افزایش فشار بخار آب

1- Righter and Rosas-Elguera

در هنگام بالآمدگی ماگما ایجاد شود (گیل^۱، ۲۰۱۰).



شکل ۲-۱۰- منطقه بندی در پلاژیوکلازهای موجود در سنگ میزبان های بازالتی منطقه (xpl).

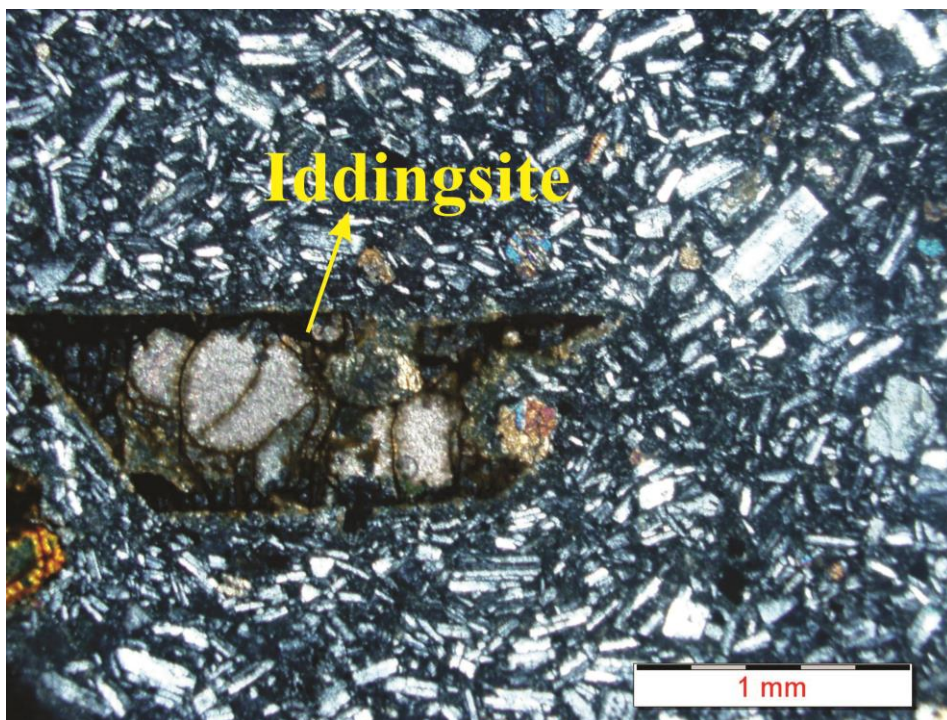


شکل ۲-۱۱- تصویر میکروسکوپی از یک فنوکریست پلاژیوکلاز با بافت غربالی (xpl).

از دیگر واحدهای منطقه الیوین بازالت ها می باشند که در آنها میزان درشت بلور های الیوین به بیش

2- Gill

از ۵ درصد می رسد، ولی در بازالت ها، از ۵ درصد کمتر است. البته، این سنگ ها در صحرا، واحد های جداگانه و مشخصی را تشکیل نمی دهند و در هر روانه گدازه، معمولاً بخش های زیرین تا میانی بیشتر از نوع الیوین بازالت و بخش های تفریق یافته تر بالای از نوع بازالت معمولی هستند. کانی های اصلی تشکیل دهنده الیوین بازالت ها را الیوین، پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن می سازند. بافت غالب آن ها پورفیری می باشد، الیوین به صورت ایدنگزیتی شده وجود دارد و بلورهای نیمه خودشکل تا خودشکل الیوین توسط اکسیدهای آهن جانشین شده اند (شکل ۲-۱۲). وجود چنین حالتی نشان دهنده غنی بودن الیوین از آهن می باشد. الیوین بازالت ها از نظر پتروگرافی دارای بافت های پورفیری، گلومروپورفیری و میکروولیتیک پورفیری هستند.



شکل ۲-۱۲- تصویری از ایدنگزیتی شدن یک فنوکریست الیوین (xpl).

الیوین

این کانی در نمونه های مورد مطالعه به صورت درشت بلور بوده و دگرسانی ایدنگزیتی را نشان می دهد.

به اعتقاد دیر^۱ و همکاران (۱۹۹۱)، فرآیند ایدنگزیتی شدن یک تغییر و تبدیل پیوسته در ساختمان الیوین و یا پیروکسن است که در حالت جامد روی می‌دهد و طی آن ورود اتم‌های هیدروژن به درون ساختمان الیوین و اتصال آن‌ها به اتم‌های اکسیژن موجب آزاد شدن کاتیون‌های Mg، Fe⁺² و Si شده و در عوض کاتیون‌های Fe⁺³، Al و Ca وارد شبکه شده و جانشین آن‌ها می‌گردند و نشان دهنده خروج Si و Mg و افزایش مقادیر Fe⁺³ و Al در طی تبدیل الیوین به ایدنگزیت می‌باشند.

پلاژیوکلاز

داشتن ماکل پلی سنتتیک، برجستگی و بیرفرنژانس پایین از مشخصات مهم پلاژیوکلازهاست. منطقه بندی که نشان دهنده عدم تعادل و یکسان نبودن شرایط فیزیکی و شیمیایی در زمان تبلور ماگماست، در پلاژیوکلازها به خصوص در شرایط آتشفشانی فراوان دیده می‌شود. در الیوین بازالت‌ها نیز تجمعات فنوکریست‌های پلاژیوکلاز بافت گلومروپورفیری نشان می‌دهد. بلورهای درشت تا متوسط پلاژیوکلاز به دو صورت سالم و یا غربالی و منطقه بندی دیده می‌شوند. برخی فنوکریست‌های پلاژیوکلاز دارای ادخال‌هایی از کلینوپیروکسن می‌باشند که نشان دهنده تبلور زودتر کلینوپیروکسن بوده است.

کلینوپیروکسن (اوژیت)

کلینوپیروکسن از دیگر کانی‌های موجود در نمونه‌های بازالتی و الیوین بازالتی منطقه است، براساس زاویه خاموشی که حدود ۳۸ درجه می‌باشد از نوع اوژیت می‌باشند. تجمعات پیروکسن بافت گلومروپورفیری را تشکیل می‌دهند. در کلینوپیروکسن‌ها سازوکار تشکیل بافت غربالی به دلیل تغییر ترکیب ماگمای در حال تبلور بر اثر ورود ماگمای داغ و به داخل آشیانه ماگمایی، افزایش دما در اثر ورود ماگمای داغ و یا انتقال بلورها از مناطق کم‌دما به مناطق داغ آشیانه به علت بروز جریان‌های همرفتی و کاهش فشار لیتواستاتیک بر اثر بالا آمدن ماگما و یا افزایش فشار بخار آب در هنگام صعود ماگما صورت می‌گیرد (گیل، ۲۰۱۰).

در بخش شرقی منطقه تناوبی از سنگ‌های آندزیت بازالتی با گسترش محدود را هم می‌توان

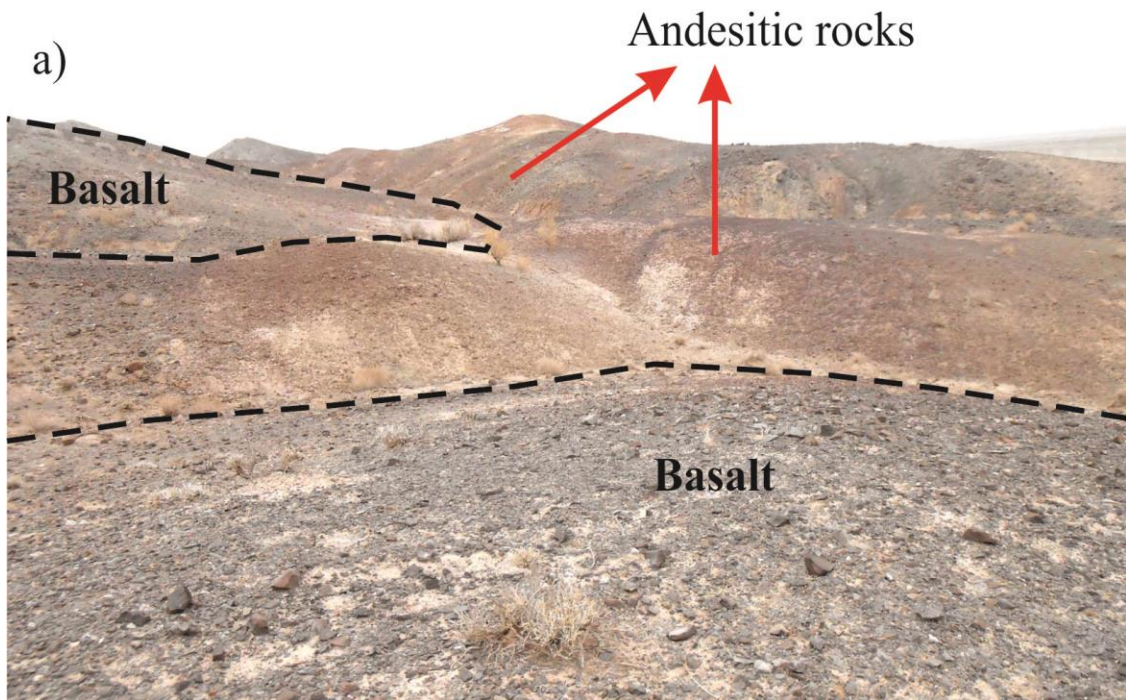
1- Deer

مشاهده کرد که بعد از واحدهای بازالتی مشاهده شده اند و دربرگیرنده آگات هایی به رنگ زرد می باشند (شکل ۲-۱۳ a). آگات های زرد در منطقه معمولاً به شکل رگه هایی با ضخامت کم (۲ سانتی متر) مشاهده می شوند (شکل ۲-۱۳ b) که در بعضی نقاط در ارتباط با آگات های سفید، سیاه و قرمز می باشند (شکل ۲-۱۴). آگات های زرد منطقه دارای رنگ زرد عسلی و شفاف تا نیمه شفاف بوده و عموماً خالص و فاقد ادخال قابل مشاهده با چشم می باشند. وجود فنوکریستهای پلاژیوکلاز، پیروکسن و گاه الیوین در خمیره‌ای غنی از پلاژیوکلاز از مشخصات بارز آندزیت های منطقه می باشد (شکل ۲-۱۵).

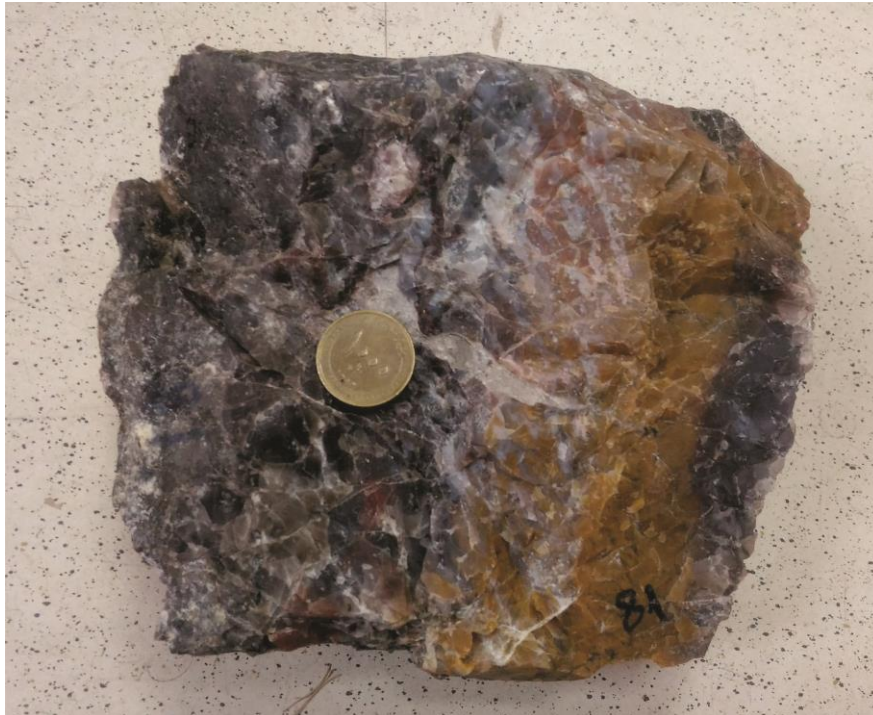
ب) آگلومرا

این واحد سنگی با گسترش فراوان به خصوص در بخش های شرقی، جنوب و جنوب غربی منطقه به چشم می خورد و دارای روند شمال شرق - جنوب غرب و به موازات بازالت ها می باشد (شکل ۲-۲). در اثر تماس گدازه های بازالتی با آب تحت شرایطی که اختلاف درجه حرارت بین آنها زیاد است و فشار حاکم بر محیط نیز بسیار کم می باشد، این گدازه ها به شدت خرد و قطعه قطعه شده و سپس روی هم تجمع پیدا کرده اند. اندازه قطعات واحدهای آگلومرای منطقه متنوع بوده و قطعات غالباً زاویه دار با ابعاد چند میلی متر تا چند سانتیمتر می باشند (شکل ۲-۱۶). گاهی اندازه قطعات ریز می باشد که وجود قطعات ریز نشان دهنده ی خردشدگی شدید در هنگام فوران آتشفشانی است. جورشدگی آنها ضعیف تا متوسط و گردشدگی ضعیف (نیمه گرد تا زاویه دار) دارند. زمینه دربرگیرنده قطعه ها رسی (گاهی توفی - ماسه ای) می باشد. نهشته های آگلومرای در منطقه به رنگ خاکستری تیره تا صورتی دیده می شوند که با خمیره ای از خاکستر مایل به قهوه ای به هم متصل شده اند (شکل ۲-۱۶). واحدهای آگلومرای به صورت ضخیم لایه (۱۰۰-۳۰۰ متر) در منطقه برونزد دارند و در زیر واحدهای مارنی کرم رنگ واقع شده اند. آگلومراها عموماً دربرگیرنده ی آگات های قهوه ای می باشند که این دسته از آگات ها بدون لایه بندی بوده و ادخال قابل مشاهده با چشم غیر مسلح در آنها

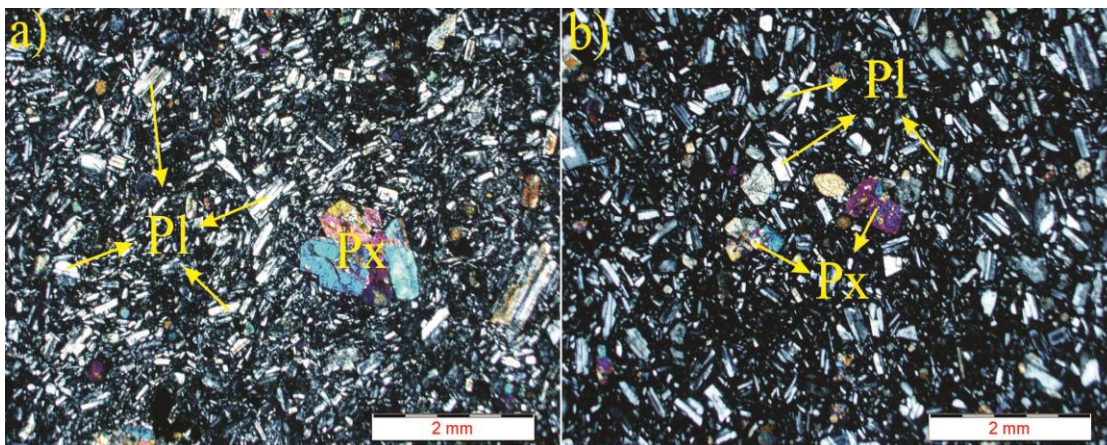
دیده نمی شود (شکل ۲-۱۷).



شکل ۲-۱۳-ا) نمایی از سنگ های آندزیتی منطقه مورد مطالعه. (ب) نمونه ای از آگات زرد مشاهده شده در سنگ میزبان های آندزیتی.



شکل ۲-۱۴- نمونه ای از آگات زرد رنگ که به صورت لایه ای با آگات های سفید، قهوه ای و سیاه می باشد.



شکل ۲-۱۵: تصاویر میکروسکوپی از سنگ های آندزیتی منطقه رضا آباد با درصد زیادی از کانیهای پلاژیوکلاز. بافت هیالومیکرولیتیک پورفیری (a) و هیالوپورفیری (b).

۲-۲-۲- واحدهای رسوبی پالتوژن

این واحدها، افق‌هایی با ماهیت رسوبی به صورت ماسه سنگ، گچ، ژئپس و مارن های ائوسن هستند که بیشتر نشانگر دوره‌های آرامش فعالیت آتشفشانی می باشند. در منطقه رضا آباد توالی الیگومیوسن شامل سنگ‌هایی از قبیل ماسه سنگ، توف ماسه سنگی، توف شیلی و مارن می باشند.

- واحدهای رسوبی ائوسن

این واحد شامل مارن‌های قرمز تا کرم رنگ هستند که از نظر چینه‌شناسی در بخش‌های بالایی توالی آتشفشانی - آذرآواری منطقه رضاآباد یافت می‌شوند و در زیر بحث شده‌اند.



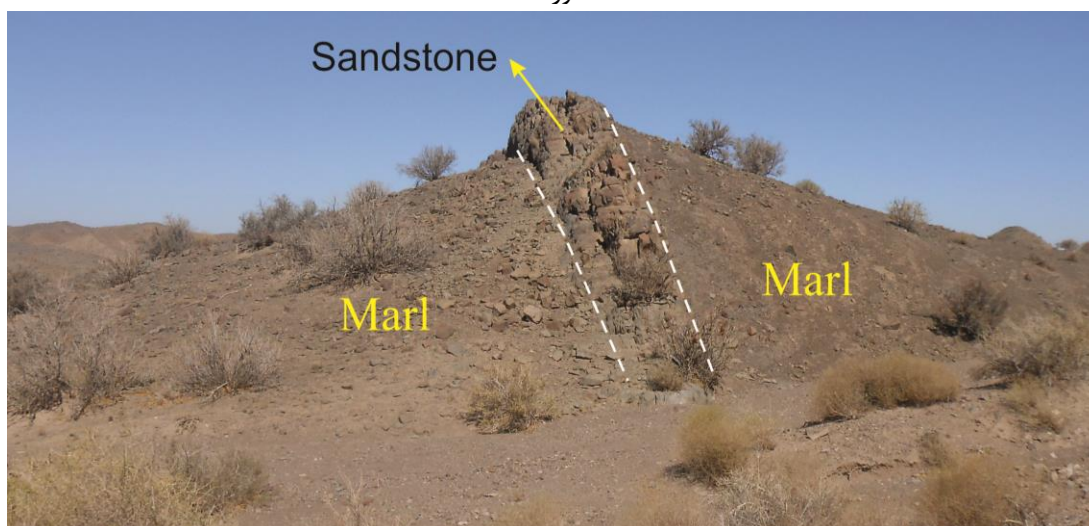
شکل ۲-۱۶- نمایی از آگلومراهای موجود در منطقه با قطعات زاویه دار با ابعاد چند میلی متر تا چند سانتیمتر که دارای گسترش زیادی در منطقه می‌باشند.

الف) واحد مارن قرمز رنگ با میان لایه های ماسه سنگی

ضخامت این واحد حدود ۱۵۰-۲۰۰ متر می‌باشد. شیب این واحد نیز بطور متوسط حدود ۸۰ درجه به سمت جنوب شرق می‌باشد. این واحد سنگی بعلت قابلیت فرسایش پذیری زیاد دارای آبراهه‌های متعددی با الگوی شاخه درختی می‌باشد (شکل ۲-۲). رسوبات مارنی قرمز رنگ دارای میان لایه‌هایی از ماسه سنگ می‌باشند که نشانگر کاهش و افزایش عمق حوضه رسوب گذاری در طی ته‌نشینی آنهاست (شکل ۲-۱۸). این ماسه سنگ‌ها گاه‌گاه دارای ضخامت حدود یک متر می‌باشند.



شکل ۲-۱۷: نمونه ی دستی از آگات قهوه ای صیقل خورده که در میان واحدهای آگلومرایبی منطقه به چشم می خورند.



شکل ۲-۱۸: نمایی از مارن های ائوسن در تناوب با لایه ی ماسه سنگی قرمز به ضخامت یک متر. جهت دید عکس به سمت جنوب می باشد.

این واحد مارنی به طور عمده در جنوب و جنوب غربی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ داورزن رخنمون دارد و برونزد کوچکتری در شکست بند زینب دیده می شود که شامل مارن کرم رنگ، شیل و ماسه سنگ قرمز است و در اثر فرسایش به صورت تپه ماهورهایی کم ارتفاع دیده می شود. فسیل مشخصی در این واحد دیده نشده و سن ائوسن را می توان با احتیاط برای آن پیشنهاد کرد. در این واحدهای سنگی به طور عمده آگات های قرمز به چشم می خورند که نیمه شفاف بوده و فاقد لایه بندی می باشند (شکل ۲-۱۹).



شکل ۲-۱۹: تصویری از آگات قرمز رنگ صیقل خورده که از درون مارن های قرمز رنگ ائوسن منطقه جمع آوری شده است.

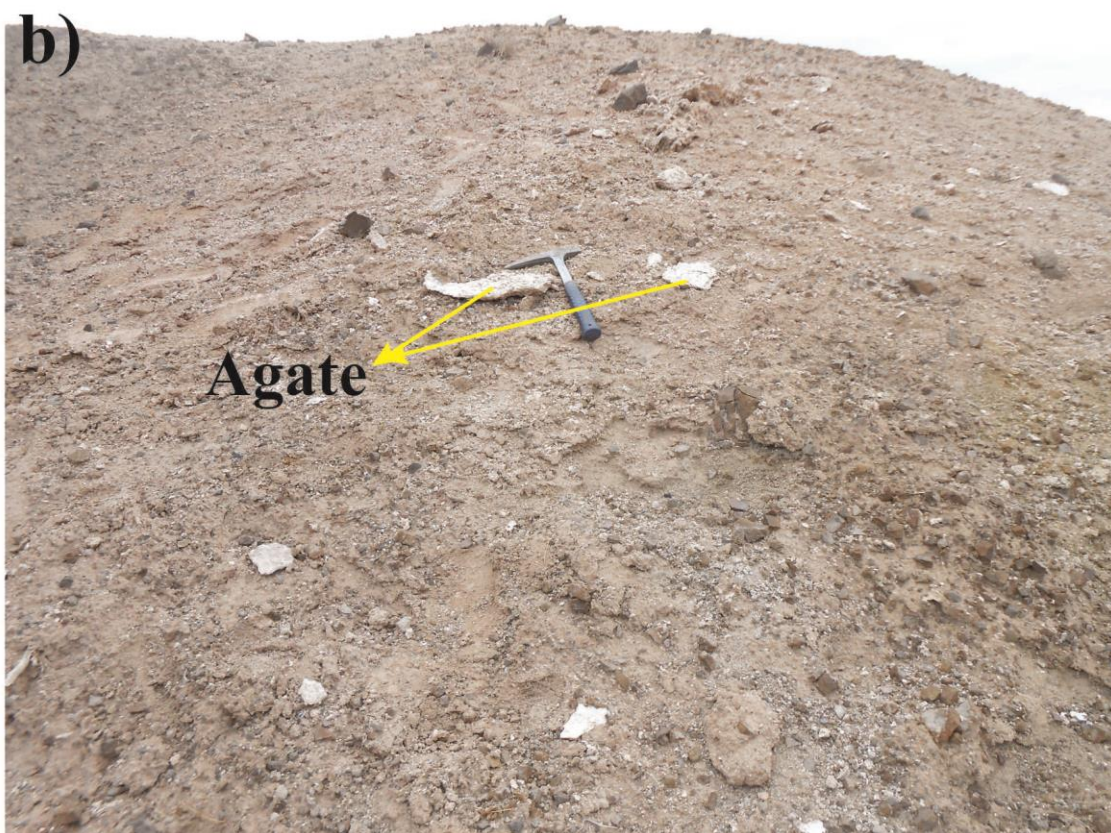
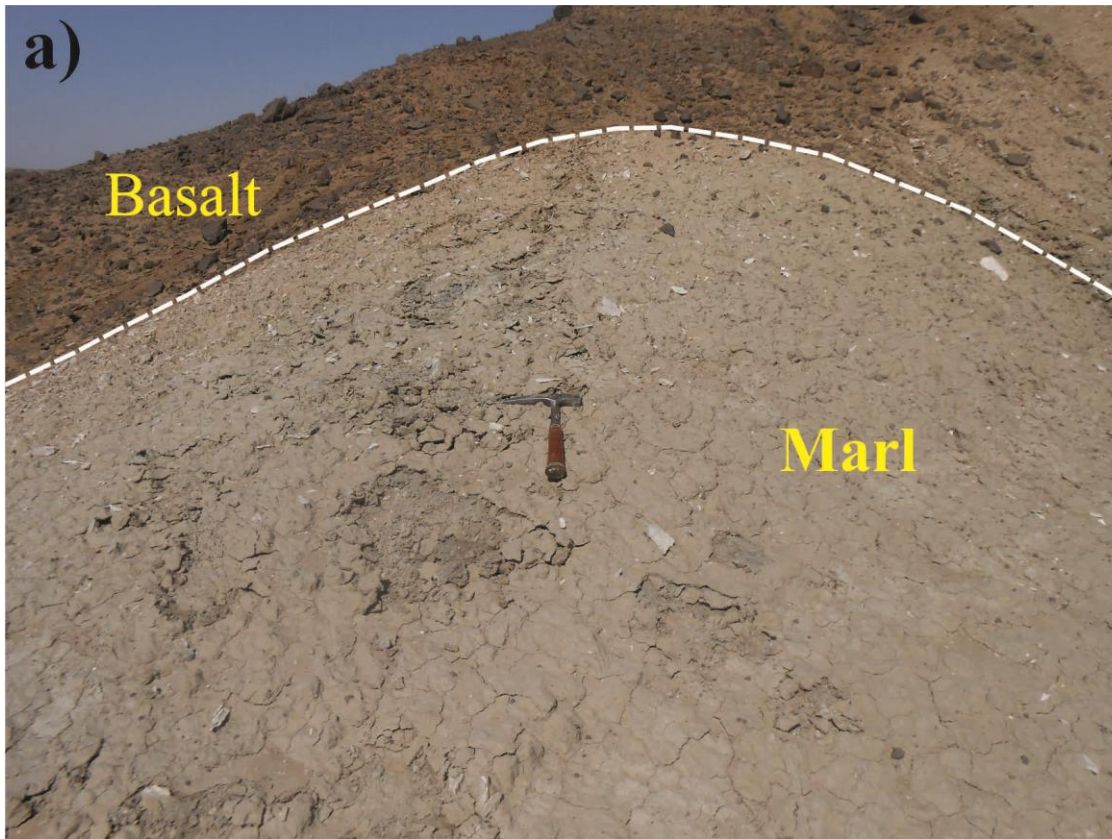
ب) مارن ماسه ای کرم رنگ

این واحد شامل مارن های کرم تا لیمویی است که تپه ماهورهای کم ارتفاعی را در بخش هایی از شمال غربی و جنوب غربی منطقه تشکیل داده و در بعضی جاها در بالای سنگ های بازالتی مشاهده می شوند (شکل ۲-۲۰ a و b).

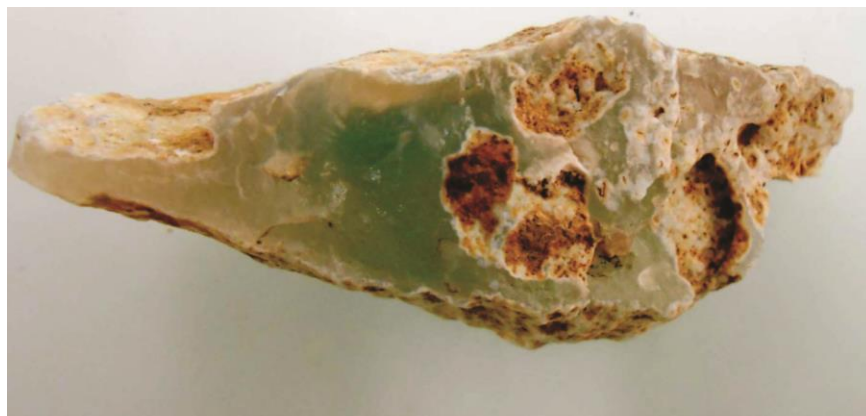
در داخل این مارن ها آگات های سبز رنگ مشاهده می شوند که این آگات ها معمولا شفاف تا نیمه شفاف بوده و در بعضی نمونه ها دارای ادخال می باشند (شکل ۲-۲۱). در بخش های جنوبی منطقه مارن ها به همراه لایه هایی از ژیبس نیز مشاهده شده اند که دربرگیرنده آگات هایی به رنگ سفید و شفاف می باشند. این آگات ها معمولا دارای لایه بندی زیبا بوده و رگه هایی با ضخامت متغیر حدود ۳ سانتی متر تا بیش از ۲۰ سانتی متر را تشکیل می دهند (شکل ۲-۲۲).

۲-۲-۳- واحدهای رسوبی کواترنری

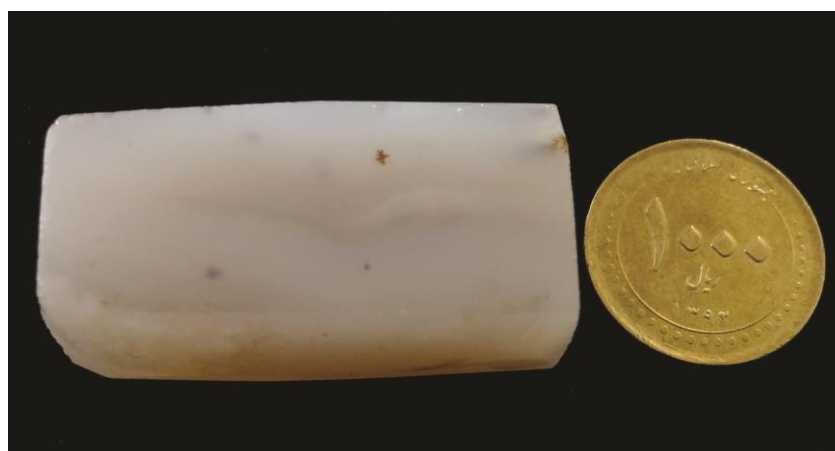
این واحد عمدتاً در مسیر رودها و آبراهه های اصلی توزیع و بیانگر بستر رودها، مسیل ها و آبراهه ها می باشد. این واحد اغلب بصورت مخروط افکنه، تراس های آبرفتی و آبراهه ای دیده می شود. رسوبات آبرفتی رودخانه ای، جوانترین واحدهای زمین شناسی منطقه محسوب می شوند (شکل ۲-۲۳).



شکل ۲-۲۰: کنتاكت واحد مارنی و بازالتی ائوسن در منطقه مورد مطالعه. این مارن ها بر روی بازالت ها واقع شده اند (a). نمایی از تپه های مارنی کرم رنگ حاوی لایه های ژپیس مشاهده شده در جنوب منطقه.



شکل ۲-۲۱- نمونه ای از آگات های سبز موجود در واحدهای مارنی کرم رنگ منطقه مورد مطالعه.



شکل ۲-۲۲- نمونه ای از آگات سفید رنگ صیقل خورده که از درون واحد مارنی کرم رنگ منطقه جمع آوری شده است.



شکل ۲-۲۳- نمایی از تراس های آبرفتی موجود در منطقه ی رضاآباد.

الف) پادگانه‌ها و نهشته‌های آواری کم ارتفاع جوان

این انباشته‌ها به طور معمول در سطوح مختلف توپوگرافی ولی در ترازهای پست تری آشکار می‌شوند. انباشته‌های یاد شده شامل نهشته‌های مخروطه افکنه‌ای و ته نشست‌های سخت نشده قلوه دار است. ستبرای این واحد متغیر و گاه تا چند متر می‌رسد (شکل ۲-۲۴).

ب) تپه‌های ماسه‌ای شمشیری شکل

در بخش‌هایی از جنوب تا جنوب شرقی منطقه تپه‌هایی ماسه‌ای و جوان یافت می‌شوند که از دیدگاه زمین ریخت شناسی به شکل شمشیری می‌باشند (شکل ۲-۲۵). بر پایه جهت پیدایش تپه‌ها و ریپل مارک‌های ایجاد شده می‌توان مسیر حرکت باد را مشخص کرد (شمال- شمال شرقی، جنوب- جنوب غربی). بررسی اندازه‌ی دانه‌ها نشان می‌دهد که تپه‌های ماسه‌ای جوان و عهد حاضر ریزدانه و دارای جورشدگی بهتری هستند. ماسه‌های مربوط به تپه‌های ماسه‌ای جوان احتمالاً از رسوبات و سنگ‌های قدیمی تر سرچشمه گرفته‌اند.



شکل ۲-۲۴- تصاویری از پادگانه های آبرفتی جوان برگرفته از تصویر ماهواره ای Google Earth.

ج) پهنه های رسی - نمکی

انباشته های این واحد با گسترشی کمتر در بخش های جنوبی منطقه جای دارند و دربرگیرنده ی سفره های رسی همراه با سفره های نمکی روی آنها هستند (شکل ۲-۲۶).



شکل ۲-۲۵- تصویری از تپه های ماسه ای شمشیری شکل مشاهده شده در منطقه رضآباد. ریپل مارک های ایجاد شده جهت وزش باد را نشان می دهد که به سمت جنوب غرب می باشد.

(د) پهنه های رسی مرطوب فصلی

این پهنه ها دربرگیرنده ی گستره های رسی نم دار و مسطح است. بخش های سطحی آنها در مواردی پف کرده و ترک های چند وجهی را ایجاد کرده است که توسط کانال های فراوان بریده شده است.



شکل ۲-۲۶- تصویری از پهنه های نمکی مشاهده شده در قسمت جنوبی منطقه (تهیه شده از Google Earth).

۲-۳- زمین شناسی ساختمانی

در منطقه رضا آباد، شکستگیها به دو گروه اصلی و فرعی تقسیم می‌شوند. دسته نخست گسل‌های راندگی با روند همگانی شمال غرب- جنوب شرقی‌اند، که بیشترین تأثیر بر ریخت شناسی منطقه را داشته‌اند. گروه دوم گسل‌های امتداد لغز با روندهای شمالی- جنوبی و شمال شرقی - جنوب غرب هستند (شکل ۲-۲۷). محور چین‌ها دارای روند شرقی- غربی یا شرقی- جنوب شرقی و غربی- شمال غربی می‌باشد که عموماً نامتقارن هستند و با گسلش از نوع تراستی در یال جنوبی همراه می‌باشند. روند گسل‌های منطقه موازی گسل‌های پی سنگی ایران می‌باشد. منطقه مورد مطالعه در محدوده شمال شرقی پهنه ساختاری ایران مرکزی جای گرفته است. در شمال شرقی ایران مرکزی، روند همگانی شمال غربی- جنوب شرقی برونزدهایی از سنگ‌های افیولیتی مربوط به نئوتیس، رخساره‌های متنوع آذرآواری و گدازه‌های ائوسن و انواعی از سنگ‌های نیمه عمیق را در بر گرفته است. در بخش‌های میانی از شمال ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ داورزن، سنگ‌های گدازه‌ای و آذرآواری ائوسن، برونزدهای رسوبی ائوسن- لیگوسن و نئوزن و در جنوب غربی رخساره‌های رسوبی و آذرآواری نئوزن با روند همگانی شمال شرقی- جنوب غربی جلوه‌گر شده‌اند.



شکل ۲-۲۷- تصویری ماهواره‌ای از گسل امتداد لغز با روند شمال شرقی- جنوب غربی.

۲-۴- زمین‌شناسی اقتصادی و پتانسیل معدنی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل اقتصادی بسیار ضعیفی است و کانه‌زایی ترکیبات مس‌دار به صورت نشانه‌هایی از مالاکیت و آزوریت همراه سنگ‌های آتشفشانی تخریبی و آتشفشانی رسوبی ائوسن دیده می‌شود. همچنین در اطراف آن‌ها آثار سرباره مشاهده می‌شود که نشان از بهره‌برداری قدیمی در این محل می‌باشد. در شمال غرب روستای رضاآباد اندیس معدنی ضعیفی از منگنز همراه سنگ‌های نئوپروتروزوئیک رخنمون دارد که فقط چند ترانسه اکتشافی بر روی آن اجرا شده‌است. شواهد موجود بیانگر آن است که این اندیس فاقد ارزش اقتصادی و بهره‌وری می‌باشد. در معدن مرمیت رضاآباد، واقع در شمال روستای رضاآباد، شواهدی از معدنکاری به صورت استخراج چند بلوک سنگی مشاهده می‌شود. این معدن در حال حاضر متروکه می‌باشد و استخراجی از آن صورت نمی‌گیرد.

فصل سوم

رنگ آمیزی و بهبود کیفیت آفات

اهمیت و نقش کانی ها و سنگ های قیمتی و نیمه قیمتی در زندگی انسان ها بر کسی پوشیده نیست. استفاده های زینتی، دارویی، جادوگری و تولید سلاح همگی از موارد استفاده این گونه کانی ها و سنگها به شمار می رود. تجارت سنگ ها و کانی های قیمتی، پس از تجارت اسلحه و مواد مخدر، پرسودترین تجارت دنیا محسوب می شود (ادیب، ۱۳۷۴). شواهد تاریخی نشانگر آن است که گوهرشناسی نزد ایرانیان از منزلت والایی برخوردار بوده است و دانشمندانی مثل ابوریحان بیرونی، ابوعلی سینا، خواجه نصیرالدین طوسی و دیگران دارای تألیفات متعددی در این زمینه بوده اند (ادیب، ۱۳۷۴). اگرچه وفور نسبتاً زیاد معادن سنگ های قیمتی مثل فیروزه و عقیق، باعث رونق این تجارت در گذشته های دور بوده است، ولی امروزه فقط در مناطق محدودی مثل مشهد این صنعت به فعالیت خود ادامه می دهد.

واژه آگات (عقیق) از اسم رودخانه‌ای به همین نام در شبه جزیره سیسیل مشتق شده است. احتمالاً از بستر این رودخانه در ایام قدیم قلوه سنگ‌های عقیق به دست می آمده است. عقیق یا آگات از سنگ‌های نیمه قیمتی است که به رنگ‌های سفید تا خاکستری تیره و سیاه، زرد تا قرمز، سبز و آبی روشن است و در میان جواهرات درجه دوم سنگی مشهور است. بهترین آن سرخ، زرد و سفید است. گونه‌ای از آن که ذرات فراوان میکا دارد و براق است دلربا نامیده می‌شود. ویژگی عقیق ریزدانه بودن آن و روشنی رنگش است. عقیق نیمه شفاف، مات و دارای جلای شیشه‌ای است. در کشورهای چین، هندوستان، ماداگاسکار، مکزیک و نقاط مختلف آمریکا معادن مهم عقیق وجود دارد. از زمان‌های بسیار دور عقیق رنگ می‌شده است، از سه هزار سال پیش مصری‌ها از عقیق‌های تراش داده شده برای ساختن مهره، نگین انگشتری و تزیین ظروف استفاده می‌کردند. سنگ‌هایی وجود دارد که به سبب شباهت ساختاری و فیزیکی در تجارت، آن‌ها را جزء خانواده عقیق محسوب می‌کنند، مانند عقیق سلیمانی یا چشمی (باباقوری)، شجری، عقیق خزه ای (ابطحی، ۱۳۸۶).

برخی از کانی های نیمه قیمتی به دلیل مطلوب نبودن رنگ، ارزش گوهری پایینی دارند که می توان با رنگ آمیزی ارزش اقتصادی آنها را افزود. عموماً رنگ آمیزی کانی ها و سنگ های نیمه قیمتی به یکی از سه روش زیر صورت می پذیرد (هارلبوت و کامرلینگ^۱، ۱۹۹۱).

۱. حرارت دادن

۲. استفاده از اشعه رادیواکتیو

۳. استفاده از محلول های شیمیایی

حرارت دادن: از مدت ها قبل مشخص شده بود که حرارت دادن رنگ بعضی از گوهرها را تغییر داده و یا بی رنگ می کند. در استفاده از این روش تنها تعداد کمی از گوهرها به طور مطلوب عمل می کنند و کیفیت رنگ بعضی از آنها نیز کاهش می یابد. گوهرهایی که این روش در آنها بسیار مؤثر است، عبارتند از زیرکن، کوارتز، بریل، توپاز و زویزیت (تانزانیت) (کورنلیس و هارلبوت^۲، ۱۹۹۳). عامل اصلی در تغییر رنگ گوهرها در این روش مربوط به توزیع مجدد مولفه های رنگ ساز در آنهاست (بائر^۳، ۱۹۹۷).

استفاده از اشعه رادیواکتیو: این روش یکی از روش های جدید می باشد که در قرن بیستم توسعه یافته است. اشعه رادیواکتیو در بسیاری از گوهرها رنگ مطلوبی به وجود می آورد، اما تنها در موارد بسیار کمی این تغییر رنگ دائمی می باشد. منابع مختلف رادیواکتیو عبارتند از: پرتوهای ایکس، ذرات آلفای حاصل از یک شتاب دهنده نوترون های حاصل از پیل های اتمی و پرتوهای گامای حاصل از کبالت^{۶۰}. این روش مؤثرترین روش در بهبود رنگ الماس، توپاز، آمیتیست و کوارتز است (کورنلیس و هارلبوت، ۱۹۹۳).

استفاده از محلول های شیمیایی: یکی از روش های قدیمی ایجاد رنگ در گوهر، رنگ کردن آن با یک ماده رنگی مناسب است. از آنجا که گوهر باید به اندازه ای متخلخل باشد که به محلول رنگ

1- Hurlbut & Kamerling
2- Cornelis & Hurlbut
3-Bauer

دهنده اجازه نفوذ دهد، لذا این روش را می توان برای تعداد بسیار کمی از گوهرها بکار برد. روش استفاده از محلول های شیمیایی بیشتر برای رنگ آمیزی کلسدونی، یشم و فیروزه کاربرد دارد (کورنلیس و هارلیوت، ۱۹۹۳). با توجه به اینکه این روش برای رنگ آمیزی عقیق ها روش مناسبی می باشد، لذا در این فصل به چگونگی رنگ آمیزی عقیق های منطقه مورد مطالعه توسط این روش می پردازیم.

۳-۲- بهسازی

بهسازی به معنای هر عملی است که موجب افزایش زیبایی از لحاظ رنگ، شفافیت و یا مقاومت یک گوهر شود. تشخیص گوهر بهسازی شده از نمونه بهسازی نشده و تعیین نوع بهسازی انجام شده بخشی از شناسایی یک گوهر محسوب می شود.

بهسازی می تواند موجب افزایش و یا کاهش قیمت گوهرسنگ ها شود. چنانچه بهسازی موجب زیباشدن یک گوهر شود قیمت آن را افزایش می دهد؛ از سویی دیگر عدم بهسازی به خودی خود ارزشمند است. به عنوان مثال دو قطعه یاقوت سرخ مشابه از لحاظ شفافیت، رنگ، اندازه و تراش چنانچه یکی رنگ آن در اثر بهسازی حرارتی ایجاد شده باشد و دیگری طبیعی باشد، قیمت نمونه طبیعی ۱۰ تا ۲۰ درصد در هر قیراط بیشتر از نمونه بهسازی شده است. از طرفی برخی از روش های بهسازی دائمی نبوده و اثر آن در طول زمان از بین می رود و نگهداری این گونه گوهرها نیازمند شرایط خاصی می باشند.

فرآوری سنگهای قیمتی و فروش آنها به بهایی بالاتر به سالهای بسیار دور باز می گردد. در میان جواهرات یافت شده در مقبره King Tat در حدود ۱۳۰۰ سال قبل از میلاد مسیح سنگ کارنالینی یافت شده است که به روش حرارتی بهسازی شده است. پلینی بزرگ (بوستاک^۱، ۱۸۵۵) در کتاب خود به نام تاریخ طبیعی روش های روغن زدن و رنگ کردن سنگ ها را بیان کرده است. دانشمند و

1- Bostock

محقق ایتالیایی کامیلوس لئوناردوس^۱ (۱۵۰۲) نیز روش هایی برای تشخیص سنگهای بهسازی شده ارائه نموده است.

انواع روشهای بهسازی عبارتند از (ولدون، ۲۰۱۶):

-حرارت دهی (heating)

-پرتوافکنی (irradiating)

-پوشاندن سطح سنگ با روغن (waxing)

-رنگ کردن (dyeing)

-رنگ بری (bleaching)

-اشباع سازی (impregnation)

-پر کردن سنگ با روغن (oiling)

-پر کردن (filling)

-سوراخ کردن با لیزر (laser drilling)

-دیفیوژن (Diffusion)

-پوشاندن سطح سنگ (coating)

۳-۳- روش انجام آزمایش و آماده سازی نمونه ها

جذب رنگ در انواع عقیق متفاوت بوده و به خلل و فرج و محتوای آب در هر یک از لایه ها بستگی دارد. در حین انجام آزمایشات متوجه شدیم که لایه های سفید رنگ، از بلورهای کوارتز به هم فشرده تشکیل شده است و رنگ را به خوبی جذب نمی کند و یا مقدار جذب آن بسیار کم است. این لایه ها به سختی برش می خورند و آنها را لایه های سخت نامیدیم در حالیکه لایه هایی که رنگ را به آسانی جذب می کنند به لایه های نرم نامگذاری شدند. رنگ آمیزی نمونه ها بدون برش دادن آنها کمی

1- Camillus Leonardus

مشکل می باشد زیرا مشاهده فرایند رنگ آمیزی و عمق نفوذ رنگ را با مشکل مواجه می سازد. لذا در ابتدا نمونه ها در اندازه ها و ضخامت های مختلف با دستگاه برش گوهر برش داده می شوند. اگرچه همه انواع برش از جمله قطعات کوچک با ضخامت زیاد، کابوچن و یا حالت ورقه ای (slab) می تواند رنگ شود اما شکل ورقه ای ترجیح داده می شود خصوصا اگر کابوچن و یا اشکال دلخواه دیگر فرم نهایی نمونه مورد نظر ما باشد. بنابراین بهتر است ابتدا نمونه ها به شکل ورقه ای برش داده شده، رنگ شوند و در پایان بر حسب نیاز به اشکال مختلف درایند.

از جمله اساسی ترین امکاناتی که جهت رنگ آمیزی آگات های منطقه مورد نیاز می باشد عبارتند از: ظروف شیشه ای در اندازه های مختلف جهت تهیه محلول های مورد نیاز و غوطه ور کردن نمونه ها در آن، اوون با قابلیت تنظیم دماهای مختلف، یک دستگاه اولتراسونیک جهت شست و شو و پاکسازی نمونه ها از ذرات گرد و غبار و یک هیتر جهت گرم کردن و تهیه محلول های مورد نیاز. مهم ترین امر در آماده سازی آگات ها جهت رنگ آمیزی تمیز بودن آنها می باشد. ذرات گرد و غبار، مواد روغنی و یا هر چیزی که می تواند در رنگ آمیزی تأثیر بگذارد، باید به طور کامل از بین برود. برای این منظور ابتدا نمونه ها توسط مواد شوینده معمولی شسته شده و سپس جهت از بین بردن ذرات گرد و غبار و اجزای جامد باقی مانده در درز و شکاف ها در دستگاه اولتراسونیک قرار داده می شوند. بعد از اینکه نمونه ها به طور کامل شسته شده اند جهت خشک کردن در درون اوون در حرارت پایین قرار داده می شوند. بعد از شسته شدن و خشک کردن، نمونه ها جهت رنگ آمیزی آماده می باشند. به منظور انجام این آزمایش بهتر است از ظروف شیشه ای شفاف استفاده شود زیرا به دلیل خورنده بودن بعضی از این مواد و واکنش دادن آنها با ظروف دیگر (فلزی و غیره) و جهت مشاهده فرایند رنگ آمیزی این ظروف مناسب تر می باشند.

۳-۴- رنگ کردن (Dyeing)

رنگ کردن، وارد کردن رنگ به درون گوهرهای متخلخل یا شکسته به منظور تغییر رنگ آنها می

باشد. چنین تخلخل‌هایی بعضی وقت‌ها از طریق حرارت دادن گوه‌های غیرمتخلخل در آن‌ها ایجاد می‌شود تا رنگ را جذب کنند.

عقیق یا آگات گوهرسنگی است که به دلیل متخلخل بودن، به طور گسترده جهت رنگ آمیزی استفاده می‌شود. گوهرشناسان از طیف گسترده‌ای از روش‌ها برای تغییر رنگ سنگ برای هزاران سال استفاده کرده‌اند. در کتاب تاریخ طبیعی پلینی (۱۸۵۵) توضیح داده شده بود که چگونه گوهرشناسان قدیم از روش جوشاندن سنگ در عسل جهت تغییر رنگ استفاده کرده‌اند. رنگ آمیزی و بسیاری از روش‌های دیگر از جمله حرارت دادن و پرتوافکنی جهت تغییر رنگ بسیاری از سنگ‌ها استفاده شده است. رنگ آمیزی مصنوعی گوهرها جهت مطلوب ساختن آنها نزد مشتری از گذشته‌های دور مرسوم بوده است. متأسفانه سهم ایران در این عرصه در جهان حدود ۰/۰۲ درصد می‌باشد (خواجه بیدختی، ۱۳۸۸) که این میزان در برابر تقاضای روزانه مردم نسبت به یک گوهرسنگ مطلوب و مورد پسند، بسیار ناچیز می‌باشد.

عقیق‌های منطقه رضا آباد در رنگ‌های سفید، سبز، سیاه، قهوه‌ای، زرد، قرمز و خاکستری مشاهده می‌شوند. اگرچه این نمونه‌ها از زیبایی و جذابیت خاص خود برخوردارند، ولی بیشتر آنها در رنگ‌های سفید و بی‌رنگ می‌باشند که چندان مورد پسند مردم نمی‌باشد. لذا با انجام این تحقیق سعی شده است که با رنگ آمیزی این آگات‌ها به رنگ‌هایی که بیشتر مورد پسند مشتری می‌باشد، نسبت به بالابردن ارزش اقتصادی آن اقدام شود. در مناطقی در نزدیکی منطقه مورد مطالعه نیز معادن عقیقی وجود دارد که بیشتر نمونه‌های آن صرف نظر از دارا بودن لایه بندی و ظاهری زیبا، بی‌رنگ هستند و بازار فروش خوبی ندارند. بنابراین نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند نقش مهمی در جهت رشد و رونق اقتصادی این علم در کشور ایفا کند.

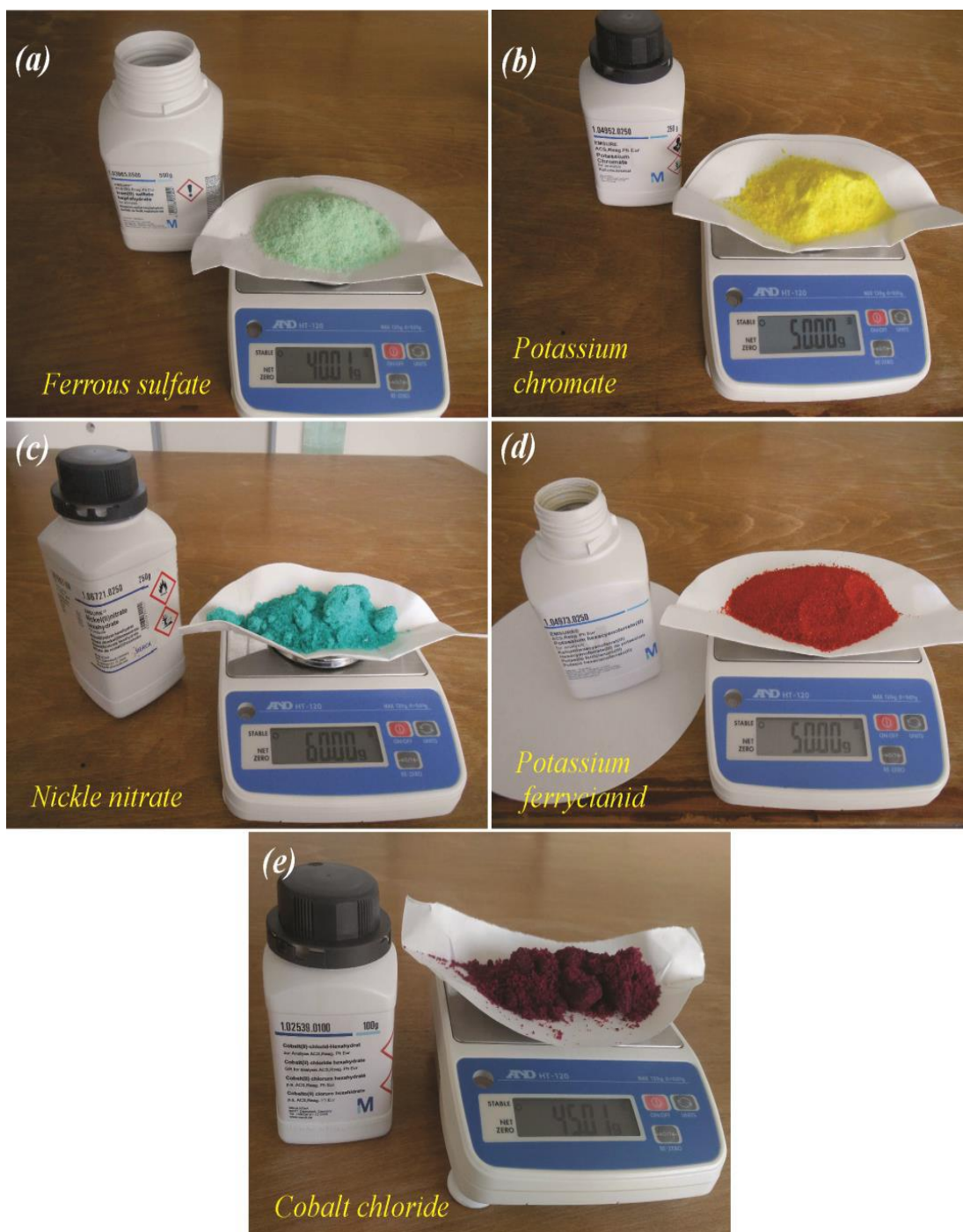
جهت بهسازی عقیق‌های منطقه رضا آباد از روش رنگ آمیزی با به کارگیری محلول‌های شیمیایی استفاده شده است. از آنجا که گوهر باید به اندازه‌ای متخلخل باشد که به محلول رنگ دهنده اجازه نفوذ دهد، لذا این روش را برای تعداد کمی از گوهرها نظیر کلسدونی، یشم و فیروزه به

کار می برند (کورنلیس و هارلبوت، ۱۹۹۳). با توجه به اینکه این روش برای رنگ آمیزی عقیق ها روش مناسبی می باشد، بنابراین در زیر به چگونگی رنگ آمیزی آنها توسط این روش می پردازیم. در این مطالعه آگات های سفید و بی رنگ با استفاده از چند ماده شیمیایی از جمله مایع غلیظی از مخلوط شکر و آب، اسید سولفوریک، کبالت هگزا کلراید، نیکل نترات هگزا هیدرات، پتاسیم کرومات، پتاسیم فری سیانید و سولفات آهن به رنگ های مختلفی در آمده اند (شکل ۳-۱). در ادامه به چگونگی انجام آزمایش توسط هر یک از این مواد و مراحل انجام آن پرداخته می شود.

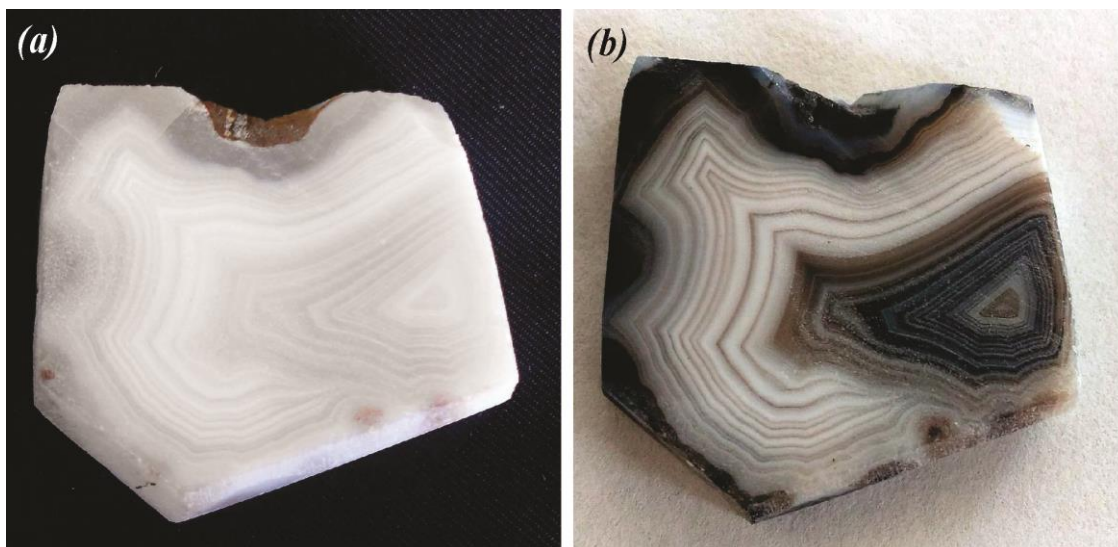
۳-۴-۱- محلول شکر - آب، اسید سولفوریک (H_2SO_4)

هدف استفاده از این مواد تغییر رنگ آگات های سفید به رنگ سیاه می باشد. این یک آزمایش دو مرحله ای می باشد. ابتدا ۲۰۰ گرم از شکر داخل ۰/۵ لیتر آب اضافه می شود، ظرف مورد نظر در یک دمای ملایم روی هیتر قرار داده شده تا شکر به خوبی حل شود و در نهایت محلول غلیظی شبیه عسل به دست آید. سپس نمونه ها در محلول حاصل غوطه ور شده و به مدت دو هفته در دمای اتاق قرار داده می شوند. بعد از مدت دو هفته از غوطه ور شدن نمونه ها در محلول غلیظ آب و شکر، نمونه ها از ظرف خارج شده و در محلول غلیظ سولفوریک اسید قرار داده می شوند. برای این منظور باید حتما از ظروف شیشه ای استفاده شود؛ زیرا ظروف فلزی با اسید واکنش داده و خطرناک می باشند. با توجه به قوی بودن سولفوریک اسید باید با احتیاط کامل با آن برخورد کرد و در تمام مراحل انجام این آزمایش حتما از دستکش و ماسک استفاده شود و آزمایش نیز زیر هود با مکش قوی انجام شود. همچنین نمونه ها با دقت باید در آن قرار داده شود تا از پریدن قطرات اسید به اطراف جلوگیری شود. بهتر است در این مرحله از عینک های مخصوص انجام کارهای آزمایشگاهی نیز استفاده شود. بعد از این مرحله مخلوط حاصل به آرامی روی هیتر در دمای $75^{\circ}C$ حرارت داده می شود تا وقتی که رنگ نمونه ها به رنگ سیاه تغییر یابد (شکل ۳-۲). اگرچه در همان دقایق اولیه ی انجام این آزمایش می توان متوجه تغییر رنگ نمونه ها به رنگ سیاه شد، با این وجود اوج شدت رنگ بعد از گذشت یک روز حاصل می شود. بعد از به دست آمدن رنگ مورد نظر، اجازه می دهیم تا اسید سرد شده و آن را از

نمونه جدا می کنیم. در این مرحله نیز باید جانب احتیاط رعایت شود و بهتر است جهت پاکسازی کامل نمونه ها از اسید، آب سرد را به آرامی به نمونه ها اضافه کرده و شست و شو می دهیم تا تمام اسید از بین رود.



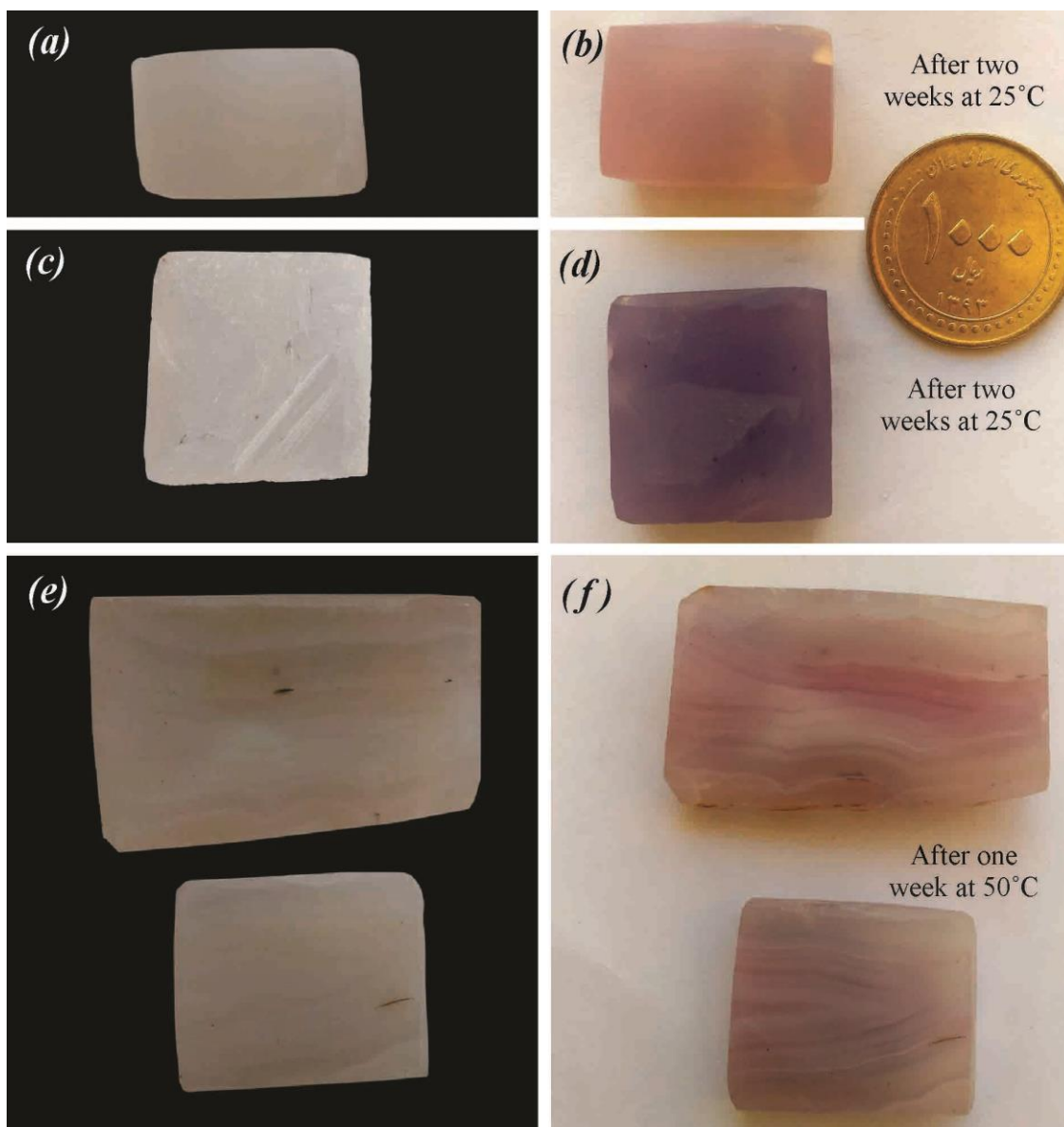
شکل ۳-۱ - تصویری از مواد شیمیایی استفاده شده در رنگ آمیزی آگات های منطقه.



شکل ۳-۲- نمونه های قرار داده شده در محلول غلیظ شکر به مدت دو هفته در دمای معمولی 25°C و سپس در سولفوریک اسید به مدت یک روز در دمای 75°C روی هیترا. (a) قبل از آزمایش (b) بعد از آزمایش.

۳-۴-۲- کبالت کلراید هگزاآهیدرات ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

این یک آزمایش یک مرحله ای می باشد و باعث تغییر رنگ نمونه ها به رنگ بنفش متمایل به صورتی می شود. یک محلول فوق اشباع از کبالت هگزا کلراید با افزودن 65 گرم از این ماده به 65 میلی لیتر آب در یک ظرف شیشه ای تهیه شده است. بعد از آماده شدن محلول مورد نظر، نمونه های از قبل شسته و خشک شده در درون آن قرار داده می شوند. ظرف شیشه ای را در دمای 25°C به مدت دو هفته در اوون قرار می دهیم. بعد از این مدت نمونه ها از محلول خارج شده و بعد از شست و شو جهت خشک شدن در فضای باز و یا در درون اوون در دمای پایین قرار داده می شوند. در پایان مشاهده شد که نمونه هایی که بی رنگ بوده اند بعد از رنگ آمیزی به رنگ صورتی (شکل ۳-۳ b,f) و نمونه ای که سفید بوده است به رنگ بنفش تغییر رنگ داده اند (شکل ۳-۳ d). این آزمایش همچنین با یک محلول دیگر جهت بررسی تأثیر دما در رنگ آمیزی تکرار شد. در این مرحله محلول دیگری از کبالت هگزا کلراید با همان نسبت مرحله ی قبلی تهیه شده است اما این بار آزمایش در دمای 50°C انجام گرفته است. رنگ نمونه ها در این آزمایش در مدت زمان کمتر (یک هفته) به صورتی تغییر کرد (شکل ۳-۳ e,f).

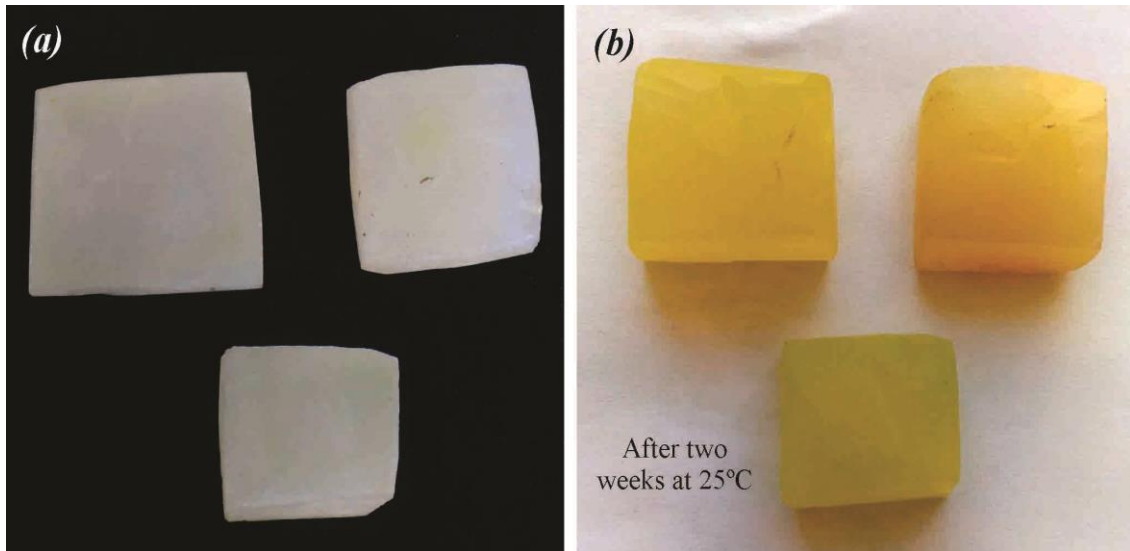


شکل ۳-۳- نمونه های قرار داده شده در محلول فوق اشباع کبالت هگزا کلراید. (a,c,e) قبل از رنگ آمیزی. (b,d,e) بعد از رنگ آمیزی.

۳-۴-۳- نیکل نیترات هگزا هیدرات ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

جهت انجام این آزمایش محلول اشباعی از نیکل نیترات تهیه شده است. نیکل نیترات ماده ای با حلالیت زیاد می باشد، بنابراین ۶۰ گرم از این ماده به ۳۰ میلی لیتر آب اضافه شده و ظرف شیشه ای محتوی آن روی هیتر قرار داده شد. بعد از اینکه محلول توسط مگنت به خوبی هم زده شد، محلول اشباعی به حجم ۷۵ میلی لیتر آماده گردید. چهار نمونه ی شسته شده و خشک شده از آگات ها داخل محلول مورد نظر قرار داده شد و مخلوط حاصل در دمای 25°C قرار گرفت. بعد از گذشت دو

هفته به طور واضح مشاهده شد که نمونه ها به رنگ سبز مایل به زرد تغییر رنگ داده اند، بنابراین نمونه ها را جهت ثبت تغییرات از داخل محلول خارج کرده، شسته و خشک کردیم (شکل ۳-۴).



شکل ۳-۴- نمونه های قرار داده شده در محلول اشباع نیکل نیترات هگزا هیدرات به مدت دو هفته در دمای 25°C (a) قبل از رنگ آمیزی. (b) بعد از رنگ آمیزی.

جهت بررسی سرعت رنگ آمیزی، این آزمایش در دمای 70°C نیز تکرار شده است. بنابراین محلول تحت اشباعی از نیکل نیترات هگزا هیدرات با افزودن 70 گرم از این ماده به 35 میلی لیتر آب تهیه شد. سپس پنج نمونه ی دیگر به آرامی در آن قرار گرفت. بعد از گذشت دو روز تغییر رنگ نمونه ها به آسانی قابل مشاهده بود. بنابراین نمونه ها جهت ثبت تغییر رنگ آنها از محلول مورد نظر خارج شده، شسته و خشک شدند. در طی انجام این آزمایش مشاهده شد که در مقایسه با آزمایش قبل نمونه ها در مدت زمان کمتری رنگ شده اند طوریکه بعد از گذشت دو روز متوجه تغییر رنگ نمونه ها شدیم. به عبارت دیگر با افزایش دمای انجام آزمایش تا 70°C متوجه تغییر رنگ چشمگیر نمونه ها بعد از گذشت دو روز از قرار گرفتن در محلول مورد نظر شدیم که این تغییر رنگ در دمای پایین تر ($^{\circ}\text{C}$) در مدت زمان بیشتری (دو هفته) حاصل شد.

این آزمایش جهت تعیین اینکه بیشترین شدت رنگ در چه مدت زمانی حاصل می شود، ادامه یافته است. بنابراین رنگ آمیزی نمونه ها بعد از گذشت شش روز و دوازده روز از قرار دادن نمونه ها

در محلول بررسی شد تا اینکه بعد از گذشت دو هفته از انجام آزمایش تغییر رنگ نمونه ها به حالت ثابت درآمده و حداکثر میزان رنگ شدگی در نمونه ها قابل مشاهده شد (شکل ۳-۵).

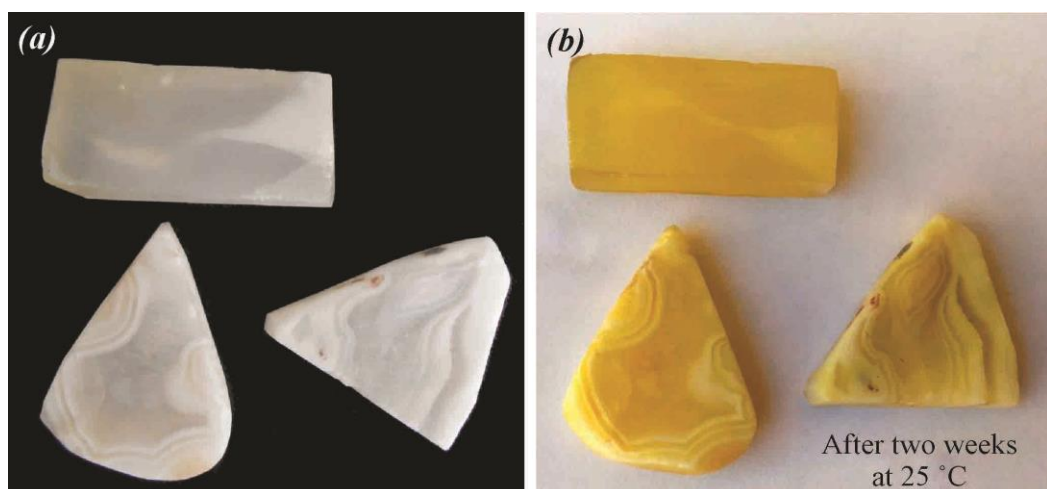


شکل ۳-۵- نمونه های قرار داده شده در محلول نیکل نیترات هگزا هیدرات در دمای 70°C .

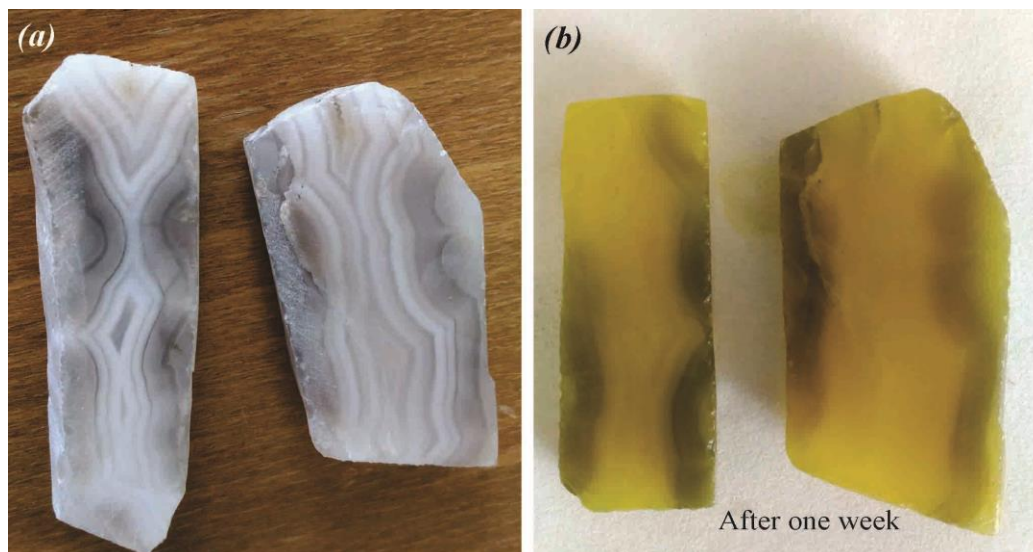
۳-۴-۴- پتاسیم کرومات (K_2CrO_4)

پتاسیم کرومات جهت ایجاد رنگ زرد در آگات ها مورد استفاده قرار گرفت. بدین منظور ۶۰ گرم از ماده پتاسیم کرومات به ۶۰ میلی لیتر آب افزوده شد. محلول حاصل روی هیتر قرار گرفت و با استفاده از یک مگنت به خوبی هم زده شد. در مرحله بعد نمونه های شسته شده و خشک شده با دقت در محلول مورد نظر قرار داده شدند. این آزمایش در دمای $25^{\circ}C$ ، $50^{\circ}C$ و $70^{\circ}C$ جهت تعیین تأثیر دما در مدت زمان آمیزی انجام شده است. در مرحله اول محلول اشباع آماده شده در یک دمای ثابت $25^{\circ}C$ (دمای اتاق) به مدت دو هفته قرار گرفت. سپس نمونه ها از محلول خارج شده و بعد از شستن خشک شد. مشاهده شد که نمونه ها به رنگ زرد زیبایی تغییر رنگ داده اند (شکل ۳-۶).

در مرحله دوم محلول دیگری از پتاسیم کرومات با همان نسبت آزمایش قبلی تهیه شد. دو نمونه از آگات ها را در محلول مورد نظر قرار داده و سپس ظرف شیشه ای در اوون با دمای $50^{\circ}C$ قرار گرفت. به طرز چشمگیری مشاهده شده بود که نمونه ها بعد از گذشت یک هفته به رنگ مورد انتظار یعنی زرد تغییر رنگ داده اند (شکل ۳-۷). همانطور که مشاهده می شود با افزایش دما تا $50^{\circ}C$ سرعت رنگ آمیزی افزایش یافته، به طوریکه نسبت به آزمایش قبل، همان شدت رنگ آمیزی ظرف مدت یک هفته حاصل شده است.



شکل ۳-۶- نمونه های قرار گرفته در محلول پتاسیم کرومات به مدت دو هفته در دمای $25^{\circ}C$ (a) قبل از رنگ آمیزی. (b) بعد از رنگ آمیزی.

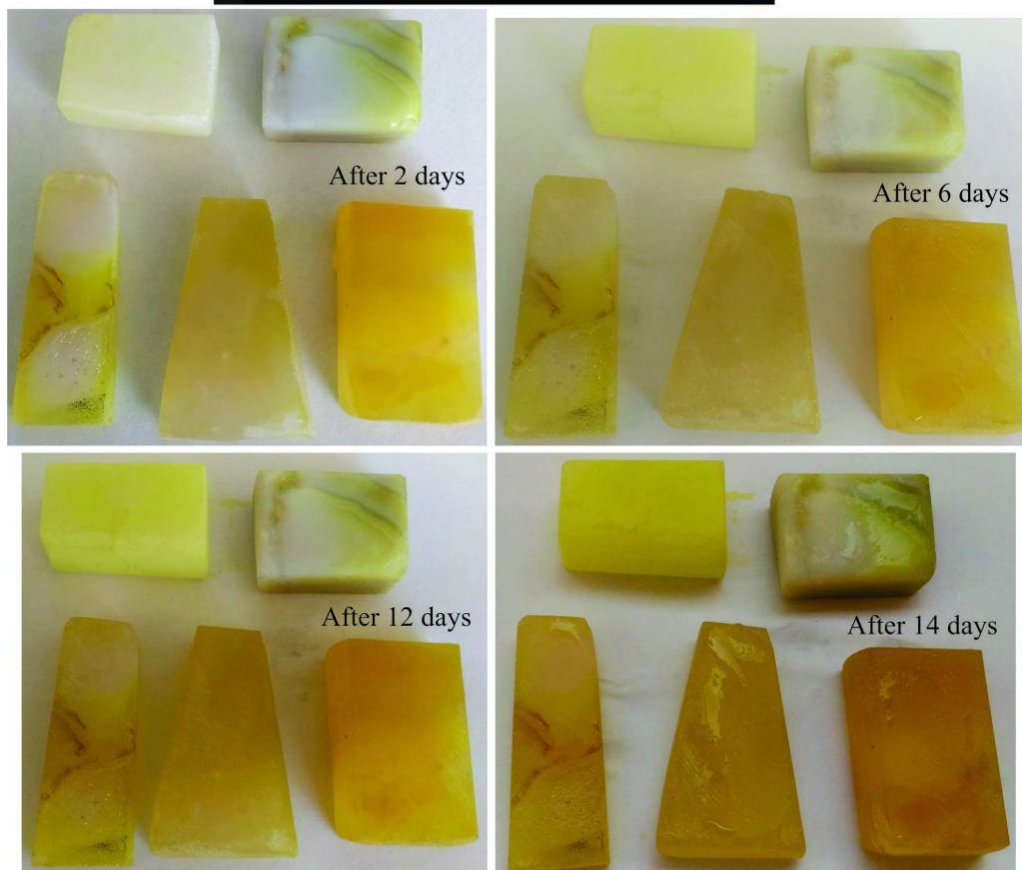


شکل ۳-۷- نمونه های قرار گرفته در محلول پتاسیم کرومات به مدت یک هفته در دمای 50°C . (a) قبل از آزمایش. (b) بعد از آزمایش.

آزمایش مورد نظر همچنین در دمای 70°C انجام گرفت. این بار تغییرات رنگ نمونه ها جهت بررسی سرعت رنگ آمیزی در طول زمان های خاصی ثبت شده است. بعد از دو روز از قرار گرفتن نمونه ها در محلول پتاسیم کرومات در دمای تعیین شده 70°C ، متوجه تغییر رنگ نمونه ها خصوصا در نزدیکی لایه بندی ها و شکستگی های ریز شدیم. آزمایش در همان دمای تنظیم شده ادامه یافت و تغییرات رنگی بعد از گذشت شش و دوازده روز نیز ثبت گردید (شکل ۳-۸). همانطور که در این شکل مشاهده می شود به طور واضح دیده می شود که تغییرات رنگی چشمگیری بعد از گذشت دو روز از قرار گرفتن نمونه ها در محلول حاصل گردیده است. به طوری که بعد از این زمان نمونه ها به آرامی تغییر رنگ داده اند تا اینکه بعد از گذشت دو هفته بیشترین شدت رنگ در نمونه ها ایجاد شده است و بعد از آن تغییر رنگ به حالت ثابت در آمده است.

۳-۴-۵) پتاسیم فری سیانید $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ - سولفات آهن $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

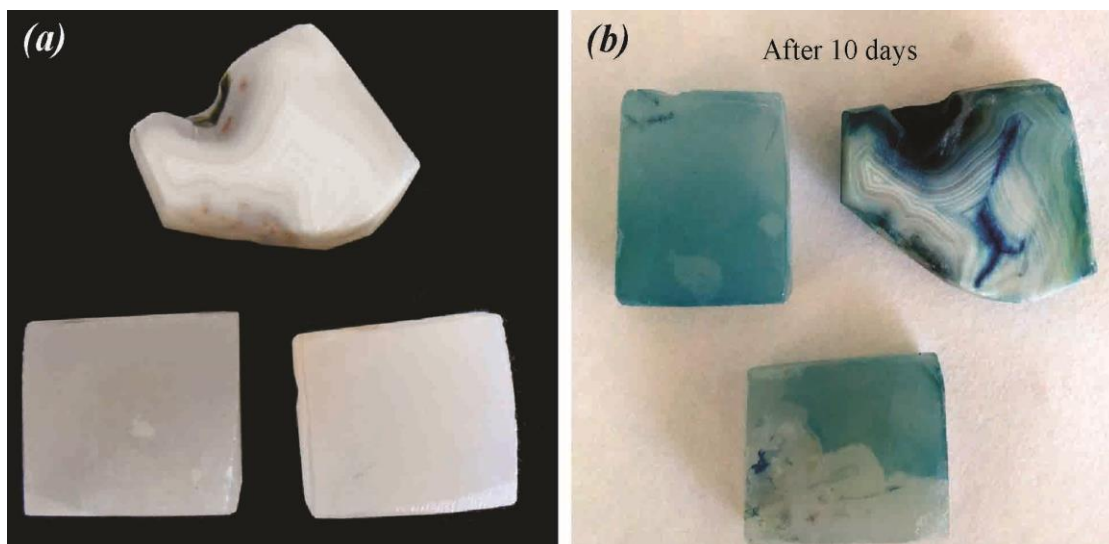
از آنجایی که آگات های آبی بسیار مورد پسند مردم می باشند، لذا در این آزمایش از پتاسیم فری سیانید و سولفات آهن جهت تغییر رنگ نمونه ها به آبی استفاده شد. این یک آزمایش دو مرحله ای می باشد. در مرحله ی اول 250 گرم از ماده پتاسیم فری سیانید داخل یک لیتر آب ولرم حل شده است. سپس نمونه ها در داخل محلول حاصل قرار داده شد و در دمای 25°C (دمای اتاق) برای مدت



شکل ۳-۸- نمونه های قرار گرفته در محلول پتاسیم کرومات در دمای 70°C .

زمان یک تا دو هفته نگهداری شد. بعد از گذشت حداکثر دو هفته از غوطه ور شدن نمونه ها در محلول پتاسیم فری سیانید، نمونه ها از ظرف خارج شد، شسته و خشک شدند و مشاهده شده که کمی به رنگ قهوه ای روشن تغییر رنگ داده اند. بعد از این مرحله نمونه ها در محلولی از سولفات آهن قرار گرفته تا زمانی که بیشترین شدت رنگ مشاهده شود. جهت این منظور 100 گرم از سولفات آهن داخل 100 میلی لیتر آب حل شده است و محلولی به حجم 165 میلی لیتر تهیه شد. بعد از

گذشت ده روز از قرار دادن نمونه ها در محلول سولفات آهن، به وضوح مشاهده شد که نمونه ها به رنگ آبی در آمده اند (شکل ۳-۹).



شکل ۳-۹- نمونه های قرار داده شده در محلول پتاسیم فری سیانید- سولفات آهن در دمای اتاق، که بعد از گذشت ده روز به این رنگ درآمده اند. (a) قبل از آزمایش. (b) بعد از آزمایش.

در مرحله ی بعد چهار نمونه ی جدید جهت انجام دوباره ی آزمایش با شرایط دمایی 50°C آماده شد و آزمایش به همان ترتیب مرحله ی قبل انجام شد. با افزایش درجه حرارت، نمونه ها در مدت زمان کمتری رنگ شده اند و بعد از گذشت یک هفته مشاهده شد که رنگ نمونه ها تغییر کرده است (شکل ۳-۱۰).

در مرحله آخر انجام آزمایش جهت اطمینان حاصل کردن از تأثیر دما در طول مدت رنگ آمیزی، دمای اوون روی 70°C تنظیم شد. پنج نمونه جدید در محلول های مورد نظر به همان ترتیب و نسبت قبلی قرار گرفت تا زمانی که حداکثر شدت رنگ به دست آمد. در اینجا تغییر رنگ نمونه ها بعد از گذشت دو روز اتفاق افتاد (شکل ۳-۱۱). آزمایش ادامه یافته و تغییرات رنگ بعد از گذشت شش و دوازده روز نیز ثبت گردید. به نظر می رسد که تغییر رنگ قابل ملاحظه ای بعد از گذشت دو روز از انجام آزمایش اتفاق نیفتاد (شکل ۳-۱۱).

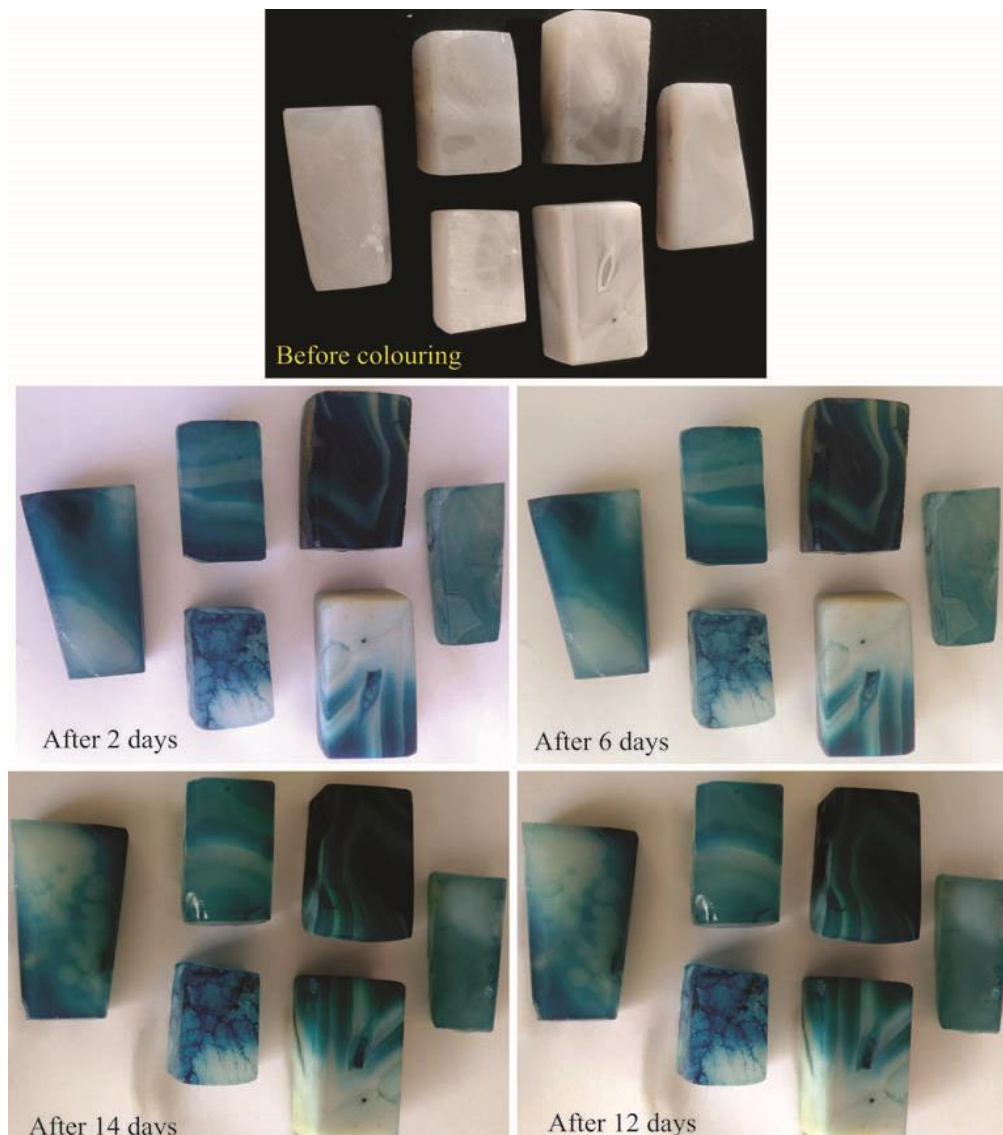


شکل ۳-۱۰- نمونه های قرار گرفته در پتاسیم فری سیانید- سولفات آهن در دمای 50°C بعد از گذشت یک هفته.

۳-۵- آلودگی زیست محیطی و پایداری رنگ نمونه ها

از آنجاییکه در رنگ آمیزی آگات های منطقه مطالعاتی از مواد شیمیایی استفاده شده است که بعضی از آنها ممکن است برای انسان و محیط زیست مضر باشد، لذا جهت اطمینان حاصل کردن از آلودگی های زیست محیطی آگات های رنگ شده آزمایشاتی انجام شده است که در آن به بررسی ثبات رنگ نمونه ها در طی گذشت زمان نیز پرداخته شده است. برای این منظور نمونه هایی که با استفاده از پتاسیم کرومات و کبالت هگزا کلراید رنگ شده اند به مدت چند روز در دمای اتاق جهت پی بردن به اینکه آیا این مواد از نمونه ها به داخل آب نشر می کنند یا نه، در داخل آب قرار داده شدند. بعد از قرار دادن نمونه ها در آب، غلظت این مواد در آب بعد از گذشت دو، چهار، شش و چهارده روز اندازه گیری شد (جدول ۳-۱). براساس نتایج بدست آمده مشاهده شد که مقدار این ترکیبات شیمیایی آزاد شده در آب قابل ملاحظه نبوده و تغییری هم در رنگ آب مشاهده نشد. بنابراین به نظر می رسد که خطر چندانی برای محیط زیست و انسان نداشته باشد (سازمان سلامت جهانی^۱، ۲۰۰۴).

1- World Health Organization



شکل ۳-۱۱- نمونه های قرار داده شده در محلول پتاسیم فری سیانید- سولفات آهن در دمای 70°C .

جدول ۳-۱- نتایج به دست آمده از آنالیز شیمیایی کبالت کلراید و پتاسیم کرومات بعد از گذشت دو، چهار، شش و چهارده روز از قرار دادن نمونه های رنگ شده در آب.

آب خالص	غلظت (MEq/L)	زمان	نمونه
۲/۵	۲/۶	بعد از دو روز	نمونه های رنگ شده با $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
	۲/۸	بعد از چهار روز	
	۲/۹	بعد از شش روز	
	۳/۲	بعد از دو هفته	
۵/۸	۲۴/۱	بعد از دو روز	نمونه های رنگ شده با K_2CrO_4
	۳۵/۱	بعد از چهار روز	
	۴۴/۳	بعد از شش روز	
	۶۷/۱	بعد از دو هفته	

فصل چہارم
ژنوسیمی اگات ہا

همکاران، ۱۹۹۸؛ موکسون و ریوس^۱، ۲۰۰۴).

علاوه بر این، آگات ها اغلب شامل مقادیر قابل ملاحظه ای از ادخال های کانی و آب (یک تا دو درصد وزنی) هستند (فلورک^۲ و همکاران، ۱۹۸۲؛ موکسون و ریوس، ۲۰۰۴). این حقایق نشان می دهد که آگات ها محصولات بسیار پیچیده ای از طبیعت هستند. در نتیجه تاریخچه تشکیل آنها نیز می تواند بسیار پیچیده باشد. اگرچه به طور کلی آگات ها می توانند در تمامی انواع سنگ ها یافت شوند، حضور آنها در سنگ های آتشفشانی از فراوانی بیشتری برخوردار است (لندمسر^۳، ۱۹۸۴؛ گادوویکوو، ۱۹۸۷؛ بلنکنبرگ، ۱۹۸۸؛ گوتز، ۲۰۱۱). پیدایش اکثر آگات های اولیه در سراسر جهان در ارتباط با سنگ های آتشفشانی غنی از سیلیس (ریولیت، ریوداسیت) و فقیر از سیلیس (آندزیت، بازالت) می باشند. در سنگ های آتشفشانی آگات ها بیشتر در حفرات آنها تشکیل می شوند که ساختار حبابی (vesicular) نامیده می شود (گوتز، ۲۰۱۱).

اگرچه چندین داده ی عناصر کمیاب در ارتباط با آگات ها منتشر شده اند (بلنکنبرگ و اسکرون^۴، ۱۹۸۲؛ فلورک و همکاران، ۱۹۸۲؛ مرینو^۵ و همکاران، ۱۹۹۵)، با این وجود فقدان اطلاعات مربوط به فراوانی برخی از عناصر شاخص مهم از قبیل عناصر خاکی کمیاب یا عناصر رادیواکتیو از قبیل اورانیوم و توریم وجود دارد. نویسندگان زیادی تشکیل آگات های موجود در سنگ های آتشفشانی را با دگرسانی پساآتشفشانی و یا هوازدگی سنگ میزبان های آنها مرتبط دانسته اند (والگر^۶، ۱۹۵۴؛ هارد^۷، ۱۹۹۳؛ پابین و زارینس^۸، ۱۹۹۴؛ هولزی^۹، ۱۹۹۵؛ گوتز، ۲۰۱۱). حضور فرایندهای دگرسانی سنگ ها می تواند در ترکیب شیمیایی آگات ها و ارتباط با کانی های ثانویه از قبیل کانی های رسی،

1- Moxon and Rios
2- Flörke
3- Landmesser
4- Schron
5- Merino
6- Walger
7- Harder
8- Pabian and Zarins
9- Holzhey

ژئولیت ها یا اکسیدهای آهن مؤثر واقع شود (گوتز، ۲۰۱۱). با این وجود منشأ آگات ها به طور کامل شناخته نشده است و بحث در این زمینه هنوز ادامه دارد. علاوه بر این تشکیل آن در آزمایشگاه هرگز موفقیت آمیز نبوده است. به نظر می رسد که تشکیل آگات تنها می تواند توسط یک نظریه پیچیده و ارزیابی زمین شناسی و همچنین داده های ژئوشیمیایی و کانی شناسی توسعه یابد (پابین و زارینس، ۱۹۹۴).

آگات ها اغلب در سنگ های آتشفشانی تشکیل می شوند و بنابراین پیدایش آن ها به احتمال زیاد در ارتباط با دوره های زمین شناسی فعالیت آتشفشانی می باشد. قدیمی ترین رخنمون آگات ها مربوط به معدن واراوونا^۱ در استرالیا، با سن ۳/۴۸ میلیارد سال می باشد که در داخل توف های ریولیتی دگرگون شده یافت شده اند (موکسون و همکاران، ۲۰۰۶). آگات ها همچنین در میزبان های بازالتی به سن یک میلیارد سال در منطقه دریاچه سوپری^۲ ایالت متحده آمریکا و کانادا یافت فوران گسترده ای از گدازه های آتشفشانی اسیدی و ایگنیمبریت ها در طول پرمین در اروپای مرکزی رخ داده است. در نتیجه در ۲۸۰-۳۲۰ میلیون سال پیش تعدادی از سنگ های آتشفشانی و متعاقباً آگات ها در آلمان (تورینگیا^۳، ساکسونی^۴)، و دیگر کشورهای اروپایی از قبیل جمهوری چک، فرانسه و غیره تشکیل شده اند (گوتز، ۲۰۱۱).

در این تحقیق آگات های موجود در سنگ های آتشفشانی ائوسن مربوط به منطقه رضا آباد، واقع در ۱۵۰ کیلومتری جنوب شرق شاهرود مورد مطالعه قرار گرفته اند. مطالعات ژئوشیمی این آگات ها جهت ارائه اطلاعات برای بازسازی فرایندهای ژئوشیمی و زمین شناسی تشکیل دهنده ی آگات ها در میزبان های آتشفشانی بازالتی و تفسیر ویژگی های ژئوشیمی خاص آنها انجام گرفته است.

1- Warrawoona
2- Superior
3- Thuringia
4- Saxony

۴-۲- منابع بروز خطا در طی آماده سازی و تجزیه شیمیایی نمونه ها

نتایج تجزیه شیمیایی نمونه های سنگی به دلایل مختلف، از جمله آلودگی در هنگام خرد کردن و آسیاب نمودن نمونه، آلاینش در طبیعت، خطاهای ناشی از کالیبراسیون، خطاهای ناشی از همپوشانی پیکها و آلاینش حاصل از واکنشگرهای ناخالص مورد استفاده در انحلال دچار خطا می شوند (رولینسون، ۱۹۹۳). آلودگی در خلال آماده سازی نمونه ها (خرد و آسیاب کردن) می تواند مهمترین منبع جدی خطا در تجزیه های ژئوشیمیایی باشد. این آلودگی از راه تمیز کردن دقیق تا حد زیادی برطرف می شود. جهت انجام این کار، قطعات دستگاه آسیاب که در تماس با نمونه می باشند، با هر بار پودر کردن نمونه به طور کامل جدا شده و توسط مایع ظرفشویی شست و شو داده شد. این کار برای هر ۹ نمونه به طور جداگانه انجام گرفته است و در هنگام بسته بندی نیز نهایت دقت و احتیاط به عمل آمده است. با این کار به راحتی خطای ناشی از مرحله پودر کردن نمونه ها به حداقل رسانده شد.

۴-۳- مواد و روش ها

در میان سنگ میزبان های آتشفشانی ائوسن منطقه رضا آباد آگات هایی به رنگ های مختلف قرمز، زرد، سبز، سفید، قهوه ای، سیاه و خاکستری مشاهده می شوند. این آگات ها در میان سنگ های بازالتی، آندزیت بازالت و آگلومراها یافت می شوند و تنوع رنگی و الگوهای زیبا، باعث اهمیت بخشیدن به آنها و بررسی ویژگی های ژئوشیمیایی و علل تنوع رنگ آنها شده است.

تجزیه ی هر ماده ای شامل مراحل مختلف نمونه گیری، آماده سازی فیزیکی یا شیمیایی و در نهایت سنجش است. پس از جمع آوری و بررسی گزارش ها و نقشه های مربوط به منطقه، مطالعه تصاویر ماهواره ای و بررسی های صحرایی که در طی شش روز انجام شد، حدود سیصد نمونه از این آگات ها به همراه سنگ میزبان های آتشفشانی آنها جمع آوری شد. مجموعاً تعداد نه نمونه شامل شش نمونه از آگات های منطقه در شش رنگ مختلف و سه نمونه از سنگ های دربرگیرنده آنها به

منظور انجام مطالعات ژئوشیمیایی با استفاده از روش طیف‌سنجی پلاسمای جفت‌شده القایی نشر اتمی و ترکیب آن با طیف‌سنجی جرمی که یک روش نسبتاً جدید با کاربردهای فراوان در ژئوشیمی است، مورد آنالیز قرار گرفت. در کل این روش‌ها قادر به اندازه‌گیری بیشتر عناصر جدول تناوبی با حد تشخیص پایین و دقت خوب با بیش از چندین مرتبه بزرگی می‌باشد. عناصر به طور همزمان و در مدت زمان حدود دو دقیقه اندازه‌گیری شده و یک آنالیز کامل را ارائه می‌دهد (رولینسون، ۱۹۹۳).

جهت آماده‌سازی نمونه‌ها، مرحله‌های خریداری در کارگاه تهیه مقطع نازک دانشگاه صنعتی شاهرود انجام شده است و بعد از آن در کارگاه دانشکده زمین‌شناسی دانشگاه تهران توسط دستگاه آسیاب سنگ از جنس تنگستن کارباید به صورت پودر در آمده‌اند. بعد از آماده‌سازی و بسته‌بندی جهت انجام آنالیز یاد شده به آزمایشگاه شرکت ALS Chemex فرستاده شدند.

تجزیه عناصر اصلی و کمیاب نمونه‌های این تحقیق با استفاده از روش طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-MS) و طیف‌سنجی نشر اتمی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-AES) انجام شده است. طیف‌سنجی نشری پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-AES) یکی از مهمترین روش‌های دستگاهی آنالیز عنصری است. از این روش می‌توان برای اندازه‌گیری حدود ۷۰ عنصر از جدول تناوبی در نمونه‌های مختلفی مانند نمونه‌های خاک، آب، فلزات، سرامیک‌ها و نمونه‌های آلی استفاده کرد. اساس این روش برانگیختگی الکترون‌های عناصر مختلف در محیطی به نام پلازما و نشر نور بعد از حالت آسایش الکترونی است. از دستگاه ICP-AES به دلیل تطبیق‌پذیری و تکرارپذیری، می‌توان نتایجی با دقت و صحت بالا به دست آورد که با توجه به اهمیت و کاربردی بودن این روش، آموزش صحیح آن باعث درک بهتر و رفع مشکلات و انجام هر چه بهتر آنالیزها می‌شود. بعد از انجام آنالیز انواع نمودارهای ژئوشیمی با استفاده از نرم افزارهای Excel و GCDkit و Corel Draw برای نتایج آنالیزها ترسیم شد و سپس ضمن بررسی نمودارها، مجموع شواهد ژئوشیمیایی و شواهد صحرایی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

عناصر اصلی به صورت درصد وزنی و عناصر کمیاب به صورت قسمت در میلیون (ppm) بیان می شوند. حد تشخیص دستگاه برای عناصر اصلی ۰/۰۱ درصد وزنی، عناصر کمیاب ۰/۱ - ۱۰ پی پی ام و برای عناصر خاکی کمیاب ۰/۰۱ - ۰/۵ پی پی ام می باشد. نتایج حاصل از آنالیز عناصر کمیاب به همراه اکسیدهای اصلی در جدول ۴-۱ ارائه شده است. این نتایج مربوط به نمونه های آگات در رنگ های قهوه ای (AR03)، سفید (AR07)، خاکستری (AR08) سیاه (AR11)، قرمز (AR17)، و زرد (AR17) می باشد.

۴-۴- ژئوشیمی آگات ها

آگات (عقیق) به دلیل تنوع گسترده در شکل، بافت و رنگ گوهرسنگی جذاب و مشهور به حساب می آید. آگات در بیش از ۳۰ رنگ مختلف در طبیعت دیده می شود. از جمله عوامل اصلی تأثیرگذار در رنگ آگات ها می توان به ساختار میکروسکوپی آنها، وجود ادخال های مایع، جامد گاز، و به ویژه حضور عناصر فلزی رنگ زا مثل آهن، کروم، مس، تیتانیوم، منگنز، کبالت و نیکل اشاره کرد. عناصر اصلی عناصری اند که در نتایج تجزیه ی هر سنگ غالب اند. این عناصر به صورت اکسید در تجزیه های شیمیایی اندازه گیری می شوند و عبارتند از: SiO_2 ، TiO_2 ، Al_2O_3 ، Fe_2O_3 ، MnO ، CaO ، Na_2O ، K_2O و P_2O_5 که مجموع آن ها به ۱۰۰٪ می رسد و می توان از این امر در حکم راهنمایی کلی برای قابل اعتماد بودن نتیجه آزمایش استفاده کرد.

آگات های مطالعه شده دارای مقادیر SiO_2 بین ۹۷/۱ تا ۹۹/۶ درصد وزنی با مقادیر جزئی از Al_2O_3 (۰/۱۳-۰/۰۱ درصد وزنی)، Fe_2O_3 (۰/۵۹-۰/۰۱ درصد وزنی)، Na_2O (۰/۰۶-۰/۰۱ درصد وزنی) و CaO (۰/۰۵ - ۱/۰۸ درصد وزنی) می باشند (جدول ۴-۱). مقادیر دیگر اکسیدهای اصلی (P_2O_5 ، K_2O ، TiO_2) تغییرات اندکی را نشان می دهد و در اکثر نمونه ها پایین تر از حد تشخیص دستگاه ICP-AES می باشند. همانگونه که در شکل ۴-۱ مشاهده می شود، مقدار آلومینیوم با افزایش درصد سیلیس در بیشتر آگات ها کاهش نشان می دهد (به غیر از آگات های سیاه). مقدار

اکسید سدیم در آگات های قهوه ای، قرمز، زرد و سفید نیز با افزایش درصد سیلیس کاهش می یابد.
اکسید آهن، منگنز و کلسیم رابطه ی مشخصی با محتوای سیلیس نمونه ها نشان نمی دهند.

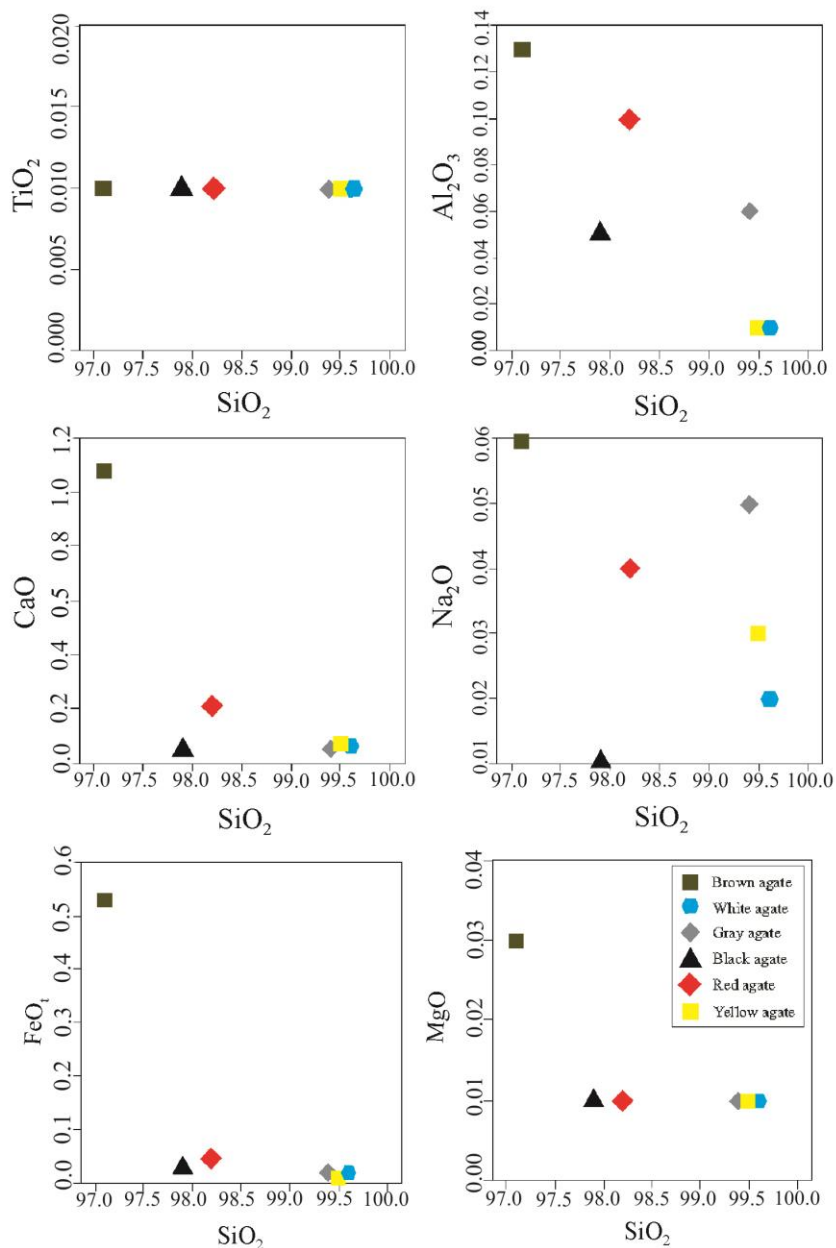
جدول ۴-۱: نتایج تجزیه ی ژئوشیمی شش نمونه از آگات های منطقه رضآباد در شش رنگ مختلف.

<i>Major Oxides (%)</i>	AR03 (Brown)	AR07 (White)	AR08 (Gray)	AR11 (Black)	AR12 (Red)	AR17 (Yellow)
<i>SiO₂</i>	97.1	99.6	99.4	97.9	98.2	99.5
<i>TiO₂</i>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<i>Al₂O₃</i>	0.13	0.01	0.06	0.05	0.1	0.01
<i>Fe₂O₃</i>	0.59	0.02	0.02	0.03	0.05	0.01
<i>MnO</i>	0.03	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01
<i>MgO</i>	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<i>CaO</i>	1.08	0.06	0.05	0.05	0.21	0.07
<i>Na₂O</i>	0.06	0.02	0.05	0.01	0.04	0.03
<i>K₂O</i>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<i>Cr₂O₃</i>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<i>P₂O₅</i>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<i>SrO</i>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<i>BaO</i>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<i>LOI</i>	0.92	0.21	0.34	1.85	1.32	0.3
<i>Total</i>	99.08	99.79	99.66	98.15	98.68	99.7
<i>Ba (ppm)</i>	11.3	0.5	2.5	69.7	0.6	15.4
<i>Pb</i>	2	2	6	2	2	2
<i>Rb</i>	1	0.5	0.4	0.4	0.7	0.3
<i>Sr</i>	6	5.3	3.1	8.4	3	5.4
<i>Zr</i>	2	2	2	2	2	2
<i>Nb</i>	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4
<i>Cr</i>	<10	<10	<10	<10	<10	<10
<i>Y</i>	0.5	1.6	1.5	0.5	0.5	2
<i>Cs</i>	0.07	0.01	0.04	0.02	0.01	0.01
<i>Ta</i>	1	0.9	1	1	1.1	1.2
<i>Hf</i>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
<i>Ga</i>	0.5	0.4	1.7	1	3.7	2
<i>Sn</i>	<1	<1	<1	<1	<1	<1
<i>Th</i>	0.05	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05
<i>U</i>	4.48	0.09	0.05	13.85	1.04	0.08
<i>V</i>	17	5	5	5	5	9
<i>Bi</i>	0.1	0.04	0.08	0.04	0.05	0.05
<i>La</i>	0.5	1.2	0.6	0.5	0.5	0.5
<i>Ce</i>	0.6	2	0.5	0.5	0.5	0.7
<i>Pr</i>	0.07	0.16	0.06	0.03	0.03	0.09
<i>Nd</i>	0.2	0.8	0.2	0.1	0.1	0.3
<i>Sm</i>	0.03	0.1	0.05	0.04	0.03	0.06
<i>Eu</i>	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
<i>Gd</i>	0.06	0.13	0.06	0.05	0.05	0.1
<i>Tb</i>	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
<i>Dy</i>	0.07	0.12	0.07	0.05	0.05	0.17
<i>Ho</i>	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02
<i>Er</i>	0.06	0.08	0.07	0.03	0.05	0.11
<i>Tm</i>	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
<i>Yb</i>	0.04	0.03	0.03	0.03	0.07	0.03
<i>Lu</i>	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

عناصر کمیاب، عناصری با غلظت کمتر از ۰/۱ درصد هستند که بر حسب قسمت در میلیون (ppm) یا در موارد نادری بر حسب قسمت در میلیارد (ppb) بیان می شود. اما این قاعده همیشه رعایت نمی شود و عناصر با غلظت بیش از ۰/۱ درصد (۱۰۰۰ ppm) نیز گاهی عناصر کمیاب نامیده می شوند. این عناصر فرض می شوند که در طی فرایند تشکیل آگات دخالت داشته اند و شاخص های ژئوشیمیایی مهمی برای منشأ سیالات تشکیل دهنده ی کانی و شرایط خاص تبلور می باشند. بنابراین تجزیه و تحلیل عناصر کمیاب آگات های رضا آباد و سنگ های والد آتشفشانی آن ها جهت بدست آوردن اطلاعات بیشتر درباره ژئوشیمی آگات ها و سیالات تشکیل دهنده ی کانی انجام شده است (جدول ۴-۱). برای بهنجارسازی از مقادیر گوشته اولیه و شخانه های کندریتی استفاده می شود. تامپسون (۱۹۸۲) پیشنهاد کرد که بهنجارسازی به مقادیر کندریتی ممکن است بر ترکیب گوشته ی اولیه ترجیح داشته باشد، زیرا مقادیر کندریتی، برخلاف ترکیب گوشته ی اولیه که برآورد می شود، مستقیماً اندازه گیری می شوند. جهت این منظور مقادیر عناصر کمیاب و خاکی کمیاب آگات های مورد مطالعه و سنگ میزبان های آنها نسبت به مقادیر کندریت بهنجار شده اند و نمودار چند عنصری بهنجار شده براساس گروه بندی عناصر ناسازگار برای آنها ترسیم شده است (شکل ۴-۲).

تجزیه و تحلیل عناصر کمیاب اطلاعات مهمی را در ارتباط با ژئوشیمی آگات ها فراهم می کند. آنالیزهای انجام شده بر روی آگات های رضا آباد روندهای جالبی را در ارتباط با رفتار عناصر کمیاب خاص نشان می دهد و کم و بیش در تمامی نمونه های مورد بررسی یکسان می باشند. روند کلی عناصر خاکی کمیاب این آگات ها دارای شیب منفی از La تا Nd است که از عناصر خاکی کمیاب سبک (LREE) از قبیل La و Ce غنی شده اند و از Nd تا Yb بصورت تقریباً مسطح است. بیشتر نمونه های آگات (بجز آگات های سفید) آنومالی مثبت یورانیوم (Eu) نشان می دهند (شکل ۴-۲). معمولاً یورانیوم جایگزین کلسیم در پلاژیوکلازها می شود، پس رفتار یورانیوم در آگات های رضا آباد در ارتباط با تجزیه ی کانی های پلاژیوکلاز سنگ های میزبان در نمونه های سیلیسی می باشد (گوتز و همکاران، ۱۹۹۸). فراوانی میانگین اکثر عناصر کمیاب موجود در آگات ها به خصوص در نمونه های

سیاه و قهوه ای شبیه به هم است. وانادیوم (۵-۱۷ ppm)، باریم (۰/۵-۶۹/۷ ppm) و استرانسیوم (۳-۸/۴ ppm) از بیشترین فراوانی خصوصاً در آگات های قهوه ای و سیاه برخوردار می باشند و تمرکز باریم بیشتر از دیگر عناصر می باشد. علاوه بر این فراوانی اورانیوم (۱۳/۸۵ ppm) به طور خاصی در آگات های سیاه بالا است که می تواند بخاطر تمرکز بالای این عنصر در سیال تشکیل دهنده ی آنها باشد و همچنین علت رنگ سیاه این دسته از آگات ها را توجیه کند (جدول ۴-۱).



شکل ۴-۱- نمودارهای تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی به SiO₂ (Harker, 1909) برای شش نمونه از آگات های منطقه رضآباد.

اورانیوم یک عنصر با قابلیت حلالیت زیاد در شرایط اکسیداسیون سطح زمین می باشد که می تواند به آسانی حل شده، انتقال یابد و با تغییرات نامحسوس در شرایط اکسیداسیون آبهای زیرزمینی رسوب کند. تحرک اورانیوم در طول دگرسانی سنگ های آتشفشانی توسط زیلینسکی^۱ (۱۹۷۹) مورد بررسی قرار گرفته است. اورانیوم می تواند از محلول ها توسط ترکیبات سیلیس کلوئیدی (silica colloids) جذب شود و سپس در زمینه سیلیسی پایدار به عنوان یون اورانیل به دام افتد (لوپز و بیرچ^۲، ۱۹۹۶). این امر باعث تمرکز بالای اورانیوم در آگات های منطقه مورد مطالعه خصوصا در نمونه های سیاه و قهوه ای شده است. میزان بالای ایتریوم (۲ ppm) و تالیوم (۱/۲ ppm) در آگات های زرد بیشتر از نمونه های دیگر می باشد که شاید علت رنگ زرد این نمونه ها را توجیه کند. علاوه بر این آگات های خاکستری از نظر محتوای سرب غنی بوده (۶ ppm) و آگات های قرمز نیز دارای مقدار گالیم (۳/۷ ppm) بیشتر از نمونه های دیگر می باشند که فراوانی هر یک از این عناصر احتمالاً علت رنگ خاکستری و قرمز این نمونه ها است. آگات های سفید رنگ از عناصر لانتالیوم (۱/۲ ppm)، توریم (۰/۱ ppm) و سربیم (۲ ppm) غنی شدگی نشان می دهند (جدول ۴-۱) و دارای بالاترین مقدار SiO_2 می باشند که این امر نشان دهنده ی تشکیل آنها از سیالاتی با تفریق یافتگی بیشتر نسبت به سایر آگات ها است.

۴-۵- ژئوشیمی سنگ های آتشفشانی

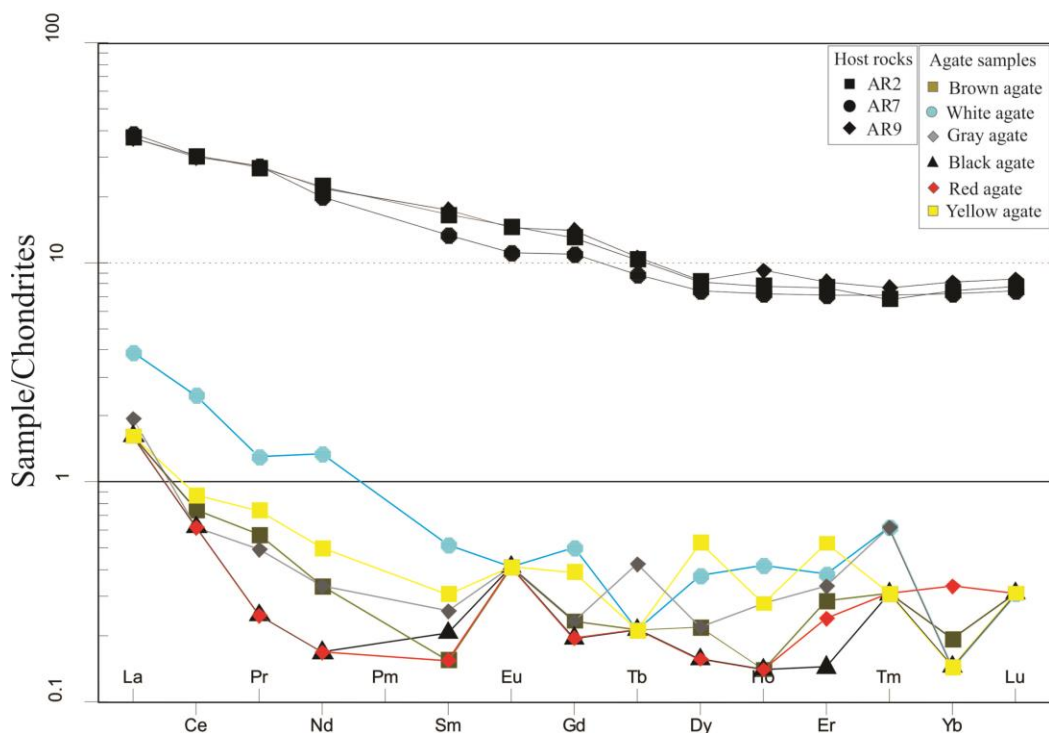
جهت مقایسه ویژگی های ژئوشیمیایی آگات های مورد مطالعه و سنگ های میزبان آتشفشانی آنها، سه نمونه از سنگ های آتشفشانی مورد تجزیه تحلیل قرار گرفته و نمودار عناصر خاکی کمیاب بهنجار شده نسبت به مقادیر کندریتی برای این سنگ میزبان ها ترسیم و مورد تفسیر قرار گرفته است (جدول ۴-۲).

1- Zielinski
2- Lopez and Birch

جدول ۴-۲: نتایج تجزیه ی ژئوشیمی سه نمونه از سنگ میزبان های آتشفشانی منطقه رضا آباد.

<i>Sample No</i>	AR2	AR7	AR9
<i>SiO₂</i>	61.5	59.1	57.8
<i>TiO₂</i>	0.71	0.49	0.71
<i>Al₂O₃</i>	17.3	17.55	17.25
<i>Fe₂O₃</i>	4.15	5.59	6.74
<i>MnO</i>	0.17	0.12	0.13
<i>MgO</i>	1.74	3.5	4.19
<i>CaO</i>	7.6	7.48	7.98
<i>Na₂O</i>	3.65	3.77	3.84
<i>K₂O</i>	1.72	1.11	0.99
<i>Cr₂O₃</i>	0.01	0.01	0.01
<i>P₂O₅</i>	0.22	0.26	0.24
Total	98.77	98.98	99.88
<i>V</i>	178	121	173
<i>Cr</i>	60	60	60
<i>Ga</i>	17.5	15.2	16.9
<i>Sn</i>	1	1	1
<i>W</i>	569	457	717
<i>Ba</i>	254	365	262
<i>Sr</i>	672	753	720
<i>Rb</i>	38.8	65.8	37.7
<i>Nb</i>	3.3	3.1	3.2
<i>Y</i>	15.8	13.9	15.8
<i>Zr</i>	86	79	85
<i>Cs</i>	0.73	1.49	0.99
<i>Hf</i>	2.1	1.8	2.2
<i>Ta</i>	0.4	0.3	0.5
<i>Th</i>	2.24	2.64	2.19
<i>U</i>	0.96	1.2	0.74
<i>La</i>	11.5	11.9	11.4
<i>Ce</i>	24.6	24.8	24.3
<i>Pr</i>	3.29	3.38	3.35
<i>Nd</i>	13.4	12	13
<i>Sm</i>	3.21	2.62	3.4
<i>Eu</i>	1.07	0.82	1.06
<i>Gd</i>	3.36	2.84	3.63
<i>Tb</i>	0.49	0.42	0.5
<i>Dy</i>	2.64	2.4	2.66
<i>Ho</i>	0.56	0.52	0.66
<i>Er</i>	1.62	1.48	1.72
<i>Tm</i>	0.22	0.23	0.25
<i>Yb</i>	1.55	1.51	1.7
<i>Lu</i>	0.25	0.24	0.27
<i>Pb</i>	6	11	13

سنگ های میزبان در منطقه در نمودار عناصر خاکی کمیاب بهنجار شده به کندریت غنی شدگی از LREE نشان می دهند که مشابه با این الگو در آگات های منطقه است (شکل ۴-۲). با فرض اینکه اکثر عناصر در آگات ها از سنگ های آتشفشانی اطراف نشأت می گیرند، الگوهای توزیع عناصر خاکی کمیاب اطلاعات بیشتری را در مورد فرایندهای ژئوشیمیایی و مشارکت سیالات مربوطه ارائه می دهد. در مقایسه با ترکیبات سنگ های آتشفشانی میزبان، داده های عناصر خاکی کمیاب آگات ها نشان دهنده فراوانی خیلی کمتری از این عناصر می باشند که بیانگر مقاومت بالای REE در برابر دگرسانی است. همچنین همان طور که در شکل ۴-۲ مشاهده می شود الگوی عناصر خاکی کمیاب سنگ های میزبان یک شیب منفی آرامی را از La تا Lu نشان می دهد و یوروپیم از بی هنجاری منفی ضعیفی برخوردار می باشد. شباهت ها در شکل و شیب الگوهای عناصر خاکی کمیاب آگات ها و سنگ والد های آتشفشانی آنها این نتیجه را به دست می دهد که عناصر ممکن است توسط سیالات در حال گردش از سنگ میزبان آتشفشانی شسته شده و رگه های آگاتی موجود را در این سنگ ها ته نشست کرده باشند.



شکل ۴-۲- نمودار عناصر خاکی کمیاب بهنجار شده نسبت به کندریت (Boynnton, 1984) برای سه نمونه از سنگ میزبان های آتشفشانی آگات های منطقه رضآباد و شش نمونه از آگات های منطقه با رنگ های متفاوت.

تشکیل آگات های منطقه از محلول های غنی از سیلیس، بستگی به عواملی مثل کاهش حرارت، تغییرات PH محلول و دارد. سیلیس به صورت کلوئیدی توسط محلول ها حمل شده و به صورت ژل ته نشین می شود. در جریان ته نشینی که به کندی صورت می گیرد، به دلیل تغییر شرایط محیطی و ترکیب سیال، تغییر رنگ در نهشته ها ایجاد شده و حالت نواری در آگات ها ایجاد می شود (اعتمادی، ۱۳۸۹). به نظر می رسد که آگات های رضا آباد در نتیجه دگرسانی حاصل از تأثیر آب های جوی بر سنگ های آتشفشانی تشکیل شده اند. آب های جوی در حین عبور از میان گدازه ها گرم شده و موجب تجزیه و دگرسانی کانی های اولیه سنگ شده و مقدار زیادی از عناصر شیمیایی موجود در ساختمان کانی را حل نموده و به صورت محلول با خود حمل می کنند. منشاء این محلول ها هنوز شناخته نشده اما به نظر می رسد که این محلول ها منشأ اختلاطی هیدروترمال - آب های جوی داشته باشند. این آب ها عناصر تشکیل دهنده ی کانی های سنگ (از جمله سیلیس) را دارا می باشند و نهایتاً آنها را به صورت یک ژل غلیظ در فضای داخل حفرات و شکستگی های سنگ های ولکانیکی رضا آباد رسوب داده اند. بر اثر فرایند تفریق و انتشار شیمیایی، جدایش یا فرونشینی مواد سازنده ی ژل به شکل لایه های متناوب در داخل حفره یا درز و شکاف آغاز می شود. این پدیده موجب تشکیل لایه هایی از ژل سیلیسی می شود که هر لایه آن دارای ترکیب مخصوص به خود است که از سیلیس، آب و ناخالصی هایی نظیر رنگدانه هایی از ترکیبات آهن و عناصر دیگر تشکیل شده است.

فصل پنجم

ایزوتوپ های پایدار اکسیژن

بیشتر عناصر طبیعی بیش از یک ایزوتوپ دارند. در عناصر با جرم اتمی کمتر از ۴۰ (سبک تر از کلسیم)، ایزوتوپ ها ممکن است از طریق فرایندهای فیزیکی و به واسطه ی اختلاف جرم تفکیک شوند. میزان تفکیک متناسب با اختلاف جرم است. در جرم های اتمی بالاتر از ۴۰، اختلاف نسبی جرم، به قدری اندک است که ایزوتوپ ها نمی توانند توسط فرایندهای فیزیکی جدا شوند (رولینسون، ۱۹۹۳).

در زمین شیمی مطالعه ایزوتوپ های پایدار روشی نیرومند برای مطالعه ی رفتار عناصر سبک H، C، N، O و S است که مطالعه ی آنها به روشهای دیگر چندان آسان نیست. این عناصر اغلب سازنده-های اصلی سیال های مهم زمین شناختی اند و بنابراین مطالعه ی ایزوتوپی آنها روشی برای مطالعه ی مستقیم سیال ها و تأثیرات برهم کنش سیال-سنگ است. افزون بر این، ایزوتوپ های پایدار به صورت دیرینه داماسنج و نیز به منزله ی ابزاری برای مطالعه ی پخش و سازوکارهای واکنشها در فرایندهای زمین شناختی به کار می روند. هدف اصلی مطالعه ایزوتوپ های پایدار استفاده از آن به صورت ابزاری برای پژوهش درباره فرایندهایی است که در طبیعت ایزوتوپ ها را در بر پایه ی جرم (و نه بر پایه شیمی) آنها جدا می کنند (رولینسون، ۱۹۹۳).

به طور معمول برای اهداف تجزیه ی ایزوتوپی، ایزوتوپ های پایدار به گاز (H_2 ، CO_2 یا SO_2) تبدیل و اختلاف جرم در یک طیف سنج جرمی اندازه گیری می شود. در مورد عناصر طبیعی همچون C، H، O و S آلودگی در هنگام جدا کردن نمونه و تجزیه ی مسئله ای مهم است و برای اطمینان از تمیز ماندن نمونه در هنگام کار باید بسیار دقت شود.

آگات ها جزء انواع سنگهای نیمه قیمتی محسوب شده که در طبیعت با ابعاد چند میلی متری تا چند متری قابل مشاهده اند. این گوهرها می توانند در محیط های آذرین، دگرگونی و حتی رسوبی تشکیل شوند (موکسون، ۲۰۰۲). برخی از چشمه های آب گرم با فعالیت زمین گرمایی و یا دودکش های سفید بستر اقیانوس ها، نهشته هایی مشابه کلسدونی تولید می کنند، ولی هیچ گاه آگات نمی

سازند (هاپکینسون^۱ و همکاران، ۱۹۹۸). آگات‌ها در گستره دمایی وسیعی تشکیل می‌شوند. با توجه به مجموع بررسی‌های انجام شده محدوده دمای شکل‌گیری آگات‌ها بین ۳۰ تا ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد برآورد می‌شود (موکسون و رید، ۲۰۰۶). مطالعاتی که در ایران در ارتباط با ژئودها و آگات‌ها انجام شده بسیار ناچیز است که از آن جمله می‌توان به ملک محمودی و همکاران (۲۰۱۰)، حاج علیلو و وثوق (۲۰۰۹)، حاج علیلو و همکاران (۲۰۱۱) و نظری (۲۰۰۴ a، ۲۰۰۶ b) اشاره کرد.

۵-۲- مواد و روش‌ها

تجزیه و تحلیل ایزوتوپ اکسیژن با استفاده از روش واکنش با فلئور بر روی آگات‌های پودر شده در آزمایشگاه ایزوتوپ پایدار دانشکده علوم زمین، دانشگاه Cape town آفریقای جنوبی انجام شده است. اکسیژن از راه فلئوردار کردن با F₂ یا BrF₅، از سیلیکات‌ها و اکسیدها آزاد می‌شود و سپس برای اندازه‌گیری در طیف سنج جرمی در دمای بالا به CO₂ کاهیده می‌گردد. هنگامی که نسبت ایزوتوپ‌های اکسیژن در آب تعیین می‌شود، نمونه با مقدار کمی CO₂ به تعادل رسانده می‌شود و نسبت ایزوتوپ اکسیژن در CO₂ اندازه‌گیری می‌شود. نسبت ¹⁸O/¹⁶O در آب از ضریب تفکیک مشخص آب - CO₂ محاسبه می‌شود. دقت مقادیر δ¹⁸O، در حد ۰/۲% - ۰/۱% است (هریس و آشوال^۲، ۲۰۰۲). همه نسبت‌های ایزوتوپ اکسیژن به صورت آفلاین با استفاده از طیف سنج جرمی Finnigan دلتا XP در حالت دو ورودی روی گاز CO₂ اندازه‌گیری شد. داده‌ها نسبت به یک استاندارد اندازه‌گیری و برحسب قسمت در هزار (‰) بیان شده‌اند. نسبت ایزوتوپی ¹⁸O/¹⁶O به طور معمول در مطالعات ایزوتوپ اکسیژن اندازه‌گیری می‌شود و مقادیر δ از معادله ی زیر محاسبه می‌شود.

$$\delta O^{18} \text{‰} = \frac{(O^{18}/O^{16})_{\text{Sample}} - (O^{18}/O^{16})_{\text{Standard(SMOW)}}}{(O^{18}/O^{16})_{\text{Standard(SMOW)}}} \times 1000$$

1- Hopkinson
2- Harris and Ashwal

امروزه دو استاندارد ایزوتوپی برای اندازه گیری ایزوتوپ اکسیژن به کار می رود. اندازه گیری های زمین دماسنجی دما پایین نسبت به PDB (یک بلمنیت از سازند پیدی کرتاسه در جنوب کارولینا که همچنین استاندارد اندازه گیری ایزوتوپ کربن است)، انجام می شود، در حالیکه همه ی اندازه گیری های دیگر، نسبت به غلظت میانگین استاندارد آب اقیانوس¹ (SMOW) محاسبه می شود. SMOW در آغاز یک نمونه ی فرضی آب با نسبت های ایزوتوپی اکسیژن و هیدروژن شبیه به آب اقیانوس استاندارد بوده است. به تازگی، آژانس انرژی اتمی در وین یک استاندارد آب توزیع کرده است که به نام V-SMOW شناخته می شود. این استاندارد یک نسبت $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ معادل SMOW دارد و نسبت D/H در حد خطای تعریف اولیه ی SMOW است (گونفانتینی²، ۱۹۷۸). افزون بر SMOW، استاندارد SLAP (استاندارد بارش سبک جنوبگان) نیز گاهی به کار می رود. مقدار δ در این استاندارد نسبت به SMOW، $\text{‰} -55/5$ است (گونفانتینی، ۱۹۷۸). نتایج حاصل از انجام آنالیز $\delta^{18}\text{O}$ مربوط به نمونه های آگات منطقه رضآباد براساس استاندارد SMOW به دست آمده است که به تفصیل در بخش بعدی بحث خواهد شد.

۵-۳- ایزوتوپ اکسیژن

مطالعه ی ایزوتوپ های پایدار در زمین شناسی، بر ایزوتوپ های طبیعی عناصر سبک مانند H، O، C و S متمرکز است که ممکن است براساس اختلاف جرم میان ایزوتوپ های عنصر تفکیک شوند. برای مثال ایزوتوپ ^{18}O ، $12/5$ درصد سنگین تر از ایزوتوپ ^{16}O است و این دو هنگام تبخیر آب از هم تفکیک می شوند. ایزوتوپ های پایدار در شناخت گونه های سیال و فرار در زمین شناسی نقش دارند. بهترین راه برای بررسی فرایندهای پسا نهشتی (post-depositional)، استفاده از ایزوتوپ های پایدار است. ایزوتوپ های پایدار اکسیژن و هیدروژن، ردیاب های مهمی در تعیین انواع گوناگون آب هستند

1- Standard Mean Ocean Water

2- Gonfiantini

که در مطالعه ی سیال های دیاژنزی نقشی حیاتی دارند. از ایزوتوپ های کربن و اکسیژن در مطالعه ی دیاژنز سنگ آهک استفاده می شود و از تفکیک وابسته به دمای ایزوتوپ های اکسیژن می توان برای محاسبه ی شیب زمین گرمایی در حین دیاژنز استفاده و تاریخچه ی تدفین سنگ را بررسی کرد (رولینسون، ۱۹۹۳).

اکسیژن یکی از سازندگان مهم اغلب کانیهای سنگ ساز نظیر سیلیکاتها، اکسیدها، فسفاتها و غیره می باشد. این کانیها نه فقط سنگ های معمول آذرین، رسوبی و دگرگونی پوسته زمین را تشکیل می دهند، بلکه در کانسارهای فلزی و غیرفلزی نیز وجود دارند. ترکیب ایزوتوپی اکسیژن این کانیها حاوی اطلاعات مهمی درباره منشأ و شرایط تشکیل آنهاست. لذا مطالعه ی ترکیب ایزوتوپی اکسیژن در لیتوسفر به عنوان ابزار مهمی در پترولوژی آذرین، دگرگونی و مطالعه کانسارها می باشد (اونیل^۱، ۱۹۷۹).

اکسیژن ($Z=8$) فراوان ترین عنصر شیمیایی در پوسته زمین است و دارای سه ایزوتوپ پایدار است که فراوانی آنها به قرار زیر است:

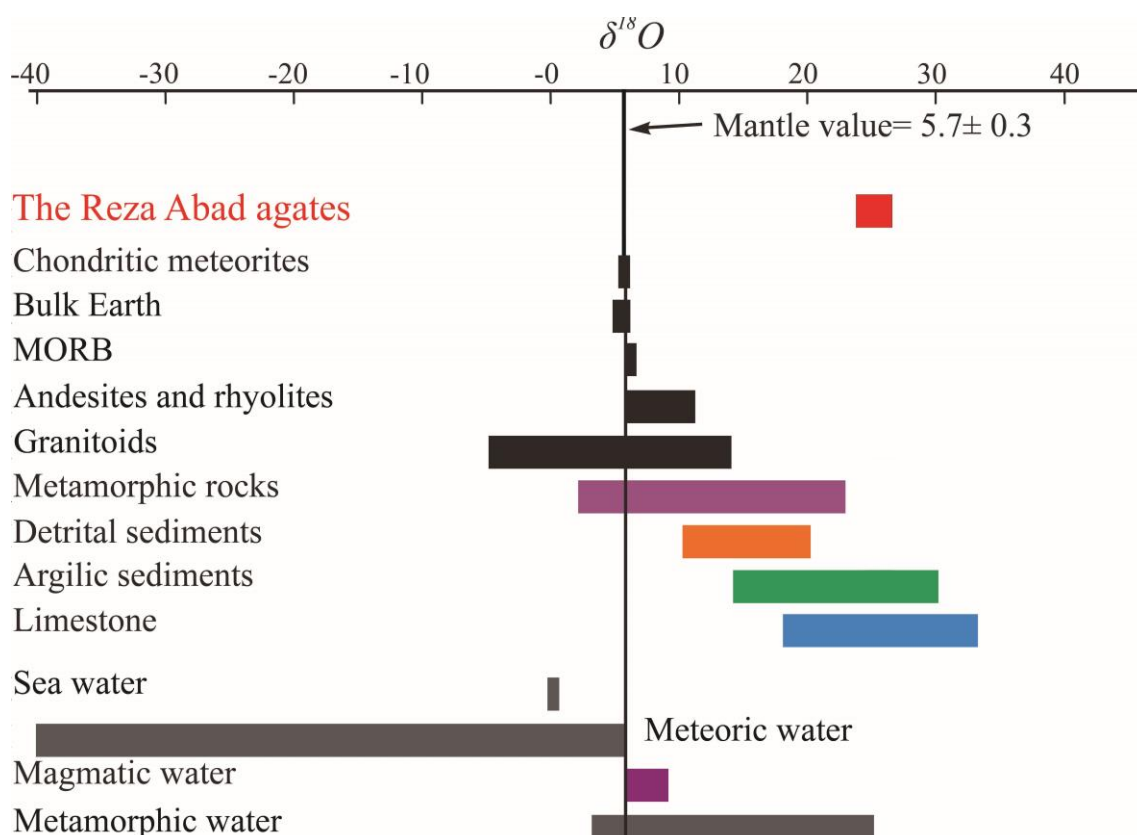
$$^{18}\text{O} = \%0.1995 \quad , \quad ^{17}\text{O} = \%0.0375 \quad , \quad ^{16}\text{O} = \%99.63$$

مقدار $\delta^{18}\text{O}$ در طبیعت تا حدود $\%100$ تغییر می کند که حدود نیمی از این گستره مربوط به تغییرات آب های جوی است (شکل ۵-۱).

شخانه های کندریتی گستره بسیار محدود تری از مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ دارند. مقدار $\delta^{18}\text{O}$ گوشته $\%0.3/0$ $\pm 5/7$ است و به نظر می رسد که در طول زمان برای زمین و ماه ثابت بوده است (تیلور^۲، ۱۹۸۰). در هر حال، کایزر^۳ و همکاران (۱۹۸۲) دریافتند که بازالتهای قلیایی هاوایی، به اندازه ی $\%0.5/0$ تا 0.1 بیش از تولئیت ها از $\delta^{18}\text{O}$ غنی شده اند و بر پایه ی آهنگ های اندازه گیری پخش (گراهام و

1- O'Nile
2- Taylor
3- Kyser

هارمون^۱، ۱۹۸۳) اظهار کرده اند که این دو، منشأ گوشته ای جداگانه ای داشته اند. بنابراین شواهدی برای ناهمگنی های کوچک ایزوتوپی در گذشته وجود دارد. بیشتر گرانیت ها، سنگ های دگرگونی و رسوب ها نسبت به مقادیر گوشته ای از $\delta^{18}O$ غنی شده اند، در حالی که آب دریا و آب های جوی تهی شده اند و بنابراین مخازن $\delta^{18}O$ مکمل را تشکیل می دهند (شکل ۵-۱).



شکل ۵-۱- تغییرات $\delta^{18}O$ آگات های منطقه رضاآباد که با رنگ قرمز نشان داده شده است و مقایسه آن با مخازن طبیعی ایزوتوپ اکسیژن.

مقادیر مطلق $\delta^{18}O$ سنگ های آذرین و کانیهای آنها توسط چندین فاکتور تعیین می گردند که عبارتند از: (۱) دمای تبلور؛ (۲) $\delta^{18}O$ سیال یا ماگمایی که کانی از آن متبلور می شود؛ (۳) اثرات برگشتی حاصل از تعادل مجدد در دماهای ساب سولیدوس؛ و (۴) تغییرات تدریجی مقدار $\delta^{18}O$ در طی تشکیل لایه های مختلف کانی (رولینسون، ۱۹۹۳). تلفیق و جمع بندی انجام شده توسط تیلور

1- Graham & Harmon

(۱۹۷۴) نشان می دهد که اصولاً مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ سنگ ها و کانیها مثبت می باشد، یعنی مواد مزبور در مقایسه با SMOW از ^{18}O غنی هستند. مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ اغلب سنگ های سیلیکاته بین +۵ تا +۱۵ در هزار است. سنگ های آذرین در برخی از مکان ها (از قبیل ایسلند، توده نفوذی اسکارگارد^۱، سلسله جبال کاسگاد^۲ واقع در غرب کالیفرنیا و دیگر مناطق)، در مقایسه با SMOW به صورت متغیری تهی شده اند، به طوری که مقدار $\delta^{18}\text{O}$ آنها از +۱۰ تا کمتر از -۵ در هزار تغییر می کند. سنگ های رسوبی معمولاً در مقایسه با SMOW از $\delta^{18}\text{O}$ غنی بوده، و مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ آنها از +۱۰ در هزار (ماسه سنگ های کوارتزی) تا +۳۵ در هزار (چرت) متغیر است. ترکیبات ایزوتوپی سنگ های آذرین، رسوبی و دگرگونی تغییرات منظمی را نشان می دهند که روزه ای را به منشأ چنین سنگ های می گشاید و دمای تعادل نهایی ایزوتوپ اکسیژن را منعکس می سازد. این جنبه بخصوص مهم است، زیرا تفاوت های منظم $\delta^{18}\text{O}$ کانیهای هم منشأ را می توان بر حسب دمایی که در آن اکسیژن این کانیها با یک مخزن معمول متعادل شده است، تفسیر نمود (گونتر^۳، ۱۹۳۴).

نسبت های ایزوتوپ پایدار اکسیژن برای شش نمونه از آگات های منطقه به رنگ های سیاه، سبز، سفید، خاکستری، قرمز و زرد اندازه گیری شده است. نتایج حاصل از انجام این آنالیز به هنجار شده نسبت به میانگین استاندارد آب اقیانوس (SMOW) در جدول ۵-۱ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ آگات های مورد مطالعه در محدوده ای بین % ۲۳/۸ تا % ۲۶/۶ واقع می شوند. آگات های سبز رنگ دارای بیشترین مقدار $\delta^{18}\text{O}$ بوده و آگات های خاکستری کمترین مقدار $\delta^{18}\text{O}$ را دارا می باشند (جدول ۵-۱؛ شکل ۵-۱).

1- Skaergaard
2- Cascade
3- Gunter

جدول ۵-۱: مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ اندازه گیری شده برای شش رنگ از آگات های منطقه رضآباد که نسبت به استاندارد SMOW بهنجار شده اند.

<i>Sample</i>	<i>Color</i>	$(\delta^{18}\text{O}) \text{‰}$
<i>AR3</i>	Black agate	26.4
<i>AR4</i>	Green agate	26.6
<i>AR7</i>	White agate	24.1
<i>AR8</i>	Gray agate	23.8
<i>AR12</i>	Red agate	24.4
<i>AR17</i>	Yellow agate	25.8

۵-۴- دمای تشکیل و منشأ آگات ها

یکی از نخستین کاربردهای مطالعه ی ایزوتوپ های اکسیژن در مسائل زمین شناختی، زمین دماسنجی است. دماسنجی ایزوتوپ اکسیژن کاربردهای دما پایین و نیز دما بالایی دارد. نخستین کاربردهای ایزوتوپ های اکسیژن در دماسنجی در تعیین دیرینه دماهای اقیانوس بود. در این روش فرض بر این است که تعادلی ایزوتوپی میان صدف های کربناتی جانداران دریایی و آب دریا برقرار است و از معادله ی اپشتاین^۱ و همکاران (۱۹۵۳) استفاده می شود که به رغم برخی پیشنهادهای بازنگری هنوز هم قابل استفاده است (فریدمن و اونیل^۲، ۱۹۷۷):

$$T^{\circ}\text{C} = 16/5 - 4/3 (\delta\text{c} - \delta\text{w}) + 0/14 (\delta\text{c} - \delta\text{w})^2$$

که در آن δc و δw به ترتیب $\delta^{18}\text{O}$ در CO_2 به دست آمده از CaCO_3 از راه واکنش با H_2PO_4 در 25°C و $\delta^{18}\text{O}$ در CO_2 در تعادل با آب دریا در 25°C است. در این روش فرض می شود که ترکیب

1- Epstein

2- Friedman & O'Neil

ایزوتوپی اکسیژن آب دریا در گذشته نیز مانند امروز بوده است، فرضی که درباره ی آن بحث بسیار است و دست کم برای بخش هایی از پلیستوسن که یخبندان آب تهی شده از ^{18}O را از اقیانوس ها خارج کرد درست نیست. این کار باعث تشدید تغییرات دما می شود (کلیتون^۱، ۱۹۸۱). در این روش همچنین فرض می شود که ترکیب ایزوتوپی اکسیژن در کربنات، اولیه است و ته نشینی کربنات فرایندی تعادلی بوده است. هر دوی این فرضها را باید با دقت بررسی کرد. از آنجا که دمای آب بستر اقیانوس ها در حکم تابعی از عمق تغییر می کند، احتمالاً می توان از دماسنجی ایزوتوپ اکسیژن برای برآورد عمق زندگی جانوران دریایی کف زی (دیرینه ژرفاسنجی) استفاده کرد (کلیتون، ۱۹۸۱). دماسنجی ایزوتوپی دما پایین همچنین برای تعیین دماهای دیاژنز و دگرگونی درجه پایین و برآورد دمای سیستم های فعال زمین گرمایی در پوسته ی قاره ای و نیز بستر اقیانوس به کار می آید.

سیستم های ایزوتوپ پایدار در بیشتر موارد در سنگ هایی که در دماهای بالا تشکیل شده اند، به دلیل تعادل با یک فاز سیال پس از تبلور، در تعادل نیستند. از این واقعیت می توان برای نتیجه گیری درباره ی ماهیت برهم کنش آب-سنگ استفاده کرد اما با آن نمی توان دمای سالیدوس یا دمای اوج دگرگونی در سنگ های آذرین و دگرگونی را تعیین کرد (گونتر، ۱۹۳۴).

به منظور تخمین دمای شکل گیری آگات های منطقه رضا آباد، دانستن مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ سیالی که کانی از آن ته نشست شده است و تغییرات عامل تفریق ایزوتوپی اکسیژن با دما بین کانی و سیال امری ضروری است. تجزیه و تحلیل مستقیم ترکیب ایزوتوپی سیال امکان پذیر نبوده و بنابراین دماهای تشکیل آگات ها با فرض ترکیبات سیالات مختلف محاسبه شده است. دماهای محاسبه شده برای گستره ای از مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ سیال تصادفی در جدول ۵-۲ ارائه شده است. دماهای بدست آمده از فرمول زیر محاسبه شده است (کلیتون و همکاران، ۱۹۷۲).

$$1000 \cdot \ln a = 3.38 (10^6 T^{-2}) - 2.90$$

1- Clayton

که در آن $\alpha = (1000 + \delta s) / (1000 + \delta w)$ اختلاف بین مقدار $\delta^{18}\text{O}$ نمونه و سیالی است که آگات از آن تشکیل شده است و T دمای قابل اندازه گیری بر حسب کلوین می باشد.

براساس اطلاعات موجود در پایگاه داده IAEA (آژانس بین المللی انرژی اتمی)، میزان $\delta^{18}\text{O}$ آب های جوی مربوط به تهران در طی سال های گذشته تا به امروز $6/3$ - برآورد شده است (روزانسکی^۱ و همکاران، ۱۹۹۳). این میزان برای شاهرود نیز توسط کاظمی و همکاران (۲۰۱۵) طی دو سال بدست آمده است ولی مقدار موجود برای تهران به دلیل اینکه در طی سالیان طولانی به دست آمده است، ترجیح داده می شود. بنابراین مقدار $\delta^{18}\text{O}$ سیال امروزی (δw) برای آگات های منطقه رضآباد در حدود $6/3$ - فرض می شود. همانطور که براساس نتایج به دست آمده در جدول ۵-۲ مشاهده می شود با افزایش مقدار $\delta^{18}\text{O}$ نمونه دمای تشکیل کاهش پیدا می کند. دماهای تشکیل نمونه های مورد بررسی با مقدار $\delta w = -6/3$ گستره ای بین $35/7$ °C تا $48/3$ °C را شامل می شوند که به ترتیب کمترین دما مربوط به بالاترین مقدار $\delta^{18}\text{O}$ نمونه و بیشترین دما مربوط به کمترین مقدار $\delta^{18}\text{O}$ می باشد. براساس دماهای محاسبه شده ی آگات های مختلف در منطقه، مشاهده شده است که با فرض ثابت بودن مقدار $\delta^{18}\text{O}$ سیال در تمام نمونه ها، آگات های سبز و سیاه با دارا بودن بیشترین مقدار $\delta^{18}\text{O}$ در دماهای پایین تری تشکیل شده اند و در مقابل بیشترین دمای تشکیل به آگات های خاکستری رنگ تعلق دارد که دارای کمترین مقدار ($23/8$ %) $\delta^{18}\text{O}$ می باشند. دمای محاسبه شده برای این دسته از آگات ها $48/3$ °C و برای آگات های سبز با بیشترین مقدار ($26/6$ %) $\delta^{18}\text{O}$ برابر $35/7$ °C محاسبه شده است.

داده های $\delta^{18}\text{O}$ آگات های منطقه رضا آباد نسبت به داده های منتشر شده از آگات های یافت شده در سنگ میزبان های اسیدی و بازالتی از سراسر جهان مورد مقایسه قرار گرفته اند (شکل ۵-۲) (گوتز، ۲۰۱۶). مطالعات قبلی مکانیزم نسبتاً متفاوتی را در مورد منشأ آگات ها پیشنهاد کرده اند. فلورک و همکاران (۱۹۸۲) شیمی، کانی شناسی و محتوای آب آگات های مختلف برزیل (که بسیار

1- Rozanski

شبيه به نمونه های مطالعه شده در این تحقیق می باشند) را با استفاده از طیف سنجی مادون قرمز مورد مطالعه قرار داده اند. آنها پیشنهاد کرده اند که آگات های متشکل از کوارتز و کوارتز بلورین از یک تاریخچه ی سرد شدن طولانی مدت نشأت گرفته اند. تفسیر آنها اینگونه بوده است که آگات از سیالات فوق بحرانی (با دمای $374^{\circ}\text{C} <$) ته نشین می شود ، در حالیکه کوارتز بلوری دانه درشت از یک سیال آبی با دمای پایین ($100^{\circ}\text{C} <$) تشکیل شده است.

جدول ۲-۵: دماهای تشکیل محاسبه شده برای آگات های رضا آباد براساس $\delta^{18}\text{O}$ سیالات مختلف و منطقه مورد مطالعه (Clayton et al. 1972).

$(\delta^{18}\text{O})_{\text{fluid}}$	T_{min}	T_{max}
-10 ‰	20.6	31.4
-6.3* ‰	35.7	48.3
-6 ‰	37.0	49.8
-5 ‰	41.5	54.9
-4 ‰	46.3	60.3
-3 ‰	51.2	65.9
-2 ‰	56.4	71.8
+6 ‰	108.79	133.59
+8 ‰	126.33	160.66

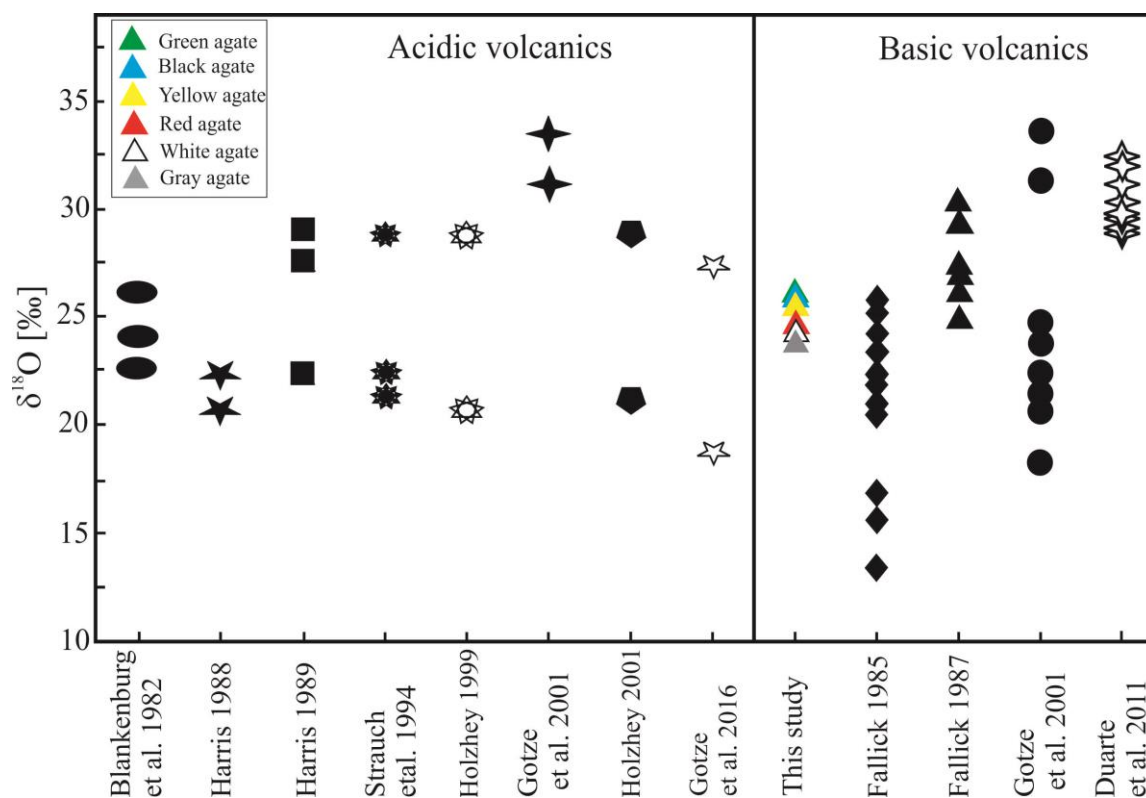
نکته: T_{min} و T_{max} دماهای حداقل و حداکثر محاسبه شده برای $\delta^{18}\text{O}$ آگات های مختلف ($23/8\%$ تا $26/6\%$) با $\delta^{18}\text{O}$ سیالات مختلف. * مقدار δW مربوط به منطقه مورد مطالعه.

گراچ^۱ و همکاران (۱۹۸۵) در مطالعه ای با استفاده از روش های مشابه، پیشنهاد کرده اند که کلسدونی های منطقه برزیل در دمای کمتر از ۲۵۰ درجه ی سانتی گراد تشکیل شده اند. فالیک^۲ و همکاران (۱۹۸۵) ترکیبات ایزوتوپی هیدروژن و اکسیژن آگات های اسکاتلند را مورد مطالعه قرار داده

1- Graetsch

2- Fallick

اند و نتیجه گرفته اند که این آگات ها در دمای پایین ۵۰ درجه ی سانتی گراد بدون ته نشینی اولیه از سیالات فوق بحرانی تشکیل شده اند. تحقیق حاضر مشابه نتایج بدست آمده از فالیک و همکاران (۱۹۸۵) می باشد که بیان کرده اند آگات ها در دمای پایین رسوب گذاری می کنند.



شکل ۵-۲- مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ نمونه های آگات منطقه مورد مطالعه که با مثلث های رنگی نشان داده شده است و مقایسه آنها با داده های ایزوتوپ اکسیژن از سراسر دنیا (برگرفته از Gotze, 2016).

فصل هشتم

نتیجه گیری

آگات های رضا آباد در فاصله ی ۱۵۰ کیلومتری جنوب شرق شاهرود در داخل سنگ های آتشفشانی ائوسن واقع شده اند. این منطقه بخشی از زون ساختاری ایران مرکزی محسوب می شود. این آگات ها دارای رنگ های مختلفی هستند و اکثراً در سنگ های آتشفشانی و مارن های ائوسن قابل مشاهده می باشند. مهم ترین نتایج به دست آمده از مطالعات صحرایی، پتروگرافی، ژئوشیمی صورت گرفته بر روی آگات های منطقه رضا آباد و سنگ میزبان های آتشفشانی آن و همچنین نتایج حاصل از به کار گیری محلول های شیمیایی جهت بهبود کیفیت و زیبایی بخشیدن به این آگات ها و استفاده از داده های ایزوتوپ پایدار اکسیژن جهت تعیین دما و منشأ تشکیل این آگات ها به شرح ذیل می باشند:

✓ آگات های منطقه رضا آباد دارای رنگ های متنوعی شامل قرمز، قهوه ای، سبز، زرد، خاکستری، سفید و سیاه می باشند که صرف نظر از دارا بودن تنوع رنگی و ظاهری زیبا عموماً فاقد لایه بندی بوده و کالسدونی نامیده می شوند. این آگات ها اغلب به صورت رگه ای در منطقه قابل مشاهده هستند که ضخامت رگه های آگاتی موجود در منطقه از ۰/۵ سانتی متر تا ۳۰ سانتی متر متغیر می باشد.

✓ سنگ های همراه آگات های رضا آباد بیشتر شامل بازالت، آندزیت-بازالت، آگلومراها و مارن های ائوسن می باشند که در این میان سنگ های بازالتی از گسترش بیشتری برخوردار بوده و فراوانی آگات ها بیشتر در بخش های پوشیده از بازالت مشاهده می شود.

✓ سنگ های بازالتی و آندزیتی منطقه با درصدهای متفاوتی از کانی های پیروکسن، پلاژیوکلاز و به مقدار کمتر الیوین می باشند که بافت های پورفیری، هیالومیکرولیتیک پورفیری و گلومروپورفیری نشان می دهند. پلاژیوکلازها از نظر اندازه کوچک، متوسط و بزرگ می باشند که در اکثر موارد به صورت میکروولیت در زمینه سنگ حضور دارند. الیوین به صورت ایدنگزیتی شده وجود دارد و بلورهای نیمه خودشکل تا خودشکل الیوین توسط اکسیدهای آهن جانشین شده اند.

✓ آگات های رضا آباد بیشتر به رنگ های سفید و بی رنگ می باشند که چندان مورد پسند مردم نمی باشد. لذا با رنگ آمیزی این آگات ها به رنگ هایی که بیشتر مورد پسند مشتری می باشد، نسبت به بالابردن ارزش اقتصادی آن اقدام شد و گامی در جهت رشد و توسعه صنعت گوهرسنگ ها برداشته

شد.

✓ جهت رنگ آمیزی آگات های منطقه رضا آباد از محلول های شیمیایی استفاده شده است. با استفاده از محلول شکر-آب و اسید سولفوریک رنگ آگات های سفید منطقه به رنگ سیاه تغییر یافت. از محلول کبالت کلراید هگزهیدرات جهت رنگ آمیزی نمونه ها به رنگ بنفش مایل به صورتی استفاده شد. محلول نیکل نترات هگزهیدرات رنگ آگات های سفید را به سبز مایل به زرد تغییر داد. با استفاده از محلول پتاسیم کرومات رنگ آگات های منطقه را به زرد تغییر داده ایم و در نهایت محلول پتاسیم فری سیانید-سولفات آهن رنگ آگات های مطالعه شده را به رنگ آبی تغییر داد. با توجه به نتایج به دست آمده و تغییر رنگ های مشاهده در نمونه های مورد بررسی، به وضوح شاهد افزایش زیبایی و جذابیت آگات های سفید و بی رنگ منطقه بوده ایم.

✓ با استفاده از نتایج حاصل از آنالیز ژئوشیمی آگات های مورد مطالعه و سنگ میزبان های آنها به بررسی ویژگی های ژئوشیمی این آگات ها پرداخته شد و نحوه ارتباط آن با سنگ میزبان آتشفشانی آنها بررسی شد. بر این اساس آگات های مطالعه شده دارای مقادیر SiO_2 بین ۹۷/۱ تا ۹۹/۶ درصد وزنی با مقادیر جزئی از Al_2O_3 (۰/۱۳-۰/۰۱ درصد وزنی) ، Fe_2O_3 (۰/۵۹-۰/۰۱ درصد وزنی) ، Na_2O (۰/۰۶-۰/۰۱ درصد وزنی) و CaO (۰/۰۵-۱/۰۸ درصد وزنی) می باشند.

✓ روند کلی الگوی عناصر خاکی کمیاب این آگات ها دارای شیب منفی از La تا Nd است که از عناصر خاکی کمیاب سبک (LREE) از قبیل La و Ce غنی شده اند و از Nd تا Yb بصورت تقریباً مسطح است. بیشتر نمونه های آگات (بجز آگات های سفید) آنومالی مثبت یوروپیم (Eu) نشان می دهند.

✓ فراوانی میانگین اکثر عناصر موجود در آگات ها به خصوص در نمونه های سیاه و قهوه ای شبیه به هم است. وانادیوم (۵-۱۷ ppm)، باریوم (۰/۵-۶۹/۷ ppm) و استرانسیوم (۳-۸/۴ ppm) از بیشترین فراوانی خصوصاً در آگات های قهوه ای و سیاه برخوردار می باشند. فراوانی اورانیوم (۱۳/۸۵ ppm) به طور خاصی در آگات های سیاه بالا است که می تواند بخاطر تمرکز بالای این عنصر در سیال تشکیل دهنده ی آگات باشد و همچنین علت رنگ سیاه این دسته از آگات ها را توجیه کند.

✓ الگوی عناصر خاکی کمیاب سنگ های میزبان یک شیب منفی آرامی را از La تا Lu نشان می دهد و یوروپیم از بی هنجاری منفی ضعیفی برخوردار می باشد. شباهت ها در شکل و شیب الگوهای عناصر خاکی کمیاب آگات ها و سنگ والدهای آتشفشانی آنها این نتیجه را به دست می دهد که عناصر موجود در آگات ها ممکن است توسط سیالات در حال گردش از سنگ دیواره آتشفشانی میزبان به ارث برده شده باشد.

✓ مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ آگات های مورد مطالعه در محدوده ای بین $23/8\%$ تا $26/6\%$ واقع می شوند. آگات های سبز رنگ دارای بیشترین مقدار $\delta^{18}\text{O}$ بوده و آگات های خاکستری کمترین مقدار $\delta^{18}\text{O}$ را دارا می باشند.

✓ مقدار $\delta^{18}\text{O}$ سیال امروزی (δw) برای آگات های منطقه رضاآباد در حدود $-6/3$ می باشد. دماهای تشکیل آگات های مورد بررسی با مقدار $\delta w = -6/3$ گستره ای بین $35/7\text{ }^{\circ}\text{C}$ تا $48/3\text{ }^{\circ}\text{C}$ را شامل می شوند که آگات های سبز و سیاه با دارا بودن بیشترین مقدار $\delta^{18}\text{O}$ در دماهای پایین تری تشکیل شده اند و در مقابل آگات های خاکستری رنگ با کمترین مقدار $\delta^{18}\text{O}$ ($23/8\%$) در دمای بیشتری تشکیل شده اند.

✓ مقایسه ی داده های $\delta^{18}\text{O}$ آگات های منطقه رضا آباد با داده های منتشر شده از آگات های یافت شده در سنگ میزبان های اسیدی و بازالتی از سراسر جهان به دمای پایین رسوب گذاری آگات های منطقه اشاره دارد.

منابع

منابع فارسی

- ابطحی، م.، (۱۳۸۶) "سنگ ها و خواص اعجاب انگیز. تاثیرات سنگ‌ها در زندگی و درمان امراض از نظر پیشوایان دین و دانشمندان". انتشارات عطر عترت. ۱۷۶ صفحه.
- ادیب، د.، (۱۳۷۴) "جهان جواهرات"، جلد اول، انتشارات یادواره اسدی. ۶۵۶ صفحه.
- اعتمادی، ب.، نخبه الفقهای، ع.، (۱۳۸۹) "نقش فرآیندهای ساختاری و زمین شناسی در پیدایش سنگ های 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.
- اکرمیان، ا.، قاسمی، ح.ا.، طاهری، ع.ا. و صادقیان، م.، (۱۳۸۹) "ماگماتیسم آندزیتی - داسیتی ائوسن میانی - فوقانی در منطقه زمان آباد، جنوب شرق شاهرود: نشانه‌ای از ماگماتیسم کالکو آلکالن حاشیه قاره‌ای ایران مرکزی". چهاردهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران و بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین، ۲۵ الی ۲۷ شهریور ماه. دانشگاه ارومیه، صفحه ۱-۶.
- آقناباتی، ع.، (۱۳۸۳) "زمین شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه.
- بصیری، م. ح.، سید سلماسی، س.، (۱۳۸۹) "راهبردهای توسعه صنعت سنگ های قیمتی در ایران"، فصلنامه علوم زمین، شماره ۷۶، صفحه ۱۰۷ تا ۱۱۲.
- برهمند، م.، (۱۳۸۹) "بررسی موقعیت چینه‌شناسی و پتروژنز بازالت‌های نئوژن منطقه‌ی احمدآباد (خارتوران، جنوب شرق شاهرود)"، پایان نامه ارشد دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- جمشیدی، خ.، (۱۳۸۹) "مطالعه ماگماتیسم مافیک قاعده سازند شمشک در زون البرز شرقی"، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- خواجه بیدختی، ح.، (۱۳۸۸) "پژوهش های پیرامون سنگ های قیمتی و نیمه قیمتی در ایران و جهان". چاپ مهلا، ۴۱۲ صفحه.

رادفر، ج.، کهنسال، ر.، (۱۳۸۱) "گزارش ورقه ی زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ داورزن". سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران.

رضوی، ر.، (۱۳۹۰) "پترولوژی و ژئوشیمی سنگ های آتشفشانی ائوسن ناحیه داورزن سبزوار"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود.

سپاهی، ع.، (۱۳۸۱) "مطالعه روابط ساختاری گرانیتوئیدهای الوند و سنگهای میزبان آنها"، ششمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، کرمان، انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه باهنر کرمان. سلامتی، ر.، (۱۳۷۹) "گزارش ورقه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ احمدآباد". سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران.

شاه حسینی، ا.، اشجع اردلان، ا.، یزدی، ع.، (۱۳۹۲) "معرفی سنگهای قیمتی ترود و تاثیر آن بر توسعه اقتصادی پایدار"، چهارمین همایش منطقه ای چالش ها و راهکارهای توسعه در مناطق محروم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کهنوج.

شیخی قشلاقی، ر.، (۱۳۹۲) "ولکانیسم جنوب و جنوب غرب طرود و ارتباط آن با تشکیل سنگ های قیمتی"، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی. شیخی قشلاقی، ر.، قربانی، م.، (۱۳۹۴) "خصوصیات مینرالوگرافی، گوهرشناسی و ارتباط آن با کیفیت صیقل خوری در آگات های جنوب ترود". مجله ی زمین شناسی کاربردی پیشرفته. شماره ۱۸، صفحات ۴۴-۵۳.

شیخی مقدم، ق.، (۱۳۷۸) "پی جویی سنگ های قیمتی و نیمه قیمتی"، وزارت صنایع و معادن. صادقی، م.، فیضی، ع.، دیداری عباس آباد، ح.، (۱۳۹۲) "بررسی کانی شناسی سیلیس های نیمه قیمتی جنوب طرود از دیدگاه جواهرشناسی با توجه به اهمیت فرآوری و تراش سنگهای گرانبها در ایران". سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره ی بین المللی تخصصی علوم زمین، وزارت صنعت، معدن و تجارت.

صالحی نژاد رنجبر، ح.، (۱۳۸۷) "پترولوژی و ژئوشیمی گنبد های ساب ولکانیک منطقه باشتین (

غرب سبزواری". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
غفاری نیک، ب.، (۱۳۷۸) "بررسی تاریخیچه دگرریختی واحد آهکی شیلی کرتاسه زیرین ناحیه
احمدآباد"، پایان نامه کارشناسی ارشد، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور،
پژوهشکده علوم زمین.

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

قاسمی، ح.، رستمی حصوری، م.، صادقیان، م.، کدخدای عرب، ف.، (۱۳۹۴) "فعالیت ماگمایی
ککشی پشت کمانی در حوضه الیگومیوسن لبه شمالی ایران مرکزی"، فصلنامه علوم زمین،
شماره نود و نه، صفحات ۲۳۹-۲۵۲.

قاسمی، ح.، آسیابانها، ع.، (۱۳۸۵) "معرفی و تفکیک رخدادهای دگرگونی منطقه دلبر، جنوب شرق
بیارجمند، ایران مرکزی"، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان. صفحات ۲۳۱ تا ۲۴۷.

قاسمی، ح.، برهمند، م.، (۱۳۹۲) "پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های آذرین موجود در سازند قم زیرین
منطقه گرمسار"، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال هفتم، شماره بیست و ششم، صفحات ۱۷-
۳۳.

قاسمی، ح.، برهمند، م.، صادقیان، م.، (۱۳۹۰) "گدازه‌های بازالتی الیگوسن شرق و جنوب شرق
شاهرود: شاهدی بر جایگاه پشت کمانی حوضه الیگوسن-میوسن ایران مرکزی"، مجله پترولوژی،
سال دوم، شماره هفتم، صفحات ۷-۹۴.

مردانی، پ.، (۱۳۹۰) "بررسی پترولوژی، ژئوشیمی و تحلیل رخساره‌ای سنگهای آتشفشانی و
آتشفشانی - رسوبی منطقه پهنواز (جنوب بیارجمند - شاهرود)"، پایان نامه کارشناسی ارشد
دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

نظری، م.، (۱۳۸۵) "کانی شناسی و ژنز آگات ها و ژئودهای شرق خور و رابطه آن با تشکیل
بنتونیتها" دومین همایش انجمن زمین شناسی ایران. دانشگاه فردوسی مشهد.

نواب مطلق، ا.، (۱۳۸۳) "نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ابریشم رود". سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- Baur, P.E., (1997) " The south sandwich Islans: III. Petrology of the volcanic rocks", Br. Antract Surv: Scientific Reports. No93.
- Best, G. (2003) "Igneous and metamorphic petrology". Blackwell Science, 729p.
- Blankenburg, H.J., (1988) "Achat: Eigenschaften, Genese, Verwendung. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie", Leipzig. 203 p.
- Blankenburg, H.J., Schrön, W., (1982) "Zum Spurenelementchemismus der Vulkanitachate". Chemie der Erde. 41, 121–135.
- Boynton, W.V., (1984) "Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies". In: HENDERSON, P. (ed), Rare Earth Element Geochemistry, Elsevier. pp, 63–114.
- Clayton R.N., (1981), "Isotopic thermometry". In: Newton R.C., Navrotsky A. and Wood B.J. (eds). Thermodynamics of minerals and melts. Springer-Verlag, New York, pp. 85-109.
- Clayton, R.N., O'Neil, JR., Mayeda, T.K., (1972) "Oxygen isotope exchange between quartz and water". Journal of Geophysical Research. 77, 3057-3067.
- Cornelius, S., Hurlbut, Jr., (1993) "Manual of mineralogy (after James D. Dana)". 21st ed., Wiley international ed. New York.
- Deer, W. A., Howie, R. A; Zussman, J. (1991), "An introduction to rock forming minerals. Longman", 528 pp.
- Duarte, L.C., Hartmann, L.A., Ronchi, L.H., Berner, Z., Theye, T., Massonne, H.J., (2011) "Stable isotope and mineralogical investigation of the genesis of amethyst geodes in the Los Catalanes gemological district, Uruguay, southernmost Paraná volcanic province". Mineralium Deposita. 46, 239-255.
- Epstein, S., Buchsbaum R., Lowenstam, H.A., Urey, H.C., (1953) "Revised carbonate-water isotopic temperature scale". Geological Society of America Bulletin. 64, 1315-1326.
- Fallick , A. E., Jocelyn, J., Hamilton, P. J., (1987) "Oxygen and Hydrogen stable isotope systematics in brazilian agates". In: Rodriguez-Clemente, R. and Tardy, Y. (Eds.) "Geochemistry and mineral formation in the earth surface". 99-117.
- Fallick, A.E., Jocelyn, J., Donnelly, T., Guy, M., Behan, C., (1985) "Origin of agates in volcanic rocks from Scotland". Nature. 313, 672–674.

- Flörke, O.W., Köhler-Herbertz, B., Langer, K., Tönges, I., (1982) "Water in microcrystalline quartz of volcanic origin: Agates". *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 80, 324-333.
- Friedman, I., O'Neil, J.R., (1977) "Data of geochemistry. Compilation of stable isotope fractionation factors of geochemical interest". U.S. Geological Survey Professional paper. 440-KK.
- Gill, R., (2010) "Igneous 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) "Agates. Izd. Nedra", Moscow Žin Russia.
- Gonfiantini, R., (1978) "Standards for stable isotope measurements in natural compounds". *Nature*, 271, 534-536.
- Götze, J., (2011) "Agate – fascination between legend and science". In: Zenz, J. (Ed.) *Agates III*. Bode-Verlag, pp. 19-133.
- Götze, J., (2016) "Origin and geochemistry of agates in Permian volcanic rocks of the sub-Erzgebirge basin". *Saxony (Germany). Chemical Geology*. 428, 77-91
- 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, 96-105.
- Götze, J., Tichomirowa, M., Fuchs, H., Pilot, J., Sharp, Z., (2001) "Geochemistry of agates: a trace element and stable isotope study". *Chemical Geology*. 175, 523–541.
- Graetsch, H., Flörke, O.W., Mieke, G., (1985) "The Nature of Water in Chalcedony and Opal-C from Brazilian Agate Geodes". *Physics and Chemistry of Minerals*. 12, 300-306.
- Graham, C.M., Harmon, R.S., (1983) "Stable isotope evidence on the nature of crust-mantle interactions". In: Hawkesworth C.J. and Norry M.J. (eds), "Continental basalts and mantle xenoliths". Shiva, Nantwich, pp. 20-45.
- Gunter, F., (1934) "Principles of isotope geology". Wiley & Sons in New York, 464 p.
- Haj Alilou, B., Vosough, B., (2009) "Geological source of Mianeh agates. 17th Symposium of crystallography and mineralogy of Iran", Hamedan university, Hamedan.

- Haj Alilou, B., Vosough, B., Moazen, M., (2011) "Mineralogy, geochemistry, gemology and variety in colors of Mianeh agates". Iranian journal of crystallography and mineralogy of Iran. 19, 427-438.
- Harder, H., (1993) "Agates-formation as a multi component colloid chemical precipitation at low temperatures". Neues Jahrbuch für Mineralogie. Abhandlungen. 1993, 31-48.
- Harker A., (1909) "The natural history of igneous rocks". Methuen, London. Huen, 383 p.
- Harris, C., (1988) "Oxygen isotope Geochemistry of a Quartz-Agate Geode from northwestern Namibia". Survey of Communications Geological S.W. Africa Namibia. 4, 43-44.
- Harris, C., (1989) "Oxygen-isotope zonation of agates from Karoo volcanics of the Skeleton Coast, Namibia". American Mineralogist. 74, 476-481.
- Harris, C., Ashwal, L.D., (2002) "The origin of low d18O granites and related rocks from the Seychelles". Contributions to Mineralogy and Petrology. 143, 366-376.
- Holzhey, G., (1995) "Herkunft und Akkumulation des SiO₂ in Rhyolithkugeln aus Rotliegendvulkaniten des Thüringer Waldes". Geowissenschaftliche Mitteilungen von Thüringen. 3, 31-59.
- Holzhey, G., (1999) "Mikrokristalline SiO₂-Mineralisationen in rhyolithischen Rotliegendvulkaniten des Thüringer Waldes (Deutschland) und ihre Genese". Chemie der Erde. 59, 183-205.
- Holzhey, G., (2001) "Contributions to petrochemicalmineralogical characterization of alteration processes within the marginal facies of rhyolitic volcanics of Lower Permian age, Thuringian Forest, Germany". Chemie der Erde. 61, 149-186.
- Hopkinson, L., Roberts, S., Herrington, R., Wilkinson, J., (1998) "Self-organization of submarine hydrothermal siliceous deposits: Evidence from the TAG hydrothermal mound, 26°N Mid-Atlantic Ridge". Geology, 26, 347-350.
- Hurlbut, C.S.Jr., Kammerling, R.C., (1991) "Gemology, 2nd ed. New York". 130, 2, 337 pp.
- 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.
- Iran International Stone Foundation, (2003) "The plan of museum, bank, insurance and

- exchange of gemstones in Iran".
- John Bostock, M.D, Riley FRSHT, Esq.B.A, (1855) "The Natural History. Pliny the Elder". Taylor and Francis.
- Kazemi, G.A., Ichiyangi, K., Shimada, J., (2015) "Isotopic characteristics, chemical composition and salinization of atmospheric precipitation in Shahrood, northeastern Iran", *Environ Earth Sci*, 73, 361.
- Kyser, T.K., O'Neil J.R., Carmichael, I.S.E., (1982) "Genetic relations among basic lavas and ultramafic nodules: evidence from oxygen isotope compositions". *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 81, 88-102.
- Landmesser, M., (1984) "Das Problem der Achatgenese". *Mitteilung Pollichia* 72, 5-137.
- Leonardus, C., (1502) "Mirror of the stones", London : Printed for J. Freeman in Fleet-street, 119, 200-240p.
- Lopez, M., Birch, D.J.S., (1996) "Uranyl photophysics on colloidal silica: An alternative luminescence-enhancing medium for uranyl assay". *Analyst*. 121, 905-908.
- Malek-Mahmoodi, F., (2010). "Mineralogical and geochemical studies of hydrothermal alteration and mineralization of altered zones in Tashtab Mount, Khur (North East of Isfahan)", M.Sc. thesis, University of Isfahan.
- MeOrist G.D., Smalwood A., (1995) "Trace elements in coloured opals using neutron activation analysis". *Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 198, 499-510.
- Merino, E., Wang, Y., Deloule, E., (1995) "Genesis of agates in flood basalts; twisting of chalcedony fibers and trace element geochemistry". *American Journal of Science*. 295, 1156–1176.
- Moxon, T, (2002) "Agate: A Study of Ageing. *European Journal of Mineralogy*". 14, 1109-1118.
- Moxon, T., Nelson, D.R., Zhang, M., (2006) "Agate Recrystallisation: Evidence from Samples Found in Archaean and Proterozoic Host Rock, Western Australia". *Australian Journal of Earth Sciences*. 53, 235-248.
- 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, 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*, 4, 693-706.

- Nazari, M., (2004) "Agates and Geodes from the Khur area, Central Iran". *Australian Gemmologist*. 22, 21-28.
- Nazari, M., (2006b) "study of accessory minerals in khur agates and geodes by electronic microscope". 4th Symposium of geological society of Iran, Tabriz university, Tabriz.
- O'Neil, J.R., (1979) "Stable isotope geochemistry of rocks and minerals". 264-273. In E. Jager and J.C. Hunziker, eds., *Lectures in Isotope Geology*. Springer-Verlag, Berlin, 329 p.
- Pabian, R.K., Zarins, A., (1994) "Banded agates – Origins and inclusions". *Educational Circular No. 12*, University of Nebraska, Lincoln, 32 p.
- Righter, K., Rosas-Elguera, J., (2001) "Alkaline lava in the volcanic front of western Mexican volcanic belt: Geology and petrology of Ayulta and Tapalpa volcanic fields". *Journal of Petrology* 42, 2333-2361.
- Rollinson, H.R., (1993) "Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation". John Wiley and Sons, 325p.
- Rozanski, K., Araguás-Araguás, L., Gonfiantini, R., (1993) "Isotopic Patterns in Modern Global Precipitation", in *Climate Change in Continental Isotopic Records* (eds P. K. Swart, K. C. Lohmann, J. Mckenzie and S. Savin), American Geophysical Union, Washington, D. C.
- Shahabpour, J., (1994) "Post-mineralization breccia dike from the Sar Cheshmeh porphyry copper porphyry system, Kerman, Iran". *Exploration And Mining Geology*. 3, 39-34.
- Strauch, G., Nitzsche, H.M., Holzhey, G., (1994) "Isotopenuntersuchungen an Rhyolithen und Achatbildungen". *Neues Jahrbuch Mineralogie Abhandlungen* 165, 103–104.
- Taylor, H.P., (1974) "The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition". *Economic Geology*. 843-883.
- Taylor, H.P., (1980) "The effect of assimilation of country rocks by magmas on $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ systematics in igneous rocks". *Earth Planet. Sci. Lett.*, 47, 243-254.
- Thompson, R.N., (1982) "British Tertiary volcanic province". *Scottish Journal of Geology*. 18, pp. 49 -107.
- 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 Geologische Vereinigung. 36, 20-31.

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

Whitman Cross, J.P., Iddings, L.V., Pirsson H.S., (1906) "The Texture of Igneous Rocks". Journal of Geology. 14, 692-707.

World Health Organization (2014) "World Health Statistics 2014". 210 pages.

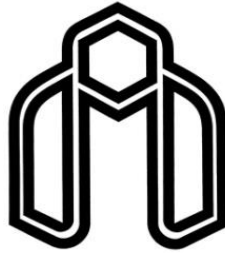
Xu, X.W., Jiang, N., Yang, K., Zhang, B.L., Liang, G.H., Mao, Q., Li, J.X., Du, S.J., Ma, Y.G., Zhang, Y., and Qin, K.Z., (2009) "Accumulated phenocrysts and origin of feldspar porphyry in the Chanho area. Western Yunnan, China". Lithos v. 113, p.595 – 611.

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

Abstract

The Reza Abad agates, which are parts of magmatic belt of north Central Iran, are located in 150 km SE of Shahrood in Eocene volcanic host rocks and in NW of Reza Abad village. The host rocks of these agates mainly comprise of basalt, basaltic andesite and pyroclastic rocks. The Reza Abad agates have different colors such as red, brown, yellow, green, gray, white and black and are often observed as veins which vary in thicknesses from 3 mm to 30 cm. Although the agates of the area have their own beauty and charm, most of them are white and colorless which are not popular with people. In this research, it has been attempted to color these agates into popular colors, in order to increase their economic value. The chemical solutions used here to enhance the agates in Reza Abad area, including: (1) The sugar-water solution and sulfuric acid changed the color of the white agates to the black and a solution of cobalt chloride hexahydrate was used to color the samples to pink and lavender. (2) The nickel nitrate hexahydrate solution changed the color of the white agates to green and (3) the potassium chromate solution changed its color to yellow. (4) Finally, potassium ferricyanide and ferrous sulfate solution was used to change the agate colors of the region in blue. According to geochemical studies, the general trend of rare earth element pattern of these agates has a negative slope from La to Nd, which is enriched from light rare earth elements (LREE) such as La and Ce, and is almost flat from Nd to Yb. Vanadium, barium and strontium are most abundant in brown and black agates. In addition, the uranium abundance is particularly high in black agates, which can be due to the high concentration of this element in the fluid forming agate. The similarities in the shape and slope of the rare earth elements patterns of the agates and the host volcanic rocks give the result that the elements forming the agates may have originated from fluids circulating in the host volcanic rock. Based on the results of the oxygen stable isotope analysis, the $\delta^{18}\text{O}$ values of the studied agates are in the range of 23.8 to 26.6 ‰. The formation temperature of the investigated agates with a value of $-6.3 \delta\omega$ range from 35.7 °C to 48.3 °C, which is the lowest temperature of green agate (with the highest value of $\delta^{18}\text{O}$) and the highest temperature is related to gray agates (with the lowest value of $\delta^{18}\text{O}$), respectively. The comparison of $\delta^{18}\text{O}$ data of Reza Abad agates with data from agates found in acidic and basaltic host rocks from all over the world refers to the low temperature of agate deposition in the region.

Keywords: Agate, color, geochemistry, oxygen stable isotope, basalt, Shahrood.



Shahrood University of technology
Faculty of Earth Sciences
Department of Petrology and Economic Geology

**The enhancement of Reza Abad agates and determining their
origin based on the stable isotopes, SE Shahrood (Central
Iran)**

Author:

Ommolbanin Ansarifar

Supervisor:

Dr. M. Rezaei-Kahkhaei

Advisor:

Dr. H.Ghasemi

Thesis submitted for MSc degree

September 2017