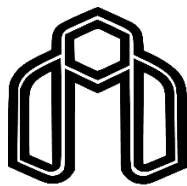


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین

رشته زمین‌شناسی، گرایش زمین‌شیمی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شیمی

ژئوشیمی زئولیت‌های موجود در سنگ‌های آتشفشانی عباس‌آباد، شمال شرق شاهرود: رهیافتی بر شرایط تشکیل و کاربردهای آنها

نگارنده

سمیه نادری دستگردی

استاد راهنما

دکتر حبیب‌اله قاسمی

استاد مشاور

دکتر مهدی رضایی کهنخانی

بهمن ۱۳۹۷

شماره: ۹۷، ۱۱، ۰۹
تاریخ: ۲۷، ۱۱، ۹۷

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم سمیه نادری دستگردی با شماره دانشجویی ۹۴۳۹۲۸۴ رشته زمین شناسی گرایش زمین شیمی تحت عنوان ژئوشیمی زئولیت های موجود در سنگ های آتشفشانی عباس آباد، شمال شرق شاهرود: رهیافتی بر شرایط تشکیل و کاربرد- های آنها که در تاریخ ۹۷/۱۱/۰۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: <input checked="" type="checkbox"/> قبول) <input type="checkbox"/> مردود <input type="checkbox"/>			
نوع تحقیق: <input type="checkbox"/> نظری <input checked="" type="checkbox"/> عملی			
عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر حبیب الله قاسمی	دکتر	
۲- استاد راهنمای دوم			-
۳- استاد مشاور	دکتر مهدی رضایی کهخایی		
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر معصومه کردی		
۵- استاد ممتحن اول	دکتر مریم شیبی		
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر فرج الله فردوست		

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر پرویز امیدی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

۹۷، ۱۱، ۲۷

از جمله است



تنبیه: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع

مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم به دوستانه پرفروغ زندگیم:

پدر و مادر عزیز و مهربانم؛

که وجودم برایشان همه رنج بود و وجودشان برایم همه مهر

و خواهران عزیزم

و تقدیم به تمامی دوستان دلسوز و بزرگوارم که وجودشان مایه دلگرمی در این مسیر بود؛

خانم‌ها: زهرا ایران دوست، مینا شریطی، عطیه نجیب، مریم مقصودی، زهرا کیوانلو، مونا

میرحجتی، نسترن زمانی و باقی دوستان عزیزم که در سختی‌ها همراه و بهکام بودند.

دوست ندارم جوانی از شمار جز بر دو گونه بینم: دانشمندیادانشجو.

امام صادق (ص)

- باشکر و پاس از استاد بزرگوار و پرمایه ام جناب آقای دکتر قاسمی و دکتر رضایی کفخانی که از محضر پر فیض تدریسیشان، بهره‌برده‌ام، چرا که بدون راهنمایی‌های آنها تأمین این پایان‌نامه بسیار مشکل می‌نمود.
- در نهایت تشکر می‌کنم از دکتر محمود صادقیان، دکتر فرج‌اله فردوست، دکتر مسعود علیپور، دکتر فریدین موسوی، دکتر جمشید احمدیان و مهندس بهدانیان که مرا از الطاف بی‌دریغشان محروم نساختند.
- با تقدیر و درود فراوان خدمت پدر و مادر و خواهران بسیار عزیز، دل‌سوز و فداکارام که پیوسته جرعه نوش جام تعلیم و تربیت، فضیلت و انسانیت آنها بوده‌ام و همواره چراغ وجودشان روشنگر راه من در سختی‌ها و مشکلات بوده‌است.
- با سپاس بی‌دریغ خدمت دوستان گران‌مایه ام خانم‌ها ایران دوست، شرعی، نجیب، اورک، مقصودی، کهنتری، عرب‌زاده، کاظمی، اسماعیلی، کیوانلو و میرحجتی و آقایان حسینی، دکتر شمس، پیله‌کوهی، حیدری و پارسا زاده که مرا صمیمانه و مشفقانه یاری داده‌اند و باشکر خالصانه خدمت همه کسانی که به نوعی مراد به انجام رساندن این امر مهم یاری نموده‌اند.

سمیه نادری، بهمن ۱۳۹۷

تهیه‌نامه

اینجانب سمیه نادری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شیمی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه "ژئوشیمی زئولیت‌های موجود در سنگ‌های آتشفشانی عباس‌آباد، شمال شرق شاهرود: رهیافتی بر شرایط تشکیل و کاربردهای آن‌ها" تحت راهنمایی دکتر حبیب‌اله قاسمی و دکتر مهدی رضایی کهخانی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه 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 پایان‌نامه 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 می‌باشد 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 پایان‌نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، 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 می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .

استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

نوار آتشفشانی - رسوبی ائوسن عباس آباد در ۱۳۰ کیلومتری شمال شرق شاهرود، شامل تناوبی از سنگ- های بازالتی - آندزیتی و آذرآوری های وابسته به همراه میان لایه های رسوبی به سن ائوسن میانی - بالایی است که در لبه شمال شرقی زون ساختاری ایران مرکزی واقع شده است. طیف ترکیبی سنگ های آتشفشانی این نوار شامل الیوین بازالت، تراکی بازالت، تراکی آندزیتی بازالت و تراکی آندزیت متشکل از کانی- های اصلی پلاژیوکلاز، پیروکسن و الیوین می باشد. تراکم قابل توجهی از زئولیت های اسفرولیتی، رگه های و کانی های همراه آن ها از جمله کلسیت در حفرات و شکستگی های سنگ میزبان تراکی بازالتی و آذرآوری های وابسته به آن، در افق های خاصی دیده می شود. زئولیت ها از معمول ترین فرآورده های واکنش های شیمیایی بین شاره های گرمابی با سنگ های پوسته زمین طی فرایندهای گرمابی، دیاژنز و دگرگونی کم دما هستند. تغییر در دما، pH، مقادیر CO_2 و H_2O ، نسبت Si/Al و نوع سنگ میزبان، عواملی هستند که سبب تنوع کانی زایی زئولیت ها می شوند. بر اساس نتایج حاصل از داده های پرتو ایکس (XRD) و بررسی مقاطع نازک نمونه های برداشت شده از منطقه، کانی های زئولیتی به ترتیب فراوانی شامل ناترولیت، آنالسیم، تامسونیت و پرهنیت هستند و متعاقب آن رشد چند نوع زئولیت مختلف به صورت متوالی در یک حفره خواهیم بود. این نوع زئولیت ها غالباً در حفرات ترکیبات سنگی بازیک آلکالن و در شرایط دگرسانی دمای پایین و دیاژنرتیک تشکیل می شوند که با شرایط زمین شناسی حاکم بر منطقه کامل مطابقت دارد. ناترولیت، فروان ترین گونه زئولیت در منطقه است که از آن می توان برای گرفتن سختی آب، حذف آلاینده های آلی در پساب ها و فاضلاب های خانگی و صنعتی، به عنوان پر کننده در صنایع کاغذسازی، استفاده در شوینده ها و جذب عناصر سنگین و همچنین در صنعت کشاورزی، دام و طیور استفاده کرد.

کلمات کلیدی: زئولیت، سنگ های آتشفشانی عباس آباد، آنالسیم، ناترولیت، تامسونیت، XRD

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه:

- ژئولیت‌زایی در سنگ‌های آتشفشانی ائوسن نوار عباس‌آباد- کاهک (شرق شاهرود)، دهمین همایش ملی انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه اصفهان، شهریور ۱۳۹۷.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول کلیات	
۱-۱- مقدمه.....	۲
۲-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه.....	۳
۳-۱- آب و هوا و پوشش گیاهی.....	۴
۴-۱- ژئومورفولوژی و زمین ریخت‌شناسی منطقه.....	۶
۵-۱- مطالعات پیشین در منطقه و مناطق اطراف.....	۸
۶-۱- هدف از مطالعه.....	۱۴
۷-۱- روش‌های مطالعاتی.....	۱۵

فصل دوم: زمین‌شناسی عمومی منطقه عباس‌آباد

۱-۲- مقدمه.....	۱۸
۲-۲- ماگماتیسم ائوسن در ایران مرکزی.....	۲۱
۳-۲- واحدهای سنگی منطقه عباس‌آباد.....	۲۴
۱-۳-۲- واحدهای سنگی ائوسن.....	۲۶
۱-۳-۲-۱- شیل و ماسه‌سنگ زیرین.....	۲۶
۳-۲-۱-۲- نهشته‌های آذرآواری (آتشفشانی - رسوبی).....	۲۶

- ۲۸ لاپیلی کریستال توف ۳-۱-۳-۲
- ۲۹ تراکی بازالت با میان لایه الیوین بازالتی ۴-۱-۳-۲
- ۳۱ آهک نومولیت‌دار ۵-۱-۳-۲
- ۳۲ تراکی آندزیت‌ها و تراکی آندزی بازالت‌ها ۶-۱-۳-۲
- ۳۵ آهک توفی ۷-۱-۳-۲
- ۳۵ واحدهای سنگی الیگوسن ۲-۳-۲
- ۳۵ کنگلومرای چندزادی ۱-۲-۳-۲
- ۳۶ شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌های بالایی ۲-۲-۳-۲
- ۳۷ مارن‌های آهکی ۳-۲-۳-۲
- ۳۸ کواترنری ۳-۳-۲
- ۳۸ پادگانه‌های آبرفتی کواترنری ۱-۳-۳-۲
- ۳۹ تکتونیک کلی منطقه ۴-۲
- ۴۲ گسل راندگی میامی ۱-۴-۲
- ۴۳ زمین‌شناسی اقتصادی منطقه ۵-۲
- ۴۴ مس ۱-۵-۲
- ۴۶ آهن ۲-۵-۲
- ۴۷ منگنز ۳-۵-۲

فصل سوم: پتروگرافی

- ۵۰..... ۱-۳-۱- مقدمه
- ۵۱..... ۲-۳-۲- پتروگرافی سنگ‌های آتشفشانی
- ۵۲..... ۱-۲-۳-۱- الیوین‌بازالت
- ۵۳..... ۱-۲-۳-۱-۱- کانی‌های اصلی
- ۵۳..... ۱-۲-۳-۱-۱-۱- پیروکسن
- ۵۶..... ۱-۲-۳-۱-۲- اولیوین
- ۵۷..... ۱-۲-۳-۱-۳- پلاژیوکلاز
- ۵۸..... ۱-۲-۳-۲-۱- کانی‌های ثانویه
- ۵۸..... ۱-۲-۳-۱-۲-۱- زئولیت
- ۵۹..... ۱-۲-۳-۲-۲-۱- کلسیت
- ۵۹..... ۱-۲-۳-۲-۲- تراکی‌بازالت
- ۶۱..... ۱-۲-۳-۲-۱- کانی‌های اصلی
- ۶۱..... ۱-۲-۳-۲-۱-۱- پلاژیوکلاز
- ۶۱..... ۱-۲-۳-۲-۱-۲- پیروکسن
- ۶۳..... ۱-۲-۳-۳-۲- تراکی‌اندزی‌بازالت
- ۶۳..... ۱-۲-۳-۱-۳-۲- کانی‌های اصلی
- ۶۳..... ۱-۲-۳-۱-۱-۳- پیروکسن
- ۶۴..... ۱-۲-۳-۲-۱-۳- پلاژیوکلاز

۶۵	..... ۲-۳-۲-۳-کانی های فرعی
۶۵	..... ۱-۲-۳-۲-۳-الیوین
۶۶	..... ۴-۲-۳-تراکی آندزیت ها
۶۶	..... ۱-۴-۲-۳-کانی های اصلی
۶۶	..... ۱-۱-۴-۲-۳-پیروکسن
۶۷	..... ۲-۱-۴-۲-۳-پلاژیوکلاز
۶۸	..... ۲-۴-۲-۳-کانی های ثانویه
۶۹	..... ۵-۲-۳-ویژگی های نوری زئولیت ها در سنگ های آتشفشانی منطقه عباس آباد
۶۹	..... ۱-۵-۲-۳-تامسونیت
۷۰	..... ۲-۵-۲-۳-ناترولیت
۷۱	..... ۳-۵-۲-۳-آنالسیم

فصل چهارم: مطالعات پراش پرتو X (XRD)

۷۸	..... ۱-۴-مقدمه
۷۸	..... ۲-۴-طیف سنجی پراش پرتو ایکس (XRD)
۸۰	..... ۳-۴-تفسیر نتایج XRD بر روی نمونه های زئولیتی مورد مطالعه
۸۲	..... ۱-۳-۴-تامسونیت
۸۳	..... ۲-۳-۴-آنالسیم
۸۴	..... ۳-۳-۴-ناترولیت

فصل پنجم: کاربردهای زئولیت و برآورد پتانسیل اقتصادی زئولیت‌های عباس-

آباد

- ۹۶ ۱-۵- مقدمه
- ۹۶ ۲-۵- تاریخچه
- ۹۷ ۳-۵- خواص عمومی زئولیت‌ها
- ۹۸ ۴-۵- ساختار زئولیت‌ها
- ۱۰۰ ۵-۵- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی زئولیت‌ها
- ۱۰۱ ۶-۵- طبقه‌بندی زئولیت‌ها
- ۱۰۱ ۱-۶-۵- تقسیم‌بندی بر اساس نحوه تشکیل
- ۱۰۱ ۱-۱-۶-۵- زئولیت‌های طبیعی
- ۱۰۳ ۲-۱-۶-۵- زئولیت‌های مصنوعی
- ۱۰۳ ۲-۶-۵- تقسیم‌بندی بر اساس شکل بلور
- ۱۰۴ ۳-۶-۵- تقسیم‌بندی بر اساس خواص شیمیایی
- ۱۰۴ ۴-۶-۵- تقسیم‌بندی بر اساس ساختار
- ۱۰۵ ۵-۶-۵- طبقه‌بندی بر اساس نسبت (Si/ Al)
- ۱۰۶ ۷-۵- زمین‌شناسی و محیط پیدایش زئولیت‌ها
- ۱۰۶ ۸-۵- کاربرد زئولیت‌ها
- ۱۱۱ ۱-۸-۵- کاربرد زئولیت‌ها در صنعت نفت

- ۱۱۲ کاربرد زئولیت در پزشکی ۵-۸-۲-۱۱۲
- ۱۱۲ کمپلکس داروها با زئولیت (منه‌اج‌بنا و همکاران، ۱۳۸۲) ۵-۸-۲-۱۱۲
- ۱۱۳ کاربرد در درمان سرطان و بیماری‌های خودایمنی ۵-۸-۲-۱۱۳
- ۱۱۳ سایر کاربردها ۵-۸-۳-۱۱۳
- ۱۱۴ کاربرد زئولیت‌ها در جذب گازها ۵-۸-۳-۱۱۴
- ۱۱۵ استفاده به عنوان پرکننده در صنایع کاغذسازی ۵-۸-۴-۱۱۵
- ۱۱۵ استفاده از زئولیت‌ها در شوینده‌ها ۵-۸-۵-۱۱۵
- ۱۱۵ کاربرد وسیع زئولیت در صنعت کشاورزی، دام و طیور و آبزیان ۵-۸-۶-۱۱۵
- ۱۱۷ کاربرد زئولیت‌ها در مصالح ساختمانی ۵-۸-۷-۱۱۷
- ۱۱۷ استفاده از زئولیت در صنعت سیمان ۵-۸-۷-۱۱۷
- ۱۱۸ تهیه سرامیک‌های زئولیتی ۵-۸-۷-۲-۱۱۸
- ۱۱۸ کاربرد زئولیت‌ها در جذب عناصر سنگین ۵-۸-۸-۱۱۸
- ۱۱۹ کاربرد زئولیت‌ها در تصفیه آب ۵-۸-۹-۱۱۹
- ۱۱۹ اکتشاف زمین‌شناسی زئولیت‌ها ۵-۸-۹-۱۱۹
- ۱۲۱ فرآوری زئولیت‌ها ۵-۸-۱۰-۱۲۱
- ۱۲۲ تخمین ذخیره ۵-۸-۱۱-۱۲۲
- ۱۲۴ پراکندگی زئولیت‌ها در ایران ۵-۸-۱۲-۱۲۴
- ۱۲۴ منطقه میانه ۵-۸-۱۲-۱-۱۲۴
- ۱۲۵ منطقه نی باغ ۵-۸-۱۲-۲-۱۲۵

۱۲۵	..... ۳-۱۲-۵- غرب روستای مریم
۱۲۵	..... ۴-۱۲-۵- منطقه طالقان
۱۲۵	..... ۵-۱۲-۵- منطقه جنوب شرق سمنان
۱۲۶	..... ۶-۱۲-۵- منطقه فیروزکوه
۱۲۷	..... ۷-۱۲-۵- منطقه رودهن
۱۲۷	..... ۸-۱۲-۵- منطقه کرمان
۱۲۸	..... ۹-۱۲-۵- منطقه شمال زاهدان
۱۲۸	..... ۱۰-۱۲-۵- سایر مناطق
۱۳۰	..... ۱۳-۵- نتیجه‌گیری فصل

فصل ششم: بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱۳۲	..... ۱-۶- بحث
۱۳۷	..... ۲-۶- نتیجه‌گیری
۱۴۱	..... ۳-۶- پیشنهادات
۱۴۳	..... منابع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی و راه دسترسی به نوار آتشفشانی- رسوبی عباس‌آباد که حاوی زئولیت است. برگرفته از سازمان جغرافیایی کشور سال ۱۳۸۴، (محدوده کانه‌زایی با کادر نشان داده شده است)..... ۴
- شکل ۱-۲: نمایی از پوشش گیاهی منطقه (دید در جهت شمال)..... ۵
- شکل ۱-۳: نقشه توپوگرافی منطقه مورد مطالعه برگرفته از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ میامی..... ۷
- شکل ۱-۴: موقعیت منطقه عباس‌آباد بر روی تصویر ماهواره‌ای ۱:۱۰۰۰۰۰ (تصویر ماهواره‌های لندست)..... ۸
- شکل ۲-۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه عباس‌آباد، تهیه شده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در محیط نرم‌افزار Arc GIS و اطلاعات نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ عباس‌آباد، (خلعتبری، ۱۳۸۰)..... ۲۰
- شکل ۲-۲: تقسیم‌بندی واحدهای ساختمانی- رسوبی ایران از Stocklin and Nabavi (1998) .. ۲۲
- شکل ۲-۳: ستون چینه‌شناسی کلی منطقه مورد مطالعه (مقیاس لحاظ نشده است) (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۲)..... ۲۵
- شکل ۲-۴: نمایی از شیل و ماسه‌سنگ زیرین به سن ائوسن میانی دید به سمت غرب..... ۲۶
- شکل ۲-۵: درشت بلور پیروکسن و پلاژیوکلاز در قطعات سنگی واحدهای آذرآواری..... ۲۷
- شکل ۲-۶: واحد آگلومرایی در شمال غرب منطقه (عرب‌زاده، ۱۳۹۶)..... ۲۷
- شکل ۲-۷: طبقه‌بندی توفها برگرفته از فراست (۲۰۱۴)..... ۲۸
- شکل ۲-۸: تقسیم‌بندی چندتایی سنگهای آذرآواری بر اساس نسبت‌های بمب، بلوک، لاپلی و خاکستر، برگرفته از لومتر (۲۰۰۲)..... ۲۸
- شکل ۲-۹: فنوکریست‌های پیروکسن در بازالت‌های عباس‌آباد..... ۳۰

- شکل ۲-۱۰: نمایی از ساخت حفرهای پر شده با زئولیت در بازالت‌های عباس‌آباد. ۳۰
- شکل ۲-۱۱: نمایی از نومولیت‌های موجود در منطقه عباس‌آباد. ۳۱
- شکل ۲-۱۲: تصاویر مقاطع میکروسکوپی میکروفسیل‌های موجود در واحدهای آهکی در نور (PPL) برگرفته شده از الهیاری (۱۳۸۹). ۳۲
- شکل ۲-۱۳: الف) حضور و پراکندگی زئولیت درون حفرات موجود در تراکی‌اندزی‌بازالت. ب) حضور فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن و جهت یافتگی آنها در تراکی‌اندزی‌بازالت‌ها. ج) تصویری از رگه کلسیتی ثانویه در واحد تراکی‌اندزیتی. د) تصویری از فرسایش پوسته‌پیزی درون واحد تراکی-اندزی‌بازالت. ۳۴
- شکل ۲-۱۴: حضور میکروفسیل‌های فراوان نومولیت و آلوئولین در واحد آهک توفی (الهیاری، ۱۳۸۹). ۳۵
- شکل ۲-۱۵: نمایی از کنگلومرای چندزادی با گردشگی متوسط و جورشدگی ضعیف با سیمان آهکی. ۳۶
- شکل ۲-۱۶: الف- نمایی از شیل و ماسه‌سنگ بالایی به سن الیگوسن. ب- نمایی از ریپل مارک‌های موجود در ماسه‌سنگ‌ها. ۳۷
- شکل ۲-۱۷: نمایی از مارن‌های آهکی با تناوبی از شیل و ماسه‌سنگ‌های نازک لایه الیگوسن-میوسن (عرب‌زاده، ۱۳۹۶). ۳۷
- شکل ۲-۱۸: تصویری از واحد کواترنری موجود در منطقه عباس‌آباد (الهیاری، ۱۳۸۹). ۳۸
- شکل ۲-۱۹: نقشه تکتونیکی شرق-مرکز ایران با تغییرات جزئی (Alavi, 1991 و Ramazani, 2003). ۴۰
- شکل ۲-۲۰: تصویری از خش ناشی از گسل در منطقه‌ی عباس‌آباد. ۴۱

- شکل ۲-۲۱: نمایی از درزه‌ها و شکستگی‌های موجود در واحدهای ماسه‌سنگی موجود در منطقه عباس‌آباد (عرب‌زاده، ۱۳۹۶)..... ۴۲
- شکل ۲-۲۲: نمایی از ساختارهای اصلی منطقه عباس‌آباد ۴۳
- شکل ۲-۲۳: تصاویری از تونل و ترانشه حفر شده در امتداد لایه‌بندی. الف- مقیاس رخنمون صحرایی، ب- در مقیاس تصاویر ماهواره‌ای (طائفی، ۱۳۹۳)..... ۴۵
- شکل ۲-۲۴: الف- کانه‌زایی کالکوسیت به صورت رگه و رگچه‌های در بازالت‌ها، ب- کانه‌زایی به صورت رگه‌ای کالکوسیت، مالاکیت و آزوریت در بازالت‌ها (طائفی، ۱۳۹۳)..... ۴۶
- شکل ۲-۲۵: تصویری از کانه‌زایی آهن (هماتیت، مگمتیت) در منطقه عباس‌آباد (عرب‌زاده، ۱۳۹۶)..... ۴۷
- شکل ۳-۱: تصویری از بافت پورفیری با زمینه میکرولیتی در الیوین بازالت‌های عباس‌آباد در نور XPL ۵۳
- شکل ۳-۲: تصویری از فنوکریست‌های پیروکسن و وجود ادخال‌هایی از اپک و آپاتیت در الیوین بازالت‌های عباس‌آباد در نور XPL..... ۵۴
- شکل ۳-۳: تصویری از منطقه‌بندی در بلورهای خودشکل پیروکسن در سنگ الیوین‌بازالتی با بافت میکرولیتی پورفیری عباس‌آباد در نور XPL..... ۵۴
- شکل ۳-۴: تصویری از تجمع فنوکریست‌های پیروکسن و ایجاد بافت گلومروپورفیری در الیوین-بازالت‌های عباس‌آباد در نور XPL..... ۵۵
- شکل ۳-۵: تصویری از بافت کومولایی در پیروکسن‌های سنگ‌های الیوین‌بازالتی عباس‌آباد در نور XPL ۵۵

- شکل ۳-۶: تصویری از دگرسانی فنوکریست‌های پیروکسن به کلریت در الیوین‌بازالت‌های عباس‌آباد در نور XPL ۵۵
- شکل ۳-۷: تصویری از بافت غربالی در کلینوپیروکسن‌های موجود در سنگ الیوین‌بازالتی عباس‌آباد در نور XPL ۵۵
- شکل ۳-۸: تصویری از ماکل ساعت شنی در بلور پیروکسن در الیوین‌بازالت‌های عباس‌آباد در نور XPL ۵۵
- شکل ۳-۹: تصویری از خلیج خوردگی در بلورهای پیروکسن در سنگ الیوین‌بازالتی عباس‌آباد در نور XPL ۵۶
- شکل ۳-۱۰: تصویری از ایدنگزیتی شدن بلورهای الیوین در سنگهای الیوین‌بازالتی عباس‌آباد در نور XPL ۵۶
- شکل ۳-۱۱: تصویری از کانی پلاژیوکلاز هم به صورت میکرولیتی و هم فنوکریست در سنگ الیوین-بازالتی عباس‌آباد در نور XPL ۵۷
- شکل ۳-۱۲: تصویری از زئولیت‌زایی با بافت شعاعی در سنگ‌های الیوین‌بازالتی در نور XPL ... ۵۸
- شکل ۳-۱۳: تصویری از کلسیت به صورت پر کننده حفرات و منافذ در الیوین‌بازالت‌های عباس‌آباد در نور XPL ۵۹
- شکل ۳-۱۴: تصویری از تجمع فنوکریست‌های پیروکسن و ایجاد بافت گلومروپورفیری در تراکی‌بازالت (پیروکسن پورفیری) عباس‌آباد در نور XPL ۶۰
- شکل ۳-۱۵: تصویری از بافت گلومروپورفیری متشکل از تجمع فنوکریست‌های پلاژیوکلاز در تراکی-بازالت‌های عباس‌آباد در نور XPL (عرب‌زاده، ۱۳۹۶) ۶۰

- شکل ۳-۱۶: تصویری از بافت پورفیری (پیروکسن پورفیری) در تراکی‌بازالت‌های عباس‌آباد در نور XPL ۶۰
- شکل ۳-۱۷: تصویری از فنوکریست‌های پلاژیوکلاز با ابعاد نسبتاً بزرگ در تراکی‌بازالت‌های عباس‌آباد در نور XPL ۶۱
- شکل ۳-۱۸: تصویری از فنوکریست‌های پیروکسن دارای بافت غربالی در تراکی‌بازالت‌های عباس‌آباد در نور XPL ۶۲
- شکل ۳-۱۹: تصویری از منطقه‌بندی فنوکریست پیروکسن در تراکی‌بازالت‌های عباس‌آباد در نور XPL ۶۲
- شکل ۳-۲۰: تصویری از فنوکریست پیروکسن با ادخال‌هایی از کانی اپک و بافت پورفیری در سنگ‌های تراکی‌اندزی‌بازالتی عباس‌آباد در نور XPL ۶۴
- شکل ۳-۲۱: تصویری از منطقه‌بندی در بلور پیروکسن و ایدنگزیتی شدن الیوین در تراکی‌اندزی‌بازالت‌های عباس‌آباد در نور XPL ۶۴
- شکل ۳-۲۲: تصویری از فنوکریست‌های پلاژیوکلاز در تراکی‌اندزی‌بازالت‌های عباس‌آباد در نور XPL ۶۵
- شکل ۳-۲۳: تصویری از فنوکریست‌های ایدنگزیتی شده الیوین در سنگ‌های تراکی‌اندزی‌بازالتی عباس‌آباد در نور XPL ۶۵
- شکل ۳-۲۴: تصویری از فنوکریست‌های پیروکسن دارای آپاتیت و اپک و همچنین وجود بافت غربالی و اسکلتی در فنوکریست‌های تراکی‌اندزیتی عباس‌آباد، در بعضی قسمت‌ها شواهدی از خوردگی نیز در فنوکریست‌ها قابل مشاهده می‌باشد ۶۷

شکل ۳-۲۵: تصویری از تجمع فنوکریست‌های پیروکسن دارای ماکل ساعت شنی و ایجاد بافت گلومروپورفیری در سنگ‌های تراکی‌اندزیتی عباس‌آباد در نور XPL. ۶۷

شکل ۳-۲۶: الف) تصویری از حضور کانی‌های ثانویه کلسیت و آنالسیم در سنگ‌های تراکی‌اندزیتی عباس‌آباد در نور XPL. ب) تصویری از حضور زئولیت‌ها در تراکی‌اندزیت‌ها در نور XPL. ۶۹

شکل ۳-۲۷: الف) تصویری از تامسونیت به شکل بادبزنی ب) تصویری از تامسونیت به شکل بلوکی، که در آن دو دسته رخ با زاویه ۹۰ درجه یک‌دیگر را قطع کرده‌اند (در نور XPL) ۷۰

شکل ۳-۲۸: الف- تصویری از مقطع عرضی بلور ناترولیت که تقریباً مربعی می‌باشند در زمینه‌ای از کلسیت ب- تصویری از مقطع طولی ناترولیت که در زمینه کلسیت واقع شده‌اند (نور XPL). ... ۷۱

شکل ۳-۲۹: تصویری از بلور شکل‌دار آنالسیم در سنگ آتشفشانی منطقه عباس‌آباد که در بعضی از شکستگی‌های موجود در روی سطح آنها کلسیت قابل رویت می‌باشد (در نور XPL). ۷۲

شکل ۴-۱: الگوهای پراش پرتو X برای زئولیت‌های سنگ‌های آتشفشانی ائوسن منطقه عباس‌آباد به همراه تصویری از نمونه سنگ مورد آزمایش قرار گرفته. ۸۶

فهرست جداول

- جدول ۱-۳: نتایج پتروگرافی سنگ‌های آتشفشانی منطقه عباس‌آباد ۵۱
- جدول ۲-۳: علائم اختصاری به کار رفته در تصاویر میکروسکوپی سنگ‌ها ۵۲
- جدول ۱-۴: نتایج حاصل از آنالیز XRD بر روی نمونه‌های زئولیت نوار آتشفشانی - رسوبی عباس‌آباد ۸۱
- جدول ۲-۴: محاسبه‌ی پارامترهای شبکه بلوری زئولیت‌های عباس‌آباد و مقایسه آن‌ها با نتایج سایر پژوهش‌ها. ۸۲
- جدول ۱-۵ - مهم‌ترین و فراوانترین زئولیت‌های طبیعی به همراه فرمول شیمیایی و برخی از خواص آن‌ها (Jihong, 2007). ۱۰۲
- جدول ۲-۵ - طبقه‌بندی زئولیت‌ها به روش Breck (۱۹۸۴) بر پایه ساختار کانی. ۱۰۴
- جدول ۳-۵ - طبقه‌بندی کانی‌های زئولیت طبیعی بر اساس نسبت Si/ Al ۱۰۵
- جدول ۴-۵ - محیط تشکیل و پیدایش زئولیت‌ها (طوطی و همکاران، ۱۳۸۹؛ حیدری و همکاران، ۱۳۹۰): ۱۰۶
- جدول ۵-۵ - انواع کاربردهای زئولیت همراه با زیرشاخه‌های موجود (منهاج‌بنا و همکاران، ۱۳۸۲). ۱۰۷
- جدول ۶-۵ - توزیع زئولیت‌ها در ایران ۱۲۹

فصل اول

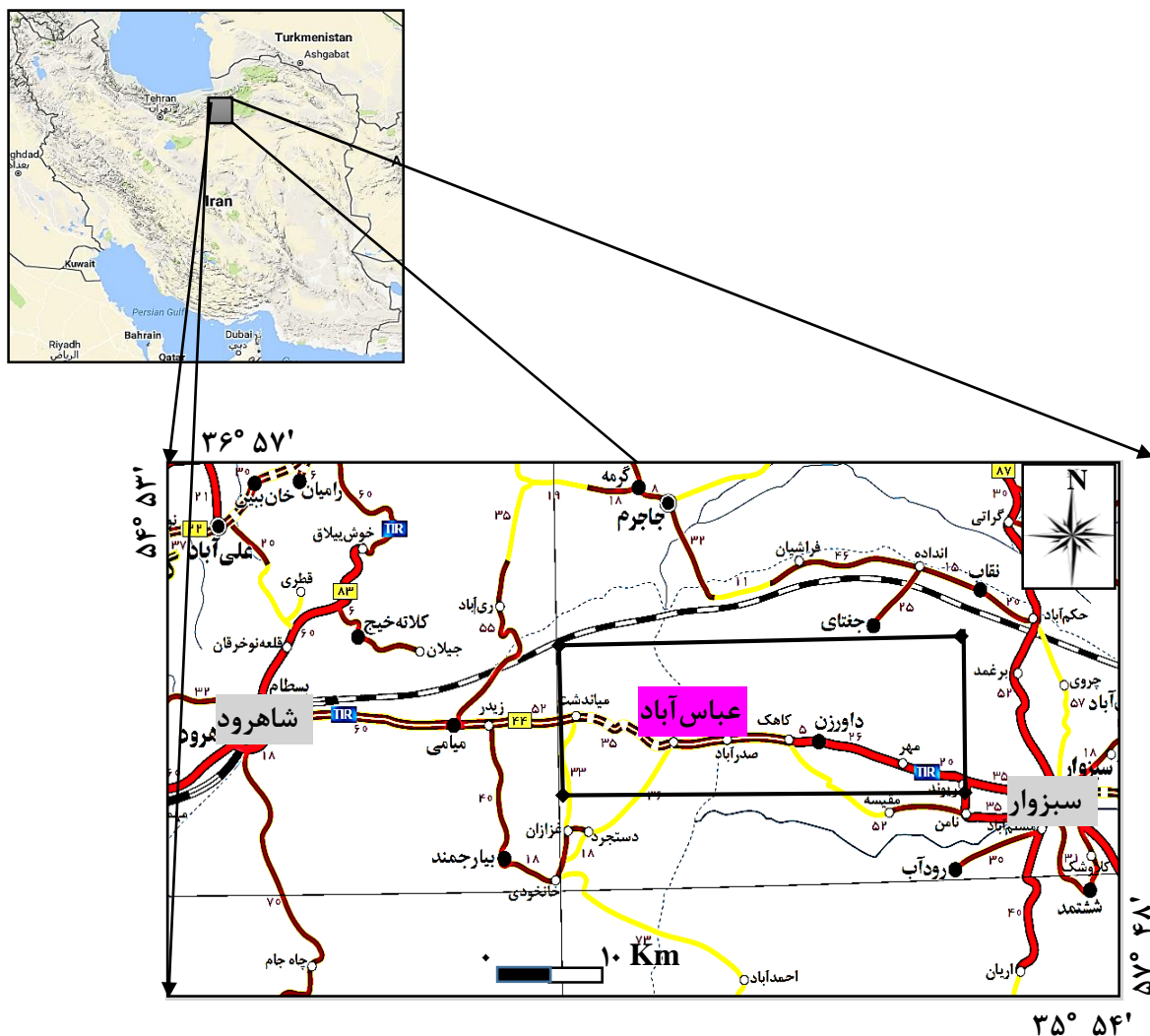
کلیات

۱-۱- مقدمه

نوار آتشفشانی- رسوبی ائوسن عباس‌آباد در شرق شاهرود دربردارنده توالی ضخیمی از سنگ‌های بازالتی- آندزیتی به همراه سنگ‌های رسوبی و آذرآواری است. در واحدهای تراکی‌بازالتی و آذرآواری‌های وابسته به آن، در افق‌های خاصی، تراکم قابل توجهی از زئولیت‌های اسفرولیتی و رگه‌ای دیده می‌شود. تشکیل زئولیت‌ها در سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری مستلزم شرایط خاص زمین‌شناسی می‌باشد، از طرفی این کانی‌ها در سنگ‌های نوار آتشفشانی- رسوبی عباس‌آباد به طور گسترده حضور یافته‌اند و علی‌رغم تحقیقات فراوان سنگ‌شناختی و زمین‌شناسی اقتصادی بر روی این مجموعه سنگی (رشید، ۱۳۷۶؛ صادق‌زاده، ۱۳۷۷؛ بادامه، ۱۳۸۲؛ بازرگانی و رضایی، ۱۳۸۶؛ توسلی و لطفی، ۱۳۸۷؛ موسوی شاهرودی، ۱۳۸۸؛ الهیاری و همکاران، ۱۳۸۹؛ حیدری، ۱۳۹۰؛ رحمتی، ۱۳۹۱؛ صالحی، ۱۳۹۲؛ برزگری، ۱۳۹۴؛ صفار دستگردی، ۱۳۹۵؛ Rezaei- Kahkhaei, 2015 Ghasemi and و عرب‌زاده، ۱۳۹۶)، ولی متأسفانه بررسی‌های کانی‌شناختی و ژئوشیمیایی چندانی بر روی زئولیت‌های موجود در این مجموعه و امکان استفاده صنعتی از آنها صورت نگرفته است. زئولیت‌ها به دلایلی چون درجه خلوص بالا، تشکیل شدن از یک نوع خاص و نه مخلوطی از چند نوع، آسانی دسترسی به آن‌ها در مقیاس صنعتی و تجاری و مهم‌تر از همه داشتن اندازه‌ی حفره‌های ثابت و قابل کنترل، اهمیت قابل ملاحظه‌ای یافته‌اند. از طرفی کاربرد گسترده و مهم این کانی‌ها، در صنعت به عنوان کاتالیزور، صنایع نسوز و سرامیک، صنایع شوینده به عنوان جایگزین فسفات‌ها، صنایع کشاورزی به عنوان حاصل‌خیز کننده و اصلاح کننده خاک و از همه مهم‌تر در تصفیه و پاک‌سازی آب و فاضلاب‌های شهری، صنعتی و هسته‌ای از آلاینده‌های مضر و سمی مانند فلزات سنگین، آمونیاک و ... (سردشتی، ۱۳۸۳)، ضرورت انجام این مطالعه را بیشتر می‌نماید. لذا انجام یک بررسی کانی‌شناختی- ژئوشیمیایی جامع و کامل بر روی این زئولیت‌ها ضروری است.

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

روستای عباس‌آباد در واقع در شمال جاده تهران-مشهد، در فاصله ۱۳۰ کیلومتری شرق شاهرود و ۸۰ کیلومتری شهر میامی واقع است. موقعیت جغرافیایی منطقه به همراه راه‌های ارتباطی در شکل ۱-۱ آورده شده است. منطقه عباس‌آباد در استان سمنان بین طول‌های جغرافیایی ۵۶ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی در حاشیه شمال غربی دشت کویر در حد فاصل میامی در شرق شهرستان شاهرود تا داورزن در غرب سبزوار واقع شده است و دارای وسعتی بیش از ۱۰۰۰ کیلومتر مربع است. بهترین راه‌های ارتباطی منطقه بزرگراه شاهرود-سبزوار است که منطقه مورد مطالعه عموماً در کناره‌ی شمالی این جاده واقع است. جاده‌های خاکی متعددی برای رسیدن به بخش‌های داخلی منطقه از این جاده اصلی منشعب می‌شوند. دسترسی به محدوده مورد نظر برای برداشت نمونه در منطقه عباس‌آباد از طریق جاده خاکی عباس‌آباد به سمت حسین‌آباد، پل ابریشم است که به بزرگراه شاهرود-سبزوار ختم می‌شود. بزرگراه شاهرود-سبزوار که از وسط این نوار آتشفشانی می‌گذرد، رخنمون‌های جالبی را برای نمونه برداری از واحدهای سنگی سالم فراهم می‌کند.



شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی و راه دسترسی به نوار آتشفشانی - رسوبی عباس‌آباد، برگرفته از نقشه سازمان جغرافیایی کشور سال ۱۳۸۴، (محدوده کانه‌زایی با کادر نشان داده شده است).

۱-۳- آب و هوا و پوشش گیاهی

نوار ماگمایی عباس‌آباد در شمال کویر مزینان قرار گرفته است و به علت آب و هوای گرم و خشک تا نیمه خشک، زیاد سرسبز نیست. قنات، چاه، چشمه و آب انبار به تعداد محدود در منطقه به چشم می‌خورند. فرومد و عباس‌آباد، مهمترین آبادی‌های موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه هستند. به علت نبود آب و زمین مناسب، کشاورزی زیاد رواج ندارد و اندک آب مورد نیاز برای کشاورزی، از چاه‌های عمیق و قنات‌ها به دست می‌آید. نبود منابع آبی در توسعه کشت دیم حائز اهمیت است. باغداری هنوز

رونق دارد و گروهی در باغ‌های خود به کاشت انواع میوه‌ها (پسته، انار، انجیر، انگور، بادام و ...) در وسعت کم مشغولند.

آبادی‌های فرومد و فیروزآباد که در دامنه ارتفاعات قرار دارند آب و هوای ملایم‌تری داشته و تقریباً ییلاق عباس‌آباد محسوب می‌شوند. وزش بادهای شدید در بیشتر فصول سال بخصوص در زمستان و بهار یکی از مشخصات این ناحیه است. به سبب سرپانتینی شدن، قدرت آبدهی سنگ‌های الترامافیکی به مراتب بیشتر از سنگ‌های ائوسن می‌باشد و به همین علت کشاورزی و باغداری در فرومد و فیروزآباد در پای این ارتفاعات سرپانتین قرار دارند و خیلی بیشتر از عباس‌آباد توسعه دارد. وجود چشمه‌های کوچک و فراوان در ارتفاعات و آب و هوای نیمه خشک سبب فراوانی گله‌های بزرگی از بز و میش کوهی گردیده است. به دلیل بارندگی کم، پوشش گیاهی منطقه اغلب بوته‌ای هستند. گیاهان طبیعی ناحیه منحصر به بوته‌های کوتاهی هستند که اندازه آنها از یک متر تجاوز نمی‌کند. از معروفترین آنها قیج، تاغ، گشگیز، هوم، کندر، اسپند، گلخار، سیاه سول، اجوه، پریشم، شور، گز و گون است. این ناحیه تقریباً فاقد درختچه است (شکل ۱-۲).



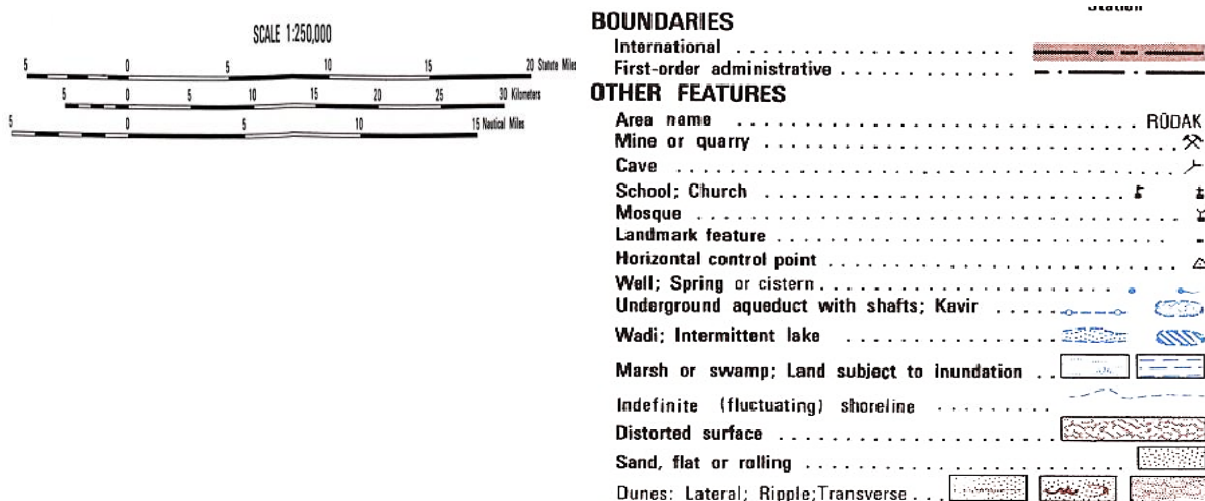
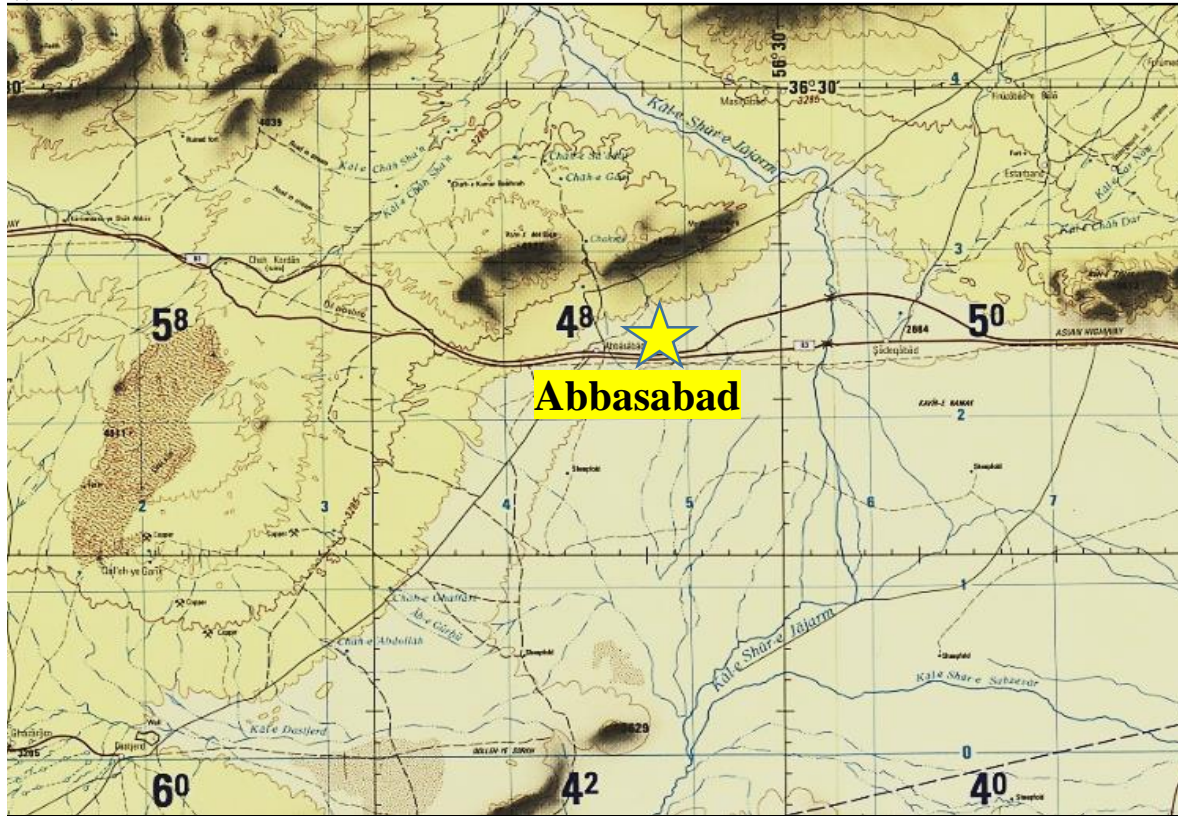
شکل ۱-۲: نمایی از پوشش گیاهی منطقه (دید در جهت شمال)

۱-۴- ژئومورفولوژی و زمین ریخت‌شناسی منطقه

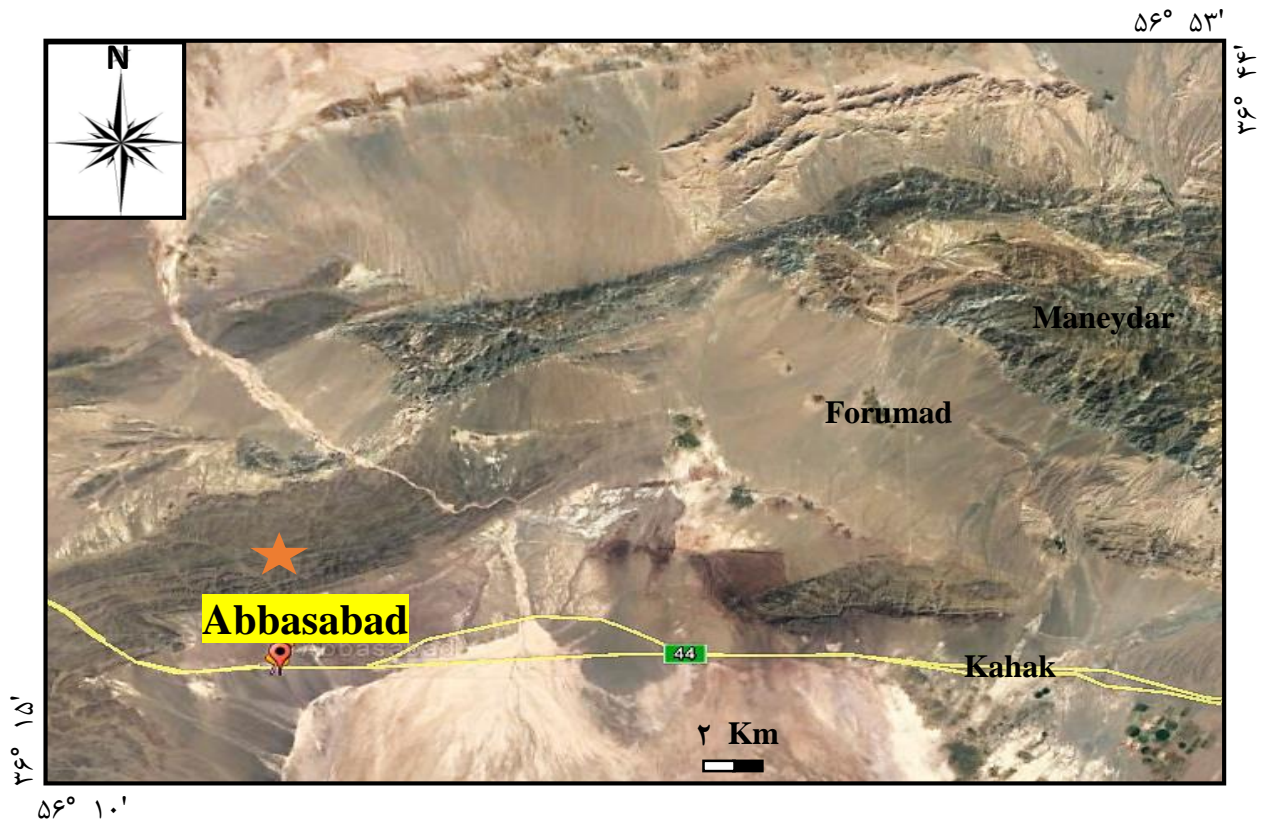
ژئومورفولوژی، علم شناسایی اشکال ناهمواری‌های زمین است و هدف از این علم، مطالعه اجزای اصلی تشکیل دهنده‌ی ناهمواری‌ها می‌باشد. مورفولوژی یک منطقه متأثر از عوامل مختلف از جمله آب و هوا، جنس سنگ‌ها و فعالیت‌های تکتونیکی است (عبدالله‌زاده، ۱۳۹۳). شکل‌گیری و ریخت‌شناسی منطقه عباس‌آباد، تحت تأثیر فعالیت‌های آتشفشانی و زمین‌ساختی قرار دارد. به طوری که نقاط مرتفع‌تر به سمت شمال و زمین‌های پست و کم ارتفاع به سمت جنوب واقع شده‌اند. دشت کویر که حد جنوبی منطقه را محدود ساخته در حدود ۸۵۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. حد شمالی منطقه به افیولیت‌های فرومد منتهی می‌شود و همچنین بلندترین کوه‌های ناحیه از سنگ‌های الترامافیک نوار افیولیتی سبزوار ساخته شده که ارتفاع آن‌ها از ۲۴۰۰ متری از سطح دریا تجاوز نمی‌کند (آقناباتی، ۱۳۴۹). شکل توپوگرافی (شکل ۱-۳) منطقه بیشتر مدیون سنگ‌های الترامافیک، گنبد‌های آداکیتی و تا اندازه‌ای سری ولکانیکی ائوسن می‌باشد. سری رسوبی ائوسن بعلت سختی کم فرسوده شده و تقریباً مسطح به نظر می‌رسد. شیب کلی این مناطق ۳۰ تا ۴۰ درجه می‌باشد. ضخامت افق‌های گدازه از چند سانتی‌متر تا چندین متر متغیر است. سنگ‌های کنگلومرایی واقع در قسمت قاعده‌ای این مجموعه آتشفشانی از ریخت‌شناسی ملایم‌تر و پست‌تری برخوردار هستند (طائفی، ۱۳۹۳). در بخش‌های مرتفع، برونزد سنگ‌های آتشفشانی، آذرآواری و افیولیتی به چشم می‌خورند. از جمله کوه‌های موجود در منطقه می‌توان به کوه معدن فرومد، چشمه سرخ، کمر سیاه، زواک و چاهدر اشاره کرد. کوه معدن فرومد در نزدیکی روستای عباس‌آباد در ارتفاع ۲۴۰۰ متری از سطح دریا از بلندترین کوه‌های منطقه می‌باشد. عمده رشته کوه‌های منطقه دارای روند شمال شرق- جنوب غرب هستند (عرب‌زاده، ۱۳۹۶). به تبعیت از شیب توپوگرافی منطقه، شکل آبراهه‌های منطقه عمدتاً دندریتی بوده و در مناطق کم ارتفاع به هم می‌پیوندند. نوار آتشفشانی عباس‌آباد به صورت باریکه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی- بازالتی، گدازه‌های

انفجاری، توف و آگلومرا همراه با تناوب‌هایی از سنگ‌های رسوبی ائوسن دیده می‌شود. تصاویر ماهواره‌ای

حاصل از داده‌های ماهواره‌ای لندست منطقه مورد مطالعه در شکل ۱-۴ آورده شده است. ... ۵۶° ۳۶° ۳۰'



شکل ۱-۳- نقشه توپوگرافی منطقه مورد مطالعه برگرفته از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ میامی.



شکل ۱-۴: موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی تصویر ماهواره‌ای ۱:۱۰۰۰۰۰ (تصویر ماهواره‌ای لندست)، ناحیه مورد مطالعه با علامت ستاره مشخص شده است.

۱-۵- مطالعات پیشین در منطقه و مناطق اطراف

- باروویان (۱۹۷۱)، در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود تحت عنوان زمین‌شناسی و تکتونیک غرب عباس‌آباد، معتقد است که قسمت اعظم سنگ‌های آتشفشانی منطقه را سنگ‌های آندزیت-بازالت تشکیل داده‌اند و در بین آن‌ها انواع آندزیتی و بازالتی نیز وجود دارد. توف، برش، مهم-ترین سنگ‌های آذرآواری در منطقه هستند و سنگ‌های رسوبی به طور کلی شامل مارن و ماسه‌سنگ می‌باشند و در بین آن‌ها گاهی لایه‌هایی از توف دیده می‌شود.
- ملک‌پور و همکاران (۱۹۷۹)، در گزارش شماره‌ی ۶۴ سازمان زمین‌شناسی کشور به بررسی کانی‌زایی مس در مجموعه آتشفشانی-رسوبی عباس‌آباد پرداخته‌اند و معتقدند که کانی‌زایی به

صورت مالاکیت و به مقدار کمتر آزوریت در سطح و کالکوزین، پیریت، بورنیت و حتی مس خالص در اعماق می‌باشد که در داخل سنگ‌های آندزیتی ائوسن تشکیل شده‌اند.

- آقاناتی (۱۳۴۹)، در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود به مطالعه زمین‌شناسی منطقه فرومد و عباس‌آباد پرداخته است و همچنین قدیمی‌ترین سازند موجود در منطقه را که شامل یک سری آهک‌های دولومیتی با سنگواره‌ی اوربیتولین می‌باشد، متعلق به کرتاسه زیرین معرفی کرده است.

- در سال ۱۳۷۱، افتخارنژاد از طرف سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ جاجرم را تهیه کرد که در قسمت جنوبی آن منطقه عباس‌آباد قرار دارد.

- رشید (۱۳۷۶)، ولکانیسم ترشیری شمال شرق عباس‌آباد (غرب سبزوار- ایران مرکزی) را مطالعه کرده است.

- صادق‌زاده (۱۳۷۷)، به بررسی و مطالعه پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی منطقه میانداشت در ۵۰ کیلومتری شرق میامی پرداخته است. سنگ‌های ائوسن منطقه را شامل ردیف نسبتاً ضخیمی از سنگ‌های گدازه‌ای، آذرآواری و رسوبی معرفی کرده است. از نظر وی دگرسانی ایجاد شده، از نوع تغییرات کانی‌شناسی می‌باشد، که توسط کانی‌های ثانویه مشخص می‌شود. کانی‌زایی موجود در منطقه از مواد معدنی مفیدی از جمله مس، زئولیت و کلسیت می‌باشد. از نظر سنگ‌شناسی گدازه‌های منطقه شامل تراکی‌بازالت، تراکی‌آندزیت، بازالت‌آندزیتی، اولیوین-بازالت و بازالت می‌باشند. وی با توجه به مطالعه‌ی میکروفسیل‌های موجود در افق آهکی، سن ولکانیسم منطقه را ائوسن در نظر گرفته است.

- عشق‌آبادی و عابدیان (۱۳۷۹)، در گزارشی تحت عنوان مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ داورزن (داورزن- میامی)، معتقدند که از دیدگاه زمین‌شناختی این ورقه در بردارنده پهنه افیولیتی و ردیفی از سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی ائوسن و بخش‌های کواترنری است. واحدهای کواترنری منطقه دارای گسترش زیادی بوده است به طوری که کویر نمک را به وجود

آورده‌اند. همچنین آنها معتقدند که سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی ائوسن دارای بیشترین رخمون سنگی بوده است و ارتفاعات موجود در شرق داورزن را ایجاد کرده است.

- خلعتبری (۱۳۸۰)، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ عباس‌آباد را تهیه کرده است. در این نقشه‌ها واحدهای سنگی منطقه به خوبی تفکیک شده‌اند.

- کهنسال و همکاران (۱۳۸۱)، در گزارشی تحت عنوان بررسی سنگ‌شناسی و پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی منطقه داورزن بیان کرده است که در منطقه ماگماهای سازنده سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در صعود به سطح زمین تحت تأثیر دو فرایند آلیش و آغشتگی با پوسته قرار گرفته است که شواهدی از جمله، بافت غربالی، منطقه‌بندی نوسانی و آثار تحلیل رفتگی حواشی بلورهای پلاژیوکلاز و پیروکسن بیانگر آن می‌باشد.

- بادامه (۱۳۸۲)، در رساله خود به مطالعه پتروژنز سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی میاندشت پرداخته است و معتقد است که برونزدهای سنگی منطقه شامل شیل‌های رنگی ژوراسیک، آهک‌های اوریتولین‌دار کرتاسه، رخمون‌های افیولیتی، واحدهای آذرآواری، گدازه‌های بازالتی و ته‌نشست‌های کواترنری می‌باشند. وی به شواهد خفیفی از اختلاط ماگمایی به صورت ریز بالش‌های بازیک در درون سنگ‌های حدواسط یا پلاژیوکلازهایی دارای بافت غربالی اشاره کرده است.

- شجاعت و همکاران (۲۰۰۳)، در مقاله‌ای به پترولوژی، ژئوشیمی و تکتونیک افیولیت‌های سبزوار در شمال عباس‌آباد پرداخته‌اند. آنها بیان کرده‌اند که سنگ‌های آتشفشانی منطقه ترکیبی بین بازالت و آندزیت- بازالت تا ریوداسیت- داسیت، ریولیت و بازالت را دارا می‌باشند.

- موسوی (۱۳۸۸)، به مطالعه پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی منطقه چغندرسر در جنوب غرب عباس‌آباد پرداخته است. به اعتقاد وی، طیف ترکیبی سنگ‌های منطقه شامل تناوبی از سنگ‌های آتشفشانی با سن ائوسن با ترکیب بازیک (تراکی‌بازالت) تا حدواسط (تراکی- آندزیت‌بازالت و تراکی‌آندزیت) و سنگ‌های رسوبی (سیلتستون، ماسه‌سنگ، شیل، مارن و آهک

فسیل‌دار) متعلق به محیط‌های کم عمق تا نیمه عمیق می‌باشند و سنگ‌های آتشفشانی منطقه دارای ترکیب آلکالن می‌باشند. در نمونه‌های منطقه مورد مطالعه کاهش مقادیر MgO, Ni, Cr, TiO₂, MnO و همچنین افزایش مقادیر Al₂O₃ و عناصر ناسازگار Sr, Zr, Nb و Ce نشان‌دهنده تفریق کانی‌هایی مانند الیوین و کلینوپیروکسن می‌باشند. همچنین بازشدگی و شکستگی‌های درون حوضه، سبب فوران‌های آتشفشانی منطقه گردیده است.

- الهیاری (۱۳۸۹)، در رساله خود به پتروژنز سنگ‌های آذرین ائوسن فوقانی نوار ماگمایی کاهک-عباس‌آباد پرداخته است. وی معتقد است که منطقه مورد مطالعه از یک نوار آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی به سن ائوسن میانی-بالایی در امتداد نوار ماگمایی شمال افیولیت‌های سبزوار تشکیل شده است. سنگ‌های آتشفشانی این نوار از تناوب گدازه‌های بازیک-حدواسط، سنگ‌های آذرآواری وابسته و میان لایه‌های رسوبی تشکیل شده‌اند. همچنین سنگ‌های آتشفشانی منطقه از عناصر نادر خاکی سبک و عناصر لیتوفیل بزرگ یون، غنی‌شدگی و از عناصر نادر خاکی سنگین، تهی‌شدگی نشان می‌دهند. آنومالی منفی عناصر با شدت میدان بالا مانند Ti و Nb در سنگ‌های مورد مطالعه از ویژگی‌های شاخص محیط‌های کمانی است.
- رضوی (۱۳۹۰)، در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود تحت عنوان پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن ناحیه داورزن-سبزوار معتقد است که سنگ‌های ائوسن میانی-بالایی داورزن شامل تناوب گدازه‌های بازیک-حدواسط با طیف ترکیبی تراکی‌آندزی‌بازالت، تراکی-آندزیت، آندزیت و سنگ‌های آذرآواری وابسته با میان لایه‌های رسوبی بوده است. توالی ذکر شده توسط تعدادی دایک با ترکیب تراکی‌آندزیتی قطع شده‌اند. سنگ‌های آتشفشانی ائوسن منطقه دارای بافت‌های گلومروپورفیری و میکرولیتی-تراکیتی و بافت‌های غیرتعادلی هستند و در نمودارهای ژئوشیمیایی روندهای پیوستگی و خویشاوندی از راه تبلور تفریقی نشان می‌دهند. غنی‌شدگی از عناصر نادر خاکی سبک، عناصر ناسازگار و لیتوفیل بزرگ یون که از ویژگی‌های

- شاخص ماگماهای محیط‌های کمانی است در این سنگ‌ها مشهود می‌باشد. این سنگ‌ها در نمودارهای تعیین محیط زمین‌ساختی نیز در جایگاه کمان ماگمایی حاشیه قاره قرار می‌گیرند.
- قاسمی و همکاران (۱۳۹۰)، در مقاله‌ای تحت عنوان گدازه‌های بازالتی الیگوسن شرق و جنوب-شرق شاهرود به بررسی منطقه پرداخته‌اند. آنها اشاره کرده‌اند که سنگ‌های بازالتی الیگومیوسن شرق و جنوب شرقی شاهرود، در قلمرو سنگ‌های آکالن قرار گرفته‌اند و ترکیب آنها بین الیوین‌بازالت تا بازالت می‌باشند. این سنگ‌ها دارای بافت میکرولیتی پورفیری، گلومروپورفیری و هیالوپورفیری هستند.
 - حیدری (۱۳۹۰)، در پایان‌نامه خود به مطالعه ژئولیت‌ها مرتبط با کانی‌سازی مس در کانسارهای مس عباس‌آباد پرداخته است. کانی‌سازی در منطقه از نوع پرکننده فضاهای خالی می‌باشد به صورتی که ژئولیت‌ها در مرکز حفرات و در حاشیه حفرات کانی‌سازی مس صورت گرفته است که در ارتباط با ژئولیت‌ها نمی‌باشند. ژئولیت‌های منطقه مورد مطالعه از نوع ناترولیت، تتراناترولیت و مزولیت می‌باشند که مزولیت غالباً با ناترولیت همراهی دارد. ژئولیت‌های مورد مطالعه دارای رنگ شیری می‌باشند که در رگه‌ها و حفرات سنگ‌های آندزیتی غالباً همراه با کانی‌سازی مس یافت می‌شوند. همچنین بیان کرده است که ماگمای سازنده‌ی سنگ‌های آتشفشانی عباس‌آباد احتمالاً از ذوب بخشی درجه پایین (۱۶-۱۴ درصد) یک سنگ منشأ گارنت لِرزولیتی در اعماق ۸۰ تا ۱۰۰ کیلومتری حاصل شده‌اند.
 - قاسمی و همکاران (۱۳۹۲)، در مقاله‌ای، موقعیت چینه‌شناختی و تحلیل بافتی سنگ‌های آتشفشانی نوار آتشفشانی-رسوبی عباس‌آباد را مطالعه کرده‌اند. آنها طیف ترکیبی سنگ‌های آتشفشانی را از الیوین‌بازالت تا تراکی‌آندزیت مشخص کرده‌اند. تنوع بافتی، تغییر و تحولات پیوسته شامل ظهور و حذف برخی از کانی‌ها و حضور بافت‌های ناتعادلی بیانگر مسیر پیچیده شکل‌گیری ماگما می‌باشد.

- صالحی (۱۳۹۳)، به مطالعه پتروگرافی، ژئوشیمی و پتروژنز سنگ‌های آتشفشانی عباس‌آباد (شرق شاهرود) با تأکید بر دگرسانی و کانه‌زایی مس همراه آن پرداخته است. در تشکیل این کانسار، دو مرحله گرمایی اولیه و مرحله غنی‌شدگی ثانویه و اکسایش دخالت داشته‌اند. عوامل زمین‌شناسی همچون وجود حفرات بادامکی فراوان، درزه، شکستگی و گسل خوردگی‌های بسیار در سنگ درونگیر، سبب رخداد دگرسانی محلی شده است.
- پیروی (۱۳۹۳)، به بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانی‌شناسی زئولیت‌های معدن افتر سمنان پرداخته است. با بررسی‌های انجام گرفته ۳ واحد با اهمیت در رابطه با تشکیل زئولیت-های افتر شناخته شده است که شامل مارن‌های سبز تا قهوه‌ای رنگ، توف‌های سبز رنگ و لایه زئولیتی است. بیشتر کانی‌های زئولیتی شناخته شده منطقه از نوع کلینوپتیلولایت و هیولاندیت است و از کانی‌های همراه آنها در لایه‌های توفی و مارنی می‌توان به کلسیت، اورتوکلاز، پلاژیوکلاز، کوآرتز، کانی‌های رسی، بیوتیت و شیشه‌های آتشفشانی اشاره کرد.
- برزگری (۱۳۹۴)، در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود به بررسی تعیین نرخ رشد و هسته‌بندی بلورهای پلاژیوکلاز و پیروکسن در سنگ‌های آندزیتی و بازالتی منطقه عباس‌آباد پرداخته است. به اعتقاد ایشان، نمودارهای CSD حاصل از بررسی کمی بلورهای پلاژیوکلاز و پیروکسن، فرآیندهای تفریق، انباشت بلورها، درشت‌شدگی و اختلاط جمعیت‌های بلوری را در سنگ‌های آندزیتی و بازالتی منطقه نشان می‌دهد. این شواهد به همراه ویژگی‌های پتروگرافی نشان می‌دهند، که اختلاط ماگمایی یا اختلاط جمعیت‌های بلوری به همراه تفریق ماگمایی در تشکیل سنگ‌های منطقه موثر بوده است.
- عرب‌زاده (۱۳۹۶)، به بررسی شیمی کانی و تعیین شرایط فیزیکوشیمیایی تبلور در سنگ‌های آتشفشانی منطقه عباس‌آباد (شرق شاهرود) پرداخته است. با بررسی‌های انجام گرفته ترکیب پیروکسن‌ها از اوژیت تا دیوپسید و ترکیب پلاژیوکلازها از آندزین تا بیتونیت متغیر است. ترکیب کلینوپيروكسن‌ها بیانگر سرشت کالک‌آلکان-آلکان، فوگاسیته بالای اکسیژن و ترکیب بازالتی

ماگمای برخاسته از گوشته در یک جایگاه کششی درون کمانی از یک گوشته محل منبع نوع OIB است. برآوردهای دما- فشارسنجی بر روی کانی کلینوپیروکسن بیانگر محدوده دمایی ۱۱۰۰ تا ۱۱۵۰ درجه سانتی‌گراد است.

۱-۶- هدف از مطالعه

پیکره‌های سنگی اصلی منطقه مورد مطالعه را سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی ائوسن میانی- بالایی، سنگ‌های رسوبی الیگوسن (کنگلومر، شیل، ماسه‌سنگ و مارن‌های گچ‌دار) و نهشته‌های کواترنری تشکیل داده‌اند. سنگ‌های ائوسن شامل تناوب گدازه‌های بازیک- حدواسط (تراکی‌بازالت با میان لایه‌های اولیوین‌بازالت، تراکی‌آندزیت- بازالت و تراکی‌آندزیت) و سنگ‌های آذرآواری وابسته (برش، آگلومرا و لاپیلی کریستال توف) به همراه میان لایه‌های رسوبی (شیل، سیلتستون، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و آهک نومولیت‌دار محیط لاگون تا دریای کم عمق باز) هستند (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۲ و Ghasemi and Rezaei- Kahkhaei, 2015). سنگ‌های آتشفشانی این نوار ماگمایی دارای ترکیبی از بازالت تا آندزیت همراه با دایک‌های تغذیه کننده می‌باشد که بیانگر ماگماتیسم خاص حوضه ائوسن- الیگوسن ایران مرکزی است و از دیدگاه تکنوماگمایی، مورد بحث فراوان بوده است. در واحدهای تراکی‌بازالتی و آذرآواری‌های وابسته به آن، در افق‌های خاصی، تراکم قابل توجهی از زئولیت‌های اسفرولیتی و رگه‌ای دیده می‌شود که به طور اصولی مورد مطالعه ژئوشیمیایی و ارزیابی اقتصادی قرار نگرفته‌اند. همچنین کاربرد گسترده و مهم این کانی‌ها، در صنعت به عنوان کاتالیزور، صنایع نسوز و سرامیک، صنایع شوینده به عنوان جایگزین فسفات‌ها و از همه مهم‌تر در تصفیه و پاک‌سازی آب و فاضلاب‌های شهری، صنعتی و هسته‌ای از آلاینده‌های مضر و سمی مانند فلزات سنگین، آمونیاک و ... (سردشتی، ۱۳۸۳)، ضرورت انجام این مطالعه را بیشتر می‌کند. همچنین به دلیل کشف منابع و ذخایر عظیم و نسبتاً خالص انواع گونه‌های طبیعی زئولیت در سراسر دنیا و کاربردهای آن‌ها و نیز به دلیل ارزانی و عدم انحصار آنها در

دست شرکت‌های بزرگ، نظر بسیاری از محققین رشته‌های گوناگون علوم به این کانی‌ها جلب شده است (Demina et al., 2015، سردشتی، ۱۳۸۳). تشکیل زئولیت‌ها در سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری مستلزم شرایط خاص زمین‌شناسی می‌باشد، از طرفی این کانی‌ها در سنگ‌های نوار آتشفشانی- رسوبی عباس‌آباد به طور گسترده حضور یافته‌اند و علی‌رغم تحقیقات فراوان سنگ‌شناختی و زمین‌شناسی اقتصادی بر روی این مجموعه سنگی انجام نشده است (رشید، ۱۳۷۶؛ صادق‌زاده، ۱۳۷۷؛ بادامه، ۱۳۸۲؛ بازرگانی و رضایی، ۱۳۸۶؛ توسلی و لطفی، ۱۳۸۷؛ موسوی شاهرودی، ۱۳۸۸؛ الهیاری، ۱۳۸۹؛ حیدری، ۱۳۹۰؛ رحمتی، ۱۳۹۱؛ صالحی، ۱۳۹۲؛ برزگری، ۱۳۹۴؛ صفار دستگردی، ۱۳۹۵؛ Ghasemi and Rezaei- Kahkhaei, 2015 و عرب‌زاده، ۱۳۹۶)، ولی متأسفانه بررسی‌های کانی‌شناختی و ژئوشیمیایی چندانی بر روی زئولیت‌های موجود در این مجموعه و امکان استفاده صنعتی از آنها صورت نگرفته است، لذا انجام یک بررسی کانی‌شناختی- ژئوشیمیایی جامع و کامل بر روی این زئولیت‌ها ضروری است. بنابراین لازم است که به معرفی و شناخت ذخایر این کانی‌ها توجه ویژه‌ای شود.

در این پژوهش سعی شده است، با اتکاء به مطالعات قبلی، ویژگی‌های کانی‌شناسی، شرایط و نحوه‌ی تشکیل زئولیت‌ها، پتانسیل اقتصادی و کاربردهای صنعتی آنها، انواع زئولیت‌های موجود در منطقه و همچنین تأثیر ترکیب کانی‌شناسی و شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی در شکل‌گیری زئولیت‌ها، تا حد امکان مورد بررسی قرار گیرد.

۱-۷- روش‌های مطالعاتی

✓ مطالعات کتابخانه‌ای برای جمع‌آوری گزارش‌ها، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ عباس‌آباد، تصاویر ماهواره‌ای و مقالات مرتبط، گردآوری اطلاعات در ارتباط با روش انجام پژوهش در ایران و جهان و هرگونه داده‌ای که با موضوع تحقیق مرتبط است.

✓ بررسی مطالعات صورت گرفته در منطقه

- ✓ برداشت ۴۰ نمونه سنگی با حداقل دگرسانی بر اساس ویژگی‌های سنگ‌شناختی آن‌ها
 - ✓ تهیه ۲۰ مقطع نازک از نمونه‌های جمع‌آوری شده و مطالعه آن‌ها
 - ✓ تهیه ۸ مقطع نازک- صیقلی برای مطالعات ماکروپروپ
 - ✓ انجام پتروگرافی سنگ‌های مورد مطالعه توسط میکروسکوپ پلاریزان
 - ✓ انجام آنالیز XRD از نمونه‌های ژئولیتی به منظور تعیین نوع کانی‌های اصلی و فرعی همچنین تعیین انواع ژئولیت‌ها و بررسی نتایج حاصل از آن
- روش آماده‌سازی: دستگاه‌های آماده‌سازی نمونه به منظور استفاده آن‌ها در XRD شامل دستگاه‌های آسیاب و پرس نمونه می‌باشند که جهت تهیه قرص‌های همگن مواد (قرص‌های پودری فشرده) به منظور استفاده در اسپکترومترهای اشعه ایکس مورد استفاده قرار می‌گیرند. مهم‌ترین مسئله در آماده‌سازی نمونه‌های XRD، آسیاب آن‌ها به منظور رساندن اندازه ذرات به حد مناسب جهت آنالیز کیفی است. در صورت نداشتن نمونه‌ها، نمونه‌ها در آون ۱۰۰ درجه به مدت یک ساعت خشک می‌گردد. برای انجام آنالیز XRD بر روی نمونه‌های منطقه عباس‌باد، ابتدا تعداد ۸ نمونه از ژئولیت‌های تقریباً خالص انتخاب نموده سپس با استفاده از آب، ناخالصی رس جدا شده و سپس به مدت ۲۴ ساعت در مقابل نور آفتاب خشک شده و به آزمایشگاه مربوطه فرستاده شد. در آزمایشگاه نمونه‌ها تا حد زیر ۲۰۰ مش پودر شده و سپس در غالب‌های خاص که استاندارد دستگاه XRD است، قرص پرسی ساخته شده است. حتی برای جوگیری از هم پاشیدن پودر نمونه به آن ماده‌ی بوراکس نیز اضافه شده و سپس توسط دستگاه ویژه‌ای پرس می‌شود.
- ✓ ترسیم نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار GIS
 - ✓ پردازش داده‌ها و تجزیه و تحلیل نتایج مطالعات ژئوشیمیایی با استفاده از نرم افزارهای تخصصی Excel، SPSS و ... و تعبیر و تفسیر آن‌ها و مقایسه آن با مناطق هم‌جوار

فصل دوم

زمین شناسی عمومی منطقه عباس آباد

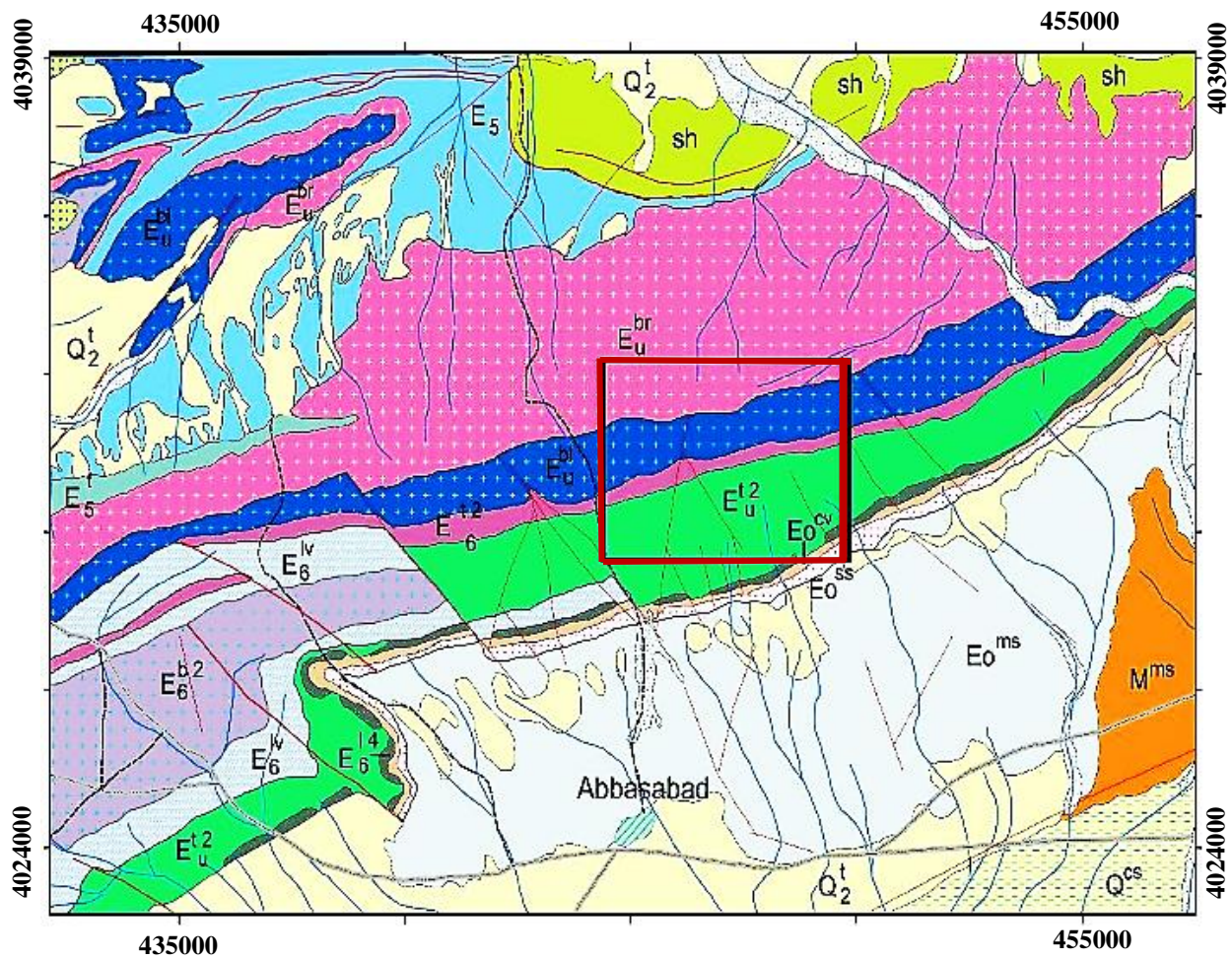
۲-۱- مقدمه

نوار چین خورده آلپ- هیمالیا از مهم‌ترین نوارهای کوهزایی جهان است که موزاییکی از تکه‌های کوچک و بزرگ قاره‌ای و نوارهای کوهزایی گوناگون را به نمایش می‌گذارد. از دیرباز، بسیاری از زمین‌شناسان به بررسی پیدایش و تکامل ساختاری این نوار پرداخته‌اند (مهرپویا و همکاران، ۱۳۹۶). سرزمین ایران بخشی از این نوار است، که در دوران‌های مزوزوئیک و سنوزوئیک، جنبش‌های کوهزایی ناشی از دور شدن، نزدیک شدن، متصل شدن و یا جدا شدن قاره‌های لورازیا و گندوانا، مهمترین و اصولی‌ترین عامل تغییرات و تحولات مختلف زمین‌شناسی آن بوده‌اند. عوامل زیادی از جمله: وضعیت زمین‌ساختاری و زمین‌شناختی، عملکرد فازهای کوهزایی در دوران‌های زمین‌شناسی، فرایندهای دگرگونی، دگرشیبی‌ها و نبوده‌های رسوب‌گذاری و ... بر روی نحوه تقسیم‌بندی واحدهای زمین‌شناسی ایران تأثیر گذار بوده است. در سال ۱۹۶۸ اشتوکلین برای اولین بار، واحدهای ساختاری ایران را به نه واحد تقسیم‌بندی کرد که شامل: دشت خوزستان، زاگرس چین خورده، سنج- سیرجان، ایران مرکزی، البرز، بلوک لوت، کپه داغ، کوه‌های مکران و شرق ایران می‌باشد.

منطقه‌ی عباس‌آباد در بخش مرکزی نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ عباس‌آباد (خلعتبری، ۱۳۸۰) قرار گرفته است (شکل ۲- ۱). این منطقه در تقسیم‌بندی واحدهای ساختاری ایران (آقانباتی، ۱۳۸۳ و Stocklin and Nabavi, 1973) در لبه‌ی شمال شرقی نوار آتشفشانی سنوزوئیک ایران مرکزی واقع شده است. واحدهای سنگی موجود در منطقه، شامل سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی ائوسن میانی- بالایی، سنگ‌های ائوسن- الیگوسن و نهشته‌های کواترنری می‌باشد. سنگ‌های قدیمی‌تر از ائوسن در منطقه مورد مطالعه وجود ندارد. بر اساس مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمیایی، سنگ‌های آتشفشانی منطقه در محدوده‌ی تراکی‌آندزیت، تراکی‌آندزی‌بازالت، تراکی‌بازالت و الیوین‌بازالت قرار دارند. سرشت ماگمایی این سنگ‌ها کالک‌آلکالن تا آلکالن پتاسیم بالا است. همچنین ویژگی سنگ‌های آتشفشانی کمان‌های قاره‌ای مرتبط با فرورانش را نشان می‌دهند (صالحی، ۱۳۹۳).

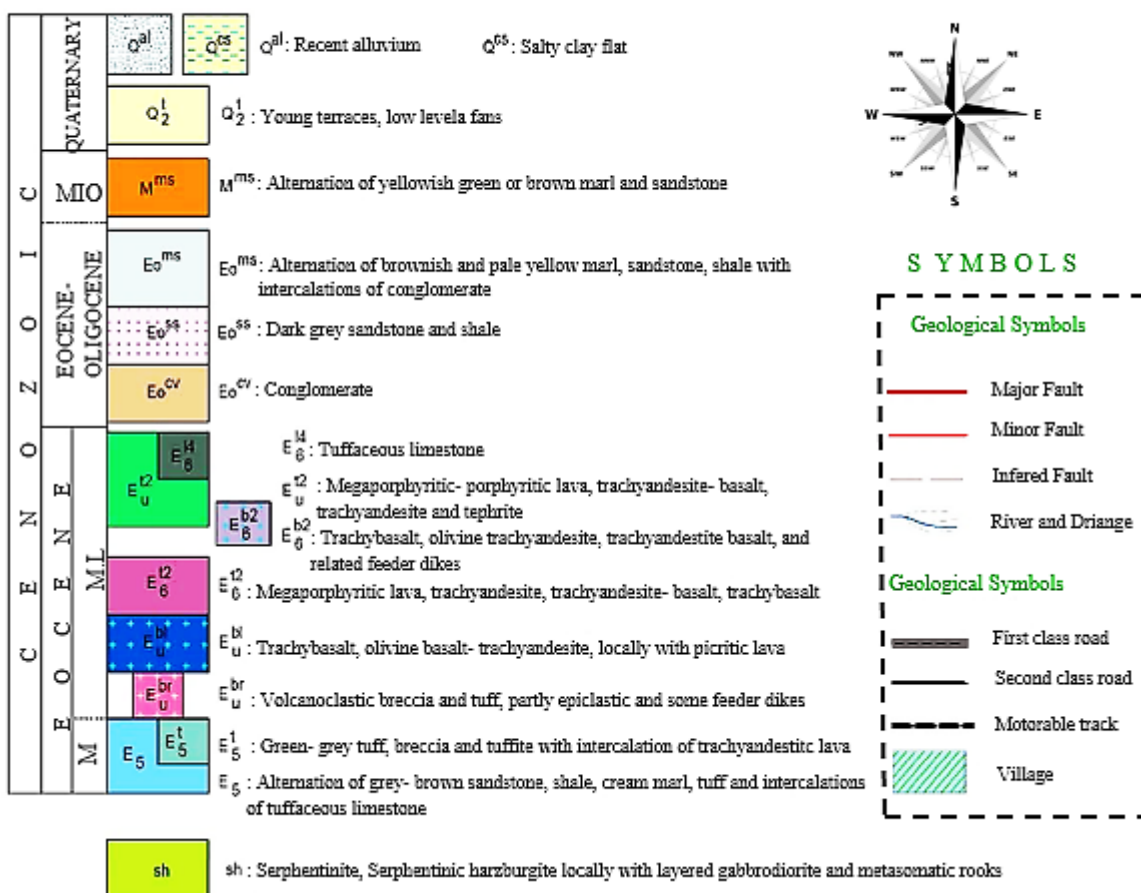
منطقه عباس‌آباد اکثراً از سنگ‌های آندزیتی و تراکی‌بازالتی تشکیل شده است که در بخش جنوب غربی منطقه توسط یک توالی رسوبی دوران سوم پوشیده شده است. در بخش شمال و غرب عباس‌آباد یک مجموعه آتشفشانی رخنمون دارد که غالباً از نوع سنگ‌های آندزیتی، تراکی‌بازالتی تا آلكالی‌الیوین‌بازالتی، آگلومرا و توف می‌باشد، که در بخش‌هایی از این سنگ‌ها کانه‌سازی مس صورت گرفته است. در بخش شمالی دو لایه گدازه آندزیتی وجود دارد که کانه‌سازی در آن‌ها انجام گرفته است و با سنگ‌های رسوبی دوران سوم کم و بیش هم شیب می‌باشند (عرب‌زاده، ۱۳۹۶). این سنگ‌ها معمولاً دارای بافت دانه‌ریز هستند. به طور کلی توالی رسوبی شامل برش، ماسه‌سنگ، شیل ماسه‌ای، سنگ آهک نومولیتی و کنگلومرا است. این توالی رسوبی بین آندزیت اصلی زیرین و لایه آندزیتی بالایی قرار دارد و در جهت جنوب غرب افزایش ضخامت پیدا می‌کنند (الهیاری، ۱۳۸۹).

مطالعات انجام شده در این پایان‌نامه، شامل نگاهی جامع به مسائل ژئوشیمیایی و کاربرد ژئولیت‌های منطقه عباس‌آباد است. با توجه به حضور گسترده سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در منطقه به عنوان بخشی از زون ایران مرکزی، در ابتدا مختصراً به ماگماتیسم ائوسن ایران مرکزی پرداخته خواهد شد.



شکل ۱-۲: نقشه زمین‌شناسی منطقه عباس‌آباد، تهیه شده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در محیط نرم‌افزار Arc GIS و اطلاعات نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ عباس‌آباد (خلعتبری، ۱۳۸۰).

Legend

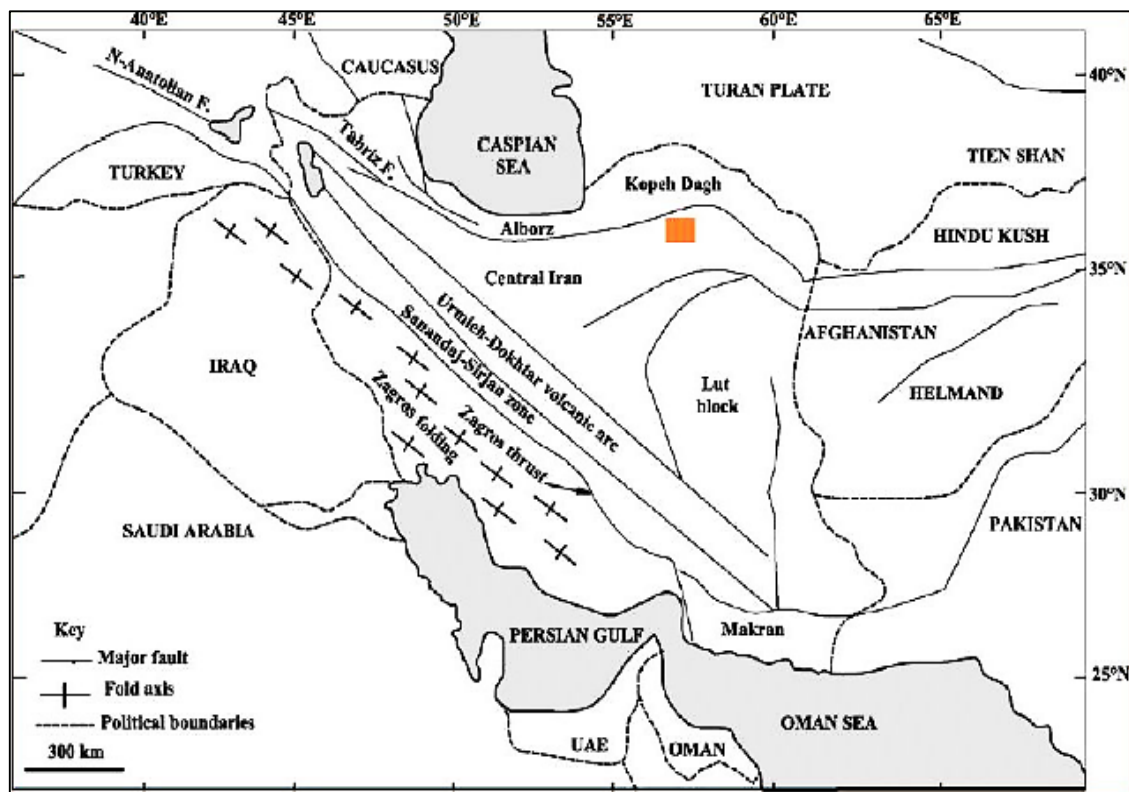


ادامه شکل ۱-۲

۲-۲- ماگماتیسم ائوسن در ایران مرکزی

فلات ایران از نظر تکتونیکی منطقه‌ی فعالی می‌باشد که در نوار کوهزایی آلپ- هیمالیا قرار گرفته است. زون ایران مرکزی یکی از واحدهای اصلی و عمده‌ای است که به شکل مثلثی می‌باشد و در مرکز ایران قرار دارد و جزء بزرگترین و پیچیده‌ترین واحدهای زمین‌شناسی ایران به شمار می‌رود. این زون از شرق به بلوک لوت، از شمال به رشته کوه‌های البرز و از جنوب به منطقه سنندج- سیرجان محدود می‌شود (شکل ۲-۲). فعالیت ماگمایی در فلات ایران اکثراً در همهی زمان‌ها وجود داشته است، اما اوج فعالیت‌ها در زمان ائوسن بوده است. در ایران مرکزی، ویژگی‌های سنگی و زیستی ردیف‌های ائوسن تفاوت آشکاری

دارند که نشانگر شرایط متفاوت جغرافیایی دیرینه در گسترده ایران مرکزی است. در مقایسه با زمان پالئوسن، دریای ائوسن گسترش و ژرفای بیشتر داشته است و ناپیوستگی‌ها و ناهمسانی‌های چینه‌ای، به ویژه فراوانی آتشفشان‌های وابسته به رویداد آلپ میانی، نشان‌دهنده ناآرامی‌های زمین‌ساختی حوضه-های رسوبی ائوسن ایران مرکزی می‌باشد که از بین آن‌ها، فعالیت‌های ائوسن میانی شاخص‌تر می‌باشد. ژئوشیمی سنگ‌های ماگمایی کرتاسه‌ی پسین و سنوزوئیک (ائوسن) نشان می‌دهد که غالباً در حاشیه قاره‌ای فعال تشکیل شده‌اند (Takin, 1972; Berberian and King, 1981; Sengor, 1984; Mohajjel and Fergusson, 2000; Azizi and Jahangiri, 2008).



شکل ۲-۲: تقسیم بندی واحدهای ساختاری- رسوبی ایران از Stocklin and Nabavi (1973) منطقه مورد مطالعه با کادر مشخص شده است.

در بخش جنوبی ایران مرکزی با دور شدن از محل فرورانش، ماهیت ماگما تغییر کرده است، به صورتی که از سمت زاگرس به سمت ایران مرکزی، عمق شروع ذوب افزایش یافته است و ماهیت ماگما اکثراً از نوع کالک‌آلکالن با درصد ذوب بالاتر به نوع آلکالن با میزان درصد ذوب کم‌تر تغییر می‌کند (Berberian

Amidi et al., 1984؛ et al., 1981 و برگرفته از Shahabpour, 2007؛ بادامه، ۱۳۸۲؛ موسوی، ۱۳۸۸؛ الهیاری، ۱۳۸۹؛ رضوی، ۱۳۹۰؛ عربزاده، ۱۳۹۶).

نوار ماگمایی سنوزوئیک ایران مرکزی، شامل سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی ائوسن تا کواترنری می‌باشد. فاز فشارشی کرتاسه پایانی در این نوار همراه با دگرگونی، چین خوردگی، بالا آمدگی و جابه‌جایی افیولیت‌ها همراه بوده است، فاز کششی قابل اهمیتی در ایران مرکزی به وقوع پیوسته است که ماگماتیسیم شدید ائوسن را در پی داشته است (امامی، ۱۳۷۹) و اوج این فعالیت‌ها در زمان ائوسن میانی بوده است (Stocklin, 1974؛ Farhoudi, 1978 و Berberian and King, 1981). علیرغم ضخامت زیاد و پراکندگی وسیع، سنگ‌های آتشفشانی و توفها در یک فاصله‌ی زمانی نسبتاً کوتاه شکل گرفته‌اند. ناآرامی‌های این زمان مرتبط به فعالیت‌های ماگمایی وابسته به رویداد آلپ میانی می‌باشند (Shahabpour, 2007).

سنگ‌های ماگمایی ائوسن، دارای تنوع رخساره‌ای بوده است و با توجه به فعال بودن ایران مرکزی از نظر زمین‌ساختی در طول ائوسن، در ارتباط با رخساره‌های قاره‌ای، نشانه‌ی تناوب پیشروی‌ها و پسروی‌های دریای کم عمق می‌باشد که روی مواد آتشفشانی را پوشانده است (درویش‌زاده، ۱۳۸۲). از لحاظ ترکیب سنگ‌شناسی نیز دارای تنوع بسیار زیادی می‌باشند. ردیف‌های سنگی ائوسن را می‌توان به صورت زیر تقسیم‌بندی کرد (امامی، ۱۳۷۹):

۱) سنگ‌های آتشفشانی اسیدی تا بازیک که البته سنگ‌های حدواسط نیز دارای فراوانی قابل توجهی می‌باشند. تبلور تفریقی ماگمای بازیک با ماهیت آلکالن سدیک، باعث ایجاد سنگ‌های ماگمایی با ترکیب حدواسط شده است. این سنگ‌ها شامل الیوین‌بازالت، بازالت، آندزی‌بازالت، تراکی‌آندزیت، آندزیت، تراکیت، داسیت تا ریولیت و عمدتاً با ماهیت کالکوالکالن می‌باشند.

۲) سنگ‌های آذرآواری معمولاً شامل انواع نهشته‌های آذرآواری (آگلومرا، لاپلی توف، توف و برش) با ترکیب اسیدی تا بازیک می‌باشند.

۳) سنگ‌های منحصراً آذرآواری و آتشفشانی- رسوبی نیز شامل واحدهای ضخیم آتشفشانی- رسوبی ائوسن می‌باشند که در محیط‌های دریائی غالباً کم عمق نهشته شده‌اند و سنگ‌های برشی، آگلومرای و توف‌های موجود در منطقه مرتبط به رخساره‌های قاره‌ای می‌باشند.

۴) سنگ‌های نفوذی نسبت به واحدهای ولکانیکی دارای اهمیت کمتری می‌باشند و اکثراً متعلق به ائوسن فوقانی می‌باشند.

بر اساس مطالعات ژئوشیمیایی، نوار ماگمایی ایران مرکزی شامل سری سنگ‌های آلکالن، کالک‌آلکالن و تولییتی مرتبط به فرورانش می‌باشند (بادامه، ۱۳۸۲؛ موسوی، ۱۳۸۸؛ الهیاری، ۱۳۸۹ و رضوی، ۱۳۹۰). به باور بربریان و کینگ (۱۹۸۱)، سرآغاز ولکانیسم آلکالن به دلیل فرو رفتن ورقه شکسته شده‌ی اقیانوسی نئوتتیس به اعماق زیاد می‌باشد. البته زاویه شیب فرورانش در زمان ائوسن نسبت به زاویه شیب آن در زمان مزوزوئیک متفاوت بوده است (Shahabpour, 2007).

۲-۳- واحدهای سنگی منطقه عباس‌آباد

با توجه به توضیحات نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ عباس‌آباد و همچنین مطالعات صحرائی صورت گرفته، واحدهای سنگی منطقه شامل سنگ‌های رسوبی به سن الیگوسن، آتشفشانی و آذرآواری به سن ائوسن میانی و کواترنری می‌باشند (خلعتبری، ۱۳۸۰؛ کهنسال و رادفر، ۱۳۸۱ و عرب‌زاده، ۱۳۹۶). سنگ‌های رسوبی منطقه اکثراً از آهک نومولیت‌دار و آهک توفی با سن ائوسن میانی تا پسین تشکیل شده‌اند، که بیانگر وجود دریای کم عمق در این زمان بوده است. علاوه بر موارد ذکر شده، کنگلومرا، شیل، ماسه‌سنگ، مارن‌های گچی ائوسن- الیگوسن و پادگانه‌های آبرفتی قدیمی و جدید در منطقه

مورد مطالعه نیز وجود دارند. سنگ‌های آذرآواری شامل آگلومرا، برش و لاپیلی کریستال توف می‌باشند. سنگ‌های آتشفشانی نسبت به سایر سنگ‌ها دارای حجم بیشتری می‌باشند و شامل، الیوین‌بازالت، تراکی‌بازالت، تراکی‌اندزی‌بازالت و تراکی‌اندزیت هستند. به طور کلی در قسمت بالای توالی، در امتداد یک روند تفریقی، ترکیب سنگ‌ها از الیوین‌بازالت به سمت تراکی‌اندزیت تغییر می‌کند (شکل ۲-۳) (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۲ و عربزاده، ۱۳۹۶). واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه به طور مختصر در ذیل شرح داده شده‌اند:

Erathon	System	Seri	Lithology	Description
CENOZOIC	QUATERNARY			تراس‌های آبرفتی
	PALEOGENE	EOCENE - OLIGOCENE		مارن آهکی
				شیل و ماسه‌سنگ بالایی
				کنگلومرا
				آهک توفی
		MIDDLE- LATE EOCENE		تراکی‌اندزی‌بازالت
				تراکی‌اندزیت
				آهک نومولیت‌دار
				الیوین‌بازالت با میان- لایه‌هایی از تراکی‌بازالت
				نپشته‌های آذرآواری
				شیل و ماسه‌سنگ زیرین

شکل ۲-۳: ستون چینه‌شناسی کلی منطقه مورد مطالعه (مقیاس لحاظ نشده است) (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۲).

۲-۳-۱- واحدهای سنگی ائوسن

۲-۳-۱-۱- شیل و ماسه‌سنگ زیرین

واحد شیلی و ماسه‌سنگ زیرین عمدتاً نازک لایه با مورفولوژی کم ارتفاع می‌باشند و به رنگ سبز تا کرم مشاهده می‌شوند (شکل ۲-۴). به دلیل وجود عدسی‌هایی از سنگ آهک نومولیت‌دار در این واحد و همچنین بر اساس نتایج دیرینه‌شناسی (الهیاری، ۱۳۸۹)، سن این واحد، ائوسن میانی تشخیص داده شده است. واحد آذرآواری بر روی این واحد قرار گرفته است.



شکل ۲-۴: نمایی از شیل و ماسه‌سنگ زیرین به سن ائوسن میانی دید به سمت غرب

۲-۳-۱-۲- نهشته‌های آذرآواری (آتشفشانی- رسوبی)

این واحدها به عنوان اولین فاز آتشفشانی پالئوژن، قدیمی‌ترین رخنمون‌های منطقه می‌باشند. بر روی آن‌ها واحدهای تراکی‌بازالت با میان لایه‌های البوین‌بازالتی قرار گرفته است و همچنین در بخش زیرین آن‌ها واحد شیلی و ماسه‌سنگی دارای سن ائوسن میانی قرار گرفته است (خلعتبری، ۱۳۸۰ و عرب‌زاده، ۱۳۹۶). این واحد آتشفشانی- رسوبی متعلق به دوره ائوسن میانی- بالایی است. بر اساس مطالعات

فسیل‌شناسی، شرایط تشکیل واحدهای رسوبی فسیل‌دار همراه با واحدهای آتشفشانی نوار آتشفشانی - رسوبی عباس‌آباد، به طور متناوب مرتبط به محیط‌های دریایی باز کم عمق و لاگون‌های محصور و نیمه محصور است (صالحی و همکاران، ۱۳۹۴ و Spies et al., 1984). واحد آگلومرایبی، وسیع‌ترین واحد آذرآواری می‌باشد (شکل ۲-۵) و در منطقه‌ی شمال عباس‌آباد و شمال غرب کاهک رخنمون یافته است. واحد آگلومرایبی به رنگ خاکستری در منطقه مورد مطالعه مشاهده شده است. قطعات موجود در آن اغلب گرد شده‌اند و اندازه آن‌ها از چند سانتی‌متر تا یک متر متغیر می‌باشد. قطعات بازالتی و تراکی- آندزیتی موجود در آن دارای جورشدگی نسبتاً خوب می‌باشند و بیانگر آن است که قطعات موجود کمی زودتر یا همزمان با واحد آذرآواری فوران کرده‌اند و این واحد فاقد هر گونه چین‌بندی می‌باشد. فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن نیز در این قطعات، با چشم غیر مسلح قابل مشاهده می‌باشند (شکل ۲-۶). آگلومراهای موجود در منطقه دارای قطعاتی از سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیتی هستند که در ابتدای فعالیت‌های ولکانیکی منطقه به شکل بمب پرتاپ شده‌اند. اغلب بمب‌ها به علت چرخش دورانی در هوا دارای شکل چرخیده هستند. وجود ساختمان متحدالمرکز در آن‌ها باعث شده است که عمل فرسایش، ساختمانی به نام فرسایش پوست پیازی در آن‌ها ایجاد کند.

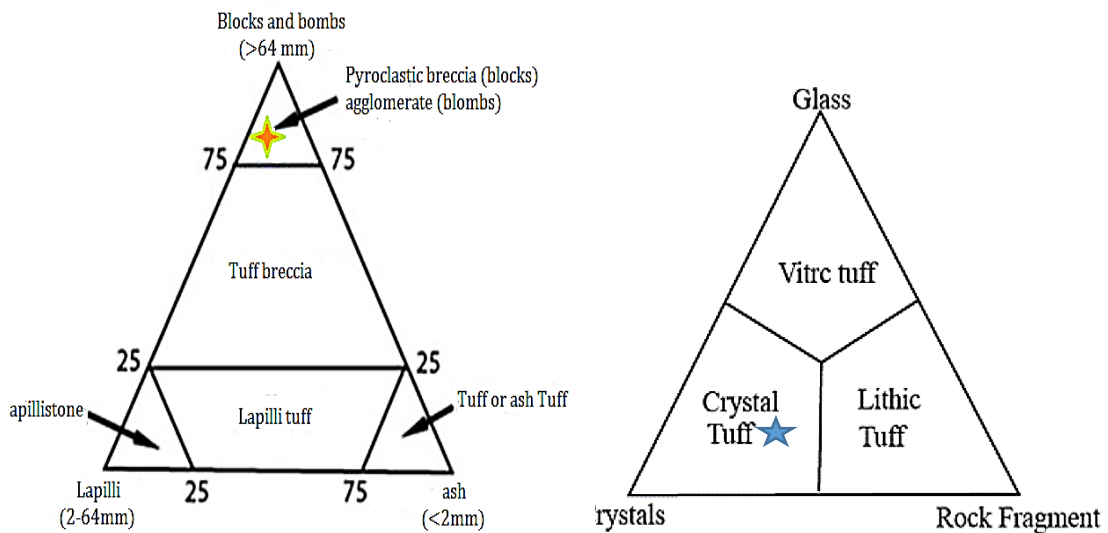


شکل ۲-۶: درشت بلور پیروکسن و پلاژیوکلاز در قطعات سنگی واحدهای آذرآواری



شکل ۲-۵: واحد آگلومرایبی در شمال غرب منطقه (عرب‌زاده، ۱۳۹۶)

به باور فراست (۲۰۱۴)، رسوبات آذرآواری توسط دو فاکتور طبقه‌بندی می‌شوند: ۱- اندازه قطعات ۲- فراوانی نسبی شیشه، بلور و قطعات سنگی (شکل ۲-۷). به علت سست‌تر بودن آگلومرا نسبت به گدازه، فرسایش بیشتری پیدا می‌کنند. آگلومراها به علت تخلخل بالا، فرایند زئولیت‌زایی در آن‌ها بسیار زیاد انجام می‌گیرد (الهیاری، ۱۳۸۹). از آنجایی که این نهشته‌ها در بخش قاعده‌ای توالی آتشفشانی قرار گرفته‌اند، زئولیتی شدن گسترده‌ای در آنها مشاهده می‌شود و منافذ باز و یا درزه‌ها توسط بلورهای زئولیتی سفید رنگ و با آگراگات شعاعی پر شده‌اند. بر اساس تقسیم‌بندی لومتر (۲۰۰۲)، سنگ‌های آذرآواری منطقه عباس‌آباد دارای بیش از ۷۵٪ بمب هستند و آگلومرا نامیده می‌شوند (شکل ۲-۸).



شکل ۲-۸: تقسیم‌بندی چندتایی سنگ‌های آذرآواری بر اساس نسبت‌های بمب، بلوک، لاپیلی و خاکستر، برگرفته از لومتر (۲۰۰۲).

شکل ۲-۷: طبقه‌بندی توف‌ها برگرفته از Frost (2014)

۲-۳-۱-۳-۲- لاپیلی کریستال توف

توف‌ها از دیگر نهشته‌های آذرآواری به هم پیوسته هستند که میانگین اندازه قطعات آن‌ها کمتر از ۲ میلی‌متر می‌باشد (پروین، ۱۳۸۵). توف‌های منطقه مورد مطالعه به رنگ خاکستری دیده می‌شوند و عمدتاً از نوع لاپیلی کریستال توف می‌باشد. این واحد دارای قطعات بلوری با ترکیب بازالتی و آندزیتی است. توف‌ها دارای فنوکریست‌هایی از پیروکسن و پلاژیوکلاز می‌باشند. کانی‌های ثانویه مانند کلسیت

حفرات موجود در سنگ را پر کرده‌اند. میانگین قطر لاپیلی از ۲ میلی‌متر تا ۶۴ میلی‌متر متغیر است (Frost et al., 2014).

۲-۳-۱-۴- تراکی‌بازالت با لایه الیوین‌بازالتی

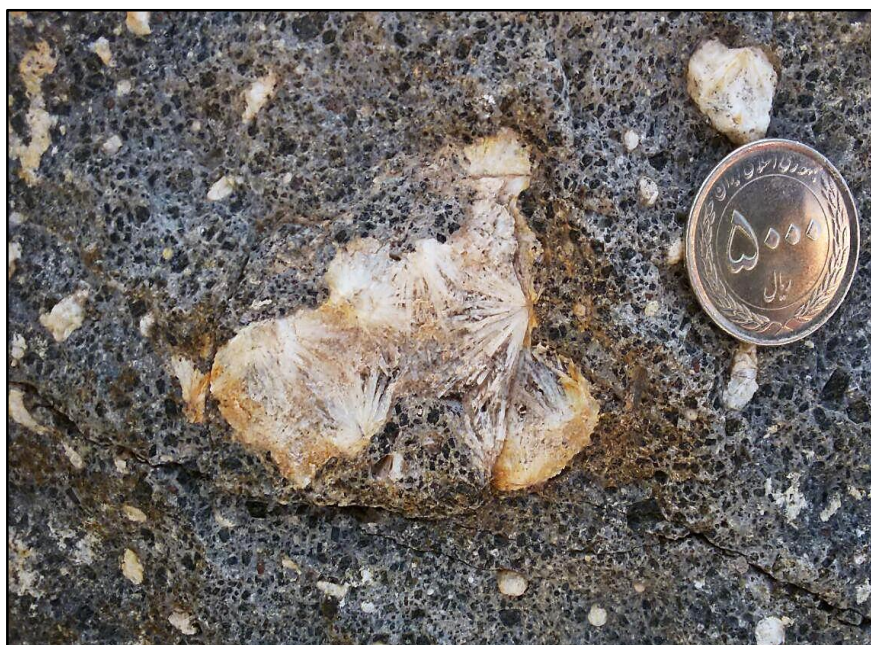
واحد تراکی‌بازالتی به رنگ سبز تیره تا خاکستری تیره در بخش شمال غرب منطقه رخنمون دارد. در بخش زیرین واحد آگلومرایی دانه متوسط تا درشت دانه با جورشدگی و گردشگی نسبتاً خوب قرار گرفته است. فنوکریست‌های الیوین، پلاژیوکلاز و پیروکسن به عنوان کانی‌های اصلی در روی نمونه‌های این واحد قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۲-۹). بلورهای درشت پیروکسن عمدتاً از نوع اوژیت می‌باشند و اندازه آن‌ها به ۰/۵ سانتی‌متر می‌رسد. واحد الیوین‌بازالتی در نمونه دستی به رنگ سیاه تا خاکستری تیره بوده و فنوکریست‌های الیوین ایدنگیزیته شده‌اند که در سطح سنگ به رنگ قرمز دیده می‌شوند. اندازه این فنوکریست‌ها در حدود ۱ تا ۲ میلی‌متر است و سن این واحد سنگی ائوسن میانی- بالایی گزارش شده است.

از ساخت‌های مشاهده شده در بازالت‌ها می‌توان به ساخت‌های پورفیری، حفره‌ای و بادامکی اشاره کرد که اکثر حفرات با ژئولیت پر شده‌اند (شکل ۲-۱۰). حباب‌های تشکیل شده از سیال- مواد فرار، همزمان با انجماد ماگما، حفراتی را در داخل سنگ تشکیل می‌دهند که بافت حاصل را بافت حفره‌ای می‌گویند. کشش سطحی مذاب در اثر انبساط یافتن فاز سیال باعث تشکیل حباب‌ها به شکل کروی می‌شود، زیرا این شکل‌های کروی دارای حداقل نسبت سطح به حجم هستند و در نتیجه دارای حداقل انرژی آزاد سطحی می‌باشند. لازم به ذکر است که در اثر جریان مذاب، شکل حباب‌ها ممکن است از حالت کروی خارج شده و به صورت کشیده و بیضوی شکل شوند. به عبارتی دیگر در هنگام بالا آمدن ماگما و افزایش مقدار گاز و سرعت انتشار، فشار کاهش یافته است و حباب‌های موجود در محیط به هم متصل شده و گسترش پیدا می‌کنند. به دلیل گرانبوی کمتر گدازه‌های بازالتی، حباب‌ها راحت‌تر از آن‌ها آزاد شده

است و در نتیجه انفجار صورت نگرفته است. به همین دلیل ساخت حفره‌ای در گدازه‌های بازالتی توسعه فراوانی پیدا کرده است (Best, 2013). در بعضی از بخش‌ها حفرات به صورت بخشی یا کامل توسط کانی‌های ثانویه مانند زئولیت‌ها، کوارتز، کلسدونی و کلریت پر شده‌اند و باعث ایجاد ساخت بادامکی شده‌اند.



شکل ۲-۹: فنوکریست‌های پیروکسن در بازالت‌های عباس‌آباد.



شکل ۲-۱۰: نمایی از ساخت حفره‌ای پر شده با زئولیت در بازالت‌های عباس‌آباد.

۲-۳-۱-۵- آهک نومولیت‌دار

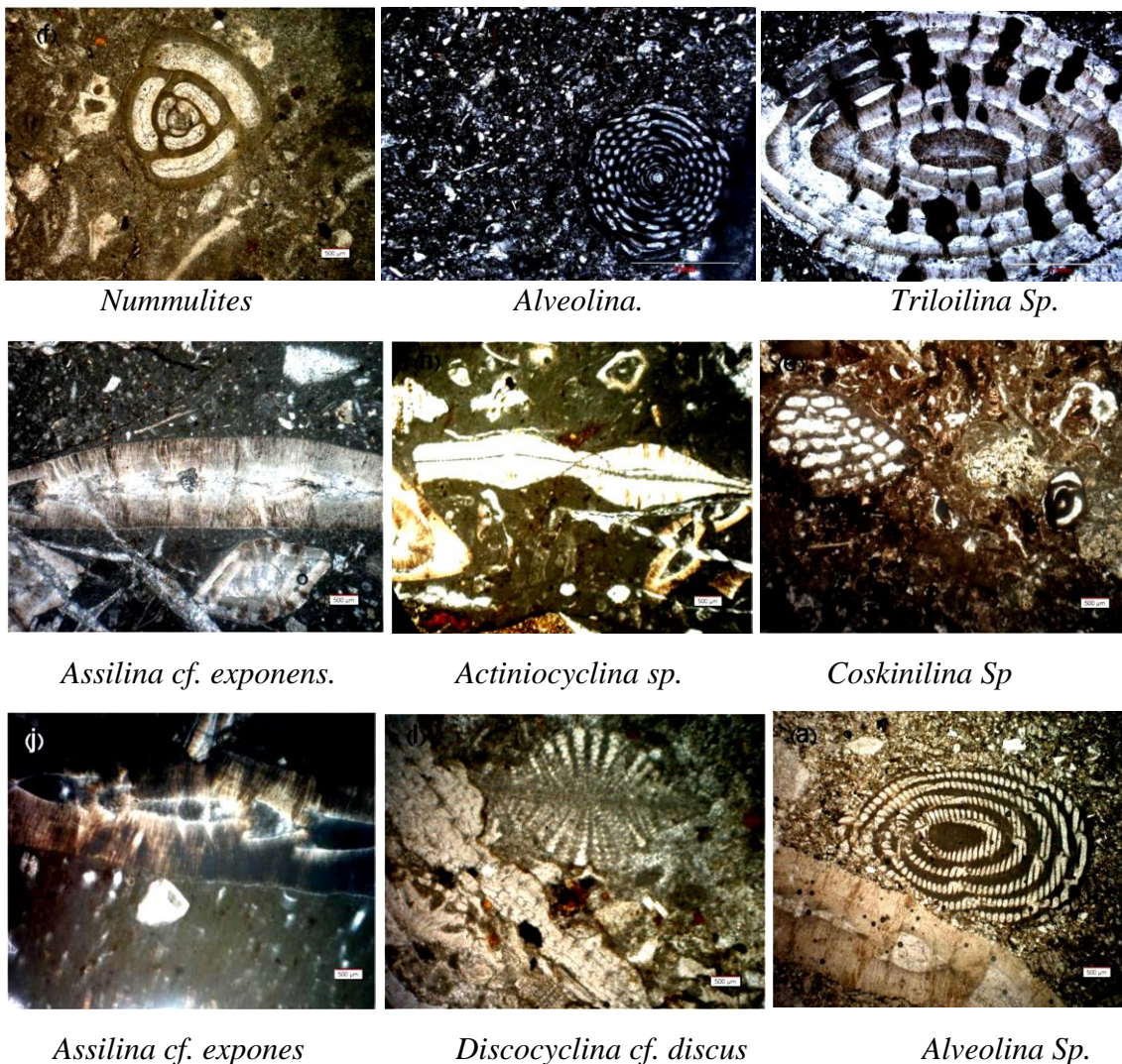
به اعتقاد خسرو تهرانی (۱۳۸۴)، ظهور میکروفسیل‌های نومولیت نشانه آغاز دوران سنوزوئیک است. زون آهک نومولیت‌دار به رنگ کرم تا خاکستری و با ضخامت تقریباً ۱۰ متر در منطقه‌ی مورد مطالعه وجود دارد (شکل ۲-۱۱)، واحد تراکی‌بازالتی در بخش زیرین و واحد تراکی‌اندزی‌بازالت در بخش بالایی این واحد قرار گرفته است. در محل تماس گدازه با آهک، نومولیت‌ها دارای فراوانی بیشتر هستند که نشان دهنده‌ی فوران گدازه در محیط آبی بر روی آهک‌ها می‌باشد. انباشتگی نومولیت‌های درشت و ریز در کنار یکدیگر می‌تواند نشان دهنده تغییر ناگهانی شرایط محیط زیست و مرگ دسته جمعی آنها باشد (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۲).



شکل ۲-۱۱: نمایی از آهک نومولیت‌دار موجود در منطقه عباس‌آباد.

در این واحد بقایایی از روزن‌داران کفزی دیده شده است که عبارت‌اند از (۲-۱۲) (الهیاری، ۱۳۸۹):

Discocyclina cf. discus; *Alveolina cf. elliptica*; *D. sella*; *Heterostegina sp.*; *Operculina sp.*; *Alveolina cf. munieri*, *A. sp.*; *Nummulites. cf. aturicus*; *Triloculina sp.*; *Actinocyclina sp.*; *Coskinolina sp.*; *Assilina exponens*; *Alveolina aragonensis*; *Alveolina sp.*; *Assilina cf. exponens*.



شکل ۲-۱۲: تصاویر مقاطع میکروسکوپی میکروفسیل‌های موجود در واحدهای آهکی در نور (PPL) برگرفته شده از الهیاری (۱۳۸۹).

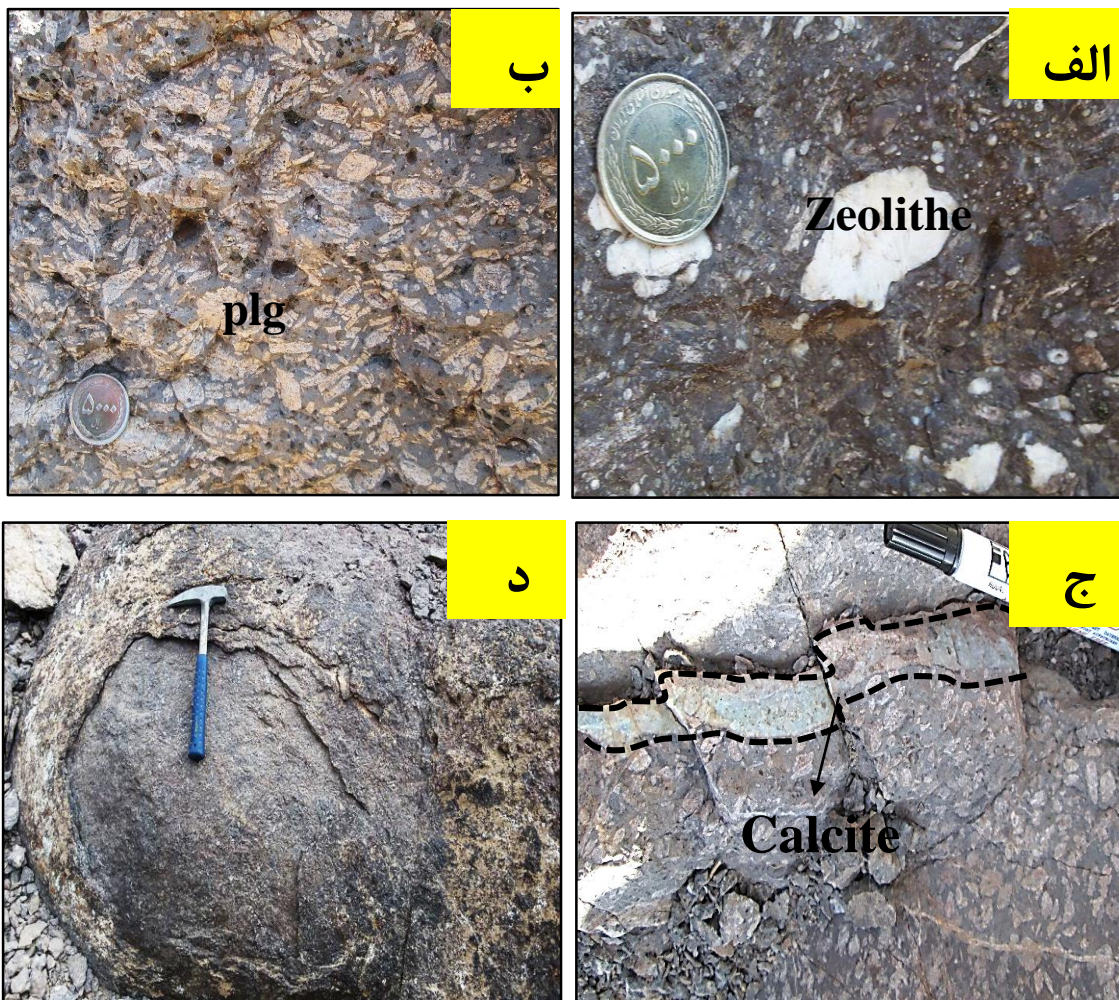
۲-۳-۱-۶- تراکی آندزیت‌ها و تراکی آندزی بازالت‌ها

تراکی آندزیت سنگ آتشفشانی حدواسط است که دارای ترکیبی بین تراکیت و آندزیت می‌باشد و معمولاً میزان آلکالی فلدسپار و پلاژیوکلازهای آن‌ها برابر می‌باشد. آندزی بازالت‌ها، کانی‌های مافیکی مشابه بازالت‌ها را شامل می‌شوند، با این تفاوت که پلاژیوکلازهای آن‌ها ترکیب سدیک‌تری دارد. واحدهای تراکی آندزیت و تراکی آندزی بازالت به رنگ قهوه‌ای روشن تا خاکستری روشن در شمال و شمال غرب عباس‌آباد وجود دارند. این واحدها بر روی آهک‌های نومولیت‌دار و در زیر آهک توفی قرار گرفته‌اند.

گدازه‌های تراکی آندزیتی مزبور از نوع آآ می‌باشند (الهیاری، ۱۳۸۹؛ قاسمی و همکاران، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۲)، که باعث ظهور مورفولوژی خشن در منطقه شده است. در نمونه‌های دستی، فنوکریست‌های درشت پلاژیوکلاز و پیروکسن و همچنین جهت یافتگی و گردشگی پلاژیوکلازها با چشم غیر مسلح قابل تشخیص می‌باشند (شکل ۲-۱۳ ب). نوع پلاژیوکلازها از نوع لابرادور- آندزین مشخص شده است (عرب-زاده، ۱۳۹۶). شواهد تفریق از الیوین‌بازالت به تراکی آندزیت در منطقه دیده شده است که کاهش فنوکریست‌های الیوین و پیروکسن و افزایش فنوکریست‌های فلدسپار دلیلی بر وجود این امر می‌باشد و بیانگر منشأ واحدی برای این گدازه‌های آتشفشانی خواهد بود. سن این واحد سنگی ائوسن بالایی گزارش شده است (عرب‌زاده، ۱۳۹۶). در نمونه دستی این واحد سنگی، فنوکریست‌های پیروکسن و پلاژیوکلاز، دارای جهت یافتگی و گردشگی نسبتاً خوب بوده است و پلاژیوکلازها با چشم غیر مسلح قابل مشاهده می‌باشد. دارای ساخت مگاپورفیری و گلوپورفیری جریانی است.

در اثر انجماد سریع این واحد و تحت تأثیر تنش‌های کششی، شکستگی‌ها و درزهای عمودی و افقی زیادی با بازشدگی ۲ تا ۳ سانتی‌متر در سنگ‌های منطقه مورد مطالعه ایجاد شده است که به وسیله‌ی کانی‌های ثانویه (زئولیت، کلسیت و کوارتز) پر شده‌اند (شکل ۲-۱۳ الف و ج). زئولیت‌ها به صورت بادامکی و رگه‌ای تشکیل شده‌اند. زئولیت‌های ناترولیت (فراوان‌ترین زئولیت)، تامسونیت (به شکل مومی) و آنالسیم (به صورت بادامکی) در این گدازه‌ها شناسایی شده‌اند. زئولیت‌ها با رنگ سفید و بافت شعاعی دیده می‌شوند. به احتمال زیاد، پس از سرد شدن گدازه‌های میزبان، بر اثر ته نشست از سیالات شور و قلیایی در طول شکستگی‌ها و در حفرات گدازه‌های متخلخل و در دمای کم شکل گرفته‌اند. در واقع زمانی که محلول نسبت به یک گونه خاص زئولیت فوق اشباع می‌شود، هسته‌های بسیاری متبلور شده و بلورهای کوچک فراوانی در کناره حفرات شکل می‌گیرند. رشد سریع بلورهای کوچک زئولیتی، اشکال بلوری ساده‌ای دارد که از تعداد زیادی هسته‌های زئولیتی تشکیل شده و بیشتر به شکل دندردیتی رشد می‌کنند (Kousehlar et al., 2012). تغییر کوچک در ترکیب شیمیایی محلول به ویژه مقدار سیلیس،

pH و ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی و دما، باعث نطفه‌بندی متفاوت کانی‌های زئولیتی می‌شود. فرسایش پوسته پیازی در این واحد نیز دیده شده است (شکل ۲-۱۳ د).



شکل ۲-۱۳: الف) حضور و پراکندگی زئولیت درون حفرات موجود در تراکی‌اندزی‌بازالت. ب) حضور فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن و جهت یافتگی آنها در تراکی‌اندزی‌بازالت‌ها. ج) تصویری از رگه کلسیتی ثانویه در واحد تراکی-اندزیتی. د) تصویری از فرسایش پوسته پیازی درون واحد تراکی‌اندزی‌بازالت.

آنکلاوهای اندزیتی تیره رنگ نسبت به سنگ میزبان، در این واحد قابل شناسایی می‌باشند. مشاهدات میکروسکوپی، تشابه ترکیب آنکلاوها را با سنگ میزبان تأیید می‌کند. آنکلاوهای مذکور قسمت‌های زودرس ماگما می‌باشند به این صورت که مجدداً درون ماگمای در حال صعود وارد شده‌اند و از متن سنگ قابل تشخیص می‌باشند.

۲-۳-۱-۷- آهک توفی

این واحد به رنگ قرمز قهوه‌ای با ضخامتی در حدود ۱ متر می‌باشد که بر روی واحد تراکی‌اندزیتی و در زیر واحد کنگلومرای قرار گرفته است. با توجه به بررسی‌های دیرینه‌شناسی و میکروفسیل‌های شناسایی شده در آنها مانند: Orbitolites, Nummulites globules, Miliolids سن این واحد ائوسن بالایی تشخیص داده شده است (الهیاری، ۱۳۸۹) (شکل ۲-۱۴).



شکل ۲-۱۴: حضور میکروفسیل‌های فراوان نومولیت و آلوتولین در واحد آهک توفی (الهیاری، ۱۳۸۹).

۲-۳-۲- واحدهای سنگی الیگوسن

۲-۳-۱-۲- کنگلومرای چندزادی

واحد مورد مطالعه دارای رنگ قهوه‌ای تا خاکستری روشن می‌باشد که شامل قطعاتی در اندازه‌های مختلف از کوچک به بزرگ (از ۱ سانتی‌متر تا ۲۰ سانتی‌متر) با جورشدگی و گردشدگی نسبتاً خوب و از نوع تراکی‌اندزیت و تراکی‌بازالت می‌باشند (شکل ۲-۱۵). این قطعات با سیمانی از جنس کربنات کلسیم به یکدیگر متصل شده‌اند. واحد کنگلومرای چندزادی در هسته ناودیس عباس‌آباد رخنمون دارد و از قطعاتی با منشأ آذرین و رسوبی تشکیل شده‌اند. قطعات آهکی حاوی فسیل نومولیت نیز در آنها

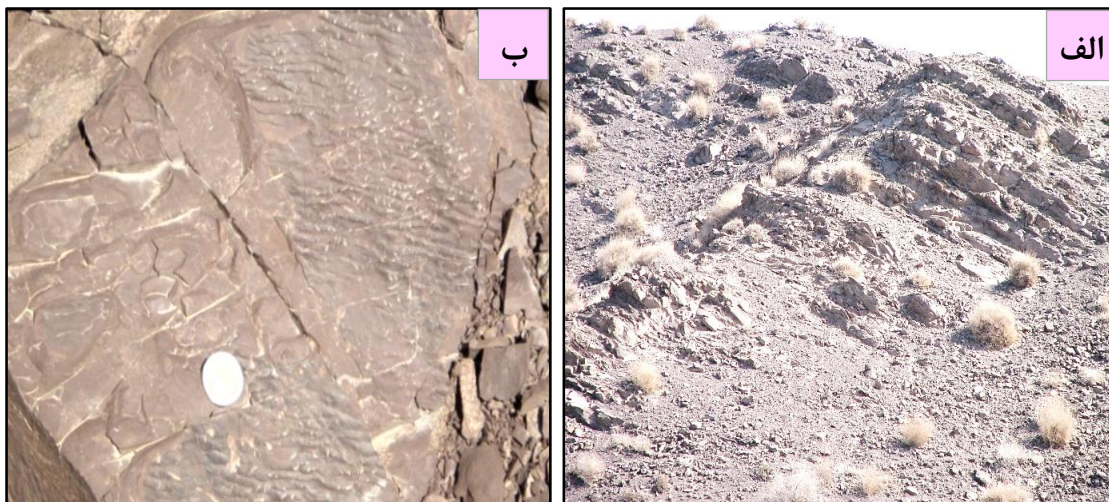
قابل مشاهده است. تغییرات سطح انرژی آب (محیط ساحلی کم عمق) و نزدیکی محیط ته‌نشست به محل منشأ دلیلی بر وجود قطعات ریز و درشت در کنار یکدیگر می‌باشد (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۲). این واحد سنگی به صورت تدریجی به مجموعه‌ای از ماسه‌سنگ‌ها، شیل و سیلتستون تبدیل شده است. واحد کنگلومرای چند زادی در زیر واحد شیل و ماسه‌سنگ بالایی قرار گرفته است و از نظر سنی به ائوسن بالایی - الیگوسن نسبت داده شده است (خلعتبری، ۱۳۸۰).



شکل ۲-۱۵: نمایی از کنگلومرای چندزادی ائوسن بالایی - الیگوسن با گردشگی متوسط و جورشدگی ضعیف با سیمان آهکی.

۲-۲-۳-۲- شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌های بالایی

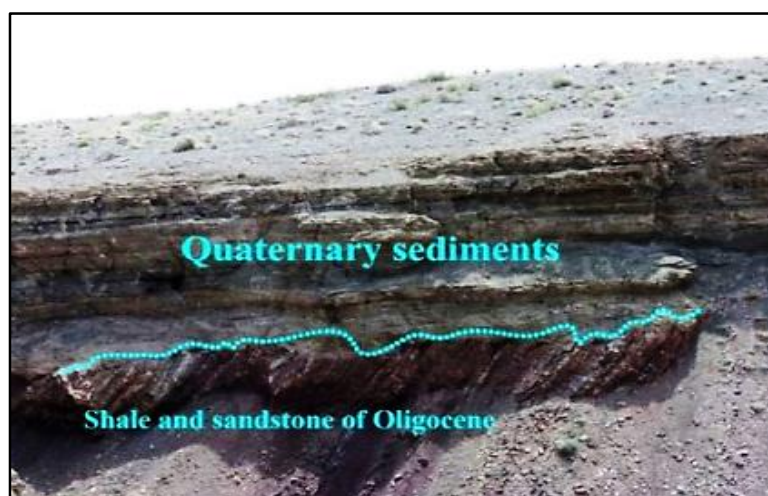
این واحد دربرگیرنده‌ی تناوبی از شیل و ماسه سنگ‌هایی با رنگ خاکستری تا قهوه‌ای با لایه‌بندی نازک می‌باشد (شکل ۲-۱۶ الف) و بر روی این واحد مارن‌ها و در زیر آن واحد کنگلومرای قرار گرفته است. این واحد دارای سن ائوسن - الیگوسن می‌باشد (خلعتبری، ۱۳۸۰). از جمله ساختارهای قابل مشاهده در سطح لایه‌های ماسه‌سنگی ریپل مارک‌های نامتقارن و چینه‌بندی مورب می‌باشد (شکل ۲-۱۶ ب). ساختارهای رسوبی مشاهده شده نشان‌دهنده محیط‌های دریایی، ساحلی کم عمق و پر انرژی می‌باشند (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۲). میان لایه‌هایی از میکروکنگلومرا نیز در این واحد سنگی دیده شده است. این واحد در شمال روستای عباس‌آباد به صورت وسیعی رخنمون دارد.



شکل ۲-۱۶: الف- نمایی از شیل و ماسه‌سنگ بالایی به سن الیگوسن. ب- نمایی از ریپل مارک‌های موجود در ماسه-سنگ‌ها

۲-۳-۲-۳- مارن‌های آهکی

مارن‌های آهکی به صورت نازک لایه با مورفولوژی ملایم با رنگ کرم در منطقه وجود دارند (شکل ۲-۱۷) و دربرگیرنده تناوبی از مارن‌های قهوه‌ای رنگ، ماسه‌سنگ، شیل و سیلتستون می‌باشد. این واحد به صورت ناهم‌شیب بر روی واحد شیل و ماسه‌سنگی بالایی قرار گرفته است و توسط نهشته‌های رسوبی کواترنر پوشیده می‌شود. سن این واحد نیز ائوسن - الیگوسن می‌باشد.



شکل ۲-۱۷: نمایی از مارن‌های آهکی با تناوبی از شیل و ماسه‌سنگ‌های نازک لایه الیگوسن - میوسن (عرب‌زاده، ۱۳۹۶).

۲-۳-۳- کوآترنری

۲-۳-۳-۱- پادگانه‌های آبرفتی کوآترنری

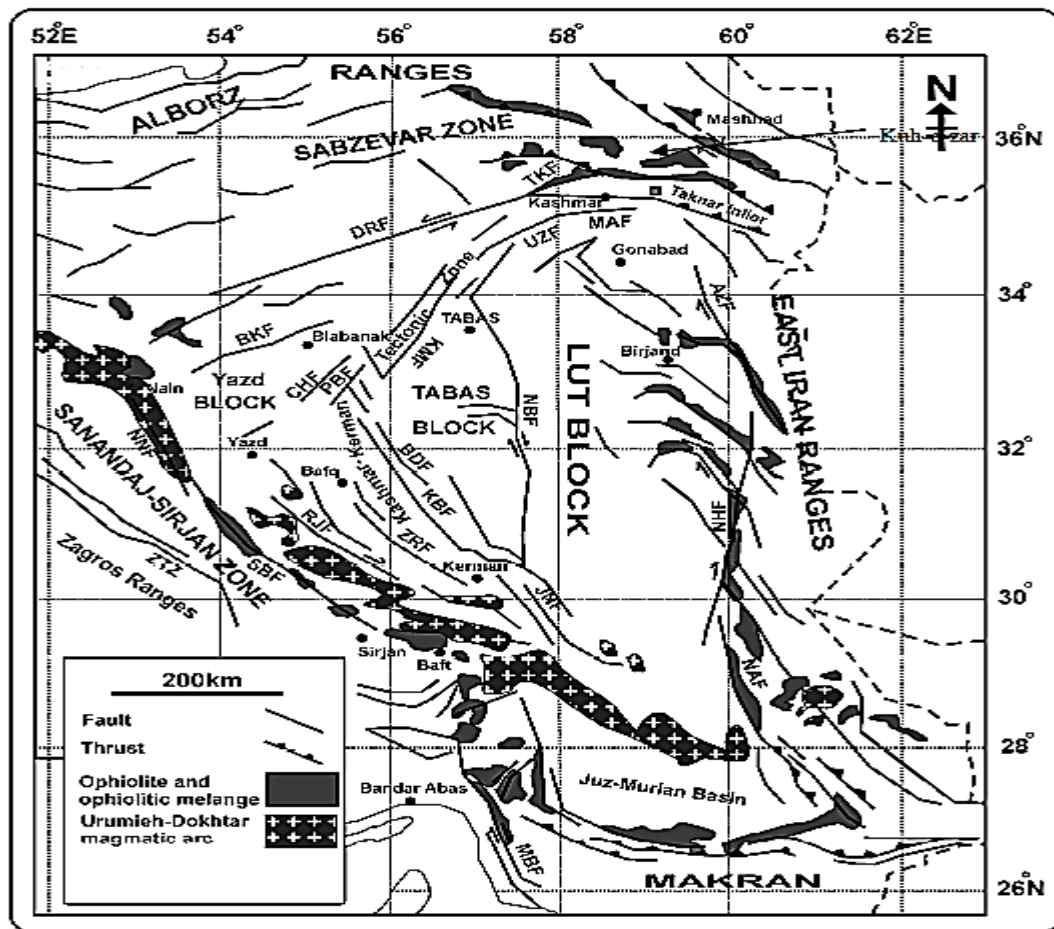
پادگانه‌های آبرفتی عمدتاً در اثر تغییر سطح ایستابی بر اثر فعالیت‌های تکتونیکی و یا افزایش دبی به وجود آمده‌اند. آنها موادی فرسایشی هستند که از دامنه ارتفاعات تا نواحی پست دشت‌ها توزیع شده‌اند و با دور شدن از ارتفاعات، اندازه دانه‌ها کاهش می‌یابد. اغلب به صورت افقی در مسیر رودخانه گسترش دارند. این نهشته‌ها اکثراً به صورت کنگلومرایی و ماسه‌سنگی یا سیلتستونی می‌باشند و به صورت دگرشیب بر روی مارن‌های میوسن قرار گرفته‌اند. پادگانه‌های آبرفتی از رسوبات دانه درشت با جورشدگی ضعیف تشکیل شده‌اند (آقابیاتی، ۱۳۴۹) و حاوی قطعات حاصل از خردشدن گدازه‌ها و سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی بالا دست خود می‌باشند (شکل ۲-۱۸).



شکل ۲-۱۸: تصویری از واحد کوآترنری موجود در منطقه عباس‌آباد (الهیاری، ۱۳۸۹).

۲-۴- تکتونیک کلی منطقه

تکتونیک، بررسی منشأ نیروها و حرکات به وجود آورنده آنها است. گسل‌ها، شکستگی‌هایی همراه با تغییر مکان نسبی‌اند که در آنها جابه‌جایی به موازات سطح گسل انجام گرفته است. بعضی از گسل‌های مشاهده شده فقط چند سانتی‌متر طول دارند و جابه‌جایی آنها در حدود سانتی‌متر است، در صورتی که گسل‌هایی با صدها کیلومتر طول و چند کیلومتر جابه‌جایی هم دیده شده است (پورکرمانی، ۱۳۹۰). از ویژگی‌های عمده در زون ایران مرکزی حضور گسل‌های فعال و طویل است. این گسل‌ها با سرگذشت‌ها و مکانیسم‌های لرزه‌ای متفاوت، از راندگی تا امتدادلغز می‌باشند. کشور ایران با قرار گرفتن در نوار کوهزایی آلپ- هیمالیا به عنوان یکی از کشورهای لرزه خیز در جهان مطرح می‌باشد (شکل ۲-۱۹). منطقه‌ی عباس‌آباد در محدوده‌ی شمال خاوری پهنه‌ی ایران مرکزی واقع شده است (Stocklin, 1968). ساختارهای زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه اکثراً از شکستگی‌ها، گسل‌ها و چین‌خوردگی‌ها تشکیل شده است. مهمترین عامل ساختاری در زمین‌شناسی منطقه، گسل‌ها و شکستگی‌هایی می‌باشد که در اثر حرکات زمین‌ساختی، مجرای انتقال و خروج ماگما را به سطح فراهم کرده‌اند. خلعتبری جعفری (۱۳۸۰) شکستگی‌های این ناحیه را به ۳ دسته تقسیم کرده است؛ الف) شکستگی‌هایی با روند شمال باختری- جنوب خاوری که به طور چیره شامل گسل‌های عادی و یا راستالغز هستند؛ ب) شکستگی‌هایی با روند شمال خاوری- جنوب باختری تا خاوری- باختری با مؤلفه‌های متغیر که گاه گسل‌های دسته نخست را قطع می‌کنند. این شکستگی‌ها از مهم‌ترین روندهای منطقه هستند؛ ج) شکستگی‌هایی با روند شمال خاوری- جنوب باختری تا شمالی- جنوبی که مهم‌ترین آن گسل کال آبدار است (صالحی و همکاران، ۱۳۹۴).



شکل ۲-۱۹: نقشه تکتونیکی شرق- مرکز ایران با تغییرات جزئی (Alavi, 1991 و Ramazani, 2003).

روند گسل‌های منطقه اکثراً در جهت شمال شرق - جنوب غرب می‌باشد (شکل ۲-۲۲). این گسل‌ها عمدتاً امتداد لغز راستگرد می‌باشند (شکل ۲-۲۰ و ۲-۲۱). در محدوده شمال باختری عباس‌آباد، گسل‌های موجود در منطقه باعث جابجایی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن از جمله تراکی‌بازالت با میان لایه البیون‌بازالتی، تراکی‌اندزی‌بازالت، تراکی‌اندزیت و همچنین سنگ‌های رسوبی ائوسن - الیگوسن که شامل آهک توفی، کنگلومرا و ... می‌باشد، گردیده است. گسل‌های منطقه ارتباط تنگاتنگی با کانه‌زایی دارند. در واقع فعالیت‌های تکتونیکی در منطقه، باعث خروج محلول‌های حاوی کربنات مس از طریق گسل‌ها و شکستگی‌ها شده است که منجر به ایجاد کانه‌زایی مس در سنگ‌های تراکی‌بازالت شده است.

در منطقه مورد مطالعه چین خوردگی‌های فراوان از نوع تاقدیس و ناودیس وجود دارد. واحدهای شیل، ماسه‌سنگ، کنگلومرا، آهک توفی، آهک نومولیت‌دار و گدازه‌ها در منطقه‌ی عباس‌آباد به صورت یک ناودیس میل‌دار چین‌خورده‌اند. ناودیس عباس‌آباد در شمال خاوری منطقه‌ی مورد مطالعه دارای میل شمال خاوری - جنوب باختری می‌باشد. در شمال غرب منطقه با تغییر جهت آن، جهت شمال باختری - جنوب خاوری را نشان داده است. در هسته‌ی مرکزی این ناودیس، شیل و ماسه‌سنگ به سن ائوسن - الیگوسن قرار گرفته است (شکل ۲-۲۲). با توجه به مطالعات قبلی انجام گرفته به طور کلی اصلی‌ترین ساختارهای منطقه شامل شکستگی‌ها، گسل‌ها و چین‌خوردگی‌ها می‌باشد و معتقدند که الگوی جابه‌جایی منطقه از نوع برشی - فشارشی است. روند ساخت‌های منطقه را شمال شرقی - جنوب غربی می‌دانند که تقریباً از روند البرز شرقی تبعید می‌کند.



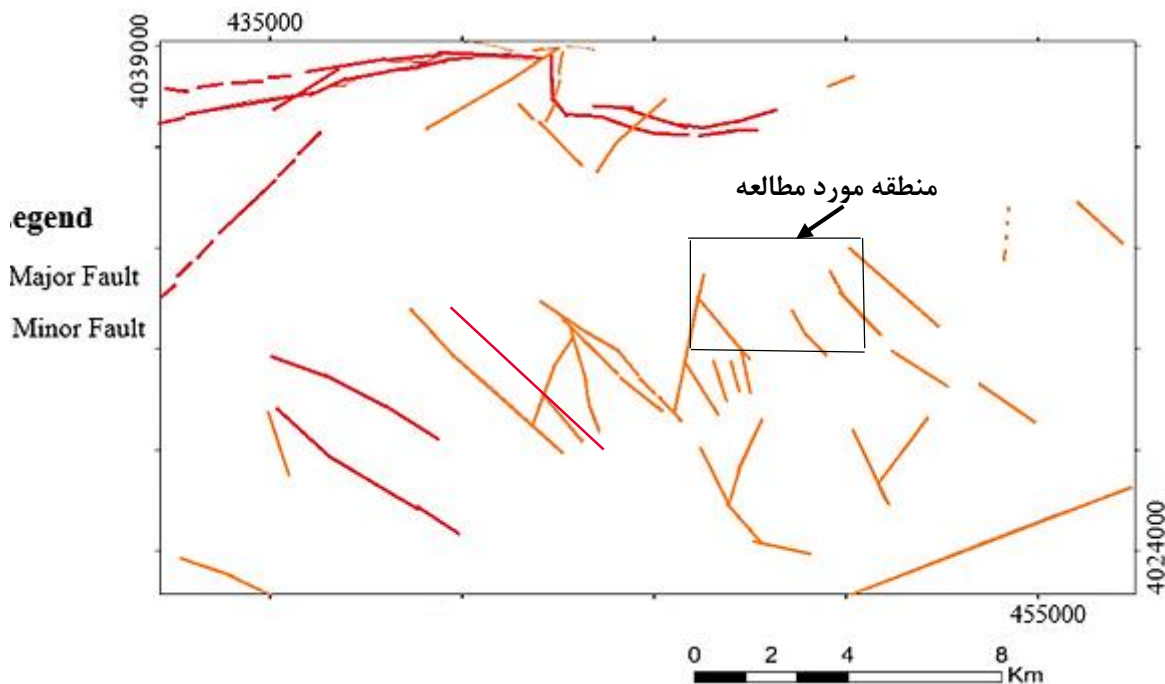
شکل ۲-۲۰: تصویری از خش ناشی از گسل در منطقه‌ی عباس‌آباد.



شکل ۲-۲۱: نمایی از درزه‌ها و شکستگی‌های موجود در واحدهای ماسه‌سنگی موجود در منطقه عباس‌آباد (عرب‌زاده، ۱۳۹۶).

۲-۴-۱- گسل راندگی میامی

گسل میامی یا گسل شاهرود با روند تقریباً شرقی- غربی، مرز جداکننده‌ی پهنه بینالود (البرز شرقی) از ایران مرکزی است. حد شمالی این گسل اکثراً زمین‌های آبرفتی و کوهپایه‌ای می‌باشد، حد جنوبی کوهستانی و در برخی مناطق (جنوب میامی- عباس‌آباد و فریمان) مرز جداکننده‌ی ملانژهای افیولیتی از واحدهای دیگر می‌باشد (شکل ۲-۲۲). به عقیده‌ی اشتامپلی (۱۹۷۸)، گسل شاهرود تا آخرین مراحل چین‌خوردگی آلپی در پلیوسن حالت راست‌بر داشته است (طائفی، ۱۳۹۳).



شکل ۲-۲: نمایی از ساختارهای اصلی منطقه عباس‌آباد (برزگری، ۱۳۹۴).

۵-۲- زمین‌شناسی اقتصادی منطقه

موقعیت و شرایط زمین‌شناسی ایران از لحاظ زمین‌ساخت و تحمل فازهای کوهزایی مختلف، انواع فرایندهای آتشفشانی، نفوذی، دگرگونی و دگرشکلی‌هایی نظیر انواع چین‌ها، گسل‌ها، شکستگی‌ها، فرسایش و همچنین پدیده‌های رسوبی را ایجاد کرده است. همچنین شرایطی را ایجاد کرده است که کانسارهای مختلفی چه از لحاظ خاستگاه ماگمایی و چه از لحاظ خاستگاه دگرگونی و رسوبی در منطقه‌های ساختاری ایران به وجود آید. یکی از مسائل مهمی که در رابطه با زمین‌شناسی اقتصادی منطقه مورد توجه است، رابطه تنگاتنگی است که بین گسل‌های موجود در منطقه مورد مطالعه و کانه‌زایی وجود دارد. بنابراین با توجه به فعالیت‌های زمین‌ساختی و ماگماتیسم در گستره ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ عباس‌آباد و همچنین موقعیت این ورقه در پهنه‌های ساختاری ایران، شاهد کانه‌زایی‌های مس، آهن، منگنز و تشکیل کانسارهای منیزیت درون سرپانتینیت‌های افیولیت‌های سبزوار، زئولیت و

ژپیس اشاره نمود (طائفی، ۱۳۹۳). پتانسیل‌های اقتصادی منطقه عباس‌آباد در بر گیرنده نشانه‌ها و کانسارهایی است که در زیر به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود:

۲-۵-۱- مس

مس، یکی از فلزاتی است که وضعیت ارزش آن، مستقیماً بازتابی از وضعیت اقتصاد جهانی داشته است و پس از آهن و آلومینیوم، سومین فلزی است که استفاده وسیعی را در جهان به خود اختصاص داده است. کشور ایران در بین کشورهای دارای ذخایر مس از جایگاه مناسبی برخوردار است، بطوریکه از مجموع ۳۵ میلیارد تن کانسنگ مس در جهان با عیار ۰/۸۸ درصد، ذخیره قطعی و احتمالی ایران در حدود ۴ میلیارد تن با عیار ۰/۶۶ درصد برآورد می‌شود. به عبارتی، ایران در حدود ۸ درصد معادن مس جهان را دارا است. بیش از ۲۰۰۰ کیلومتر از کمر بند جهانی مس از ایران می‌گذرد و تاکنون بر روی حدود ۱۰۰ کانسار، مطالعه و بررسی‌های اکتشافی و اصولی انجام شده است (قربانی، ۱۳۸۶ و مغفوری، ۱۳۹۱)

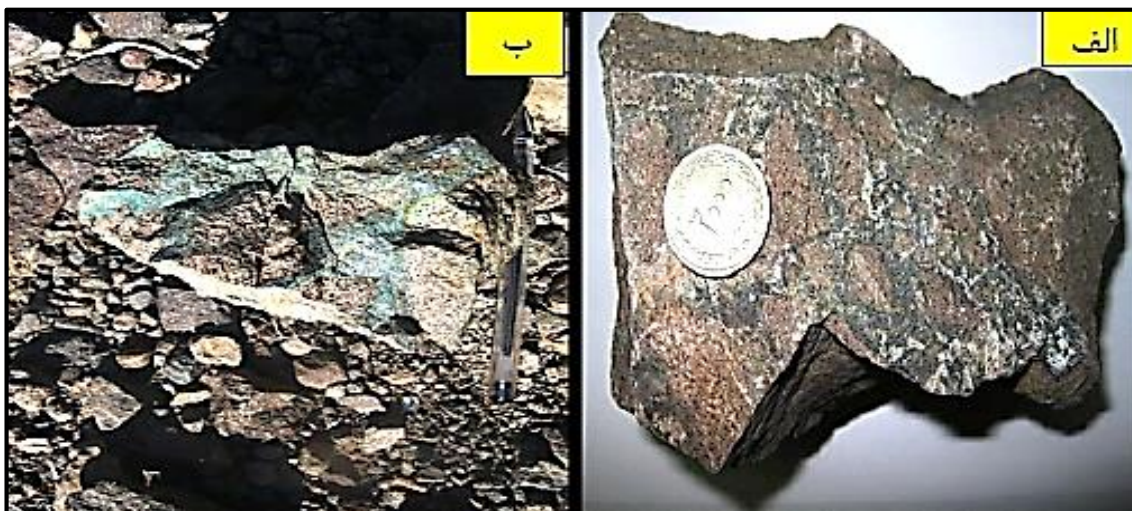
سابقه مس در نوار آتشفشانی- رسوبی عباس‌آباد، به چند هزار سال قدمت می‌رسد و توسط افراد مختلف گزارش شده است. اولین بار Taytz در سال ۱۸۷۹ از کانه‌زایی مس در این نوار یاد کرده است (سامانی، ۱۳۸۶ و صالحی، ۱۳۹۳). کانی‌سازی مس در منطقه‌ی عباس‌آباد در سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیت و آندزیت‌بازالت رخ داده است، کانی‌سازی از نوع پرکننده فضاهای خالی می‌باشد به صورتی که زئولیت‌ها در مرکز حفرات ایجاد شده است و در حاشیه حفرات کانی‌سازی مس صورت گرفته است که در ارتباط با زئولیت‌ها هستند و همچنین در این منطقه تجمع رگچه‌های پر شده با ترکیبات مس به طور عمده در واحد تراکی‌بازالت و سایر گدازه‌ها نیز دیده می‌شود (حیدری، ۱۳۹۰). در تصاویر ماهواره‌ای می‌توان به این نکته پی برد که در ورقه عباس‌آباد، علاوه بر گسل خوردگی و چین خوردگی، لایه‌بندی نیز در کنترل کانه‌زایی نقش داشته است (شکل ۲-۲۳ الف و ب) (طائفی، ۱۳۹۳). کانه‌زایی مس به صورت مالاکیت و آزوریت در سطح و بورنیت، کوولیت و حتی مس خالص در اعماق سنگ‌های میزبان می‌باشد

(صادق‌زاده، ۱۳۷۷) (شکل ۲-۲۴ الف و ب). کانه‌زایی مس در عباس‌آباد در سنگ‌های آندزیتی نیز یافت شده است. سولفیدهای اولیه در زیر سطح ایستابی آب‌های فسیل غنی سازی شده‌اند (سطح ایستابی در عمق ۲۵ متری است). کالکوسیت اورتورمبیک کانی اولیه مس می‌باشد که بورنیت بصورت نقاطی در آن دیده می‌شود و دارای بافت اکسولوشن است. عیار متوسط مس بین ۱ تا ۲٪ است. در بین مناطق اصلی کانه‌زایی، آثار پراکنده مس دیده می‌شود که وجود مالاکیت و کریزوکلا، مهاجرت وسیع مس را در سنگ‌های رسوبی نزدیک مناطق آندزیتی تأیید می‌کند.

از کانسارهای عمده مس در بخش شمالی نوار عباس‌آباد می‌توان به کانسارهای معدن بزرگ، دامن جلا، حمامی، آسیا دیو، لب‌کال و در جنوب غربی عباس‌آباد، به طور عمده در مناطق چغندرسر، قلعه‌گریک و گورخون اشاره کرد که همگی دارای سنگ‌میزبان آتشفشانی هستند. آثار شدادی در این کانسارها کم و بیش قابل مشاهده است به ویژه در کانسارهای دامن جلا، معدن بزرگ و آسیا دیو که حضور سربارها نیز در اطراف این کانسارها نشانگر این موضوع می‌باشد و بهره‌برداری از این معادن به گذشته‌های دور برمی‌گردد (خلعتبری، ۱۳۷۹؛ الهیاری، ۱۳۸۹ و حیدری، ۱۳۹۰).



شکل ۲-۲۳: تصاویری از تونل و ترانشه حفر شده در امتداد لایه‌بندی. الف- مقیاس رخنمون صحرایی، ب- در مقیاس تصاویر ماهواره‌ای (طائفی، ۱۳۹۳).



شکل ۲-۲۴: الف- کانه‌زایی کالکوسیت به صورت رگه و رگچه‌ای در بازالت‌ها، ب- کانه‌زایی به صورت رگه‌ای کالکوسیت، مالاکیت و آزوریت در بازالت‌ها (طائفی، ۱۳۹۳).

۲-۵-۲- آهن

آهن از جمله فلزاتی است که کانسارهای آن تنها به دوره خاصی از پیدایش و شکل‌گیری پوسته زمین مربوط نبوده است و تقریباً در تمام دوره‌های زمین‌شناسی یافت شده است. در ایران مانند دیگر نقاط جهان، بیشترین تجمع آهن در پروتروزوئیک پسین، اردوئین پیشین و الیگومیوسن می‌باشد (صادق-زاده، ۱۳۷۷). می‌توان کانی‌های اکسیدی موجود در سنگ‌های آذرین را شاخص‌های کلیدی برای فرایندهای پتروژنتیکی در نظر گرفت. از گروه‌های اکسیدی آهن-تیتان، می‌توان مگنتیت و محلول جامد بین ایلمنیت و هماتیت را نام برد. آهن در سطوح فوقانی پوسته زمین به صورت Fe^{+3} با اکسیژن ترکیب شده است و در تشکیل کانی‌ها مشارکت می‌کند. در اعماق این عنصر اکثراً به صورت Fe^{+2} در ترکیب کانی‌های سیلیکاته شرکت می‌کند. این عنصر جزء عناصر سیدروفیل بوده است ولی گاهی خواص کالکوفیل و لیتوفیل را نیز از خود نشان می‌دهد. آهن یکی از تشکیل دهنده‌های اصلی اغلب سنگ‌ها می‌باشد و به همین علت تقریباً در تمام محیط‌ها و کانسارها وجود دارد. در منطقه عباس‌آباد نیز کانسار-های آهن به صورت هماتیت و مگنتیت وجود دارند (شکل ۲-۲۵).



شکل ۲-۲۵: تصویری از کانه‌زایی آهن (هماتیت، مگنتیت) در منطقه عباس‌آباد (عرب‌زاده، ۱۳۹۶).

۲-۵-۳- منگنز

منگنز عنصری فلزی به رنگ خاکستری متمایل به صورتی که از لحاظ شیمیایی فعال است. به خاطر خصوصیات ثابت‌کنندگی گوگرد، اکسیژن‌زدایی و آلیاژ سازی برای تولید آهن و فولاد ضروری است. منگنز یک ترکیب شیمیایی معمول است که در تمام قسمت‌های کره زمین یافت می‌شود و سومین عنصر شیمی از لحاظ سمی بودن می‌باشد. معدن منگنز روباز سردار در روستای کلاته سادات از سال ۱۳۹۰ در کوه‌های جنوبی روستا در منطقه‌ای به نام فلیون در داخل واحد ماسه‌سنگی ائوسن بالایی-الیگوسن کشف شد و هم‌اکنون در حال استخراج می‌باشد.

فصل سوم

مطالعات پروگرامی

۳-۱- مقدمه

پس از بررسی روابط و ویژگی‌های صحرایی واحدهای سنگی مورد مطالعه، به منظور انجام مطالعات پتروگرافی بر روی سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی منطقه عباس‌آباد، تعداد ۲۰ مقطع نازک تهیه گردید. با توجه به این که تنها با تکیه بر پارامترهای شیمیایی نمی‌توان دست به شناسایی و طبقه‌بندی سنگ‌ها زد، مطالعه دقیق سنگ در صحرا و یا آزمایشگاه (با استفاده از مقطع نازک)، بسیار حائز اهمیت است و قدم اول به شمار می‌آید. پتروگرافی یا سنگ‌شناسی توصیفی قسمتی از علم سنگ‌شناسی است که به منظور شناسایی روابط بافتی، ترکیب کانی‌شناسی، ترتیب تبلور کانی‌ها، دگرسانی کانی‌ها و دیگر شواهد پتروگرافی می‌پردازد و نتایج ارزشمندی به همراه دارد که در ادامه به شرح آنها خواهیم پرداخت.

از نظر سنگ‌شناسی، سنگ‌های آتشفشانی منطقه عباس‌آباد دارای ترکیب تراکی‌اندزیت، تراکی‌اندزی-بازالت، تراکی‌بازالت و الیوین‌بازالت بوده و دارای ماهیت کالک‌آلکالن تا آلکالن پتاسیم بالا می‌باشند (صالحی و همکاران، ۱۳۹۳). در ترکیب کانی‌شناسی آنها، پلاژیوکلاز و پیروکسن کانی‌های اصلی محسوب می‌شوند. الیوین به جزء در الیوین‌بازالت‌ها و تراکی‌بازالت‌ها، در بقیه سنگ‌های مورد مطالعه، کانی فرعی محسوب می‌شود. زئولیت‌های موجود در حفرات سنگ‌های آتشفشانی بازیک به دلیل درشت بودن کریستال‌های آن، مناسب‌ترین گروه برای بررسی‌های میکروسکوپی است. با انجام بررسی‌های ساده میکروسکوپی برخی از انواع زئولیت‌ها از روی شکل ظاهری، نحوه رخداد، حالت خاص بلوری و برخی خصوصیات نوری می‌توان از هم تمیز داد. زئولیت‌ها با بافت شعاعی و به رنگ سفید به صورت پراکنده ولی فراوان، در داخل برخی واحدهای آتشفشانی (عمدتاً تراکی‌اندزیت) دیده می‌شوند. زئولیت‌ها، حفرات و شکاف‌های سنگ‌های آتشفشانی را در مراحل آخر فعالیت‌های گرمابی پر می‌کنند. آنالیزهای انجام شده بر روی این نمونه‌ها نشان می‌دهند که زئولیت‌ها از نوع آنالسیم، تامسونیت و ناترولیت می‌باشند. بیشتر زئولیت‌های مشاهده شده در منطقه عباس‌آباد، به شکل رشته‌ای- سوزنی و به گروه ناترولیت متعلق هستند. اعضای این گروه طبق طبقه‌بندی Breck (۱۹۸۴) شامل ناترولیت، مزولیت، اسکولسیت،

تامسونیت، گوناردیت و ایدنگتونیت است. حال به بررسی ویژگی‌های پتروگرافی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه می‌پردازیم.

۲-۳- پتروگرافی سنگ‌های آتشفشانی

خلاصه نتایج پتروگرافی سنگ‌های آتشفشانی منطقه عباس‌آباد در جدول ۳-۱ ذکر شده است (صالحی، ۱۳۹۳).

جدول ۳-۱: خلاصه نتایج پتروگرافی سنگ‌های آتشفشانی منطقه عباس‌آباد

نوع سنگ	کانی‌های اصلی	کانی‌های فرعی	کانی‌های ثانویه	بافت
الیوین-بازالت	الیوین، پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن	آپاتیت، کانی‌های کدر	ایدنگسیت، کلسیت، کوارتز، ژئولیت، اپیدوت	پورفیریک با خمیره میکرولیتی، گلوومروپورفیریک
تراکی-بازالت	پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن، الیوین	آپاتیت، کانی‌های کدر	ایدنگسیت، کلسیت، کلریت، سریسیت، اکتینولیت، ترمولیت	اینترگرانولار، پورفیریک، گلوومروپورفیریک، غربالی
تراکی-آندزی-بازالت	پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن	آپاتیت، کانی‌های کدر، الیوین	کلسیت، کوارتز، ژئولیت، آنالسیم، سریسیت، اپیدوت	مگاپورفیریک، پورفیریک با خمیره میکرولیتی، غربالی
تراکی-آندزیت	پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن	آپاتیت، کانی‌های کدر	کلسیت، کوارتز، ژئولیت، آنالسیم، سریسیت، اپیدوت، اسفن، کلریت، اسکاپولیت، پرهنیت، اکتینولیت، کلینوزوئیزیت	مگاپورفیریک، غربالی، گلوومروپورفیریک، اسفرولیتی

علائم اختصاری مورد استفاده در تصاویر میکروسکوپی این فصل در جدول ۳-۲ آورده شده است (برگرفته از قاسمی، ۱۳۹۲؛ کوه‌فر و همکاران، ۱۳۹۷؛ Siivola et al., 2007؛ Donna et al., 2010؛ Kogel et al., 2006):

جدول ۳-۲: علائم اختصاری به کار رفته در تصاویر میکروسکوپی سنگ‌ها.

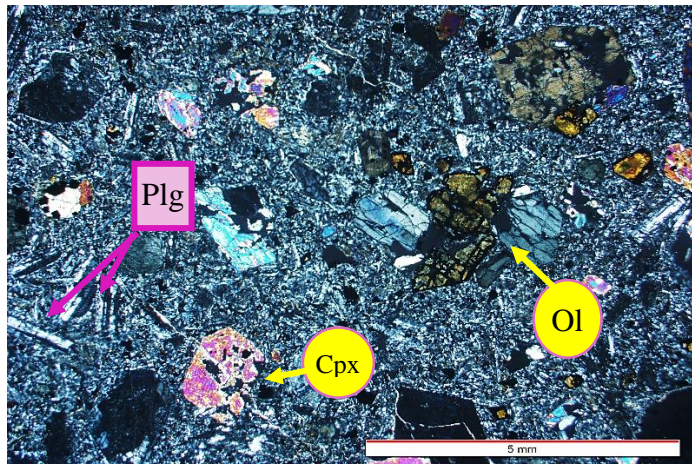
نام کانی	علامت اختصاری	نام کانی	علامت اختصاری
الیوین	Oli	کلسیت	Cal
کلینوپیروکسن	Cpx	آنالسیم	Anl
پلاژیوکلاز	Plg	ناترولیت	Ntr
کلریت	Chl	تامسونیت	Tmp
اپک	Opc	آپاتیت	Apa

۳-۲-۱- الیوین بازالت

الیوین بازالت‌های منطقه به رنگ خاکستری تیره تا سیاه دیده می‌شوند. کانی‌های اصلی آن‌ها شامل کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز و الیوین و کانی‌های فرعی آن‌ها اپک و آپاتیت می‌باشد، کانی‌های ثانویه آن‌ها شامل: ایدنگزیت، کلریت، سریسیت، زئولیت و کلسیت هستند. پیروکسن در سطح نمونه دستی با چشم غیر مسلح قابل مشاهده است و بلورهای الیوین اکثراً ایدنگزیتی شده‌اند. بافت غالب آن‌ها، پورفیری با زمینه میکروولیتی است (شکل ۳-۱). در بافت پورفیری، تفاوت‌های بسیار زیادی در اندازه فنوکریست‌ها وجود دارد. بافت پورفیری در واقع بیانگر تبلور در اتاق ماگمایی نیمه عمیق در طی صعود ماگما از گوشته به سطح زمین است (گیل، ۲۰۱۰). در الیوین بازالت‌های موجود در منطقه بافت گلومروپورفیری که حاصل تجمع درشت بلوهای پلاژیوکلاز و پیروکسن با اندازه‌ی یکسان در زمینه‌ی دانه ریز است مشاهده شده است.

یکی از ویژگی‌های بارز سنگ‌های آتشفشانی منطقه، وجود منطقه‌بندی در درشت بلورها، بافت غربالی و عدم تعادل در کانی‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن و الیوین است. علاوه بر بافت‌های مشاهده شده، می‌توان به بافت‌های تراکیتی، بادامکی و میکروولیتی پورفیری اشاره کرد. درشت بلورهای دگرسان شده‌ی پلاژیوکلاز، الیوین‌های ایدنگزیتی شده و کلینوپیروکسن اوژیتی به صورت سالم یا در حال کلریتی شدن

از کانی‌های اصلی تشکیل دهنده الیوین‌بازالت‌ها می‌باشند. حفرات و درزه‌های موجود در سنگ با کانی‌های ثانویه‌ای چون کلسیت، کوارتز، کلریت و زئولیت با بافت شعاعی پر شده است.



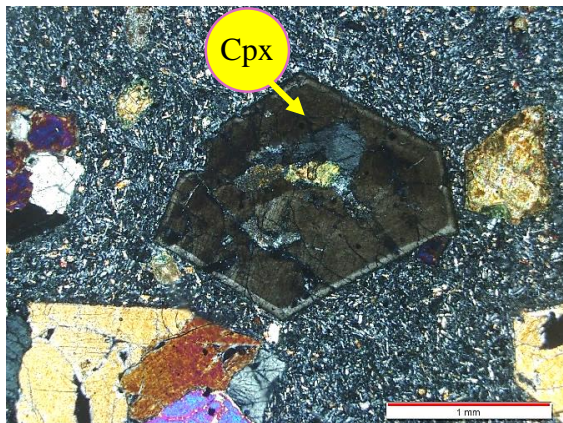
شکل ۳-۱: تصویری از بافت پورفیری با زمینه میکروولیتی در الیوین‌بازالت‌های عباس‌آباد در نور XPL.

۳-۲-۱-۱- کانی‌های اصلی

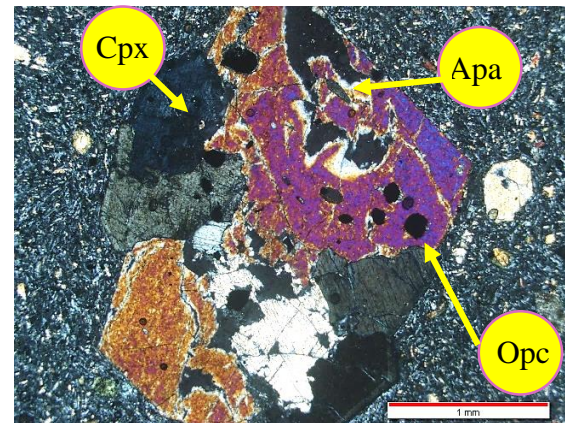
۳-۲-۱-۱-۱- پیروکسن

پیروکسن‌های موجود در الیوین‌بازالت اکثراً از نوع کلینوپیروکسن بوده و بخش قابل توجهی از سنگ را دربر دارد. شکل اغلب بلورهای پیروکسن موجود به صورت خودشکل می‌باشد. آثاری از گردشگری، خلیج‌خوردگی (شکل ۳-۹)، منطقه‌بندی (شکل ۳-۳)، بافت غربالی (شکل ۳-۷) و تجمعات گلومروپورفیری (شکل ۳-۴) در برخی از پیروکسن‌ها قابل مشاهده می‌باشد. همچنین در بعضی قسمت‌ها شواهدی از بافت کومولایی در فنوکریست‌های پیروکسن قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۳-۵). گردشگری در بلورهای پیروکسن بیانگر بافت غیرتعادلی می‌باشد که میزان آن برابر ۰/۵ در نظر گرفته شده است. بلورهای خودشکل پیروکسن دارای سطوح بلوری مشخص می‌باشند، بنابراین تحت شرایط تعادلی بدون هیچ محدودیتی در مایع رشد کرده‌اند (Best, 2013). کلینوپیروکسن‌های موجود، از نوع اوژیت و تیتانو اوژیت با ترکیب انتهایی این کانی بین $Wo_{42-47} En_{37-94} Fs_{13-19}$ هستند و ماکل ساعت شنی در آنها

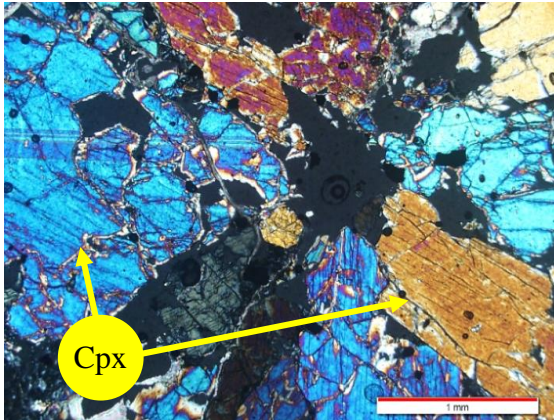
قابل مشاهده است (شکل ۳-۸) (عربزاده، ۱۳۹۶). در درون فنوکریست‌های پیروکسن ادخال‌هایی از بلورهای اولیوین، آپاتیت، پلاژیوکلاز و بلورهای ریز اکسید آهن مشاهده شده است که نشان دهنده تبلور زودرس آن‌ها نسبت به کلینوپیروکسن است (شکل ۳-۲). اگر در سیستم پیروکسن‌ها، تعادل کامل برقرار باشد، بلورهای پیروکسن به طور ممتد با ماده مذاب واکنش می‌دهند و این سبب تشکیل نشدن منطقه‌بندی در پیروکسن‌ها شده، و ترکیب آن‌ها با مذاب اولیه یکسان می‌شود. اکثراً بلورهای منطقه‌ای بیانگر کند بودن سرعت ایجاد تعادل نسبت به سرعت تبلور است (عربزاده، ۱۳۹۶). در بعضی از پیروکسن‌ها می‌توان آثاری از دگرسانی به کلریت را مشاهده کرد (شکل ۳-۶ الف و ب). در واقع کلریت در دماهای پایین تا متوسط به صورت یک محصول دگرسانی از پیروکسن تشکیل می‌شود. این دگرسانی حضور یک سیال آب‌دار در طی دگرسانی که باعث خروج Na و Ca از اوزیت می‌شود را نمایان می‌کند. این کانی همراه با اپیدوت منجر به تشکیل رنگ سبز در سنگ می‌شود.



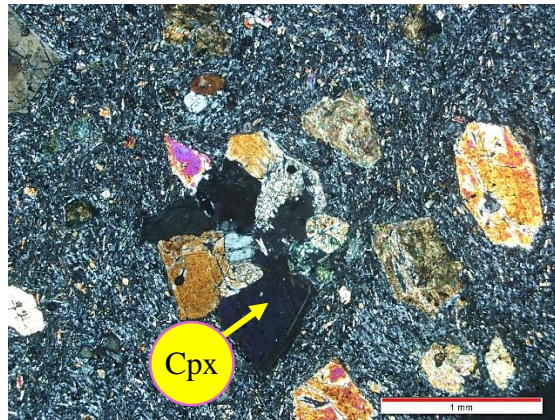
شکل ۳-۳: تصویری از منطقه‌بندی در بلورهای خودشکل پیروکسن در سنگ الیوین‌بازالتی با بافت میکروولیتی پورفیری عباس‌آباد در نور XPL.



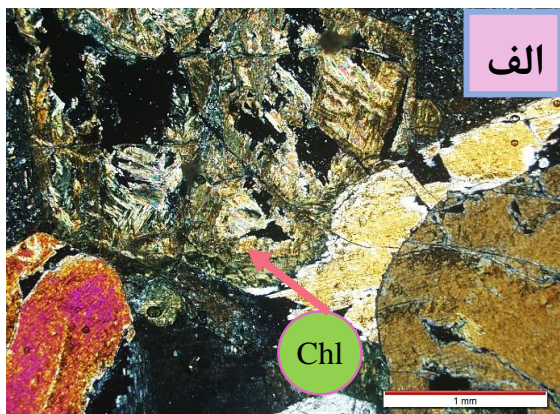
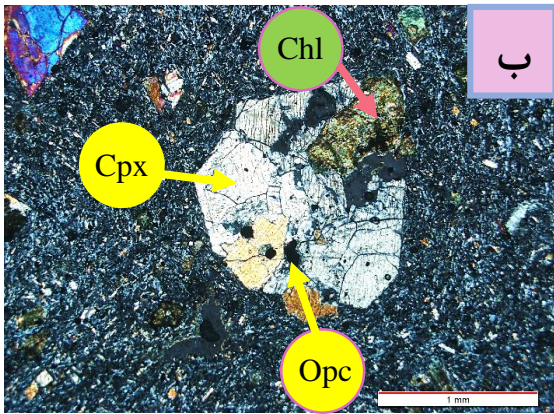
شکل ۳-۲: تصویری از فنوکریست‌های پیروکسن و وجود ادخال‌هایی از اپک و آپاتیت در الیوین‌بازالت‌های عباس‌آباد در نور XPL.



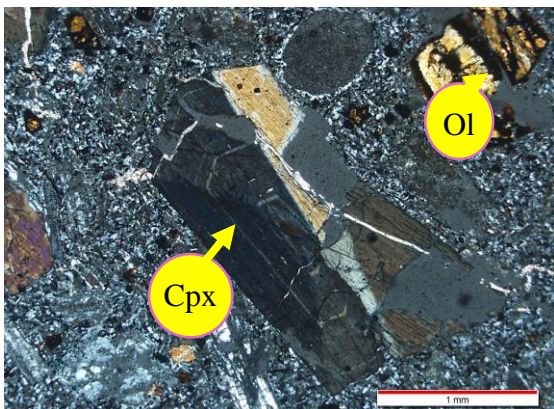
شکل ۳-۵: تصویری از بافت کومولایی در پیروکسن-های سنگ‌های الیوین‌بازالتی عباس‌آباد در نور XPL.



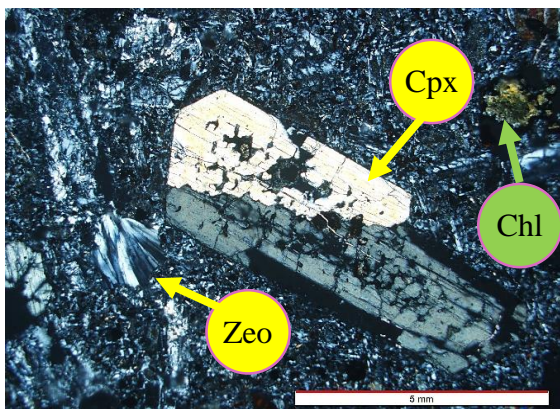
شکل ۳-۴: تصویری از تجمع فنوکریست‌های پیروکسن و ایجاد بافت گلومروپورفیری در الیوین‌بازالت‌های عباس‌آباد در نور XPL.



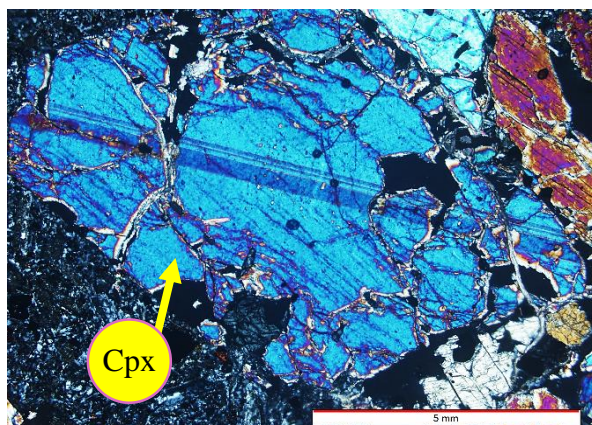
شکل ۳-۶: تصویری از دگرسانی فنوکریست‌های پیروکسن به کلریت در الیوین‌بازالت‌های عباس‌آباد در نور XPL.



شکل ۳-۸: تصویری از ماکل ساعت شنی در بلور پیروکسن در الیوین‌بازالت‌های عباس‌آباد در نور XPL.



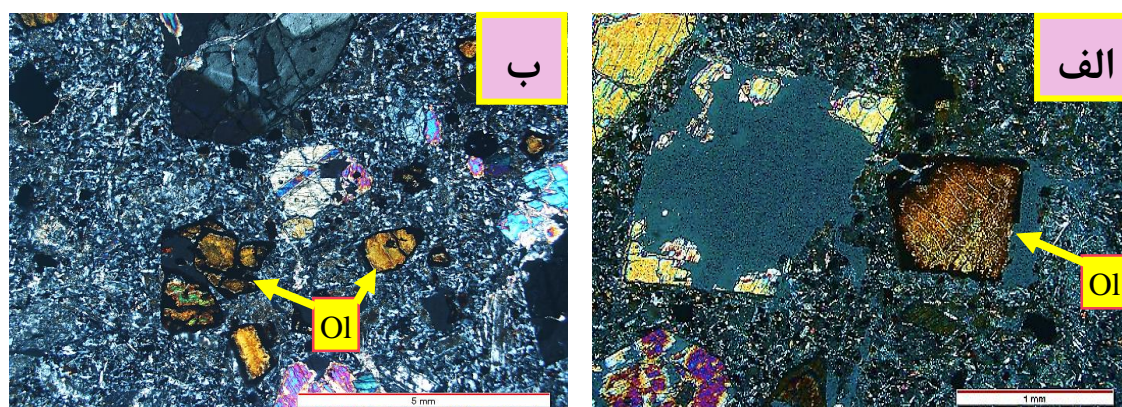
شکل ۳-۷: تصویری از بافت غربالی در کلینوپیروکسن-های موجود در سنگ الیوین‌بازالتی عباس‌آباد در نور XPL.



شکل ۳-۹: تصویری از خلیج خوردگی در بلورهای پیروکسن در سنگ الیوین بازالتی عباس آباد در نور XPL.

۳-۲-۱-۱-۲-۳- اولیوین

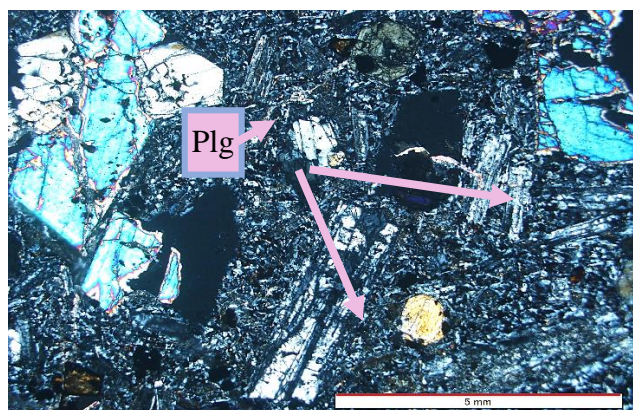
اکثراً به صورت شکل دار و نیمه شکل دار در زمینه‌ی سنگ قرار دارند. اغلب رنگ آن‌ها در زیر میکروسکوپ قرمز تا قهوه‌ای می‌باشد که این نشان‌دهنده‌ی ایدنگزیتی شدن آن‌ها می‌باشد (شکل ۳-۱۰ الف و ب). فنوکریست‌های اولیوین دارای بافت غیرتعادلی، گلومروپورفیری و اکثراً گردشده هستند. گردشگری بلورها را می‌توان به حرکت بلورهای اولیوین در اتاق ماگمائی و زمان کوتاه تعادل مذاب در مرحله‌ی تشکیل آن‌ها نسبت داد (الهیاری، ۱۳۸۹). در برخی موارد بلورهای اولیوین با ظاهر اسکلتی مشاهده شده است. در واقع تغییر در شرایط مذاب و همچنین میزان سردشدگی، باعث ایجاد تغییر در اندازه دانه‌ها می‌شود. بسته به میزان سردشدگی، بلورها از حالت تعادل خارج شده و باعث تغییر شکل آن‌ها می‌شود (Best, 2013).



شکل ۳-۱۰: تصویری از ایدنگزیتی شدن بلورهای الیوین در سنگ‌های الیوین بازالتی عباس آباد در نور XPL.

۳-۲-۱-۱-۳- پلاژیوکلاز

یکی دیگر از کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده الیوین‌بازالت‌ها پلاژیوکلاز می‌باشد که می‌توان آن را به صورت فنوکریست (تبلور در عمق) و هم به صورت میکروولیت (تبلور در نزدیکی سطح زمین) در آن‌ها مشاهده کرد (شکل ۳-۱۱). ترکیب پلاژیوکلازها در الیوین‌بازالت‌های منطقه عباس‌آباد در محدوده آندزین و لابرادوریت متغیر بوده است و در گستره بین $Ab_{15.85}, Or_{0.97}, An_{2.24} - Ab_{82.36}, Or_{62.28}, An_{83.30}$ قرار گرفته‌اند (عرب‌زاده، ۱۳۹۶). در بعضی از موارد میزان دگرسانی در مرکز بلور نسبت به حاشیه بیشتر می‌باشد که بیانگر کلسیک‌تر بودن مرکز بلور و منطقه‌بندی عادی در پلاژیوکلازها می‌باشد. سرعت انتشار خیلی کم یون‌های $CaAl$ و $NaSi$ در طول تبلور شاهدهی بر این امر است (Best, 2013) و الهیاری، ۱۳۸۹). این نوع منطقه‌بندی در اثر واکنش ناقص و مداوم بین بلور و مذاب است (Best, 2013). پلاژیوکلازهای موجود دارای گردشگی، بافت غربالی و خلیج‌خوردگی و در بعضی از بخش‌ها بافت‌های جریان‌ی و گلوپورپورفیری هستند. به طور کلی میزان گردشگی پلاژیوکلازها برابر $0/3$ در نظر گرفته شده است (برزگری، ۱۳۹۴).

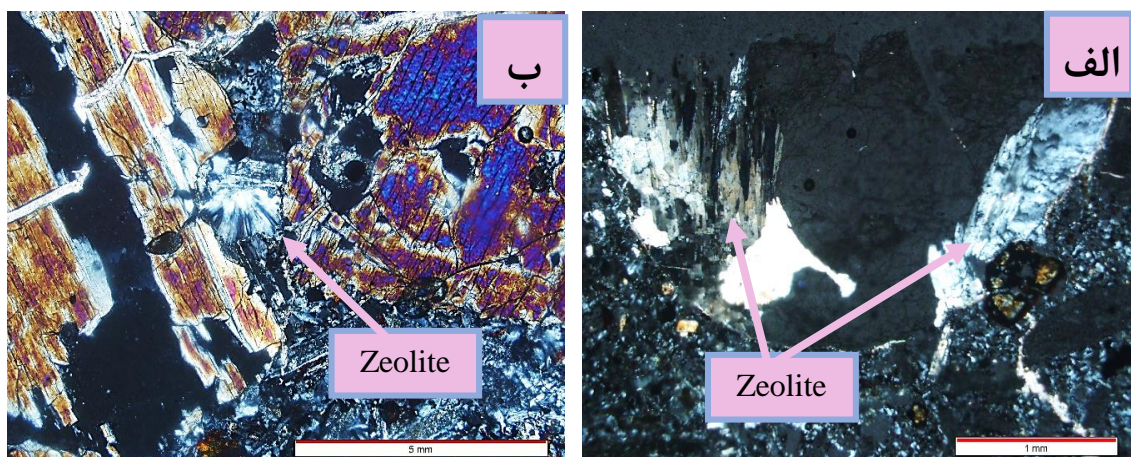


شکل ۳-۱۱: تصویری از کانی پلاژیوکلاز هم به صورت میکروولیتی و هم فنوکریست در سنگ الیوین‌بازالتی عباس‌آباد در نور XPL.

۳-۲-۱-۲- کانیه‌های ثانویه

۳-۲-۱-۲-۱- زئولیت

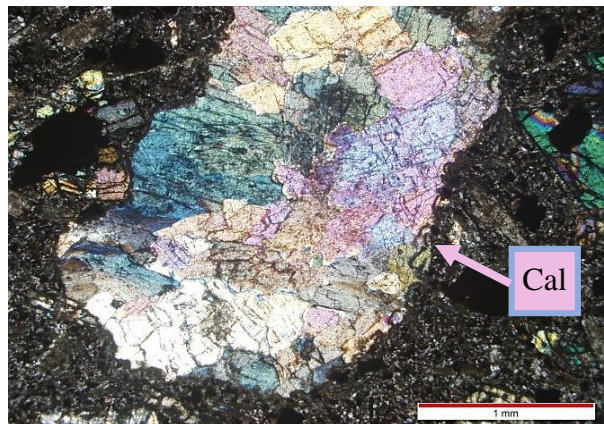
کانی زئولیت در داخل حفرات سنگ‌های الیوین‌بازالتی اکثراً با بافت شعاعی و به رنگ سفید قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۳-۱۲ الف و ب). طبق انجام تجزیه XRD از زئولیت‌های منطقه عباس‌آباد نوع آن‌ها ناترولیت، آنالسیم و تامسونیت تشخیص داده شده است. زئولیت‌های ذکر شده همراه کلسیت، رگه‌ها و حفرات موجود در سنگ‌های آتشفشانی را پر کرده‌اند. ناترولیت، فراوان‌ترین زئولیت شناخته شده در منطقه عباس‌آباد است. این کانی تقریباً در حفرات و رگه‌ها با زئولیت‌های دیگر هم‌رشدی نشان می‌دهد. بررسی‌های صحرائی و میکروسکوپی، XRD، همراه بودن ناترولیت‌های عباس‌آباد را با فازهایی نظیر: تامسونیت، آنالسیم و کلسیت تأیید نموده است. تامسونیت همانند دیگر زئولیت‌ها در منطقه عباس‌آباد به فراوانی یافت نشده است. این کانی به شکل تیغه‌ای متأثر از محتوای سیلیس و سرعت رشد خود در حفرات و بادامک‌های منطقه، اکثراً همراه با آنالسیم و گاهی همراه با ناترولیت مشاهده می‌شود. آنالسیم از خانواده تکتوسیلیکات‌ها می‌باشد و بر مبنای ساختمان هندسی (توپولوژی = مکان شناسی) جزء چهار حلقه منفرد تقسیم‌بندی می‌شوند، و رنگ آن اکثراً سفید، خاکستری یا بی رنگ می‌باشد.



شکل ۳-۱۲: تصویری از زئولیت‌زایی با بافت شعاعی در سنگ‌های الیوین‌بازالتی در نور XPL.

۳-۲-۱-۲-۲- کلسیت

کانی کلسیت یک کانی ثانویه می‌باشد که حاصل دگرسانی پلاژیوکلاز با افزایش میزان آب می‌باشد و در پایان پلاژیوکلاز باقی مانده به صورت آلبیت در می‌آید (Shelly, 1993). اغلب کلسیت به صورت رگه‌ای و پرکننده منافذ موجود در سنگ قابل مشاهده است (شکل ۳-۱۳) و اکثراً همراه با زئولیت می‌باشند. با توجه به مطالعات انجام گرفته توسط بادامه (۱۳۸۲)، وجود پاراژنهای: ۱- کلریت + کلسیت + میکای سفید + زئولیت ۲- کلریت + کلسیت + اپیدوت + زئولیت، می‌تواند بیانگر پدیده دگرسانی باشد که در دمای برابر ۴۰۰-۳۰۰ درجه سانتی‌گراد ایجاد شده است.

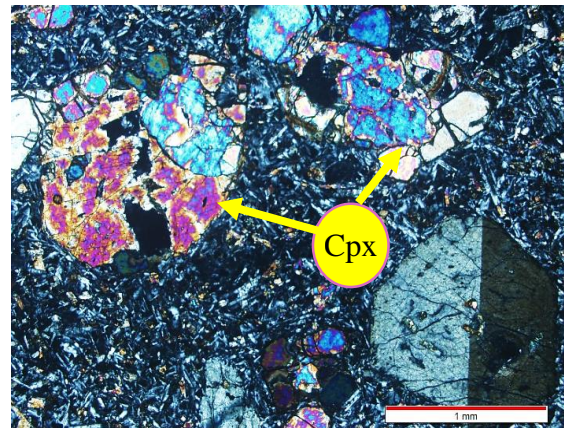
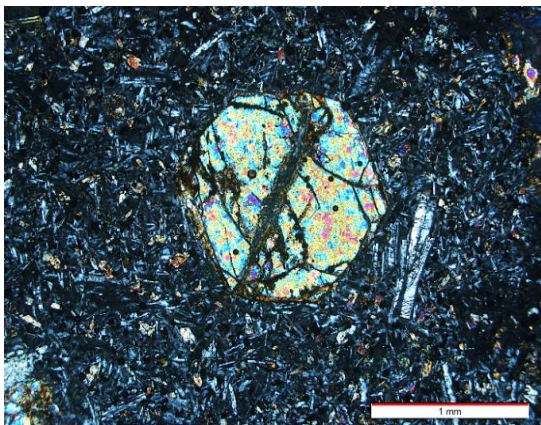


شکل ۳-۱۳: تصویری از کلسیت به صورت پر کننده حفرات و منافذ در الیوین‌بازالت‌های عباس‌آباد در نور XPL.

۳-۲-۲- تراکی‌بازالت

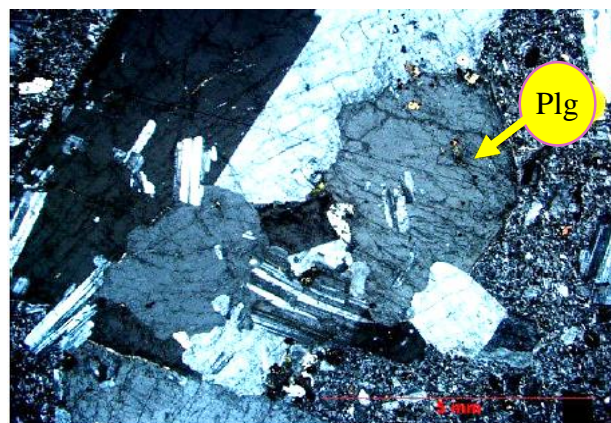
تراکی‌بازالت‌ها در منطقه عباس‌آباد به رنگ خاکستری تا سبز تیره قابل مشاهده می‌باشند. بلورهای اولیوین موجود در آن‌ها به شدت دگرسان شده هستند و از حاشیه بلور به مرکز ایدنگزیتی شده‌اند. فنوکریست‌های پیروکسن و پلاژیوکلاز به صورت کشیده و خودشکل قابل مشاهده می‌باشند. بنابراین کانی‌های اصلی تراکی‌بازالت‌ها شامل پیروکسن و پلاژیوکلاز می‌باشند. بافت قابل مشاهده در تراکی-بازالت‌ها، گلومروپورفیری، میکروولیتی پورفیری، تراکیتی و غربالی می‌باشد. تراکی‌بازالت‌های منطقه

عباس آباد با توجه به میزان درصد پلاژیوکلازها و پیروکسنها به دو دسته‌ی پیروکسن پورفیری (شکل ۱۴-۳ و ۱۵-۳) و پلاژیوکلاز پورفیری (شکل ۱۶-۳) تقسیم می‌شوند.



شکل ۱۴-۳: تصویری از تجمع فنوکریست‌های پیروکسن و ایجاد بافت گلومروپورفیری در تراکی‌بازالت (پیروکسن پورفیری) عباس آباد در نور XPL.

شکل ۱۵-۳: تصویری از بافت پورفیری (پیروکسن پورفیری) در تراکی‌بازالت‌های عباس آباد در نور XPL.

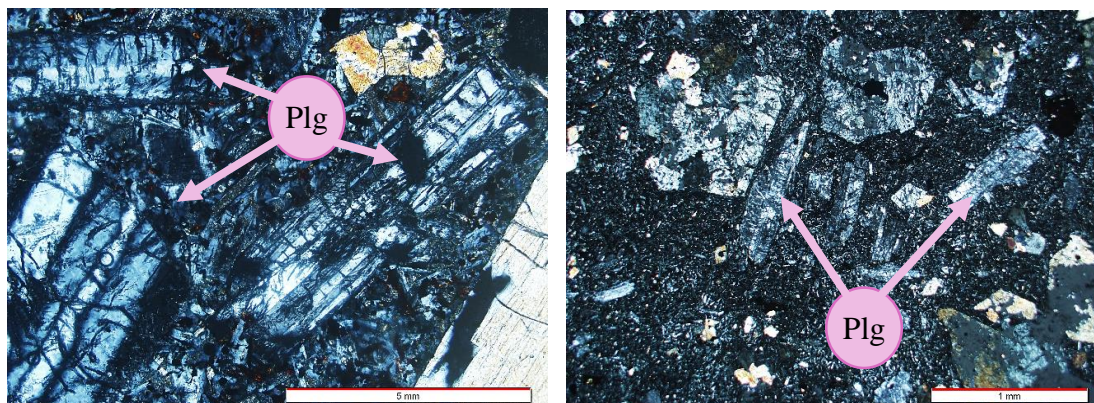


شکل ۱۶-۳: تصویری از بافت گلومروپورفیری (پلاژیوکلاز پورفیری) متشکل از تجمع فنوکریست‌های پلاژیوکلاز در تراکی‌بازالت‌های عباس آباد در نور XPL (عرب‌زاده، ۱۳۹۶).

۳-۲-۱-۱- کانی‌های اصلی

۳-۲-۱-۱- پلاژیوکلاز

پلاژیوکلاز هم به صورت فنوکریست و هم میکروولیت به عنوان کانی اصلی در تراکی‌بازالت‌ها وجود دارند (شکل ۳-۱۷). بافت غربالی و تحلیل رفتگی در اکثر پلاژیوکلازها قابل مشاهده می‌باشد. ترکیب پلاژیوکلازهای موجود در منطقه‌ی عباس‌آباد بین $Ab_{2.37}, Or_{0.43}, An_{3.34} - Ab_{70.86}, Or_{97.27}, An_{85.48}$ می‌باشد (عرب‌زاده، ۱۳۹۶). گردشگی آن‌ها برابر ۰/۵ در نظر گرفته شده است (برزگری، ۱۳۹۴). اندازه‌ی بلورها در سنگ‌های ماگمایی مرتبط با هسته‌بندی است. به این صورت که اگر سرعت رشد نسبتاً کم باشد، احتمال ایجاد هسته‌ها زیاده‌تر می‌باشد و در نتیجه دانه‌ها از نظر اندازه نسبتاً کوچک و آفانتیک می‌شوند و برعکس مواردی که گفته شد نیز اگر انجام بگیرد اندازه دانه‌ها بزرگتر می‌شوند.

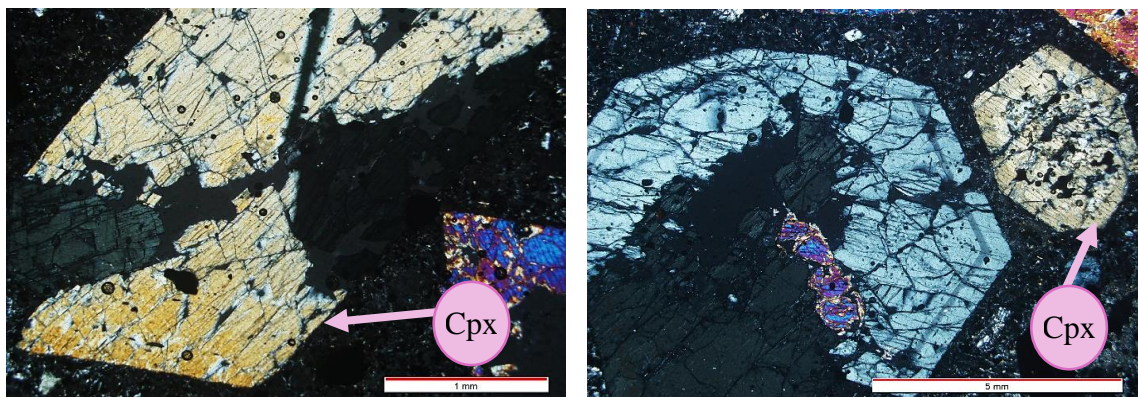


شکل ۳-۱۷: تصویری از فنوکریست‌های پلاژیوکلاز با ابعاد نسبتاً بزرگ در تراکی‌بازالت‌های عباس‌آباد در نور XPL.

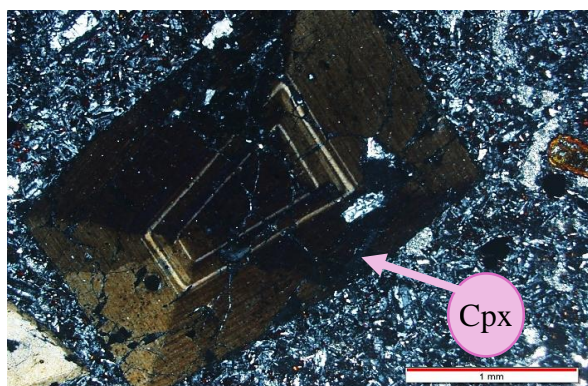
۳-۲-۱-۲- پیروکسن

اکثراً پیروکسن‌ها به صورت خودشکل و سالم هستند. با توجه به مطالعات قبلی انجام گرفته بر روی منطقه عباس‌آباد نوع کلینوپیروکسن‌های موجود در آنها اکثراً از نوع اوژیت و تیتان اوژیت با ترکیب $Wo_{44-51} En_{30-44} Fs_{10-19}$ می‌باشد (عرب‌زاده، ۱۳۹۶). به احتمال زیاد سنگ‌های موجود در منطقه حاوی مقداری تیتان می‌باشند، که وجود چندرنگی در بلورهای اوژیت می‌تواند بیانگر آن باشد. فنوکریست‌های

پیروکسن دارای ماکل نواری و ساده می‌باشند، همچنین بافت غربالی (شکل ۳-۱۸)، تراکیتی و منطقه-بندی در پیروکسن‌ها قابل مشاهده است. گردشگی بلورهای پیروکسن برابر ۰/۵ بیان شده است (برزگری، ۱۳۹۴). وجود منطقه‌بندی در بلورها، همانطور که قبلاً هم بیان شده است، نشان‌دهنده نبودن تعادل کامل در خلال تبلور است. علاوه بر میکروولیت‌های پلاژیوکلاز، ریز بلورهای پیروکسن و الیوین نیز زمینه سنگ را تشکیل می‌دهند. اگر تبلور سریع انجام بگیرد پلاژیوکلازهایی با ساخت تخته‌ای ایجاد می‌شوند (شکل ۳-۱۹) و اگر تبلور در محیط آرام انجام گیرد و واکنش ماگما با بلور به طور کامل صورت گرفته باشد، پلاژیوکلازها بدون ساختمان منطقه‌ای تشکیل می‌شوند (معین وزیری و احمدی، ۱۳۸۰).



شکل ۳-۱۸: تصویری از فنوکریست‌های پیروکسن دارای بافت غربالی در تراکی‌بازالت‌های عباس‌آباد در نور XPL.



شکل ۳-۱۹: تصویری از منطقه‌بندی فنوکریست پیروکسن در تراکی‌بازالت‌های عباس‌آباد در نور XPL.

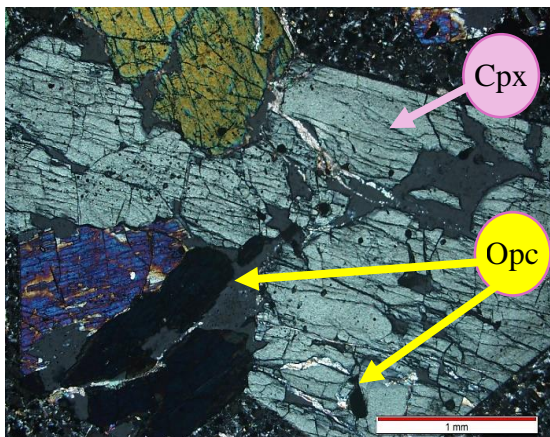
۳-۲-۳- تراکی آندزی بازالت

تراکی آندزی بازالت‌ها در مقایسه با بازالت‌ها دارای رنگ روشن‌تر می‌باشند و به رنگ قهوه‌ای در منطقه قابل مشاهده هستند. این سنگ‌ها دارای بافت پورفیری، گلومروپورفیری و تراکیتی می‌باشند ولی بافت غالب موجود در آن‌ها بافت میکرولیتی پورفیری است. در زمینه‌ی دانه ریز سنگ، فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن را می‌توان از یک‌دیگر تفکیک کرد. پیروکسن‌های موجود در تراکی آندزی بازالت‌ها دارای گردشگی می‌باشند و در پلاژیوکلازهای موجود، ماکل کارلسباد و پلی سنتتیک قابل مشاهده می‌باشد. الیوین‌های موجود کاملاً ایدنگزیتی شده‌اند (شکل ۳-۲۰).

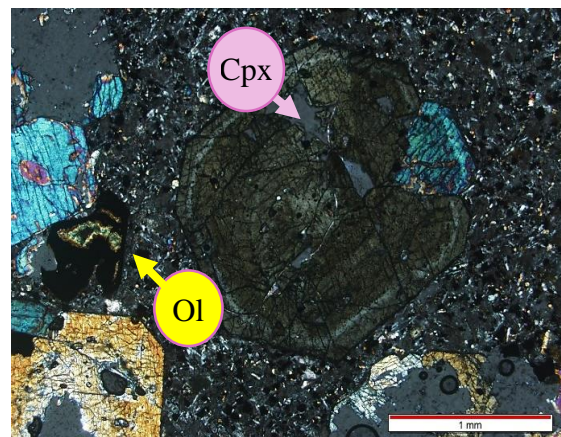
۳-۲-۳-۱- کانی‌های اصلی

۳-۲-۳-۱-۱- پیروکسن

نوع پیروکسن‌های موجود در این سنگ‌ها، کلینوپیروکسن و اکثراً اوژیت به صورت خودشکل و نیمه شکل‌دار و به صورت ریز بلور قابل مشاهده می‌باشند. بر اساس مطالعات قبلی ترکیب آن‌ها به صورت $Wo_{43-46} En_{40-43} Fs_{14-16}$ است (عرب‌زاده، ۱۳۹۶). بارزترین ویژگی این پیروکسن‌ها، تجمعات گلومروپورفیری می‌باشد ولی در تعداد کمی از بلورها شواهدی از بافت منطقه‌بندی نیز وجود داد (شکل ۳-۲۰). برخی از بلورهای پیروکسن به صورت سالم و برخی دیگر به صورت دگرسان شده قابل مشاهده می‌باشند. گردشگی و ادخال‌هایی از کانی اپک، پیروکسن و پلاژیوکلاز در این فنوکریست‌ها مشاهده شده‌اند (شکل ۳-۲۱).



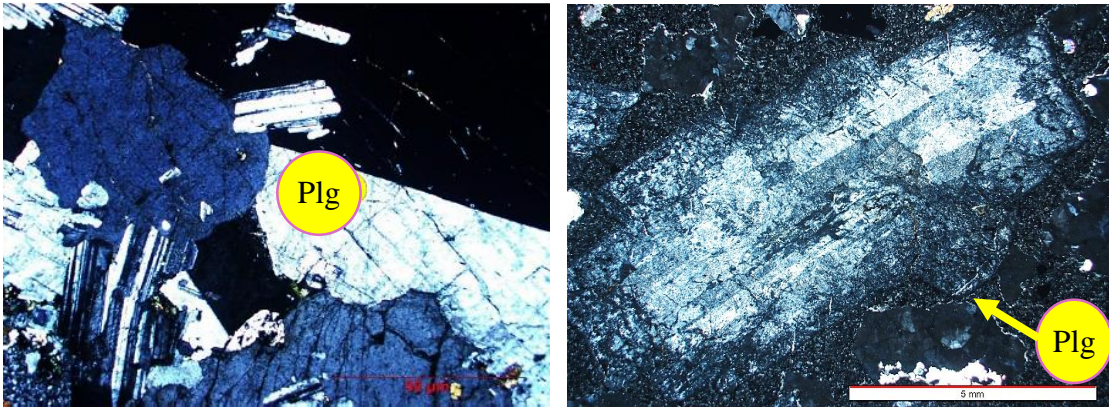
شکل ۳-۲۰: تصویری از منطقه بندی در بلور پیروکسن و ایدنگزیتی شدن الیوین در تراکی آندزیتی بازالت‌های عباس‌آباد در نور XPL.



شکل ۳-۲۱: تصویری از فنوکریست پیروکسن با ادخال‌هایی از کانی اپک و بافت پورفیری در سنگ‌های تراکی-آندزیتی بازالت عباس‌آباد در نور XPL.

۳-۲-۳-۱-۲- پلاژیوکلاز

پلاژیوکلازها هم به صورت فنوکریست و هم به صورت میکروولیت در مقاطع میکروسکوپی تراکی آندزیتی-بازالت‌ها قابل مشاهده هستند. طبق مطالعات قبلی ترکیب این پلاژیوکلازها نیز در گستره $Ab_{40.10}$ - $Or_{3.63}, An_{43.25} - Ab_{49.99}, Or_{13.51}, An_{61.09}$ قرار دارد (عرب‌زاده، ۱۳۹۶). پلاژیوکلازهای موجود دارای منطقه‌بندی، ماکل تکراری، بافت غربالی و دگرسانی می‌باشند. دگرسانی در بخش‌های مرکزی بلورهای پلاژیوکلاز بیشتر مشاهده شده است و در برخی موارد در داخل بلورهای پلاژیوکلاز ادخال‌هایی از الیوین ایدنگزیتی مشاهده شده است. اکثر بلورهای پلاژیوکلاز دارای اندازه بزرگ می‌باشند که آن را می‌توان نتیجه سرعت بالای انتشار در ماگماهای بازالتی، به دلیل داشتن گرانشی پایین دانست. اکثر بلورهای پلاژیوکلاز دارای ماکل کارلسباد و پلی‌سنتیک می‌باشند (شکل ۳-۲۲).



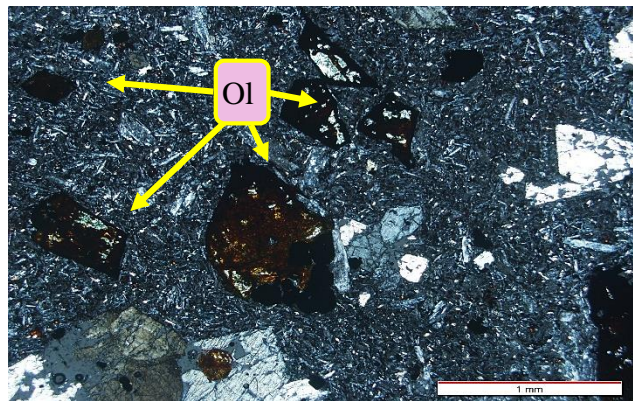
شکل ۳-۲۲: تصویری از فنوکریست‌های پلاژیوکلاز در تراکی‌آندزیت‌های عباس‌آباد در نور XPL.

۳-۲-۳-۲-کانی‌های فرعی

۳-۲-۳-۱-الیوین

الیوین‌های موجود هم به صورت فنوکریست و هم دانه ریز در زمینه سنگ قابل مشاهده می‌باشد.

الیوین‌های ذکر شده کاملاً ایدنگزیتی شده هستند (شکل ۳-۲۳).



شکل ۳-۲۳: تصویری از فنوکریست‌های ایدنگزیتی شده الیوین در سنگ‌های تراکی‌آندزیت‌های عباس‌آباد در نور

XPL

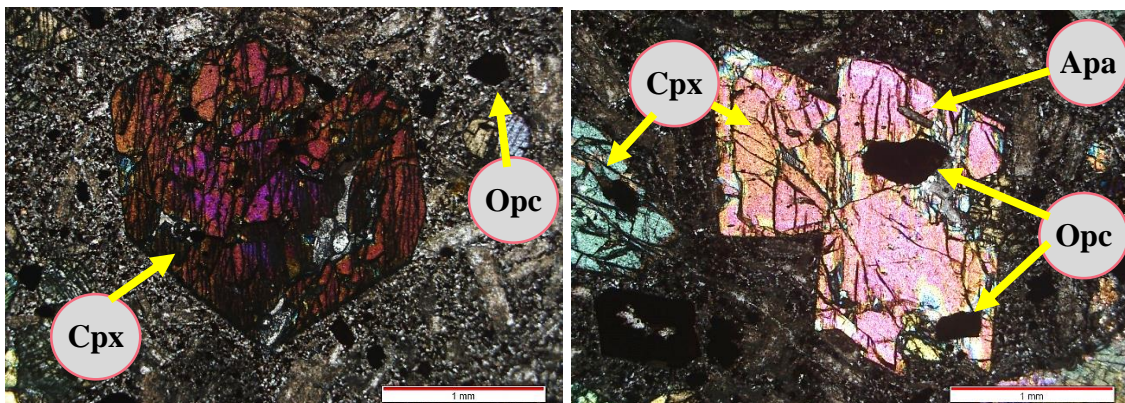
۳-۲-۴- تراکی آندزیت‌ها

تراکی آندزیت‌ها به رنگ خاکستری روشن تا قهوه‌ای در منطقه عباس‌آباد رخنمون دارند. در نمونه دستی بلورهای پیروکسن و پلاژیوکلاز را می‌توان با چشم غیر مسلح مشاهده کرد. قسمت اعظم حجم واحد تراکی آندزیت‌ها را بلورهای پلاژیوکلاز به خود اختصاص می‌دهند. اغلب دارای بافت گلومروپورفیری، غربالی، میکرولیتی پورفیری، حفره‌ای و خلیج‌خوردگی می‌باشند. به باور قاسمی و همکاران (۱۳۹۲)، بلورهای معلق و هم منشاء و یا بلورهای حاصل از شکسته شدن لخته‌ها و دیواره‌های متبلور اتاق ماگمایی، سبب ایجاد بافت گلومروپورفیری در این سنگ‌ها شده‌اند. در بخشی از این واحد، مگافنوکریت و فنوکریت‌های پلاژیوکلاز، کانی‌های اصلی سنگ محسوب می‌شوند و بیشترین حجم سنگ را تشکیل داده است. اندازه بزرگ مگافنوکریت‌های پلاژیوکلاز را می‌توان به نرخ بالای رشد (G) و نرخ پایین هسته‌بندی نسبت داد (Best, 2013).

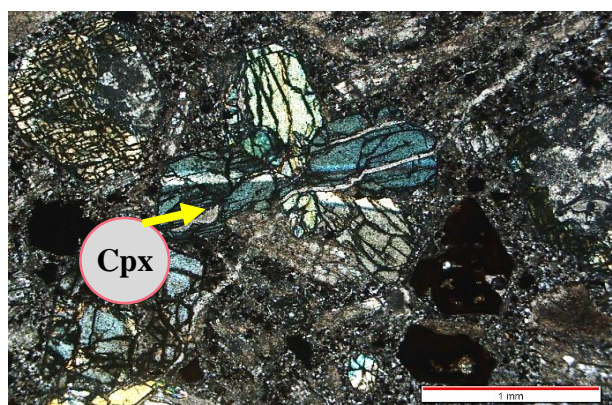
۳-۲-۴-۱- کانی‌های اصلی

۳-۲-۴-۱-۱- پیروکسن

طبق مطالعات قبلی صورت گرفته در این واحد فنوکریت‌های پیروکسن از نوع اوژیت با ترکیب Wo_{43} En₃₈₋₄₂ Fs₁₁₋₁₉ می‌باشند (عرب‌زاده ۱۳۹۶). فنوکریت‌های موجود به صورت خودشکل تا نیمه خودشکل وجود دارند و در بسیاری از آن‌ها می‌توان ماکل ساعت‌شنی و غربالی را قابل مشاهده کرد (شکل ۳-۲۴). در برخی از فنوکریت‌های پیروکسن، تجمعات گلومروپورفیری (شکل ۳-۲۵) و همچنین شواهدی از خوردگی شدید قابل مشاهده می‌باشد که اکثراً توسط کانی‌های ثانویه پر شده‌اند.



شکل ۳-۲۴: تصویری از فنوکریست‌های پیروکسن دارای آپاتیت و اپک و همچنین وجود بافت غربالی و اسکلتی در فنوکریست‌های تراکی‌آندزیتی عباس‌آباد، در بعضی قسمت‌ها شواهدی از خوردگی نیز در فنوکریست‌ها قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۳-۲۵: تصویری از تجمع فنوکریست‌های پیروکسن دارای ماگل ساعت شنی و ایجاد بافت گلمروپورفیری در سنگ‌های تراکی‌آندزیتی عباس‌آباد در نور XPL.

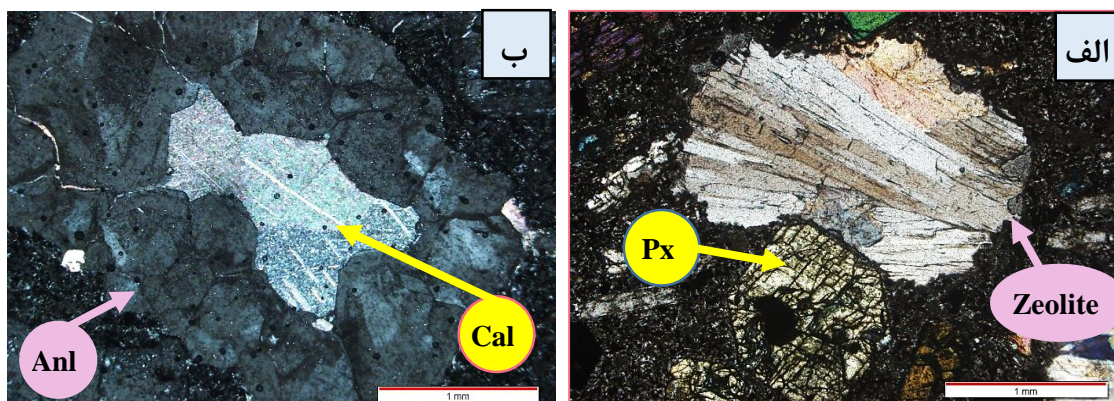
۳-۲-۴-۱-۲- پلاژیوکلاز

پلاژیوکلازهای موجود در این واحد همانند واحدهای قبلی هم به صورت فنوکریست و هم میکروولیت بخش اعظم این واحد را تشکیل داده‌اند. طبق مطالعات قبلی انجام گرفته ترکیب آن‌ها در گستره آندزین و لابرادوریت بین $Ab_{12.43}, Or_{4.48}, An_{58.22}, Or_{86.60}, Ab_{0.79}$ تغییر می‌کند (عرب‌زاده، ۱۳۹۶). اغلب بافت غربالی، منطقه‌بندی، حاشیه تحلیل رفته و گردشده در آن‌ها قابل مشاهده می‌باشد. برزگری (۱۳۹۴)، عدد گردشده بلورهای پلاژیوکلازها را برابر ۰/۵ در نظر گرفته است. وجود آب می‌تواند علت ناپایداری کانی پلاژیوکلازها باشد، بنابراین فراوان بودن بلورهای پلاژیوکلاز و عدم حضور درشت بلورهایی

از آمفیبول می‌تواند بیانگر تبلور سنگ‌های ذکر شده از یک ماگمای کم آب بوده باشد، و این امر دلیل تأیید منشأ گوشته‌ای ماگمای اولیه بدون ورود سیال می‌باشد (عرب‌زاده، ۱۳۹۶). در برخی از پلاژیوکلازها آثاری از تحلیل رفتگی قابل مشاهده می‌باشد. به باور شلی (۱۹۹۳) تحلیل رفتگی یک فاز جامد در یک سیال نشان‌دهنده تحت اشباع بودن سیال مذبور از آن فاز است. بنابراین، با تغییرات ناگهانی دما، فشار و فوگاسیته‌ی اکسیژن بر روی پایداری فنوکریست‌هایی که به علت فوق اشباع بودن آن در سیال اولیه متبلور شده‌اند تأثیر گذاشته است و باعث هضم و تحلیل آن‌ها می‌شود. علاوه بر موارد گفته شده پلاژیوکلازهای موجود در این واحد نیز همانند واحدهای قبلی دارای ماکل کارلسباد و پلی سنتتیک نیز می‌باشند.

۳-۲-۴-۲- کانی‌های ثانویه

کانی‌هایی همچون کلسیت، کوارتز، کلریت، زئولیت (شکل ۳-۲۶ الف)، سربیسیت و آنالسیم در این واحد قابل مشاهده می‌باشد. کلریت و سربیسیت موجود در نتیجه دگرسانی کانی‌هایی همانند پیروکسن و پلاژیوکلازها شکل گرفته است. در طی مطالعات میکروسکوپی انجام گرفته بر روی تراکی‌اندزیت‌ها، درون آن‌ها حفرات بزرگی وجود دارد که اکثراً توسط کانی‌های ثانویه‌ای همانند کلسیت، زئولیت و کوارتز پر شده‌اند (شکل ۳-۲۶ ب) که در روی سطح نمونه دستی به طور واضح قابل مشاهده می‌باشد. با توجه به کانی‌های تشکیل شده که اکثراً آب‌دار و حاصل دگرسانی می‌باشند، می‌توان استنباط کرد که سنگ‌های منطقه عباس‌آباد تحت تأثیر دگرسانی بوده است که در این دگرسانی فشار سیالات نقش مهمی داشته است. عامل سیالات و حرارت باعث ناپایداری کانی‌های اولیه سنگ‌های ماگمایی می‌شود و از طرف دیگر باعث تشکیل و تبلور کانی‌های نوظهور می‌شود. کانی جدید به صورت پر کننده حفرات جایگزین کانی‌های اولیه سنگ شده‌اند که تشکیل آن‌ها در محیط آبی همانند زئولیت‌ها به نقل و انتقالات یونی کمک فراوانی می‌کند (Shelly, 1993).



شکل ۳-۲۶: الف) تصویری از حضور کانی‌های ثانویه کلسیت و آنالسیم در سنگ‌های تراکی آندزیتی عباس‌آباد در نور XPL (ب) تصویری از حضور زئولیت‌ها در تراکی آندزیت‌ها در نور XPL.

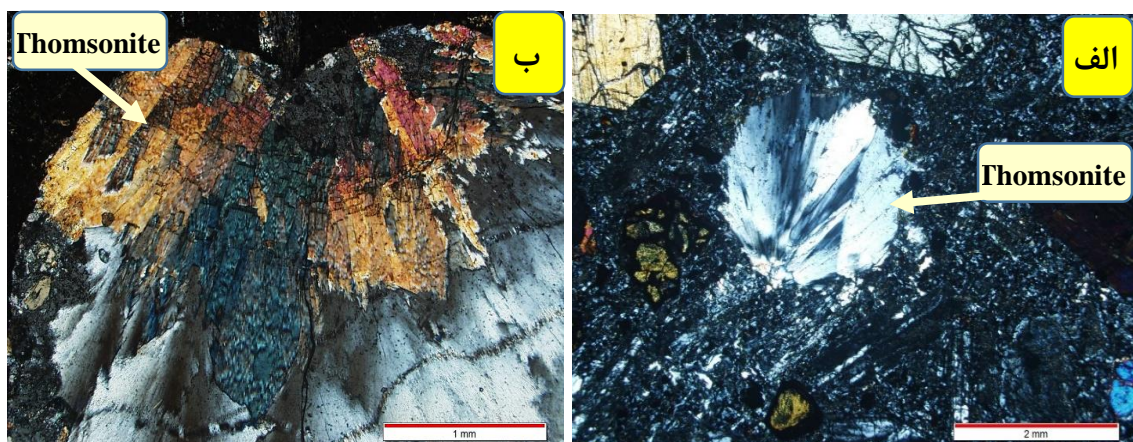
۳-۲-۵- ویژگی‌های نوری زئولیت‌ها در سنگ‌های آتشفشانی منطقه

عباس‌آباد

۳-۲-۵-۱- تامسونیت

از نظر هندسی و خواص ساختمانی در خانواده زئولیت‌های فیبری قرار گرفته است (فقیهیان، ۱۳۷۴). تامسونیت به همراه زئولیت‌هایی نظیر آنالسیم و ناترولیت در حفره‌ها و رگه‌های سنگ‌های آتشفشانی منطقه عباس‌آباد به صورت بلوکی، مومی و بادبزنی تشکیل شده است (شکل ۳-۲۷ الف). بلورهای تامسونیت در طبیعت اغلب به صورت رشته‌ای تا ستونی و در راستای محور C شکل می‌گیرند. رنگ آنها در نمونه دستی سفید تا متمایل به سرخ و یا قهوه‌ای است و جلای شیشه‌ای دارند (Nesse, 2012). این کانی در مقاطع نازک بی‌رنگ است و مانند ناترولیت، خاموشی مستقیم و علامت طویل شدگی متغیر مثبت و منفی دارد (Nesse, 2012). رنگ‌های تداخلی سفید سری اول تا خاکستری-آبی سری دوم دارد. همبستگی قابل توجهی بین شکل بلوری تامسونیت و ترکیب شیمیایی آن توسط Wise و Tschernich (1978) تشخیص داده شده است. بر این اساس، سه شکل مختلف از رخداد تامسونیت (بلوکی، تیغه‌ای و مومی شکل) معرفی شده که همگی در جهت محور C طویل یافتگی نشان می‌دهند.

تامسونیت در عباس‌آباد به هر سه شکل و بر اساس محتوای سیلیس و سرعت رشد خود تشکیل شده است. بالاترین رنگ تداخلی تامسونیت بین زرد تا خاکستری سری اول است و دارای رخ کامل در سطح {۰۱۰} و قابل تشخیص در سطح {۱۰۰} است که هم‌دیگر را با زاویه‌ی ۹۰ درجه قطع می‌کنند (شکل ۳-۲۷ ب). به عقیده‌ی برخی از پژوهشگران (Gottardi et al., 2012)، ساختار تامسونیت به نحوی است که اجازه‌ی تغییرات گسترده‌تر شیمیایی نسبت به زئولیت‌های رشته‌ای دیگر نظیر ناترولیت، مزولیت یا اسکولسیت را می‌دهد.



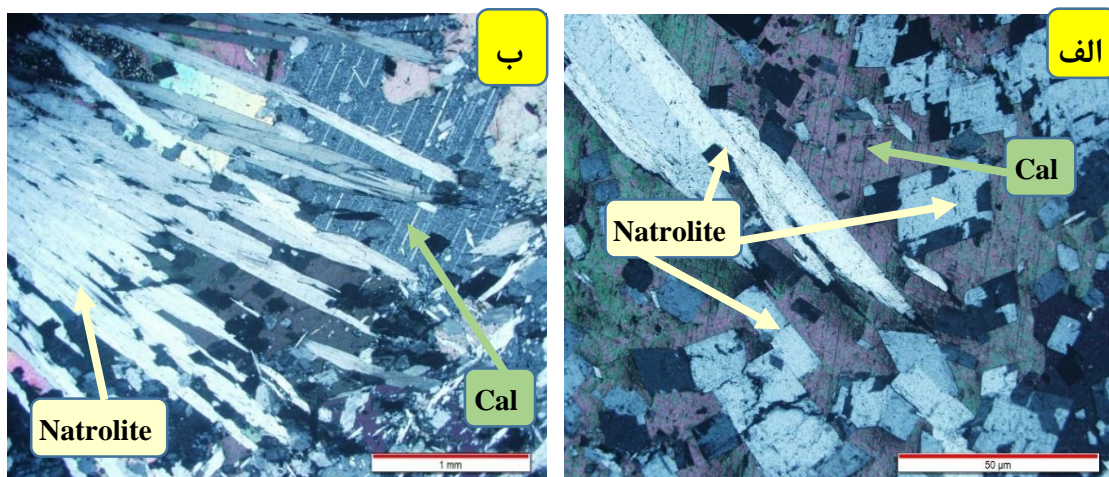
شکل ۳-۲۷: الف) تصویری از تامسونیت به شکل بادبزی (ب) تصویری از تامسونیت به شکل بلوکی، که در آن دو دسته رخ با زاویه ۹۰ درجه یکدیگر را قطع کرده‌اند (نور XPL).

۳-۲-۵-۲- ناترولیت

زئولیتی است که در حفره‌ها و شکاف‌های سنگ‌های آتشفشانی یافت می‌شود. این زئولیت با محلول‌های گرمابی یا حتی سطحی، دیرتر از کانی‌های زئولیتی دیگر تشکیل می‌شود و همراه با زئولیت‌هایی از قبیل آنالسیم، استیلبیت، شابازیت، هولاندیت و لامونتایت یافت می‌شوند. ناترولیت معمولاً به صورت منشورهای طویل یا اجتماع الیافی است که اغلب به صورت شعاعی دیده می‌شوند (شکل ۳-۲۸ الف). در نمونه دستی سفید تا بی رنگ و جلای شیشه‌ای دارد (Nesse, 2012). در نمونه‌های برداشت شده از بادامک-های سنگ‌های آتشفشانی عباس‌آباد، بلورهای کشیده آن بیشتر به شکل تجمعات رشته‌ای-شعاعی و به صورت رشد تداخلی دیده می‌شوند. در مقاطع نازک بی رنگ هستند و معمولاً به شکل بلورهای

منشوری بلند، شکل گرفته‌اند. مقاطع عرضی بلور تقریباً به صورت مربع می‌باشد (مهرپویا و همکاران، ۱۳۹۴؛ Nesse, 2012) (شکل ۳-۲۸ ب).

بالاترین رنگ اینترافرانس این کانی در مقاطع نازک، زرد سری اول است. علامت طویل شدگی ناترولیت مثبت است. در مقاطع طولی دارای خاموشی مستقیم و در مقاطع عرضی، خاموشی متقارن نشان می‌دهد (علافر، ۱۳۹۲). در هر صورت از نظر بلورنگاری، زئولیت‌های رشته‌ای بسیار به هم شباهت دارند و به آسانی قابل شناسایی نیستند به طوری که معمولاً شناسایی انواع آن‌ها صرفاً با تکیه بر ویژگی‌های نوری، دشوار و در مواردی ناممکن است. بنابراین علاوه بر بررسی‌های میکروسکوپی، بررسی‌های پراش اشعه ایکس (XRD) برای شناسایی و تشخیص دقیق کانی‌های زئولیتی انجام شده است.

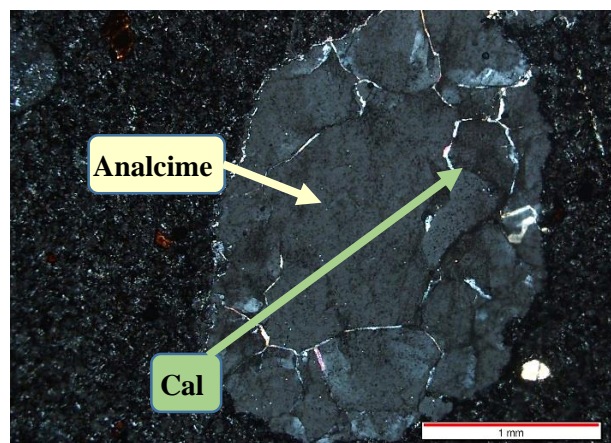


شکل ۳-۲۸: الف) تصویری از مقطع عرضی بلور ناترولیت که تقریباً مربعی می‌باشند در زمینه‌ای از کلسیت ب) تصویری از مقطع طولی ناترولیت که در زمینه کلسیت واقع شده‌اند (در نور XPL)

۳-۲-۵-۳- آنالسیم

یک سدیم آلومینوسیلیکات آبدار است که به فراوانی در طبیعت دیده می‌شود ولی این کانی معمولاً در طی دگرگونی درجه پایین و همچنین در مراحل پایانی فعالیت‌های گرمایی و در سنگ‌های بازالتی آکالن شکل می‌گیرند و در رگه‌ها و حفرات جانشین فازهای سیلیکاته می‌گردد (Line et al., 1995; Saha, 1961; Norish et al., 1977; آزادی و همکاران، ۱۳۹۴). بلورهای آنالسیم، شکل‌دار و بی شکل

به صورت فنوکریست‌های هم اندازه یا شش‌گوش در زمینه‌ی سنگ‌ها قابل مشاهده است (شکل ۳-۲۹). فاقد کلیواژ و ماکل مخصوص لوسیت هستند و در نور قطبیده همسانگردند. آنالسیم‌ها گاهی به صورت درشت بلورهای تراپزوهدرال (خودشکل با وجوه دوزنقه) (Nesse, 2012)، به رنگ شیری تا روشن هستند که اندازه‌ی آن‌ها حداکثر به ۲ سانتی‌متر می‌رسد، ولی غالباً به صورت بلورهای ریز توده‌ای در بادامک‌های سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی عباس‌آباد مشاهده شده‌اند. در مشاهدات سنگ‌شناسی همراه با ژئولیت‌های دیگر و یا به تنهایی و منحصرأ در حفره‌ها و رگه‌ها به عنوان کانی پرکننده‌ی فضاهای خالی وجود دارند. به طور عمده همسانگرد است (Pichler et al., 1997).



شکل ۳-۲۹: تصویری از بلور شکل‌دار آنالسیم در سنگ آتشفشانی منطقه عباس‌آباد که در بعضی از شکستگی‌های موجود در روی سطح آن‌ها کلسیت قابل رویت می‌باشد (نور XPL)

آنالسیم دارای رخ ناقص و مطابق با سطح {۰۰۱} می‌باشد و دارای جلای شیشه‌ای است (Nesse, 2012). سیستم واقعی آنالسیم متغیر است و می‌تواند راست‌گوشه، تک میل، کج وجهی و چهارگوش باشد. در درون بلورهای آنالسیم غالباً ادخال‌هایی از بلورهای پلاژیوکلاز و بیوتیت و گاهی کانی‌های کدر و پیروکسن و حتی آپاتیت نیز قابل مشاهده می‌باشد (درویش‌زاده، ۱۳۷۲)، البته در آنالسیم‌های بررسی شده در منطقه عباس‌آباد قابل رویت نبوده است. البته ادخال‌های موجود در بلورهای آنالسیم بستگی به ترکیب محیط مذاب دارد که می‌تواند در شرایطی پلاژیوکلاز و در شرایطی پیروکسن و یا بیوتیت باشند. وجود بلورهای هم مرکز می‌تواند نشانه‌ای از هم‌رشدی این قبیل ادخال‌ها با بلورهای آنالسیم و یا تبلور

دیررس درشت بلورهای آنالسیم نسبت به ادخال موجود در درون آن باشد (درویش‌زاده، ۱۳۷۲). آنالسیم احتمالاً علاوه بر سیستم‌های بلوری گفته شده دارای تقارن مثلثی با تغییر ترکیب Si و Al، نیز می‌باشد (Teertstra et al., 1994 و طوطی و همکاران، ۱۳۹۰). بلورهای آنالسیم در اکثر سنگ‌های مورد بررسی با مجموعه کانی‌های بی‌آب مثل کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز همراه هستند و کانی‌های آبدار مثل آمفیبول با آن‌ها همراه نیستند. این می‌تواند دلیلی بر بی‌آب بودن ماگمای مادر آن‌ها باشد، که آب کافی برای تبلور کانی آبداری مثل آنالسیم به صورت اولیه وجود نداشته است (فدائیان و همکاران، ۱۳۹۵).

آنالسیم ممکن است اولیه و یا ثانویه باشد. آنالسیم‌هایی را اولیه می‌گویند که مستقیماً از ماگما به وجود آمده باشد. این قبیل آنالسیم‌ها در ایران، در دو نوع سنگ میزبان دیده شده‌اند (درویش‌زاده، ۱۳۷۲):

الف) بلورهای شکل دار ذوزنقه‌ای به قطر ۰/۵ تا ۵ سانتیمتر، بیشتر در حدود ۲ تا ۲/۵ سانتیمتر، به رنگ سفید، خاکستری، نخودی یا گلی است، و شباهت زیادی به لوسیت دارد، به طوری که قبلاً به آنها لوسیت گفته می‌شد. این آنالسیم‌ها در مناطق جوستان (کوه‌های طالقان)، شمال آذربایجان خاوری (رشته کوه‌های صلوات)، حوالی سراب آذربایجان و ... دیده شده‌اند.

ب) بلورهای کوچک غالباً گرد و میلی‌متری و یا گاهی مانند بعضی از تفریت‌های شمال غرب کرمان (قلعه‌ی حسن علی) به صورت بلورهای بسیار کوچک، میکروسکوپی همسانگر، به رنگ صورتی یا گلی در متن سنگ دیده می‌شوند.

آنالسیم‌های ثانویه، همان انواعی هستند که در درز و شکاف بسیاری از سنگ‌های آتشفشانی به صورت انبوهه‌های اسفرولیتی وجود دارند. در این حالت جزء گروه زئولیت‌ها محسوب می‌شوند و مورد بحث این پایان‌نامه می‌باشد. آنالسیم‌های مورد مطالعه از نظر ظاهری به رنگ خاکستری هستند. بلورهای کوچک آن در گدازه‌ها در حدود میلی‌متر و کوچک‌تر و اصولاً گردند. گاهی چند بلور آن به هم پیوسته و ظاهراً انبوهه‌ای تشکیل می‌دهند که اکثراً همراه با کلسیت هستند. برای اثبات آنکه درشت بلورهای آنالسیم مورد بحث از نوع زئولیت هستند سه راه حل وجود دارد که ما از دو مورد آنها یاری گرفته‌ایم.

۱- مطالعه‌ی مقاطع میکروسکوپی که در آن ماکل مخصوص لوسیت اصلاً دیده نمی‌شود.

۲- بررسی‌های پراش سنجی پرتو X

۳- تجزیه شیمیایی نمونه‌ها و مقایسه آن با تجزیه‌های شیمیایی استاندارد (Deer et al., 1963).

البته نظرات مختلفی در مورد اولیه و ثانویه بودن آنالسیم وجود دارد که در زیر به آنها می‌پردازیم:

پیرس (۱۹۷۰) سنگ‌های آتشفشانی آنالسیم‌دار سازند Crowsnest کانادا را مورد مطالعه قرار داده و منشاء آنالسیم‌ها را آذرین در نظر گرفته است. نظریه Pearce عمدتاً مبتنی است بر: (۱) رنگ آنالسیم، پیرس (۱۹۹۳) عقیده دارد که آنالسیم‌های حاصل از لوسیت عموماً سفید رنگ هستند مانند آنچه که لور و همکاران (۱۹۸۷) از ناحیه رومن ایتالیا گزارش کرده‌اند. پیرس (۱۹۹۳) آنالسیم‌های قهوه‌ای رنگ منطقه Crowsnest و وولی و سیمز (۱۹۷۶) آنالسیم‌های قرمز رنگ منطقه Lupata Gorge را اولیه معرفی کرده‌اند. (۲) میزان آهن: آنالسیم‌های Crowsnest دارای ۱-۲ درصد Fe_2O_3 می‌باشند. پیرس (۱۹۹۳) از این معیار جهت تشخیص آنالسیم‌های اولیه از آنالسیم‌های ثانویه استفاده کرده است. (۳) ایزوتروپی: پیرس (۱۹۷۰) آنالسیم‌های قهوه‌ای و ایزوتروپ را اولیه و آنالسیم‌های ایزوتروپ را ثانویه در نظر گرفته است. رنگ آنالسیم و ایزوتروپ بودن آن نمی‌تواند به عنوان یک معیار قطعی برای تشخیص اولیه بودن آنالسیم در نظر گرفته شود همچنانکه آنالسیم‌های حاصل از تجزیه لوسیت در ایران به رنگ قهوه‌ای و عسلی بوده و به صورت ایزوتروپ دیده می‌شوند هر چند انواع ایزوتروپ نیز در بین آنها دیده می‌شود (Stalder, 1971 و Annells et al, 1975). آنالسیم‌های مورد مطالعه در منطقه عباس‌آباد به صورت ایزوتروپ بوده، و سفید رنگ تا کرمی می‌باشند. با توجه به اینکه هنوز آزمایشات ژئوشیمی بر روی آنالسیم‌های منطقه صورت نگرفته است قادر به بیان نظریه دقیق در ارتباط با ثانویه و اولیه بودن آنالسیم‌ها در دست نیست. ولیکن با توجه به نتایج ژئوشیمی صالحی (۱۳۹۳) بر روی سنگ‌های آتشفشانی منطقه میزان اکسید آهن به طور میانگین بالای ۶ درصد می‌باشد بنابراین احتمال بالا بودن میزان اکسید آهن در آنالسیم‌ها وجود دارد. بر اساس نظریه کارلسون و کلایتون (۱۹۹۱) تبدیل لوسیت

به آنالسیم با افزایش حجم ۱۰ درصدی همراه است. در اثر افزایش حجم حاصل از آبیگری آنالسیم، ترک‌های نامنظمی در سطح و اطراف بلور آنالسیم ایجاد می‌گردد. این ترک‌ها به عنوان کانال‌های آلتراسیون طی تبدیل لوسیت به آنالسیم عمل می‌کرده‌اند. نبود ترک‌های متعدد در سطح و اطراف بلورهای آنالسیم در منطقه عباس‌آباد، نشان از ثانویه بودن آنها می‌باشد. به علاوه، خاصیت زئولیتی آنالسیم موجب جذب Sr و Cs در ساختارش می‌گردد (Redkin et al., 2000). مقادیر عناصر ذکر شده در سنگ‌های آتشفشانی منطقه طبق مطالعات صالحی (۱۳۹۳) بالا می‌باشد به طوری‌که میزان Sr (۱۵۶۵-۷۲۸,۸)، Rb (۱۲۱-۱۹,۱)، La (۹۳,۵۵-۴۳,۵۵)، Ce (۷۴,۶۳-۳۶,۳۹)، Ba (۵۰۳-۲۵۲) و Zr (۱۴۰,۹-۸۰,۸) پی پی ام می‌باشد. بنابراین به احتمال زیاد میزان عناصر ذکر شده در آنالسیم‌ها نیز بالا بوده که نشان‌دهنده خاصیت زئولیتی آنالسیم می‌باشد. پیرس (۱۹۹۳) عقیده دارد که اگر آنالسیم در یک سنگ به صورت اولیه تشکیل شود کانی‌های پیروکسن موجود در سنگ، از نوع Na دار خواهند بود. با توجه به مطالعات عرب‌زاده (۱۳۹۶) میزان Na_2O در پیروکسن‌های مورد مطالعه در منطقه عباس‌آباد پایین (۰,۴۲-۰,۳۶) می‌باشد و ترکیب پیروکسن‌ها بر روی نمودار J-Q در گستره‌ی آهن-منیزیم-کلسیم واقع شده است و از سدیم تهی هستند. پیروکسن‌های منطقه مورد مطالعه در گستره‌ی دیوپسید و اوژیت قرار گرفته‌اند. ترکیب همگن بلورهای درشت و منفرد آنالسیم به ثانویه بودن آنها نسبت داده شده است (Karlsson and Clayton, 1991).

فصل چهارم

مطالعات پراش پرتو X

(XRD)

۴-۱- مقدمه

XRD یا همان پراش پرتو ایکس (X-Ray Diffraction) تکنیکی قدیمی و پرکاربرد در بررسی خصوصیات بلورها می‌باشد. شناسایی زئولیت‌ها معمولاً توسط مطالعات پراش پرتو ایکس و میکروسکوپ نوری صورت می‌پذیرد. مطالعات پراش پرتو ایکس بهترین راه شناسایی زئولیت‌ها است. کانی‌های زئولیت معمولاً دارای پیک‌های مشخصی هستند که تشخیص آن‌ها را از سایر کانی‌های رسی موجود در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک امکان‌پذیر می‌سازد (Farpoor, 2007; Farpoor, Deckers et al., 2001; Karimi et al., 2009). نظر به اهمیت تحلیل و تفسیر داده‌های XRD در این بخش به طور مختصر ابتدا توضیحاتی در مورد روش انجام آنالیز XRD داده شده است و سپس به تفسیر و تحلیل نمودارهای حاصل از نمونه‌های زئولیت نوار آتشفشانی-رسوبی عباس‌آباد پرداخته شده است.

۴-۲- طیف سنجی پراش پرتو ایکس (XRD)

پراش پرتو ایکس، نخستین بار توسط ویلیام هنری براگ و پسرش ویلیام لورنس براگ (۱۹۱۲) جهت بررسی خواص ساختاری بلورها مورد استفاده قرار گرفت و جایزه نوبل فیزیک در سال ۱۹۱۵ را برای آن‌ها به همراه داشت. XRD تکنیکی سریع و پر کاربرد است. پیکربندی و تجهیزات نه چندان پیچیده، سرعت ثبت اطلاعات بالا را در XRD باعث می‌شود.

ناحیه پرتو X در طیف الکترومغناطیس در محدوده بین پرتو γ و پرتو فرابنفش قرار دارد. با استفاده از این ناحیه طیفی می‌توان اطلاعاتی در خصوص ساختار، جنس ماده و نیز تعیین مقادیر عناصر بدست آورد (Braun, 1987). در بلورشناسی، طرح‌های حاصل از تعداد زیادی اتم در جهت‌های مختلف، می‌تواند جزئیات طرح ساختمانی اتم‌ها در بلور را نشان دهد و بنابراین می‌توان اطلاعات دقیقی در مورد شکل

ساختمانی ترکیب بدست آورد. از مهم‌ترین کاربردهای XRD می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (معصومی، ۱۳۷۴ و مرعشی، ۱۳۸۳):

- ۱- اندازه‌گیری میانگین فواصل بین لایه‌ها یا سریه‌های اتمی.
 - ۲- تعیین موقعیت تک بلور یا دانه و ترتیب اتم‌ها.
 - ۳- تعیین ساختار بلوری مواد ناشناخته.
 - ۴- تعیین مشخصات ساختاری شامل: پارامتر شبکه، اندازه و شکل دانه، کرنش، ترکیب فاز و تنش داخلی مناطق بلوری کوچک.
 - ۵- در روش XRD با استفاده از رابطه شرر می‌توان در شرایط خاص اندازه دانه‌های نانومتری را تعیین کرد.
 - ۶- تشخیص فازهای بلوری و موقعیت آن‌ها.
 - ۷- اندازه‌گیری ضخامت فیلم‌های نازک و چند لایه.
- در پراش پرتو ایکس توسط بلور مشاهده می‌شود که شدت پرتو ایکس بازتابیده از بلور، که در هر اتم بصورت الاستیک پراکنده شده‌اند (بدون تغییر طول موج)، در زوایای خاصی حداکثر خواهد بود و در بقیه زوایا، شدت پرتو ایکس پراشیده شده مقدار قابل ملاحظه‌ای ندارد. منظور از پراش، همین رفتار اشعه ایکس می‌باشد. در شکل‌های حاصل از XRD دیده می‌شود که برای یک نمونه‌ی بلوری قله‌های متعددی در زوایای متفاوت و با شدت‌های متفاوت وجود دارد. هر کدام از این قله‌ها مربوط به صفحه‌ای خاص از نمونه می‌باشد. همانطور که در ادامه توضیح داده خواهد شد زاویه‌ی هر قله وابسته به فاصله بین صفحه و شدت قله مربوط به آرایش اتم‌ها در صفحات می‌باشد.

۴-۳- تفسیر نتایج XRD بر روی نمونه‌های زئولیتی بازالت‌های عباس-

آباد

بر پایه مطالعات میکروسکوپی، نتایج تجزیه XRD و مطالعات انجام شده قبلی بر روی منطقه عباس‌آباد دو نوع دگرسانی گرمایی با ابعاد ناحیه‌ای و محلی دیده می‌شود. طبق دیدگاه صالحی (۱۳۹۴)، دگرسانی ناحیه‌ای قابل مشاهده در منطقه با کانی‌های اپیدوت، کلریت، کلسیت، کوارتز و آل بیت مشخص می‌شود که شاخص دگرسانی پروپیلیتیک است. البته این نوع دگرسانی در محدوده معدنی عباس‌آباد قابل مشاهده می‌باشد (صالحی و همکاران، ۱۳۹۴). دگرسانی نوع دوم، دگرسانی محلی و مرتبط با کانه‌زایی مس است و تنها در سنگ‌های آتشفشانی کانه‌دار، دیده می‌شود و بیشتر با دگرسانی کلسیتی، سیلیسی، سریسیتی، کلریتی، زئولیتی و هماتیتی مشخص می‌شود. در منطقه‌ی مورد مطالعه دگرسانی زئولیتی و کلسیتی نسبتاً واضح قابل مشاهده می‌باشد. با ورود محلول‌های گرمایی، زمینه برای تغییرات شیمیایی-کانی‌شناسی و ایجاد دگرسانی محلی آماده می‌شود. عوامل زمین‌شناسی کنترل کننده این دگرسانی، ساختمان‌های اولیه و ثانویه مفید در سنگ درونگیر و واکنش‌پذیری سنگ‌ها می‌باشد. از طرفی وجود حفرات بادامکی فراوان، درزه، شکستگی‌ها و گسل خوردگی‌های بسیار در ابعاد متغیر در سنگ درونگیر، زمینه را برای نفوذپذیری و افزایش واکنش‌پذیری این سنگ‌ها بالا برده است (صالحی و همکاران، ۱۳۹۴).

در این پژوهش بر پایه مشاهدات و مطالعات صحرائی، توجه به نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ عباس‌آباد (خلعتبری جعفری، ۱۳۸۰) و نمونه‌برداری مناسب، نمونه‌های مورد نیاز برای انجام مطالعات آزمایشگاهی پراش ایکس برداشت شده است. نمونه‌ها پس از مرحله خردایش و پودر کردن توسط دستگاه آنالیز پیشرفته پراش پرتو ایکس (XRD) مدل D8-Advance Bruker Cu. $K\alpha^8$ ($\lambda=0/15406$ nm) موجود در دانشگاه دامغان آنالیز شدند و سپس دیاگرام‌های حاصل توسط نرم‌افزارهای مربوطه مورد تفسیر قرار گرفته‌اند. طیف‌های به دست آمده با الگوهای استاندارد هر کانی مقایسه و شناسایی شدند.

بر اساس نتایج آنالیز XRD کانی‌های موجود در نمونه‌های سنگی زئولیت‌دار شامل آنالسیم، ناترولیت، تامسونیت، پرهنیت، ژهلنیت، کلسیت و ارتوکلاز هستند. پارامترهای شبکه بلوری این زئولیت‌ها با استفاده از نرم‌افزار Unite Cell refinement بر پایه روش کمترین مربعات به دست آمده است (جدول ۱-۴ و ۲-۴). کانی‌های زئولیتی اغلب در دماهای پایین (کمتر از ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد)، فشار پایین (کمتر از ۲۰۰ مگاپاسگال) و در محیط‌های اشباع از آب یا غنی از سیال تشکیل می‌شوند (Weisenberger et al., 2009). سیال‌های موجود در محیط تشکیل زئولیت‌ها دارای pH خنثی تا قلیایی هستند (Mariner et al., 1970). در ادامه به توضیح کانی‌های زئولیتی موجود در نمونه‌ها می‌پردازیم.

جدول ۱-۴: نتایج حاصل از آنالیز XRD بر روی نمونه‌های زئولیت نوار آتشفشانی - رسوبی عباس‌آباد

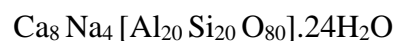
Sample No.	Analysis method	Longitude (E)	Latitude (N)	Elevation	Results
NA- 2	XRD	55°55'52"	36°24'42"	1225	Natrolite, Analcime, Orthoclase, Calcite
NA- 7	XRD	55°55'54"	36°24'41"	1229	Natrolite, Analcime, Calcite
NA- 12	XRD	55°55'57"	36°24'40"	1231	Natrolite, Analcime, Calcite
NA- 13	XRD	55°55'59"	36°24'41"	1229	Natrolite, Analcime, Calcite
NA- 14	XRD	55°55'59"	36°24'42"	1229	Natrolite, Analcime, Calcite
NA- 15	XRD	55°55'59"	36°24'42"	1229	Natrolite, Analcime, Orthoclase, Calcite
NA- 19	XRD	56°22'48"	36°25'8.69"	1023	Natrolite, Analcime, Thomsonite, Orthoclase, Calcite
NA- 22	XRD	56°22'49"	36°25'8.28"	1013	Natrolite, Thomsonit, Analcime, Calcite
NA- 20	XRD	56°22'49"	36°25'8.28"	1013	Natrolite, Thomsonit, Prehlenite, Gehlenite, Calcite

جدول ۴-۲: محاسبه‌ی پارامترهای شبکه بلوری زئولیت‌های عباس‌آباد و مقایسه آن‌ها با نتایج سایر پژوهش‌ها.

پژوهش‌های مختلف	ناتروولیت (راستگوشی) a (Å)	b (Å)	c (Å)
این پژوهش	۱۸/۳۰۰۶	۱۸/۶۵۹	۶/۵۸۸۵
Abdioglu (2011)	۱۸/۳۰۰	۱۸/۶۵۹	۶/۵۸۸
Gottardi and Galli (2012)	۱۸/۲۹	۱۸/۶۴	۶/۵۹
پژوهش‌های مختلف	تامسونیت (راستگوشی) a (Å)	b (Å)	c (Å)
این پژوهش	۱۳/۰۶۷	۱۳/۰۹۴	۱۳/۲۳۲
Abdioglu (2011)	۱۳/۱۲۲	۱۳/۰۷۷	۱۳/۱۲۲
Coombs et al (1997)	۱۳/۱۰۴	۱۳/۰۵۶	۱۳/۲۴۶
پژوهش‌های مختلف	آنالسیم (مکعبی) a (Å)	b (Å)	c (Å)
این پژوهش	۱۳/۷۲	۱۳/۷۱۴	۱۳/۷۱۴
Abdioglu (2011)	۱۳/۷۰۶	۱۳/۷۰۶	۱۳/۷۰۶
Coombs et al (1997)	۱۳/۷۲۵	۱۳/۷۲۵	۱۳/۷۲۵

۴-۳-۱- تامسونیت

تامسونیت جزء گروهی از زئولیت‌های رشته‌ای کلسیم و سدیم‌دار با نام عمومی ناتروولیت است (Breck, 1984) که از دیگر گونه‌های رشته‌ای زئولیت نظیر: مزولیت و اسکولسیت توسط نسبت پایین Si/ Al مشخص می‌شود (علافر و همکاران، ۱۳۹۲). بر اساس نتایج حاصل از XRD نشان داده شده است که تامسونیت‌های موجود در منطقه به صورت اورترومبیک می‌باشند و مقادیر ۱۳/۰۶۷، ۱۳/۰۹۴ و ۱۳/۲۳۲ آنگستروم به ترتیب برای ابعاد یاخته‌ی یک‌ه‌ی a، b و c محاسبه شده است. از نظر تفاوت‌های ساختاری و نیز نسبت سیلیس به آلومینیوم از دیگر اعضای این گروه قابل تشخیص‌اند. فرمول شیمیایی ایده‌آل این کانی مطابق زیر می‌باشد (Passaglia et al., 2001):



ولی به دلیل اینکه میزان Si و Na بیشتر از میزان قید شده می‌باشد و همچنین به دلیل میزان کم کلسیم، بهتر است فرمول کلی تامسونیت به صورت زیر بیان شود:



پیدایش این زئولیت‌ها اغلب شبیه زئولیت‌های رشته‌ای دیگر بوده و اکثراً به صورت پرکننده‌ی حفره‌ها و شکستگی‌ها در سنگ‌های آتشفشانی است (Passaglia et al., 2001). همچنین سدیم و کلسیم کاتیون‌های فراشبکه‌ای اصلی در این کانی هستند. نمونه‌های NA-19، NA-20 و NA-22 با سنگ میزبان تراکی‌بازالت دارای این نوع زئولیت هستند.

۴-۳-۲- آنالسیم

آنالسیم، به عنوان یک کانی سدیم آلومینوسیلیکات آبدار در سنگ‌های آذرین قلیایی و به عنوان یک کانی معمول حاصل از دگرسانی گرمایی دمای پایین حضور دارد (فدائیان و همکاران، ۱۳۹۵). آنالسیم غالباً عضوی از گروه زئولیت‌ها در نظر گرفته شده است، در حالی که بعضی از نویسندگان آن را جزء فلدسپاتوئیدها می‌دانند. در حالی که برخی دیگر از ویژگی‌های ساختاری و نیز پیدایش این کانی در سنگ‌های رسوبی و دگرگونی‌های ضعیف همراه با سایر زئولیت‌های، باعث شده است که در سال‌های اخیر گرایش زیادی بین کانی‌شناسان برای قرار دادن این کانی در سری کانی‌های زئولیتی به وجود آید (O'Brien, 1988 و Yücel, 2014).

این کانی با فرمول ساختاری $\text{Na}_{16} [\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}].16\text{H}_2\text{O}$ ، سری پیوسته‌ای را با پلوسیت و وایراکیت تشکیل می‌دهد (Cho et al., 1987). آنالسیم در دمای نزدیک به ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و در فشار آب ۲ تا ۵ کیلوبار متبلور می‌شود. pH پیدایش آنالسیم حدود ۸ است، اما اگر pH بیشتر از ۱۰ شود، آنالسیم در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد نیز پدید می‌آید (Kim and Burly, 1971 و مهرپویا، ۱۳۹۵). بر اساس یک سری کارهای آزمایشگاهی می‌توان شرایط تشکیل درشت بلورهای آنالسیم در سنگ‌های آتشفشانی ایران را چنین خلاصه کرد: در ماده‌ی مذاب غیر اشباع از سیلیس، در فشار آب نسبتاً بالا- ۵ تا ۸ کیلوبار

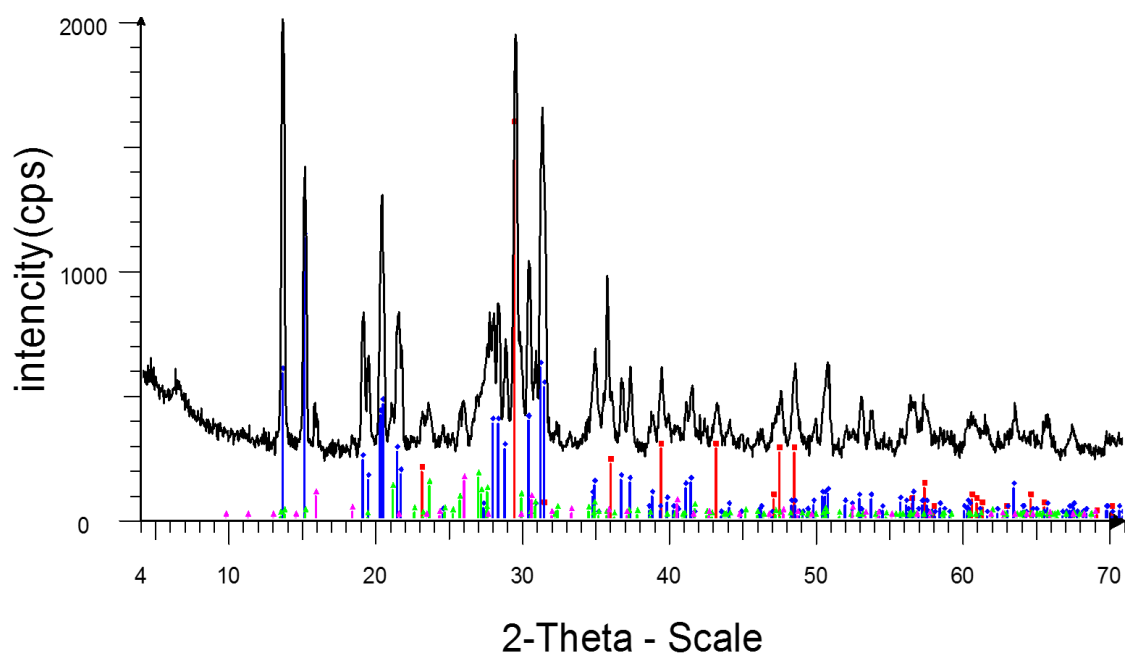
و دمایی در حدود ۶۰۰ تا ۶۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، ممکن است مستقیماً به جای نفلین، آنالسیم به وجود آید، در صورتی که در مایع مذاب غنی از پتاسیم و دمای بالاتر، پژوهش‌های پتاسیم (درویش‌زاده، ۱۳۷۲). آنالسیم‌ها را بر اساس محیط تشکیل به ۵ نوع رده‌بندی کرده‌اند (فدائیان و همکاران، ۱۳۹۵ و Luher, 1989) که شامل: نوع P (آنالسیم‌های شکل داری هستند که به طور اولیه از یک گدازه سیلیکاتی متبلور شده‌اند)، نوع S (آنالسیم تشکیل شده در شیشه‌های آتشفشانی یا زئولیت-های موجود در دریاچه‌های شور قلیایی)، نوع H (آنالسیم‌های ناشی از فرآیندهای گرمایی)، نوع M (آنالسیم تشکیل شده در توالی دگرگونی ضعیف) و نوع L (آنالسیم‌های حاصل از جایگزینی یونی در کانی لوسیت و احتمالاً دیگر فلدسپاتوئیدهای سنگ‌های آذرین). آنالسیم عموماً با تتراناترولیت و ناترولیت همراه است و گاهی فیبرهایی از کانی‌های اخیر به درون آنالسیم رسوخ کرده‌اند. ساختار آنالسیم دارای کانال‌های پیوسته‌ای در راستای محورهای درجه‌ی ۳ ساختاری است که با مولکول‌های H_2O اشغال می‌شوند. Na با هم‌آرایی هشت‌وجهی در حفره‌های کمی کوچکتر، جای می‌گیرد. در برخی نمونه‌های آنالسیم، Na تنها کاتیون اصلی در خارج از شبکه‌ی کاتیونی است (Line, 1995). همانطور که در نمودارهای حاصل از XRD مشخص شده است آنالسیم اکثراً همراه با ناترولیت یافت شده است. طبق نتایج حاصل از پراش پرتو X، این کانی دارای شبکه اورترومبیک بوده است و مقادیر ۱۳،۷۱۴، ۱۳،۷۲۰۰، ۱۳،۷۱۴ آنگسترم به ترتیب برای ابعاد یاخته‌ی یک‌ه‌ی a، b و c محاسبه شده است. نمونه‌های NA-19، NA-20 و NA-12 با سنگ میزبان تراکی‌بازالت و الیون‌بازالت دارای این نوع زئولیت هستند.

۴-۳-۳- ناترولیت

ناترولیت یک کانی ثانویه است که همراه با سایر زئولیت‌ها و کلسیت در حفرات سنگ‌های آذرین مخصوصاً بازالت یافت می‌شود (سرابی، ۱۳۸۹ و مهرپویا و همکاران، ۱۳۹۴) و به میزان کمتر در رسوبات به سبب آب‌های غنی از سدیم، آب‌های دریاچه‌ای قلیایی و جوی در دماهای بین ۷۰ تا ۲۵۰ درجه

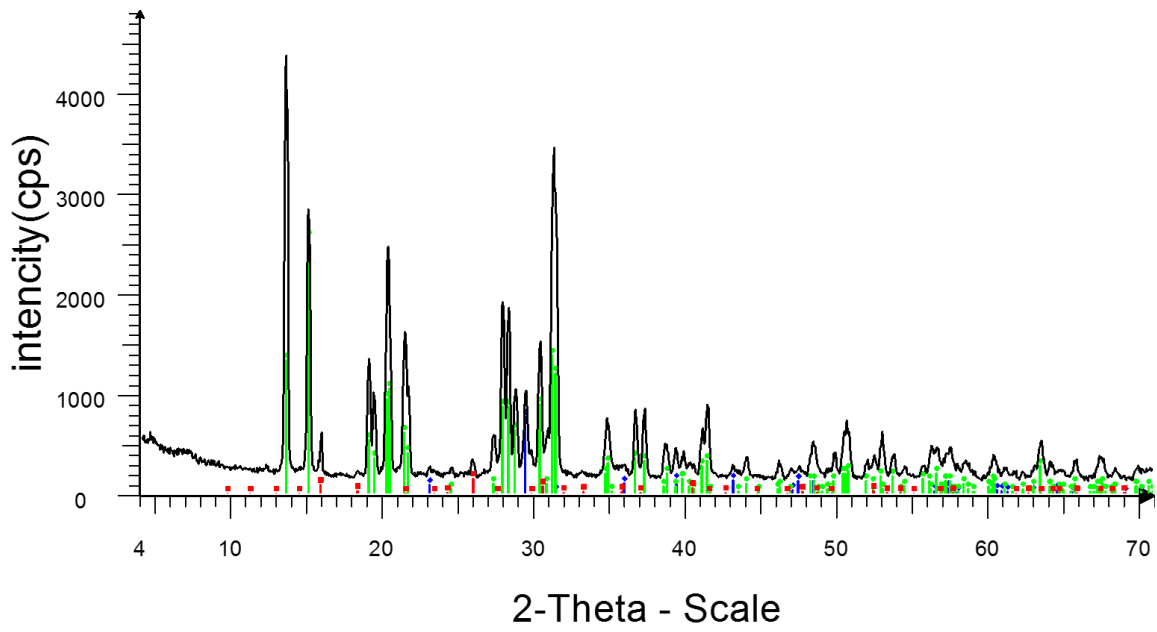
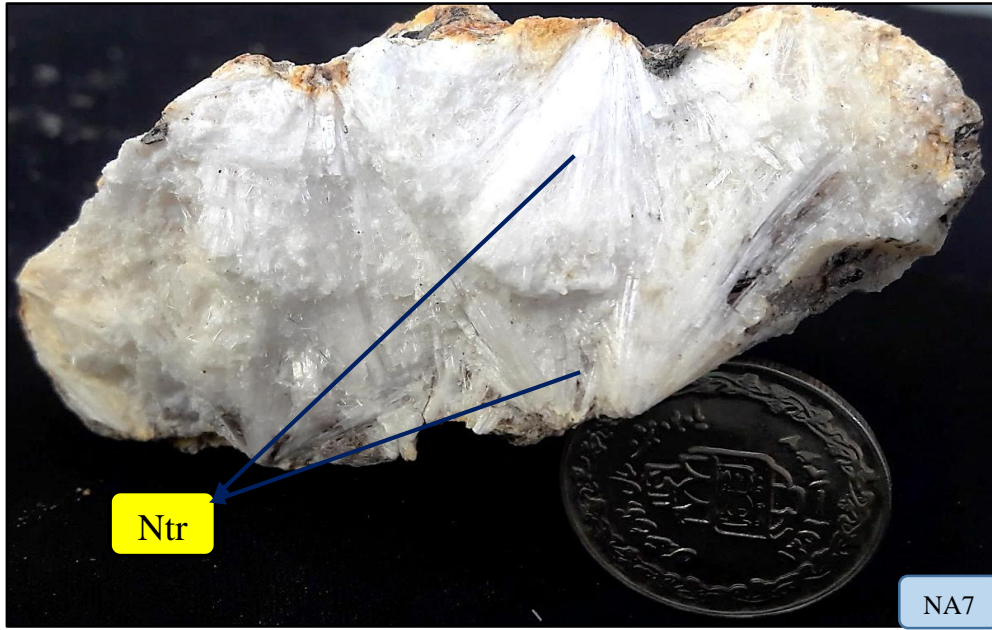
سانتی‌گراد تشکیل می‌گردد (Senderov, 1974; Tschernich, 1992 و بهرامی و همکاران، ۱۳۹۴). بررسی‌های XRD نشان می‌دهد که این کانی دارای ساختار اورترومبیک می‌باشد و مقادیر $18/3006$ ، $18/659$ و $6/5885$ آنگستروم به ترتیب برای ابعاد یاخته‌ی یکه‌ی a ، b و c محاسبه شده است. ناترولیت در شرایط گرمایی در محیط دریاچه‌ای در دماهایی تا 250 درجه سانتی‌گراد تشکیل می‌شود و همچنین می‌تواند در شرایط گرمایی در آزمایشگاه در دماهایی بین $150 - 80$ درجه سانتی‌گراد آن را ساخت (Senderov, 1974). این کانی یک سیلیکات آلومنیوم و سدیم آبدار با فرمول شیمیایی $Na_{16}[Al_6Si_{24}O_{50}].16H_2O$ می‌باشد (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۴). از طرفی آنالسیم و کانی‌های ناترولت، تترانترولیت جزء زئولیت‌های با دمای بالا هستند (Gottardi et al., 2012).

الگوهای پراش پرتو ایکس حاصل از زئولیت‌های سنگ‌های نوار آتشفشانی- رسوبی عباس‌آباد، حضور فازهای تامسونیت- ناترولیت- آنالسیم، آنالسیم- ناترولیت و ناترولیت- تامسونیت را به اثبات رسانده است (شکل ۴-۱).



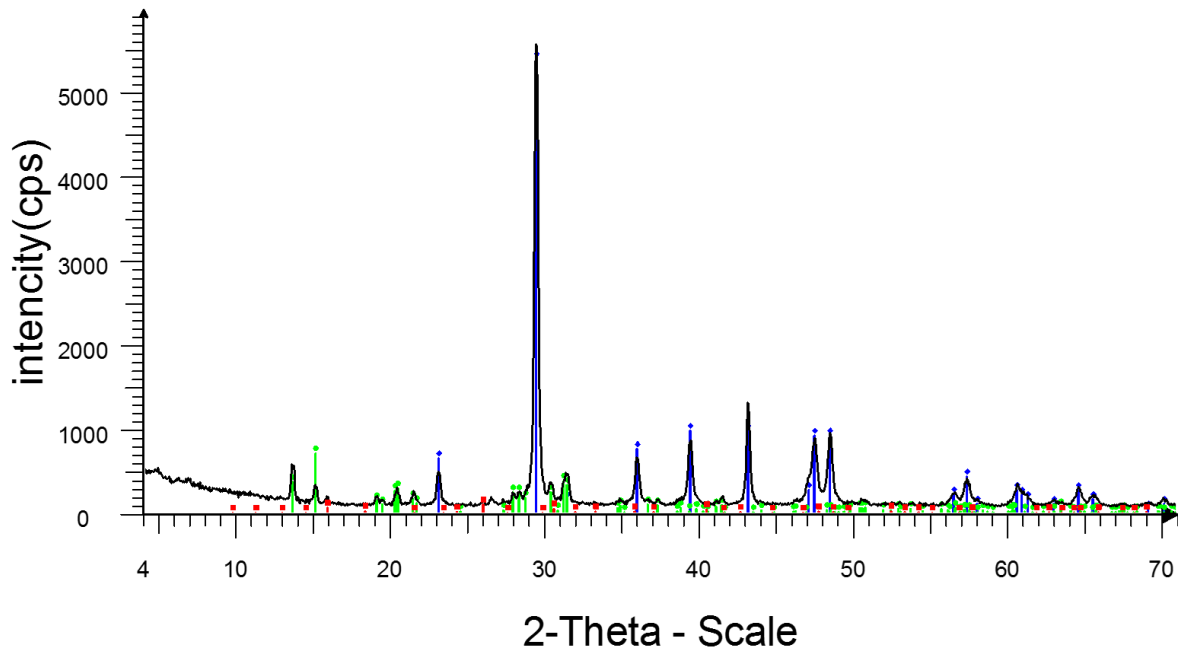
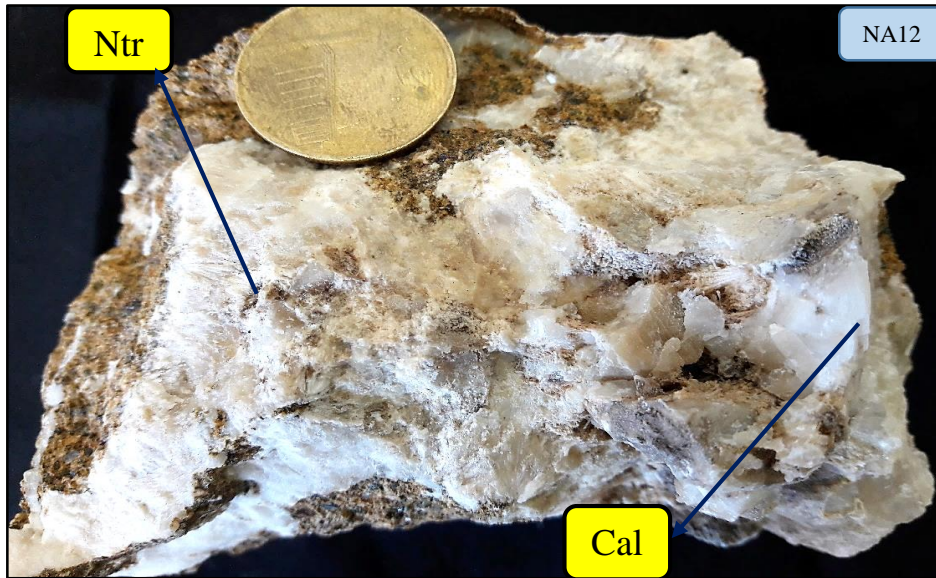
Sample	Compound name	System	a	b	c
■	Calcite	Hexagonal	4/989	4/989	17/062
◆	Natrolite	Orthorombic	18/3006	18/659	6/5885
▲	Analcime	Orthorombic	13/72	13/714	13/714
▲	Orthoclase	Monoclinic	8/556	12/98	7/205

شکل ۴-۱: الگوهای پراش پرتو X برای زئولیت‌های سنگ‌های آتشفشانی ائوسن منطقه عباس‌آباد به همراه تصویری از نمونه سنگ مورد آزمایش قرار گرفته.



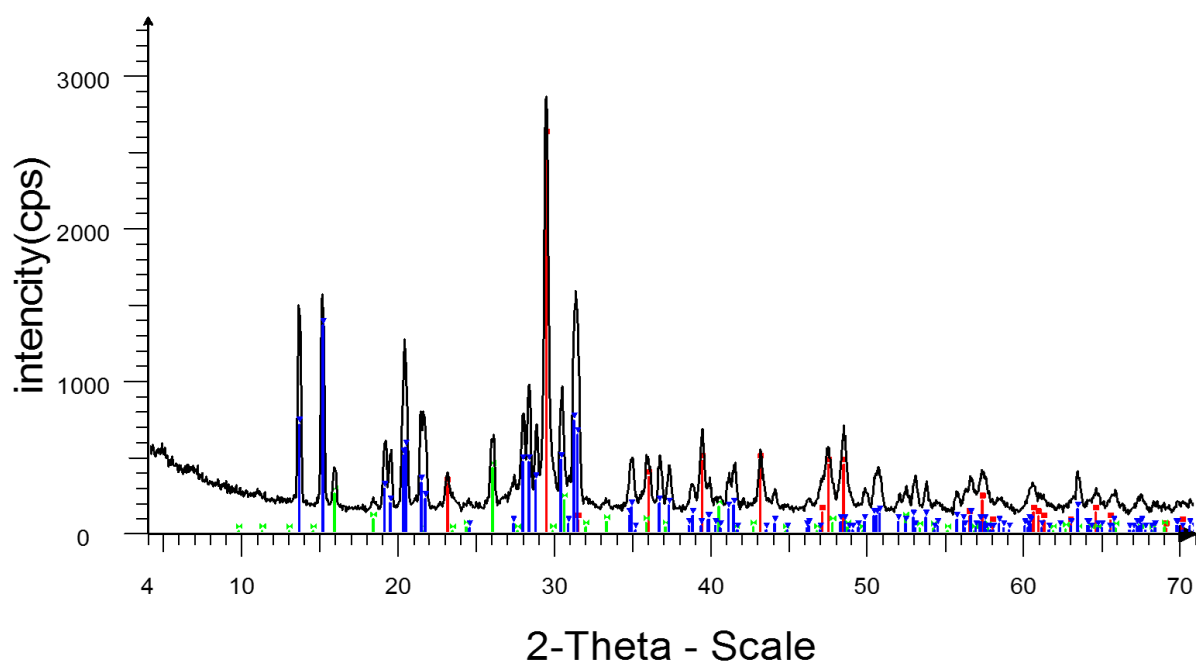
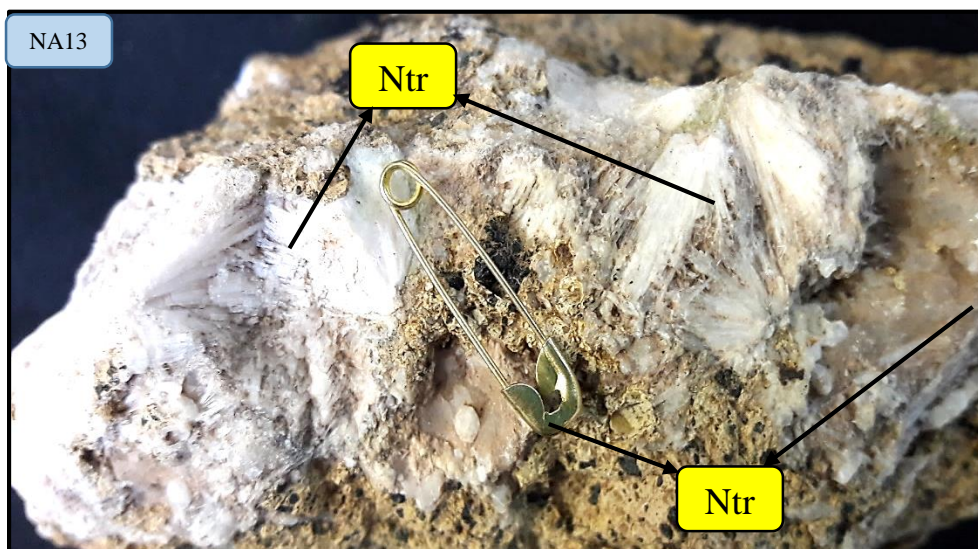
Sample	Compound name	System	a	b	c
■	Analcime	Orthorombic	13/72	13/714	13/062
◆	Calcite	Hexagonal	4/989	4/989	17/062
●	Natrolite	Orthorombic	18/3006	18/659	6/5885

ادامه شکل ۱-۴



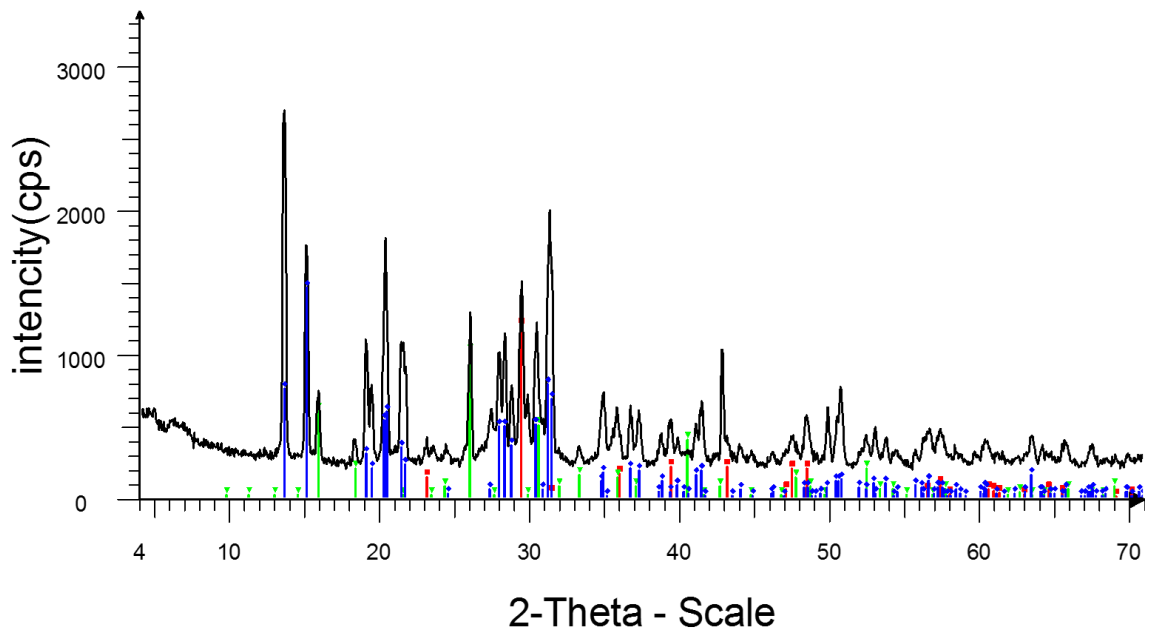
Sample	Compound name	System	a	b	c
■	Analcime	Orthorombic	13/72	13/714	13/062
◆	Calcite	Hexagonal	4/989	4/989	17/062
●	Natrolite	Orthorombic	18/3006	18/659	6/5885

ادامه شکل ۱-۴



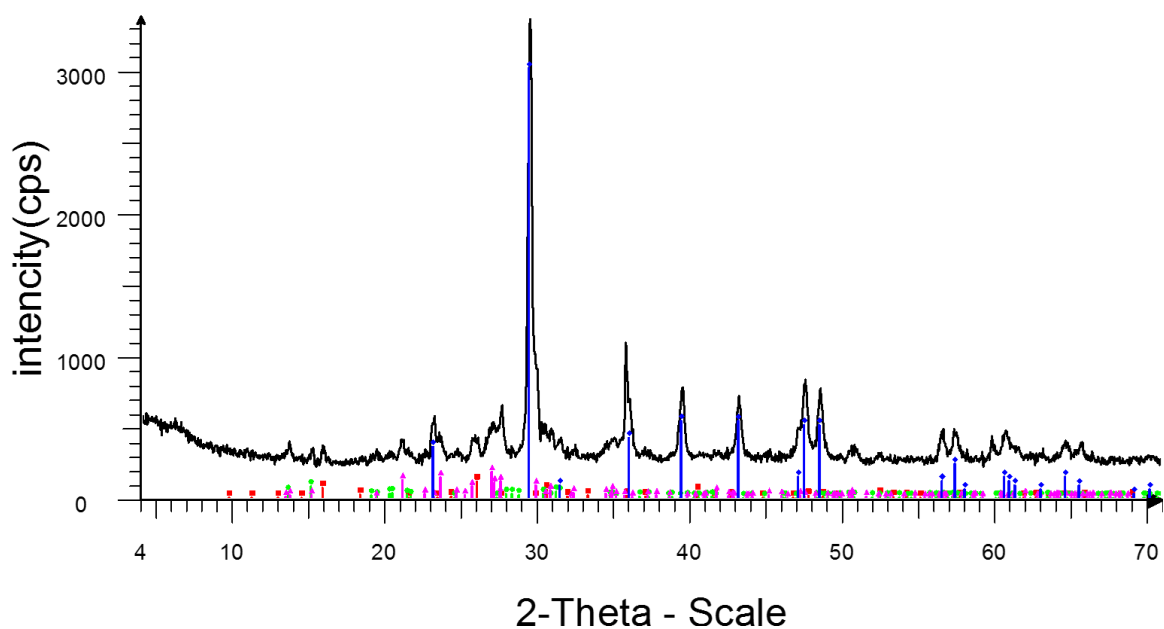
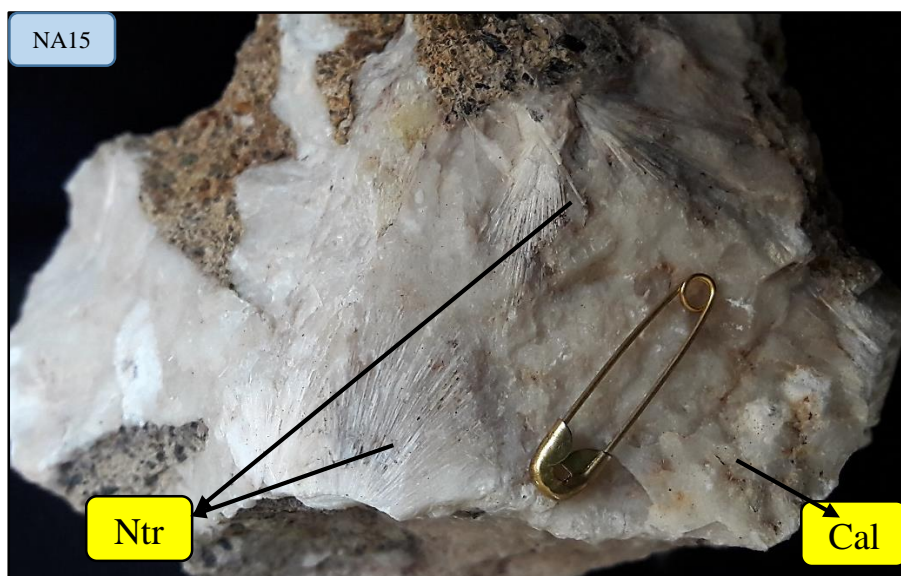
Sample	Compound name	System	a	b	c
■	Calcite	Hexagonal	4/989	4/989	17/062
▼	Natrolite	Orthorombic	18/3006	18/659	6/5885
⊠	Analcime	Orthorombic	13/72	13/714	13/714

ادامه شکل ۱-۴



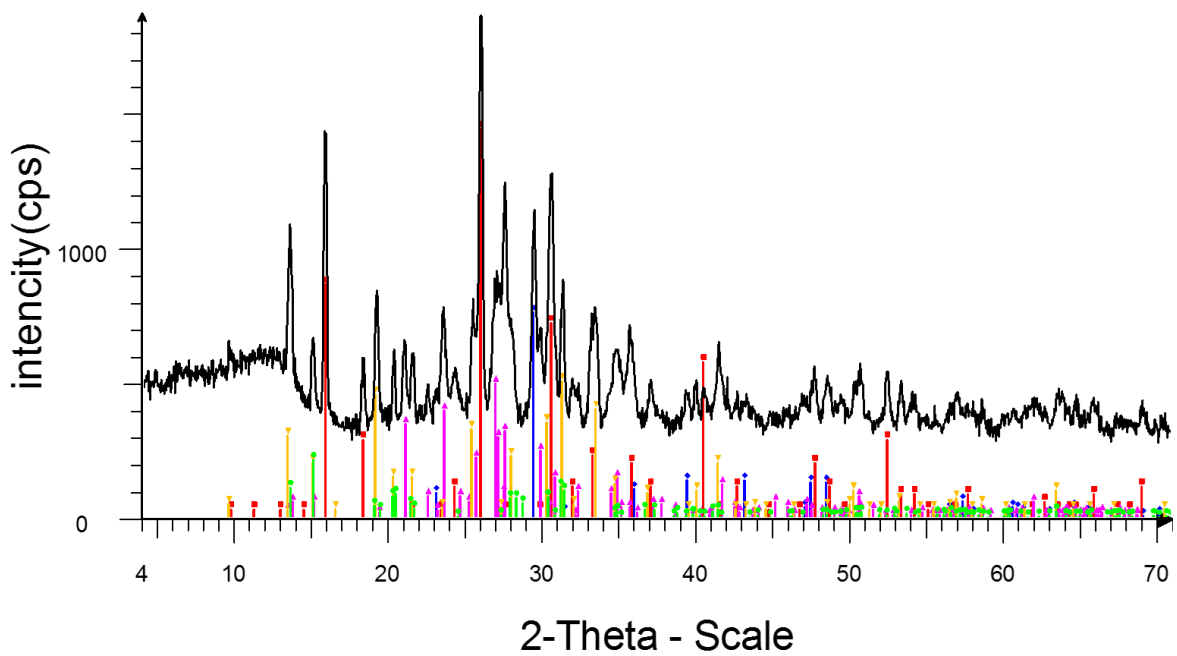
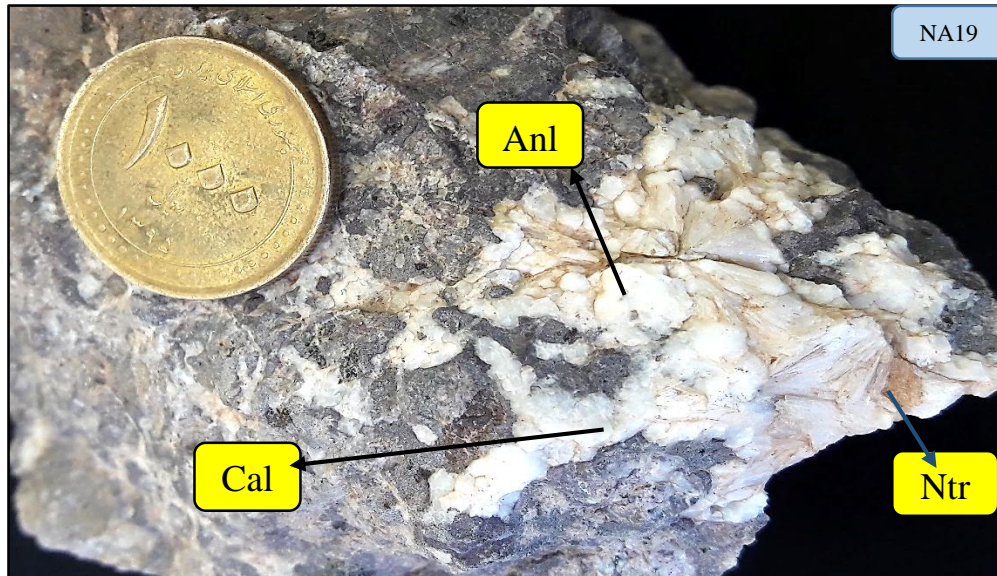
Sample	Compound name	System	a	b	c
■	Calcite	Hexagonal	4/989	4/989	17/062
◆	Natrolite	Orthorombic	18/3006	18/659	6/5885
▼	Analcime	Orthorombic	13/72	13/714	13/714

ادامه شکل ۱-۴



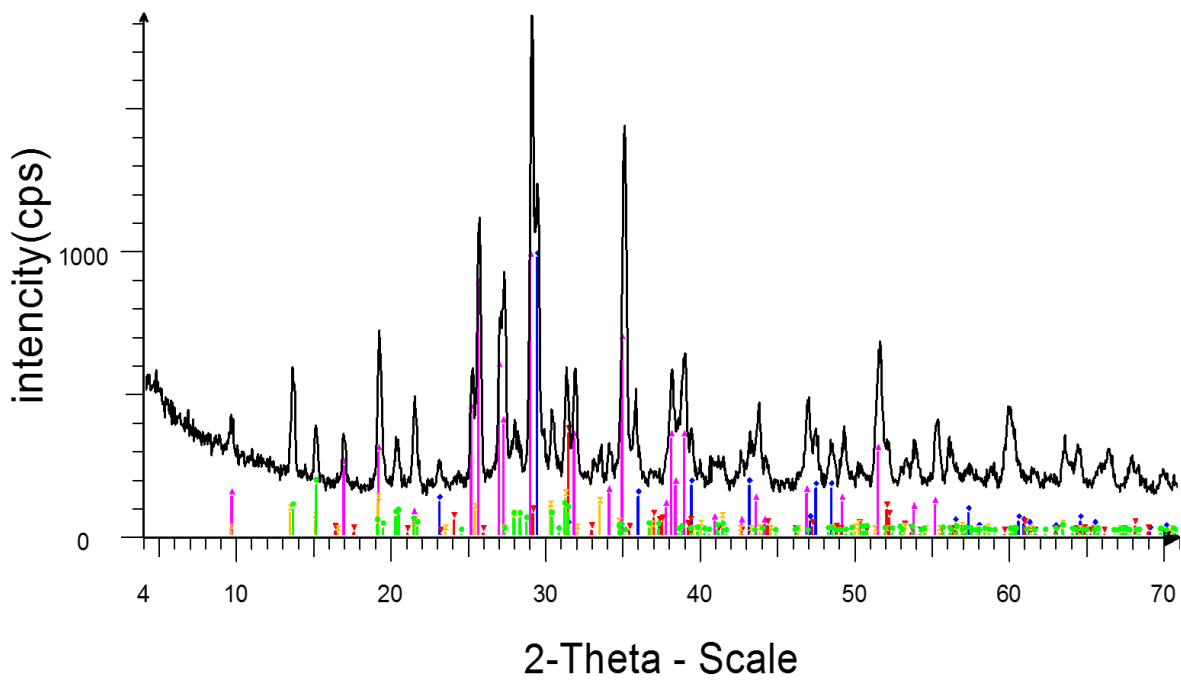
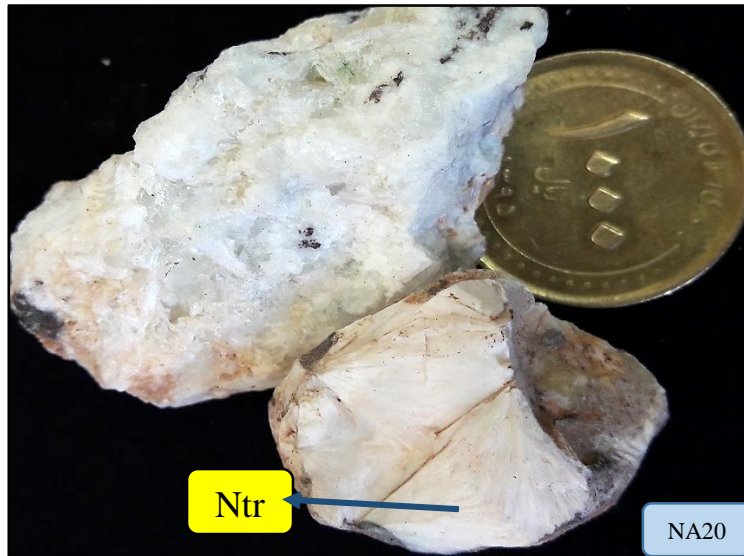
Sample	Compound name	System	a	b	c
■	Analcime	Orthorombic	13/72	13/714	13/714
◆	Calcite	Hexagonal	4/989	4/989	17/062
▲	Orthoclase	Monoiclinic	8/556	12/98	7/205
●	Natrolite	Orthorombic	18/3006	18/659	6/5885

ادامه شکل ۱-۴



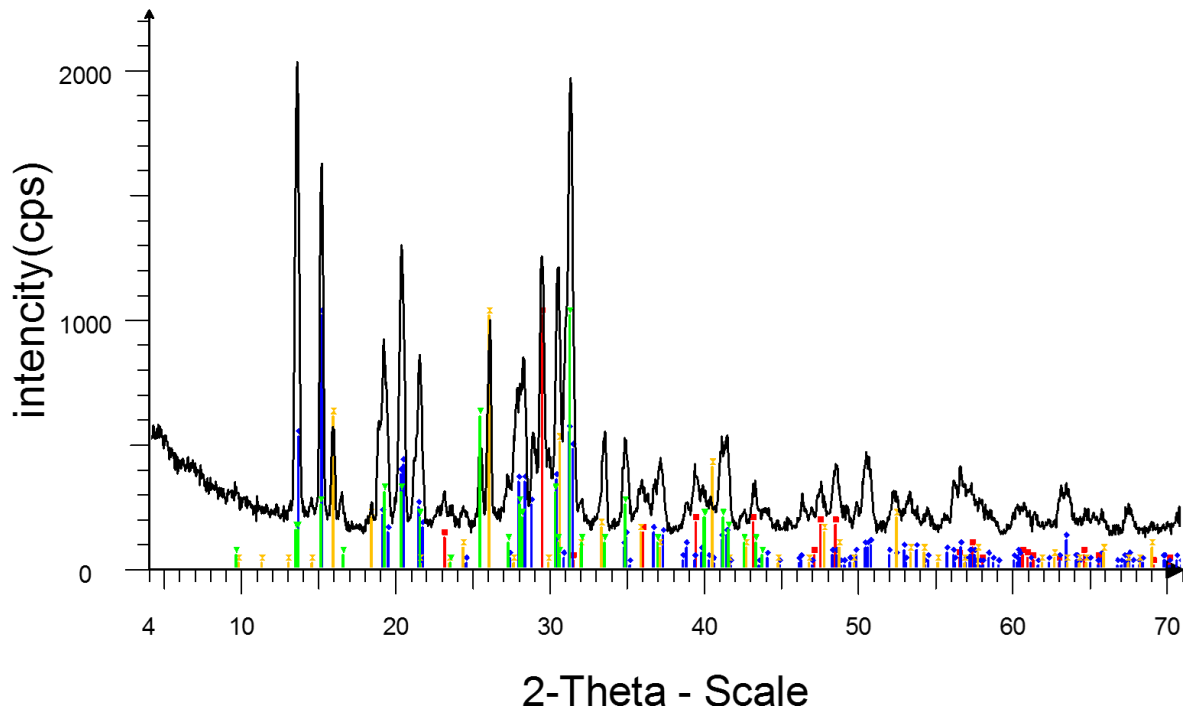
Sample	Compound name	System	a	b	c
■	Analcime	Orthorombic	13/72	13/714	13/714
◆	Calcite	Hexagonal	4/989	4/989	17/062
▲	Orthoclase	Monoiclinic	8/556	12/98	7/205
●	Natrolite	Orthorombic	18/3006	18/659	6/5885
▼	Thomsonite	Orthorombic	13/067	13/094	13/232

ادامه شکل ۱-۴



Sample	Compound name	System	a	b	c
◆	Calcite	Hexagonal	4/989	4/989	17/062
■	Natrolite	Orthorombic	18/3006	18/659	6/5885
▲	Prehnite	Orthorombic	4/642	5/487	18/49
⊠	Thomsonite	Orthorombic	13/067	13/094	13/232
▼	Gehlenite	Tetragonal	7/6858	7/6858	5/0683

ادامه شکل ۱-۴



Sample	Compound name	System	a	b	c
■	Calcite	Hexagonal	4/989	4/989	17/062
◆	Natrolite	Orthorombic	18/3006	18/659	6/5885
▼	Thomsonite	Orthorombic	13/08	13/1	13/22
⊠	Analcime	Orthorombic	13/72	13/714	13/714

ادامه شکل ۱-۴

فصل پنجم

کاربردهای زئولیت ها و برآورد پتانسیل

اقتصادی زئولیت های عباس آباد

۵-۱- مقدمه

زئولیت‌ها گروهی از آلومینوسیلیکات‌های متبلور با خلل و فرج ریز هستند که با دارا بودن خواص فیزیکی و شیمیایی مطلوب، کاربرد وسیعی دارند. سهولت ساخت زئولیت‌ها و طراحی ساختار آن‌ها موجب شده است که یکبار دیگر زئولیت‌ها از دیدگاه کاربردهای صنعتی، کشاورزی و حفاظت محیط زیست، مورد توجه قرار گیرند. مصارف ویژه زئولیت در صنایع مختلف از جمله تصفیه آب‌های سنگین، جذب مواد آلوده و مضر و همچنین در حوزه آبیان برای جذب یون آمونیم و سنتز این ماده معدنی راهبردی (استراتژیک) به صورت مصنوعی در مدت زمان بیش از ۷۰ سال در آزمایشگاه‌های شیمی، ضرورت سنتز ماده معدنی یاد شده از زئولیت‌های طبیعی کشورمان را دو چندان کرده است (ملاح، ۱۳۷۷). با توجه به ذخایر فراوان زئولیتی در ایران، به ویژه پهنه‌های زئولیتی که مطالعات تغییرات ساختار روی آن‌ها یا هرگز انجام نشده یا نتایج مطلوب و امید بخش نداشته است، تصمیم بر آن شد که پهنه‌ی زئولیتی نوار آتشفشانی- رسوبی عباس‌آباد به عنوان شاخص در نظر گرفته شود. به دلیل دسترسی آسان بشر به ذخایر قابل توجه زئولیت‌ها که با قیمت ارزان قابل استحصال است، کاربردهای مختلف و متعددی تاکنون گزارش شده است که به صورت مختصر در این فصل به آن‌ها اشاره گردیده است و در پایان به صورت مختصر به ارزیابی پتانسیل اقتصادی آن‌ها در منطقه عباس‌آباد پرداخته خواهد شد.

۵-۲- تاریخچه

به طور کلی زئولیت‌ها، از قرن ۱۸ میلادی برای دانشمندان و معدن‌شناسان شناخته شده است ولی از زمان شناخت تا حدود ۷۰ سال پیش کار علمی و یا عملی قابل توجهی بر روی آن‌ها انجام نشده بود. اولین بار در سال ۱۷۵۶ توسط یک معدن‌شناس سوئدی به نام بارون اکسل فردریک کشف شدند که نام آن‌ها را از کلمه یونانی (Zein) جوشان و (Lithos) سنگ به معنی سنگ‌های جوشان اقتباس نمود که نشان‌دهنده این خاصیت منحصر به فرد آنها است (Coombs et al., 1997). اولین مقاله درباره‌ی

زئولیت‌ها در سال ۱۷۵۶ میلادی انتشار یافت و ۱۰۰ سال بعد، لیست حاوی ۱۷ زئولیت طبیعی کشف شده، ارائه گردید. در سال ۱۹۱۴ یک لیست ۱۹ تایی ارائه شد و از آن پس به طور متوسط هر سه سال یک گونه جدید کشف گردید و تا به حال بیش از ۸۵ نوع زئولیت طبیعی کشف شده است و بیش از صدها نوع زئولیت مصنوعی نیز ساخته شده است (احمدزاده فرد، ۱۳۸۸). اولین زئولیت کشف شده استیلبیت بود و معروف‌ترین و فراوان‌ترین زئولیت طبیعی نیز کلینوپتیلولایت است که در سال ۱۹۸۰ کشف شد.

پس از شناخت خواص فیزیکوشیمیایی منحصر به فرد آنها، توجه بسیاری از پژوهشگران به این رشته علمی جلب گردید به گونه‌ای که طی ۳۰ سال گذشته گسترش فوق‌العاده‌ای در زمینه شناخت زئولیت‌ها پدید آمده است (احمدزاده فرد، ۱۳۸۸ و Arthur et al., 2009).

۵-۳- خواص عمومی زئولیت‌ها

زئولیت‌ها جامدات معدنی بلوری ریز منفذی هستند که ساختار چهاروجهی آن‌ها، کانال‌ها و یا حفراتی با ابعاد مولکولی (با قطر ۱/۵ - ۰/۳ نانومتر) ایجاد می‌کنند. به‌طور کلی سختی زئولیت‌ها از ۳/۵ تا ۵/۵ و جرم حجمی آن‌ها از ۲ تا ۲/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب متغیر است (Lobomira, 1999). اکثر زئولیت‌ها بی‌رنگ یا سفید هستند، با این حال بعضی از آن‌ها که حاوی مقادیر جزئی یا کم آهن هستند، به رنگ زرد کم رنگ یا قهوه‌ای مایل به قرمز دیده می‌شوند. زئولیت‌ها در حالت تعلیق (سوسپانسیون) باعث به وجود آوردن pH های ۹/۵ تا ۱۰/۵ شده و در نتیجه تجزیه کامل یا نسبی موجب ایجاد pH های بالاتری نیز می‌گردند. اگر چه اغلب زئولیت‌های حاوی Si کم یا متوسط (نسبت Si به Al به ترتیب برابر ۱/۵ به ۱ و ۲ به ۱/۵) در محلول‌های اسیدی با pH پایین‌تر از ۳ متلاشی می‌شوند، بعضی گونه‌های حاوی Si زیاد مثل کلینوپتیلولایت و موردنیت در pH حدود ۲ نیز پایدار هستند و برای دوره‌های کوتاه‌تر حتی در pH پایین‌تر از ۲ نیز پایدار می‌باشند. به‌طور کلی نوع رسوبی یک گونه زئولیت خاص، در مقابل اسید

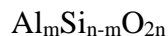
پایدارتر از نوع آتشفشانی آن است. زیرا معمولاً حاوی Si بیش‌تری می‌باشند (Gottardi and Galli, 2012).

زئولیت‌ها با خواص زیر مشخص می‌شوند (زینالی، ۱۳۹۳):

- درجه بالای آب‌دار (دهیدراته) شدن
- در زمان بی آب (دهیدراته) شدن، تراکم پایین و فضاهای خالی بالایی دارند
- ساختمان بلوری اغلب زئولیت‌ها موقع بی آب شدن، پایدار می‌ماند
- دارای خاصیت تبادل کاتیونی هستند
- بلور دهیدراته دارای کانال‌های یکنواختی از نظر مولکولی و اندازه می‌باشد
- خواص فیزیکی متنوعی از قبیل هدایت الکتریکی دارند
- خواص کاتالیزوری دارند.

۵-۴- ساختار زئولیت‌ها

زئولیت‌ها آلومینوسیلیکات‌های بلوری متخلخل هستند. ساختار اولیه زئولیت‌ها متشکل از چهاروجهی‌های SiO_4 و AlO_4 است (Deer et al., 1992، علفر و همکاران، ۱۳۹۲، فقیهیان و همکاران، ۱۳۸۱). چهاروجهی‌های تشکیل دهنده ساختار اولیه از گوشه‌ها به نحوی به یکدیگر متصل می‌شوند که هر اتم اکسیژن با دو چهاروجهی به اشتراک در می‌آید و ساختارهای ثانویه را به وجود می‌آورند، چنانچه همه‌ی اتم‌های مرکزی Si باشند فرمول عمومی Si_nO_{2n} حاصل می‌شود. اما در زئولیت‌ها بعضی از اتم‌های Si به وسیله‌ی Al جایگزین و فرمول عمومی زیر را دارند:

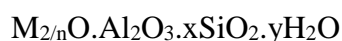


بار منفی ناشی از M (کاتیون‌های همراه) با حضور کاتیون‌هایی نظیر Na، K، Ca، Li، Mg و Ba جبران می‌شود (Breck, 1984; Meier, 1986، فقیهیان، ۱۳۷۲).

بنابراین چارچوب به دست آمده دارای نسبت کلی O/T ($T=Al$ و $O=Si$) برابر ۲ است. بنابراین، زئولیت‌ها و شبه زئولیت‌ها زیرمجموعه‌ای از تکتوسیلیکات‌ها هستند و شاید از فازهای متراکم‌تر بر طبق دانسیته چارچوب ساختاری‌شان (Framework Density) FD که بر اساس تعداد اتم‌های T در 1000 \AA^3 تعریف می‌شود، تشخیص داده شوند. حداقل FD برای ساختارهای متراکم مانند کوارتز یا فلدسپارها بین ۲۰ تا ۲۲ است، در حالی که زئولیت‌ها با مقدار FD زیر ۲۱، معمولاً زیر ۱۹، شناخته می‌شوند. دانسیته چارچوب یک زئولیت، ارتباط مستقیمی با حجم حفره دارد اما لزوماً اندازه دهانه حفره را منعکس نمی‌کند (حبیبی، ۱۳۹۴). زئولیت‌ها در اصل آلومینوسیلیکات‌های آبدار بلوری عناصر گروه I و II اصلی جدول تناوبی می‌باشند. این عناصر عبارتند از سدیم، پتاسیم، منیزیم، استرانسیم و باریوم. امروزه به صورت مصنوعی (سنتزی) یون‌هایی با ظرفیت بالاتر نظیر خاک‌های نادر و فلزات واسطه را نیز از طریق پدیده تبادل یون در زئولیت‌ها جایگزین می‌کنند (احمدزاده فرد، ۱۳۸۸).

قانون منع لوون‌اشتاین (Lowenstein): در سال ۱۹۵۴ لوون‌اشتاین اظهار کرد که در آلومینوسیلیکات‌ها نسبت Si/Al کمتر از یک نیست به این دلیل که قرارگیری اتصالات Al-O-Al در چارچوب زئولیت ممنوع است. این قانون که عموماً برقرار بوده و کوچک‌ترین نسبتش را در زئولیت می‌توان یافت، می‌تواند برابر یک باشد. البته در بعضی از زئولیت‌ها این نسبت از یک کوچک‌تر است (حیدری، ۱۳۸۵)، اما بررسی‌ها نشان می‌دهد که به واسطه‌ی وجود آلومینیوم غیر ساختاری (مثلاً یون آلومینات) که در حفره‌ها گیر افتاده است، نسبت Si/Al از یک کمتر شده است، در حالی که این نسبت در ساختار زئولیت بزرگتر یا مساوی یک بوده است (حبیبی، ۱۳۹۴).

زئولیت‌ها را می‌توان به کمک فرمول تجربی زیر نمایش داد:



در این فرمول که اصطلاحاً فرمول اکسید نامیده می‌شود x معمولاً مساوی یا بزرگتر از ۲ است؛ چرا که تتراهدرال‌های AlO_4 فقط به تتراهدرال‌های SiO_4 متصل‌اند، M نشانه‌ی کاتیون همراه و n نشان‌دهنده ظرفیت کاتیون می‌باشد.

چارچوب‌های سیلیکاتی خالص (SiO_2) خنثی هستند، اما جانشینی Si^{4+} با Al^{3+} در جایگاه‌های چارچوب یک بار منفی تولید می‌کند (فقیهیان و همکاران، ۱۳۸۱) که باید با کاتیون‌های متعادل-کننده بار در جایگاه‌های خارج از چارچوب که در داخل قفس‌ها و یا حفرات ساختمان زئولیت مستقر شده‌اند، خنثی شود. علاوه بر Si و Al ، عناصر دیگری نیز می‌توانند در موقعیت‌های چهاروجهی چارچوب زئولیت قرار بگیرند (حبیبی، ۱۳۹۴). با جانشین شدن فلزات با حالت‌های اکسایش مختلف دسته جدیدی از سیلیکات‌ها تحت عنوان متالوسیلیکات‌ها به وجود می‌آیند که هر کدام از آنها می‌توانند خواص جالبی از خود نشان دهند (حیدری، ۱۳۸۵).

۵-۵- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی زئولیت‌ها

زئولیت‌ها معمولاً دارای چگالی بین ۲ تا $2/3$ گرم بر سانتی‌متر مکعب هستند. اما زئولیت‌های غنی از باریم، استثناء بوده و چگالی آن‌ها ممکن است بین $2/5$ تا $2/8$ گرم بر سانتی‌متر مکعب باشد (زینالی، ۱۳۹۳).

عموماً ساختمان زئولیت‌ها باز است و در نتیجه سطح ویژه‌ای شبیه به کانی‌های سیلیکاتی ۱:۲ قابل انبساط از خود نشان می‌دهند. جذب آب در هر واحد سلولی زئولیت نسبتاً زیاد است. البته میزان جذب آب بستگی به نوع زئولیت و همچنین نوع کاتیون‌های موجود در کانال‌های آن دارد. به‌طور کلی عرض کانال‌ها، اندازه کاتیون‌ها و انرژی هیدراتاسیون، تعیین‌کننده میزان آب جذب شده به وسیله این کانی‌ها هستند.

ظرفیت تبادل کاتیونی زئولیت‌ها از ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم آن گزارش شده است. به‌طور کلی عرض کانال‌ها، انتشار یونی یا مولکولی، مقدار آب و هیدراته شدن، از عوامل مهم و تعیین

کننده میزان ظرفیت تبادل کاتیونی آنها است. زئولیت‌ها می‌توانند مانند غربال عمل کنند. به عنوان مثال آنالسیت می‌تواند سدیم را آزادانه با Ag ، Ti ، K ، NH_4 و Rb مبادله کند، ولی میزان تبادل Rb با Cs در آن بسیار ناچیز و قابل چشم پوشی است. جذب انتخابی یون‌های فلزات سنگین Ag و Ti در همه زئولیت‌ها بسیار متداول است. کلینوپتیلولایت برای جدا کردن و غیر متحرک کردن یون‌های رادیواکتیو از فاضلاب‌ها به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد (زینالی، ۱۳۹۳).

۵-۶- طبقه‌بندی زئولیت‌ها

زئولیت‌ها بر اساس معیارهای مختلفی طبقه‌بندی شده‌اند که شامل نحوه تشکیل، شکل بلور، خواص شیمیایی، ساختار بلور، نسبت Si/Al و ... می‌باشد.

۵-۶-۱- تقسیم‌بندی بر اساس نحوه تشکیل

۵-۶-۱-۱- زئولیت طبیعی

بر اساس منشأ شکل‌گیری آنها که از این نظر، زئولیت‌ها به سه نوع رسوبی، آتشفشانی و دگرگونی تقسیم‌بندی می‌شوند. این کانی‌ها در ابتدا به صورت یک جزء فرعی اما به صورت گسترده در حفره‌های سنگ‌های بازالتی شناسایی شدند و استفاده از آنها به این صورت، در مقیاس‌های صنعتی، عملی سخت و طاقت فرسا بوده است. تشکیل زئولیت‌ها تنها به سنگ‌های بازالتی محدود نشده است، بلکه در رسوبات متنوعی (محیط‌های نمکی و دریاچه‌های قلیایی و ...) در چند دهه گذشته شناسایی شده‌اند (در زئولیت-های رسوبی نسبت Si/Al بالاتر از زئولیت‌های آتشفشانی است)، زئولیت‌های موجود در ایران اکثراً از نوع رسوبی هستند، در حالی که اکثر گونه‌های طبیعی زئولیت‌های موجود در جهان از نوع آتشفشانی هستند. زئولیت‌های طبیعی فراوان بوده و بعضی از رسوبات حاوی زئولیت دارای یک فاز زئولیتی خاص با خلوص ۹۰٪ می‌باشد. از بین زئولیت‌های طبیعی فقط ۹ نوع شامل (ناترولیت، آنالسیم، تامسونیت،

کلینوپتیلولایت، فیلیپسیت، استیلیت، شابازیت، لامونتیت و موردنیت (جدول ۵-۱) به مقدار زیاد در طبیعت یافت می‌شوند. زئولیت‌های منطقه مورد مطالعه از نوع طبیعی و شامل ناترولیت، آنالسیم و تامسونیت می‌باشند. خواص فیزیکی و شیمیایی زئولیت‌های طبیعی متفاوت بوده و در بین نمونه‌های مختلف یک نوع خاص از زئولیت، نیز تفاوت‌هایی در خواص فیزیکی (اندازه منفذ، اندازه بلور، ظرفیت تبادل یونی و ظرفیت جذبی) و ترکیب شیمیایی وجود دارد (خلقی، ۱۳۶۹؛ کسرای، ۱۳۸۸). به طور کلی عواملی نظیر ساختمان، بافت، ترکیب شیمیایی و نیز ارزش اقتصادی زئولیت‌های طبیعی و فرمهای اصلاح شده، آنها را به منابع بالقوه‌ای در زمینه‌های گوناگون تبدیل ساخته است که از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. در صنعت نفت (Venuto and Dekker, 1979; Chen et al., 1994, 2009)، در بخش کشاورزی (St. cloud, 2007)، جداسازی گاز (Kerry, 2007)، تصفیه آب خانگی (Mcketta, 2000; Kawamura, 1999) و بازیافت و حذف زباله‌های هسته‌ای (Auerback et al., 2003).

جدول ۵-۱: مهم‌ترین و فراوان‌ترین زئولیت‌های طبیعی به همراه فرمول شیمیایی و برخی از خواص آنها (Jihong, 2007).

نام کانی زئولیت	فرمول شیمیایی ایده‌آل زئولیت‌ها	سال کشف	چگالی	Si/ Al	کاربرد
ناترولیت	$\text{Na}_{16}[\text{Al}_{16}\text{Si}_{24}\text{O}_{80}].16\text{H}_2\text{O}$	۱۷۵۸	۱/۷۶	۱/۵	جذب هیدروکربن‌ها
تامسونیت	$\text{Na}_5\text{Ca}_7[\text{Al}_{19}\text{Si}_{21}\text{O}_{80}].24\text{H}_2\text{O}$	۱۸۰۱	۱/۷۶	۱	جذب هیدروکربن‌ها
فیلیپسیت	$(\text{Ca}, \text{Na}_2, \text{K}_2)[\text{Al}_3 \text{Si}_5 \text{O}_{16}].6\text{H}_2\text{O}$	۱۸۲۴	۱/۸۵	۲/۲	بازیافت
استیلیت	$\text{Na Ca}_4 [\text{Al}_9 \text{Si}_{27} \text{O}_{72}].28\text{H}_2\text{O}$	۱۷۵۶	۱/۶۴	۳/۵	جذب فلزات سنگین
شابازیت	$(\text{Na}, \text{K}, \text{Ca}_{0.5})_4[\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{24}].12\text{H}_2\text{O}$	۱۷۷۲	۱/۴۵	۲	جذب جیوه و نقره- جدانمودن ترکیب الکل‌ها
لامونتیت	$\text{Ca} (\text{Al}_2 \text{Si}_2) \text{O}_8. 4\text{H}_2\text{O}$	۱۷۸۵	۱/۷۷	۵/۸	جذب پارافین و الکل
موردنیت	$(\text{Na}_2, \text{Ca}, \text{K}_2)[\text{Al}_2 \text{Si}_{10} \text{O}_{24}].7\text{H}_2\text{O}$	۱۸۶۴	۱/۷	۵	تغلیظ لیتیم
کلینوپتیلولایت	$(\text{Na}, \text{K})_6 [\text{Al}_6 \text{Si}_{30} \text{O}_{72}].20\text{H}_2\text{O}$	۱۸۹۰	۱/۷۱	۵	اصلاح خاک‌های آلوده- جذب نیتروژن
آنالسیم	$\text{Na}_{16}[\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}].16\text{H}_2\text{O}$	۱۷۸۴	۱/۸۵	۲	صنایع چینی و سرامیک

۵-۶-۱-۲- زئولیت‌های مصنوعی

زئولیت‌های مصنوعی، کانی‌های شیمیایی ویژه‌ای با خلوص بالا هستند که دامنه‌ی کاربرد وسیعی دارند. پژوهشگران پیش از سال ۱۹۵۰ تصور می‌کردند که تشکیل زئولیت‌ها مستلزم ایجاد درجه حرارتی در حدود ۲۰۰ تا ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد و دهها اتمسفر فشار می‌باشد. اما در سال ۱۹۵۷ شیمیدان‌ها موفق شدند زئولیت‌هایی در دمای پایین (۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) و در مقیاس صنعتی تهیه نمایند. اکنون انواع مختلفی از زئولیت‌های مصنوعی در جهان وجود دارد که بوسیله فرایند سرد شدن (متبلور شدن) آهسته زل سیلیکات آلومینیوم با منشاء قلیایی یا آلی به وجود می‌آیند. یکی از فرایندهای مهم تشکیل این زئولیت‌ها رسوب زئولیت مصنوعی از پروژه سل-ژل می‌باشد. زئولیت مصنوعی از ژلاتین سیلیکات آلومینیوم و هیدروکسید سدیم در درجه حرارت بین ۱۷۵-۲۵ درجه سانتی‌گراد ساخته می‌شود. ابتدا $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ را در محلول داغ NaOH حل و سپس با سیلیکات سدیم (Na_2SiO_3) مخلوط می‌نمایند. مخلوط حاصل به مخازن ویژه تشکیل ژل منتقل می‌شود. بلورهای زئولیت در دمای حدود ۹۴ درجه سانتی‌گراد از محلول ژل شروع به تبلور می‌نمایند. با کنترل pH سیستم، واکنش‌گرها و زمان قرارگیری مواد در ظرف واکنش و چگونگی واکنش سل-ژل انواع مختلفی از این نوع زئولیت ساخته و تولید می‌شود. یکی دیگر از روش‌های تولید زئولیت مصنوعی، دگرسانی کائولن است. ابتدا کائولن حرارت داده می‌شود تا به متا کائولن تبدیل شود بعد آن را کلسینه نموده و سپس با استفاده از محلول اسیدی مقداری از سیلیس آن را آزاد نموده و محصول را با NaOH شستشو می‌دهند (زینالی، ۱۳۹۳).

از معمولترین زئولیت‌های مصنوعی می‌توان تیپهای X, Y, ZMS-5 و A را نام برد (محمدخانی و همکاران، ۱۳۹۵).

۵-۶-۲- تقسیم‌بندی بر اساس شکل بلور

قدیمی‌ترین تقسیم‌بندی بر اساس شکل بلور است. در این تقسیم‌بندی زئولیت‌ها به بلورهای رشته‌ای، ستونی و مختلط تقسیم‌بندی می‌شوند (زینالی، ۱۳۹۳).




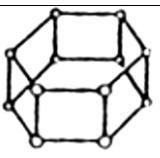
۵-۶-۳- تقسیم‌بندی بر اساس خواص شیمیایی

نوع سوم تقسیم‌بندی براساس خواص اسیدی یا بازی زئولیت‌ها بنا شده است. در این تقسیم‌بندی زئولیت‌هایی که نسبت Si/Al در آن‌ها بالاتر از ۵ باشد، جزء زئولیت‌های اسیدی و زئولیت‌هایی که در آن‌ها این نسبت از ۵ کمتر باشد، جزء زئولیت‌های قلیایی طبقه‌بندی می‌شوند (Kogel et al., 2006 و کریمی، ۱۳۹۲).

۵-۶-۴- تقسیم‌بندی بر اساس ساختار

دسته‌بندی زئولیت‌های طبیعی و مصنوعی به وسیله اسمیت (Smith) (۱۹۶۳)، فیشر (Fisher) (۱۹۵۶) و بریک (Breck) (۱۹۷۴) مطرح شد. نخستین طبقه‌بندی توسط فیشر (۱۹۵۶) بر پایه ساختمان ثانویه انجام شد ولی در این جا طبقه‌بندی Breck که در آن علاوه بر ساختمان ثانویه، ساختار و شکل زئولیت‌ها را نیز در نظر گرفته است، در جدول ۲-۵ آورده شده است (Cusker et al., 2007;) (Baerlocher et al., 2007; Newsam et al., 1992).

جدول ۲-۵: طبقه‌بندی زئولیت‌ها به روش Breck (۱۹۸۴) بر پایه ساختار کانی.

شکل	زئولیت	ساختار
	آنالسیم، فیلیپسیت، گیسموندین، لامونتیت و هارموتوم	دارای چهار حلقه منفرد (S4R)
	اریونیت، فریریت و لووین	دارای شش حلقه منفرد (S6R)
	زئولیت A	دارای چهار حلقه مضاعف (D4R)
	شاپازیت، فوجاسیت و زئولیت‌های X و Y	دارای شش حلقه مضاعف (D6R)

	ناترولیت، اسکولسیت، مزولیت، تامسونیت و ادینگتونیت	دارای پنج حلقه چهاروجهی (T ₅ O ₁₀)
	موردنیت، اپی استیلبیت و بیکتایت	دارای ساختار هشت وجهی (T ₈ O ₁₆)
	هولاندیت، استیلبیت، بروستریت و کلینوپتیلولیت	دارای ۱۰ واحد چهاروجهی (T ₁₀ O ₂₀)

۵-۶-۵ - تقسیم‌بندی بر اساس نسبت (Si/ Al)

این نوع طبقه‌بندی بر اساس نسبت (Si/ Al) می‌باشد که برای ژئولیت‌های طبیعی به کار می‌رود و این

نوع طبقه‌بندی در جدول ۳-۵ آمده است (Baerlocher et al., 2001; Guthrie, 1997).

جدول ۳-۵: طبقه‌بندی کانی‌های ژئولیت طبیعی بر اساس نسبت Si/ Al

$Si/Al \leq 2$ (مقدار سیلیس کم)	$2 < Si/Al < 5$ (مقدار سیلیس متوسط)	$Si/Al > 5$ (سیلیس بالا)
لامونیت (LAU)	فریریت (FER)	فریریت (FER)
لووین (LEV)	هولاندیت (HEU)	کلینوپتیلولایت (CL)
آنالسیم (ANA)	بروسیت (BRE)	
بیکتایت (BIK)	اپی استیلبیت (EPI)	
کانکرنیت (CAN)	شابزیت (CHA)	
ادینگتونیت (EDI)	اریونیت (ERI)	
فیلیپسیت (PHI)	داشیاریت (DAC)	
ناترولیت (NAT)	موردنیت (MOR)	
گیسموندین (GIS)	آفریت (OFF)	
تامسونیت (THO)	استیلبیت (STI)	

۵-۷- زمین‌شناسی و محیط پیدایش زئولیت‌ها

زئولیت‌ها بیش از ۲۰۰ سال است که شناخته شده‌اند اما به کارگیری آن‌ها از دهه پنجاه میلادی به بعد آغاز شد و زمین‌شناسان به خاستگاه زمین‌شناسی آن‌ها تازه آگاه شده‌اند. زئولیت‌ها در خلل و فرج سنگ‌های آتشفشانی بازیک مانند بازالت‌ها، بازالت‌های آکالی و محیط هیدروترمالی و همچنین سیلیکات‌های درجا در سنگ‌های رسوبی، توف‌های ولکانیکی در حوضه‌های دریاچه‌ای آب شور، توف‌های سستبر دریایی و محیط‌های دگرگونی تدفینی یافت می‌شوند. به طور کلی می‌توان محیط‌های پیدایش زئولیت‌ها را به محیط‌های رسوبی، آذرین و دگرگونی تقسیم‌بندی کرد (جدول ۵-۴).

جدول ۵-۴: محیط تشکیل و پیدایش زئولیت‌ها (طوطی و همکاران، ۱۳۸۹؛ حیدری و همکاران، ۱۳۹۰):

محیط‌های نمکی و دریاچه‌های قلیایی	محیط‌های رسوبی	محیط تشکیل و پیدایش زئولیت‌ها
خاک‌های نمکی، قلیایی و خاک‌های سطح زمین		
رسوبات ژرف دریا		
مناطق دگرسانی		
مناطق با سیستم آب‌های باز		
خلل و فرج سنگ‌های آذرین بازیک	محیط‌های آذرین	
سنگ‌های آذرآواری به ویژه توف‌ها		
محیط‌های گرمابی		
سنگ‌های دگرگونی تدفینی	محیط‌های دگرگونی	

۵-۸- کاربرد زئولیت‌ها

زئولیت‌هایی که در زندگی روزمره ما حضور دارند، به طور گسترده‌ای به عنوان جاذب‌ها، تبادلهای یونی در شوینده‌ها، به عنوان کاتالیست‌های صنعتی برای بهبود بخشیدن و یا تولید سوخت‌های مایع و

حدواسطه‌هایی برای صنایع پتروشیمی، شیمیایی یا دارویی به کار برده می‌شوند (جدول ۵-۵). علاوه بر این، ویژگی‌های منحصر به فرد شیمی فیزیکی و عملکرد بالای آن‌ها، زئولیت‌ها مزیت دیگری نیز دارند؛ آن‌ها دوستار محیط زیست، ایمن و پایدار هستند که این یک نیروی محرکه‌ی کلیدی برای افزایش کاربرد آن‌ها به عنوان جایگزین‌های سبز به طور مثال برای کلر در استخرهای شنا، پلی فسفات‌ها در شوینده‌ها، یا اسیدهای معدنی مانند هیدروکلریک، هیدروفلوئوریک یا سولفوریک اسید در تعدادی از فرآیندهای صنعتی کاتالیزوری می‌باشند. نقش زئولیت‌ها به عنوان تبادلهای یونی در شوینده‌ها بیشترین حجم زئولیت‌ها در بازار را به خود اختصاص داده است، در حالی که از لحاظ قیمت در بازار، زئولیت‌هایی که به عنوان کاتالیزور مورد استفاده قرار می‌گیرند، بالاترین قیمت را دارند (حبیبی، ۱۳۹۴). همچنین زئولیت‌ها به خاطر ساختار ویژه‌ای که دارند، می‌توانند مولکول‌های آب را جذب کنند و یا با ترکیبات دیگر تبادل یونی انجام دهند. همچنین با توجه به اینکه قطر مجاری موجود در ساختار زئولیت‌ها متفاوت است و می‌توانند یون‌های ویژه‌ای را از خود عبور دهند، به آن‌ها الک‌های مولکولی گفته می‌شود. در ادامه به عنوان مثال به کاربرد برخی از زئولیت‌هایی که در ایران کار شده است پرداخته و انواعی از کاربردها را مختصراً توضیح خواهیم داد.

جدول ۵-۵- انواع کاربردهای زئولیت همراه با زیرشاخه‌های موجود (منهاج‌بنا و همکاران، ۱۳۸۲).

انواع کاربردهای زئولیت	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ جذب مواد سمی یا مواد با فعل و انفعالات زیاد ✓ پلیمریزه کردن پلیمرها و لاتیک‌ها ✓ تولید کود 	<ul style="list-style-type: none"> • در کارگاه‌های تعمیر ماشین آلات و جایگاه‌های توزیع مواد سوختنی
<ul style="list-style-type: none"> ✓ تهیه سرامیک‌های زئولیتی 	<ul style="list-style-type: none"> • استفاده در مصالح ساختمانی
<ul style="list-style-type: none"> ✓ حاصلخیز کننده خاک و بهبود توزیع حاصلخیزکننده‌ها ✓ تهیه کودهای گیاهی و تهیه زئوپونیکس ✓ پرورش گل‌ها ✓ پرورش گل‌های گلدانی ✓ ساخت حشره‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها و علف‌کش‌ها ✓ جذب فلزات سنگین 	<ul style="list-style-type: none"> • کاربرد زئولیت‌ها در کشاورزی

<ul style="list-style-type: none"> ✓ پرورش آبزیان ✓ پرورش خوک‌ها ✓ در گاوداری ✓ در مرغداری ✓ حفظ و نگهداری علوفه 	<ul style="list-style-type: none"> • کاربرد ژئولیت‌ها در دامپروری
<ul style="list-style-type: none"> ✓ تصفیه فاضلاب‌ها ✓ تصفیه آب‌های آلوده حاصل از فعالیت‌های کشاورزی ✓ استخراج آمونیاک از فاضلاب‌ها 	<ul style="list-style-type: none"> • کاربرد ژئولیت‌ها در تصفیه آب
<ul style="list-style-type: none"> ✓ تصفیه و بهسازی هوا ✓ خالص‌سازی گازهای طبیعی ✓ تولید اکسیژن ✓ زدودن بوهای نامطبوع 	<ul style="list-style-type: none"> • کاربرد ژئولیت در تصفیه، تولید و بهسازی گازها
<ul style="list-style-type: none"> ✓ داروسازی 	<ul style="list-style-type: none"> • کاربرد ژئولیت در پزشکی
<ul style="list-style-type: none"> ✓ جاذب رادیو ایزوتوپ‌های خطرناک ✓ کاهش‌دهنده آلودگی‌های رادیواکتیوی ✓ غنی‌سازی ایزوتوپی ✓ مدفون کردن یا تجزیه و تخریب زباله‌های رادیواکتیو 	<ul style="list-style-type: none"> • کاربرد ژئولیت در صنایع هسته‌ای
<ul style="list-style-type: none"> • جذب نفت و رفع آلودگی‌های نفتی • خالص‌سازی محصولات نفتی • پرکننده در کاغذ • شوینده‌های خانگی • تهیه هادی‌های الکتریکی ژئولیتی • کاربردهای کاتالیتیکی جدید ژئولیت‌ها • الکترودهای اصلاح شده ژئولیتی • متالورژی • کربناسیون نوشابه‌ها • محافظت ابزار ماشین آلات در برابر زنگ زدگی 	<ul style="list-style-type: none"> • دیگر کاربردها

ناترولیت یک ژئولیت طبیعی متراکم است که ورود آب و کاتیون‌ها در آن به سختی صورت می‌گیرد (Barrer, 1979; Dyer et al., 1998). تاکنون بیشتر مطالعات انجام شده برای بررسی قابلیت تبادل یونی ناترولیت در محلول‌ها صورت گرفته است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که فرایند تبادل یونی در محلول‌ها در این ژئولیت بسیار محدود است. از آنجا که ناترولیت بین ژئولیت‌های هم خانواده‌ی خود

بیشترین پایداری گرمایی را داراست و تا دمای ۹۴۰ درجه سانتی‌گراد پایدار است، لذا می‌توان از نمک-های مذاب برای بررسی فرایند تبادل یون در این زئولیت استفاده کرد (Artioli et al., 1986). بر اساس نتایج پژوهشی فقیهیان و همکاران (۱۳۸۶)، امکان تهیهی فرم‌های تعویض‌شده از زئولیت طبیعی ناترولیت برای کاتیون‌های سزیم، پتاسیم و تالیم در محیط مذاب وجود دارد. در حالی که تعویض این کاتیون‌ها در محیط آبی همواره ناچیز بوده است (Faghihian, 1987). در فرایند تعویض در محیط‌های مذاب، افزایش دما، درصد تعویض را افزایش می‌دهد و بین گونه‌هایی که در شرایط دمایی نسبتاً یکسانی تهیه شده‌اند، گونه‌هایی با نسبت بار به شعاع بیشتر، درصد تعویض بالاتری دارند. روش مذاب را می‌توان برای زئولیت‌های دیگر که مانند ناترولیت ساختار فشرده‌ای دارند به کار برد و خاصیت گزینش آن‌ها را افزایش داد.

یکی دیگر از موارد استفاده زئولیت‌ها در آب ترش می‌باشد. آب ترش آب حاوی سولفید هیدروژن است که در آب‌های زیرزمینی و آب گرم‌ها و همچنین در پساب‌های پالایشگاه‌های نفت مشاهده می‌شود. از لحاظ صنعتی مطالعات بسیاری برای حذف هیدروژن سولفید مخصوصاً در پالایشگاه‌ها انجام شده است. زیرا که حضور این ناخالصی اشکالات متعددی را در عملیات فرآیندی و مصرف فرآورده‌ها ایجاد می‌نماید که مهمترین آنها:

۱- آلودگی محیط زیست

۲- ایجاد ناپایداری در فرآورده‌ها

۳- بوی آزاردهنده

۴- خوردگی در دستگاه‌ها و تاسیسات

۵- مسمومیت کاتالیزورهای واحدهای پالایشی

آلاینده‌های آلی موجود در آب‌های جاری و پساب‌های صنعتی را می‌توان یکی از اساسی‌ترین مشکلات زیست محیطی در کشورهای پیشرفته و در حال توسعه به شمار آورد. در این میان ترکیبات و مشتقات

آنیلین و فنل از آلاینده‌های آلی اولویت‌دار به حساب آمده و دارای اثرات ثابت شده و یا مشکوک به ایجاد سرطان، بیماری‌های پوستی و .. می‌باشند. ترکیبات فنلی حتی در غلظت‌های بسیار اندک بر روی اکوسیستم‌های آبی اثرات زیان‌بار داشته و باعث بدبو و بد طعم شدن آب می‌گردد. زئولیت‌ها آلومینوسیلیکات‌های آبداری می‌باشند که از دیرباز در جهت حذف آلاینده‌های محیطی گوناگون مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

برای فرایند حذف از ناترولیت طبیعی به عنوان یک جاذب سطح ارزان قیمت و قابل بازیابی استفاده می‌شود که در شرایط بهینه به طور میانگین ۳۰ درصد از آلاینده را به خود جذب کرده و از پساب جدا نموده است. اضافه کردن آلفاسیکلودکستین به آب حاوی آلاینده میزان جذب را تا ۷۰ درصد افزایش داده است که این پدیده به دلیل تشکیل کمپلکس میهمان-میزبان میان آلفاسیکلودکستین و مولکول آلاینده‌ها و در نتیجه تغییر شرایط قطبی برای جذب آلاینده که درون حفره سیکلودکستین قرار گرفته بر روی ناترولیت مناسب‌تر بوده است و در نتیجه میزان جذب افزایش یافته است (راضی و همکاران، ۱۳۷۹). یکی از مفیدترین کاربردهای زئولیت‌های طبیعی جذب گازهایی مانند:

H_2S , NH_3 , SO_2 , Co , CO_2 , O_2 , Ar , Kr

است. که از این میان جذب گاز آمونیاک و هیدروژن سولفور از مهم‌ترین آن کاربردها است. مطالعات نشان داده‌اند که زئولیت طبیعی قادر به جذب این گاز بدبو است و در تصفیه فاضلاب‌های خانگی و صنعتی کاربرد دارد. مطالعات بسیار وسیعی در مورد کاربرد زئولیت‌ها برای حذف و جذب ترکیبات گوگرد دار انجام شده است. همچنین دانشمندان نشان داده‌اند که زئولیت‌های حاوی مولیبدن قدرت جذب هیدروژن سولفید را دارد. مولیبدن بر روی زئولیت بر اثر عبور هیدروژن سولفید آن را جذب کرده و به واحدهای MoS_2 تبدیل می‌شود. از زئولیت‌ها به عنوان مواد تصفیه‌کننده نیز استفاده می‌گردد. به عنوان مثال اگر آب سخت، که حاوی یون‌های کلسیم می‌باشد، از مخزن حاوی زئولیت نوع ناترولیت عبور داده شود، یون‌های کلسیم جانشین یون‌های سدیم زئولیت می‌شود و یون‌های سدیم وارد آب

می‌شود و باعث سبک شدن آب می‌گردد. طی این فرایند ترکیب زئولیت شبیه اسکولسیت می‌شود. با فعال کردن مجدد این نوع زئولیت انجام واکنش‌هایی در جهت عکس حالت قبل دوباره زئولیت ترکیب اولیه خود را به دست می‌آورد.

۵-۸-۱- کاربرد زئولیت‌ها در صنعت نفت

زئولیت‌ها دارای ساختار بلورین ویژه‌ای بوده که قدرت تعویض یونی، غربال مولکولی و خاصیت جذبی آنان را سبب می‌شود. از طرفی نفت خام، به ویژه نفت ایران دارای مقادیر زیادی از ترکیبات گوگردی، مانند سولفید هیدروژن و مرکاپتان‌ها می‌باشد. وجود این ترکیبات باعث می‌شود که سطح کاتالیزورهای که در صنعت پتروشیمی برای فرآوری نفت خام مورد استفاده قرار می‌گیرد، توسط این ترکیبات گوگردی غیر فعال شود. با توجه به فراوانی معادن زئولیت‌های طبیعی ایران و بالا بودن خاصیت جذبی آنها، می‌توان از آنها در جذب ترکیبات گوگردی نفت خام استفاده کرد و سرانجام با انجام اصلاحاتی که از طریق تعویض یونی یا وارد نمودن مولکولی حاوی کاتیون‌های آلی در ساختار زئولیت، خاصیت جذبی و گزینش پذیری آنها افزایش داده می‌شود (Breck, 1984; Chavvel et al., 1989).

به طور کلی ترکیبات آلی گوگردی در نفت خام به علت ایجاد مشکلات زیر می‌بایست از برش‌های نفتی، پالایش و جداسازی شوند:

- ترکیبات آلی گوگردی پس از سوختگی به گاز SO_2 تبدیل می‌شوند که این گاز یکی از عوامل ایجاد باران‌های اسیدی است.
- ترکیبات آلی گوگردی کاتالیزورهای مورد استفاده در مراحل Cracking و Hydrocracking را مسموم نموده و باعث کاهش بازده عملیاتی آنها می‌شود.
- بسیاری از ترکیبات Sulfur Polycyclic Aromatic جزء ترکیبات سرطان زا هستند (Xiaoliang, 1997). در حال حاضر برای جداسازی این دسته از ترکیبات از روش

Hydrodesulfurization (HDS) با استفاده از کاتالیزورهای NiMo و CoMo جهت تبدیل ترکیبات گوگردی به گاز H₂S تحت شرایط دما و فشار بالا استفاده می‌شود. اما به دلیل وجود مشکلاتی می‌توان از زئولیت‌های طبیعی از قبیل ناترولیت و تامسونیت استفاده کرد. یکی دیگه از استفاده‌های اصلی زئولیت‌ها در کنترل آلودگی، جدا کردن نفت از محیط‌های آلوده شده است. تجربیات نشان داده که مخلوطی از زئولیت، پرلیت، کربنات سدیم، اسید تارتاریک و یک محلول آلی که معمولاً وزن مخصوصی حدود ۰/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب دارد قادر است به دلیل وزن سبک بیش از ۲۰۰ ساعت بر روی آب مانده و نفت را از سطح آب جذب و جمع‌آوری نماید.

۵-۸-۲- کاربرد زئولیت در پزشکی

زئولیت زیست ماده‌ای فعال و با تخلخل بالایی است که در چند سال اخیر پژوهش‌های زیادی روی کاربردهای متنوع آن در علوم مختلف انجام شده است (محمدخانی و همکاران، ۱۳۹۵). به نظر می‌رسد زئولیت‌ها مواد خوراکی، آنتی‌باکتریال، زیست‌سازگار، غیر سمی با خاصیت جذب بالایی هستند و می‌توان گفت که استفاده از این زیست ماده در زمینه‌های مختلف علوم پزشکی در حال گسترش است. انتخاب زئولیت چه به صورت سنتز و چه طبیعی انتخاب مناسبی برای استفاده در سامانه‌های دارورسانی، بهبود زخم، داربست‌های استفاده شده در مهندسی بافت، پوشش‌دهی ایمپلنت، همودیالیز و جذب گاز است.

۵-۸-۲-۱- کمپلکس داروها با زئولیت (منهاج‌بنا و همکاران، ۱۳۸۲)

زئولیت اصلاح شده با سورفاکتانت می‌تواند به عنوان یک حامل دارو و آزادکننده کلروکین به کار رود. سیکلوفسفامید داروی ضد توموری به طور انتخابی بر پروسه الکیله کننده مواد ژنتیکی سلول تومور اثر می‌کند و مانع تکثیر سلول توموری می‌گردد. با نشان دادن این داروی مفید بر روی ماتریکس زئولیتی، دارو به تدریج در بدن آزاد می‌گردد و این امر نه تنها سبب کاهش اثرات ضد توموری دارو نمی‌گردد. بلکه با مصرف خوراکی این کمپلکس در زمانی که نیاز به تماس طولانی به دارو در بدن می‌باشد، بسیار

مفید خواهد بود، ضمن آن که سطح متابولیت‌های سیتوتوکسیک در بدن به شدت کاهش و عوارض جانبی کمتری بروز خواهد کرد.

۵-۸-۲-۲- کاربرد در درمان سرطان و بیماری‌های خودایمنی (منهاج‌بنا و همکاران، ۱۳۸۲)

گزارشات جدیدی در مورد استفاده از زئولیت‌ها به عنوان یک پتانسیل در درمان سرطان ارائه شده است. رفتار زئولیت‌ها در موش و سگ مبتلا به انواع تومور مورد بررسی قرار گرفته که در بعضی حالات بهبود کامل، در دیگر موارد کاهش اندازه تومور و افزایش نیمه عمر مشاهده شده است. دانشمندان متخصصی در این زمینه معتقدند که مواد سیلیکاته به عنوان یک سوپر آنتی‌ژن‌ها (Super Antigen) عمل می‌کنند. سوپر آنتی‌ژن‌ها گروهی از سموم باکتری و ویروس هستند (نظیر آنتروتوکسین استافیلوکوکی) که می‌توانند در گروه خاصی از سلول‌های T که رسپتور V β را بیان می‌کنند، سبب القای مرگ سلولی ناشی از فعالیت بیش از حد آن‌ها شوند.

۵-۸-۲-۳- سایر کاربردها

زئولیت‌های طبیعی و سنتزی می‌توانند در همودیالیز برای برداشت (NH $_4^+$) به کار روند. زئولیت‌ها می‌تواند پلیمرها را از تخریب در برابر اشعه UV محافظت کند (منهاج‌بنا و همکاران، ۱۳۸۲).

پودرهای زئولیت در درمان بیماری پای ورزشکاران (Athlete's foot)، پسوریازیس و کاهش زمان التیام یافتن جراحات و شکاف‌های جراحات مؤثر است. داروی ضداسهال با نام انتراکس (Enterex) اولین محصول معرفی شده در بازار دارویی کوبا بر پایه زئولیت بوده است (منهاج‌بنا و همکاران، ۱۳۸۲).

زئولیت‌ها مواد مقلد آنزیم هستند و می‌توانند در ساخت حساسه‌های حیاتی استفاده گردند. به تازگی چندین نوع از زئولیت کاملاً مناسب برای ساخت حساسه‌های حیاتی H $_2$ O $_2$ و گلوکز شناخته شده‌اند که حساسیت بالایی داشته و تا ۲ ماه قابلیت استفاده پیاپی دارند. نکته مهم آن است که آلومینوسیلیکات به شرایط اسیدی معده (pH, HCl) حساس هستند و تنها موردی است که برای استفاده خوراکی مناسب

می‌باشد و ساخت ذرات کوچک‌تر از دو میکرون جهت استفاده‌های دارویی زئولیت‌ها ضروری است (منهاج‌بنا و همکاران، ۱۳۸۲).

یکی از مشکلاتی که امروزه نظام‌های سلامت در دنیا با آن روبرو هستند، تجویز و یا مصرف بی‌رویه داروها است. در این میان آنتی‌بیوتیک‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. سیپروفلوکساسین ($C_{17}H_{18}FN_3O_3.HCl, H_2O$)، یکی از مهم‌ترین آنتی‌بیوتیک‌های سنتتیک و از گروه فلوروکوئینولون‌ها می‌باشد که کاربرد گسترده‌ای در پزشکی و دامپزشکی دارد، حضور اتم فلور در ترکیب این آنتی‌بیوتیک، باعث ایجاد ثبات و پایداری آن شده است (Githinji et al., 2011; Akinremi et al., 2012). حضور این آنتی‌بیوتیک در آب آشامیدنی ممکن است باعث ایجاد سردرد، اسهال، عصبی بودن، لرزش، عوارض جدی از جمله نارسایی حاد کلیه، بالا رفتن آنزیم‌های کبدی و ترومبوستوپنی ایجاد می‌کند، بنابراین لزوم حذف این آنتی‌بیوتیک از محیط زیست امری ضروری است (Bajpai et al., 2012; Heydari, 2011). تاکنون تکنیک‌های مختلفی اعم از روش‌های فیزیکی و شیمیایی برای حذف آنتی‌بیوتیک‌ها از آب و فاضلاب به کار گرفته شده است، که هر کدام از این روش‌ها به دلیل یه سری محدودیت چندان مورد استقبال قرار نگرفته‌اند. در مقابل تکنیک جذب سطحی که یکی از روش‌های موثر در تصفیه آب و فاضلاب می‌باشد به دلیل طراحی ساده، سهولت در مدیریت، راندمان بالا، تولید لجن کمتر، سازگاری با محیط زیست و استفاده از جاذب‌های ارزان قیمت و در دسترس مورد استقبال محققان این حوزه قرار گرفته است (Dolatabadi et al., 2016; Shukla et al., 2002). لذا علی‌دادی (۱۳۹۶)، با ترکیب دو جاذب و تهیه کامپوزیت کیتوزان/ زئولیت سعی در حذف آنتی‌بیوتیک سیپروفلوکساسین شده است و نشان داده است که می‌توان زئولیت‌ها را جایگزین جاذب‌های گران قیمت و پرهزینه کرد.

۵-۸-۳- کاربرد زئولیت‌ها در جذب گازها

کاربرد زئولیت به عنوان ماده جاذب اولین بار توسط Barrer (1978) تشخیص داده شد. به طور کلی چگونگی جذب گاز به وسیله یک جامد جذب‌کننده به عواملی مانند فشار، درجه حرارت، طبیعت گاز و

جاذب بستگی دارد. اهمیت زئولیت‌ها به عنوان جاذب در صنایع مختلف، به دلیل عواملی مانند جذب انتخابی مولکول‌ها بر حسب ابعاد مولکولی، جذب ترجیحی مولکول‌های قطبی، سطح هیدروفیل قوی و همچنین تغییر خواص آن‌ها با انجام فرآیندهای تعویض یونی که از ویژگی‌های منحصر به فرد آنها است افزایش می‌یابد. به دلیل این ویژگی‌ها در سال‌های اخیر استفاده از جاذب‌های غربال مولکولی، اساس اجرای بسیاری از جداسازی‌های پیچیده قرار گرفته‌اند. برای رهاسازی گازها، از حل کردن زئولیت در حلال‌های شیمیایی و یا گرم کردن تا درجه حرارت‌های بالاتر استفاده می‌شود.

۵-۸-۴- استفاده به عنوان پرکننده در صنایع کاغذسازی

زئولیت به دلیل وزن کم و دارا بودن خاصیت پوزولان می‌تواند به عنوان پرکننده در صنعت تولید کاغذ استفاده شود. کانسارهای زئولیتی با درخشندگی زیاد در صنعت کاغذسازی و به عنوان پرکننده مورد استفاده فراوانی دارند. زئولیت‌های خردشده دانه‌ریز (حدود ۱۰ میکرومتر) از شاخص درخشندگی ۸۰ و شاخص سایش کمتر از ۳ برخوردارند و به همین دلیل نیز مورد استفاده آن در صنعت کاغذسازی با استقبال گسترده‌ای روبرو گشته است (زینالی، ۱۳۹۳).

۵-۸-۵- استفاده از زئولیت‌ها در شوینده‌ها

زئولیت‌ها بر خلاف فسفات‌هایی که هنوز در شوینده‌ها به کار می‌رود، هیچ آلودگی زیست محیطی را ایجاد نمی‌کنند. سختی آب و یون‌های کلسیم و منیزیم که باعث افزایش سختی آب می‌شوند و در فرایند پاک‌کنندگی شوینده‌ها دخالت می‌نمایند با استفاده از زئولیت جذب می‌شوند. با استفاده از زئولیت‌ها خاصیت تولید کف شوینده و در نتیجه قدرت پاک‌کنندگی آن افزایش می‌یابد (زینالی، ۱۳۹۳).

۵-۸-۶- کاربرد وسیع زئولیت‌ها در صنعت کشاورزی، دام و طیور و آبزیان

برخی از زئولیت‌ها پس از انجام تبادل یونی با کاتیون‌های مغذی و اساسی مورد نیاز گیاهان نظیر پتاسیم و آمونیوم می‌توانند به عنوان حاصلخیزکننده‌های یونی به خاک اضافه شوند. یون‌های مغذی موجود به

تدریج از داخل فاز زئولیت رها شده و در اختیار گیاهان قرار می‌گیرند. علاوه بر یون‌های مغذی اصلی K و NH_4 ، از این طریق می‌توان یون‌های مورد نیاز گیاهان نظیر آهن، مس، منگنز و روی را نیز در اختیار گیاهان قرار داد. استفاده از زئولیت‌های ناخالص به جهت کاهش هزینه و قیمت امکان‌پذیر است. زئولیت‌ها همچنین می‌توانند به عنوان رقیق‌کننده به کودها اضافه شوند و در بهبود شرایط فیزیکی و نگهداری رطوبت خاک نیز موثر هستند.

توانایی جذب آب توسط زئولیت‌ها جالب و مهیج می‌باشد. زئولیت‌ها تا ۷۰ درصد وزنی خودشان آب جذب می‌کنند و بدون اینکه وضعیت خاک بهم بخورد یا مرطوب شود، رطوبت خاک را حفظ می‌کند. برای کشت و پرورش گیاهان ۲۵ درصد زئولیت به خاک کشاورزی اضافه کنید. هزینه‌ای که برای اضافه کردن زئولیت به خاک صرف می‌شود با افزایش محصول گیاهان جبران خواهد شد.

از طرفی تعدادی از قارچ‌ها قادرند سمومی را ترشح کنند که برای سلامت انسان و حیوان مضر و خطرناک می‌باشند. این قارچ‌ها سمومی موسوم به آفلاتوکسین را تولید می‌کند. زئولیت با جذب این سموم ترکیبات پایداری ایجاد نموده و آنرا از محیط حذف می‌نماید.

در کشور ژاپن با افزودن زئولیت‌ها به رژیم غذایی خوک‌ها، ماهیان و نشخوارکنندگان توانسته‌اند میزان رشد آن‌ها را بهبود بخشند. زئولیت‌ها در پرورش آبزیان نیز کاربرد دارند. آمونیم یکی از مسمومیت‌زاترین یون‌هایی است که حتی غلظت کم آن (چند گرم در تن) در محیط‌های آبی خطرناک است. زئولیت‌ها می‌تواند یون‌های آمونیوم را از محیط زندگی آبزیان خارج سازد. با وارد کردن مبادله‌کننده یونی زئولیتی به داخل معده حیوان به وسیله فرایند تبادل کاتیونی می‌توان یون آمونیوم را جذب نموده و به مرور زمان با ورود یون‌های Na^+ و K^+ موجود در بزاق دهان حیوان یون‌های NH_4^+ از داخل زئولیت خارج شده و به مصرف تهیه آمینواسیدها می‌رسند (زینالی، ۱۳۹۳). یکی دیگر از کاربردهای زئولیت‌های طبیعی در صنایع دامپروری استفاده از آن‌ها جهت جذب و کنترل بوی بد پسمان‌ها و فضولات حیوانات است.

۵-۸-۷- کاربرد زئولیت‌ها در مصالح ساختمانی

وسیع‌ترین و حجیم‌ترین استفاده زئولیت‌ها از زمان‌های قدیم تاکنون را می‌توان در صنایع ساختمانی نام برد که از آنها مستقیماً برای ساخت ستون‌های قطور ساختمان‌ها استفاده شده است. بشر از قرن‌ها پیش توف‌های زئولیتی را که در مقایسه با سایر مصالح ساختمانی طبیعی از استحکام فیزیکی و مکانیکی مطلوب‌تری برخوردار بوده‌اند، در ساختن بناها و ساختمان‌ها استفاده کرده است. در چیچن ایتز یوکاتان (Chichen Itz Yokatan) مکزیک هرم‌ها و ساختمان‌های مایان قرار دارند که بسیاری از دانشمندان اعتقاد داشتند آنها از جنس سنگ آهک می‌باشند. آنها تصور می‌کردند این بلوک‌های بزرگ آهکی از فاصله بیش از صد مایلی و به کمک نیروی انسانی به این محل حمل شده‌اند، ولی در واقع، بیشتر این بلوک‌های بزرگ استفاده شده توسط مایان‌ها، بلوک‌های سبک وزن زئولیتی هستند که از فاصله سی مایلی به این محل آورده شده‌اند. از آنجا که در طی قرن‌های متمادی ساختار بلوری زئولیت، آب، ذرات غبار و رسوبات سیلاب‌ها را به خود جذب کرده‌اند، سنگین‌تر شده‌اند.

از عوامل اصلی موثر در بکارگیری زئولیت‌ها به عنوان مصالح ساختمانی می‌توان به دو عامل زیر اشاره کرد:

۱- توانایی ذخیره‌سازی گرما ۲- خاصیت منحصر به فرد زئولیت‌ها در جذب و واجذب برگشت‌پذیر مولکول‌های آب.

تنظیم دمای محیط به کمک زئولیت‌ها از طرفی با تنظیم رطوبت محیط نیز همراه است.

۵-۸-۷-۱- استفاده از زئولیت در صنعت سیمان

در چند سال گذشته با توجه به خصوصیتی که کانی‌های زئولیتی از نظر جذب آب و بعد از دهیدراته شدن پیدا می‌کنند، مورد توجه کارشناسان صنعت سیمان قرار گرفته است. زیرا که با استفاده از کانی زئولیت در مواد اولیه سیمان باعث تغییراتی در جذب آب و مشخصات فیزیکی بتن می‌شود که می‌تواند

در دوام و پایداری بتن نقش مثبت و ارزنده‌ای داشته باشد (زینالی، ۱۳۹۳). امروزه از زئولیت‌ها جهت ساخت سیمان‌های سبک و مقاوم ساختمانی در کشورهای چون ایتالیا، ژاپن و روسیه در سطح وسیع استفاده می‌شود.

۵-۸-۷-۲- تهیه سرامیک‌های زئولیتی

کاربرد زئولیت‌ها به عنوان ماده اولیه در صنایع سرامیک به دلیل توانایی تغییر ترکیب شیمیایی آن‌ها به روش تبادل یون دارای مزایای متعددی است. از جمله این مزایا می‌توان تولید سرامیک‌های رنگی، در اثر استفاده از فرم‌های کاتیونی خاص یک زئولیت را نام برد. به عنوان مثال وارد کردن آهن به صورت یون آهن (II) به ایجاد ماده‌ای با رنگ سبز منجر خواهد شد. خاصیت پف کردن و خارج شدن حباب‌ها از داخل زئولیت‌ها در ساختن سرامیک‌های متخلخل با دانسیته پایین استفاده می‌شود (زینالی، ۱۳۹۳). از جمله زئولیتی که در صنایع ساختمانی بخصوص تهیه سرامیک استفاده می‌شود زئولیت آنالسیم می‌باشد.

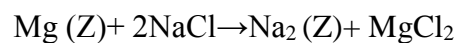
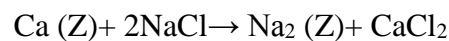
۵-۸-۸- کاربرد زئولیت‌ها در جذب عناصر سنگین

کادمیوم و سرب از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های زیست محیطی محسوب شده و از راه‌های مختلف، منابع آب و خاک را آلوده می‌کنند. وجود این عناصر در محیط ریزوسفر می‌تواند سبب انتقال این عناصر به چرخه غذایی انسان شده و پیامدهای خطرناکی را به دنبال داشته است (Bradl, 2005; Bradl et al., 2005). در طی یکصد سال گذشته رها سازی زهاب‌های خروجی معدن طلا سبب تجمع فلزات سنگین مانند روی، سرب و کادمیوم در خاک‌های اطراف معادن شده است. در عصر حاضر روش‌های مختلفی برای پالایش آب و خاک آلوده به فلزات سنگین ابداع شده، اما اکثر این روش‌ها پرهزینه و زمان‌بر است. تثبیت شیمیایی آلاینده‌ها در خاک یک روش مناسب با قابلیت کاربرد در مکان‌های با غلظت زیاد آلاینده در وسعت زیاد بوده و بسته به نوع جاذب مورد استفاده می‌تواند کم هزینه و دائمی باشد (Hamidpour

(et al., 2010). زئولیت اخیراً به واسطه ظرفیت جذب زیاد و هزینه کم به عنوان جاذب مناسب در پالایش خاک‌های آلوده استفاده می‌شوند (شاهمرادی و همکاران، ۱۳۹۶).

۵-۸-۹- کاربرد زئولیت‌ها در تصفیه آب

یکی از روش‌های کاستن درجه سختی آب، روش عوض کردن یون‌ها می‌باشد. پر استعمال‌ترین روش عوض کردن یون‌ها، روش پرموتیت است که در آن آب سخت را از صافی‌های سربسته تحت فشار می‌گذارند. در این صافی‌ها، ذرات رزین از سیلیکات آلومینیم آبدار یعنی زئولیت به صورت طبیعی خود و یا به صورت مصنوعی تشکیل می‌شوند. بستگی به درجه سختی آبی که تصفیه می‌گردد زئولیت‌ها پس از مدتی خاصیت خود را از دست می‌دهند. در این صورت بایستی برای ادامه کار مطابق رابطه:



Z=نمک مورد نظر

می‌توان با جریان آب نمک غلیظ، سیلیکات کلسیم و منیزیم بدست آمده در صافی را دوباره به زئولیت کارآمد و احیاء شده تبدیل کرد. از این گونه صافی‌ها اکنون در تصفیه خانه آب آشامیدنی شهر کرمان استفاده می‌شود.

۵-۹- اکتشاف زمین‌شناسی زئولیت‌ها

نظر به روش تشکیل زئولیت‌ها و نحوه رخداد آن‌ها در سنگ‌های میزبان، اکتشاف آن‌ها بیشتر بر پایه زمین‌شناسی استوار است و معمولاً از روش‌های کلاسیک و ابزاری اکتشاف نمی‌توان برای اکتشاف آن‌ها بهره برد. بنابراین پایه و اساس اکتشاف آن‌ها بر اساس روش‌های زمین‌شناسی به شرح ذیل است:

۱- آگاهی از محیط تشکیل

آگاهی از محیط تشکیل زئولیت‌ها مهمترین عامل در اکتشاف زمین‌شناسی آنهاست. زئولیت‌ها در محیط‌های زمین‌شناسی مختلف از قبیل سنگ‌های آتشفشانی، آذرآواری، دیاژنتیک و دگرگونی درجه پایین تشکیل می‌شوند. بنابراین اگر در منطقه از هر کدام از این واحدهای سنگی حضور داشته باشند، امکان رخداد زئولیت وجود خواهد داشت. مطالعه و بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی و گزارش‌ها، طرح‌های تحقیقاتی، ژورنال‌ها و مقالات زمین‌شناسی در مورد هر منطقه در این زمینه راه گشاه خواهد بود.

۲- شناسایی مناطق مستعد

مناطق مستعد برای کانه‌زایی زئولیت‌ها شامل موارد ذیل هستند:

- مناطق دارای سنگ‌های آتشفشانی (بازالت)
- مناطق دارای سنگ‌های آذرآواری
- مناطق دارای سنگ‌های رسوبی، آذرآواری که متحمل دیاژنز شده باشند.
- مناطق با سنگ والد آتشفشانی و آذرآواری که متحمل دگرگونی درجه پایین رخساره زئولیت شده‌اند.

۳- بازدیدهای زمین‌شناسی و مطالعه گزارش‌های زمین‌شناسی

اکتشاف ذخایر زئولیت سخت نیست ممکن است یافتن رگچه‌ها یا بلورهای تیپیک مقداری مشکل باشد، همچنین توسط کوه‌پیمایی ساده و روش‌های صحرایی به راحتی شناسایی می‌شوند. زئولیت‌ها به سبب ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی یک‌سری آزمایشات صحرایی جهت شناسایی دارند از جمله اینکه به شدت جاذب رطوبت هستند و با لمس زبانی تست می‌شوند. دارای شکست و ساختار شیشه‌ای یا صدفی و دارای سطوح صاف و نرم هستند. مقاومت مکانیکی بالایی دارند و اگر خالص

عاری از کانی‌های دیگر مثل بنتونیت باشند، بر اثر رطوبت نرم نشده و در آب حالت کلوئیدی پیدا نمی‌کنند (پورمقدم، ۱۳۸۹).

۴- نمونه‌برداری و ارزیابی‌های فنی

زئولیت‌ها به علت ریز دانه بودن، نمودی همسان با کانی‌های رسی و فلدسپات‌های آلت‌ره شده دارند. لذا، در این مناطق باید از سطح به ژرفا به فواصل منظم نمونه‌برداری انجام شود (نمونه‌برداری به صورت جانبی هم انجام می‌شود).

۵- انجام آزمایش‌های مورد نیاز

در آزمایشگاه با استفاده از پرتو ایکس (XRD) کانی‌های زئولیتی را شناسایی و منطقه دارای زئولیت، مورد پی جویی قرار داده می‌شود.

۵-۱۰- فرآوری زئولیت‌ها

خوشبختانه بعضی از دانشمندان به این نتیجه رسیده‌اند که فرآوری را به صورت ریشه‌ای و از معادن شروع کنند. امروزه در دنیا اگر بیش از ۸۵ نوع زئولیت طبیعی وجود دارد بیش از صدها نوع زئولیت مصنوعی داریم. در بحث فرآوری دو شکل فرآوری وجود دارد:

تغلیظ و خارج نمودن ناخالصی‌های زئولیت، اصلاح ساختاری زئولیت‌ها که در اینجا همکاری شیمیست‌ها در کنار مهندسان معدن و زمین‌شناس را لازم می‌دانیم. به طور مثال اگر نیاز به افزایش تغییرات در کاتیون‌های همراه زئولیت داشته باشیم طبعاً بهتر است که ذخیره‌ای را انتخاب کنیم که از ابتدا کاتیون مناسب را داشته باشد یا از قدرت تغییر بیشتری برخوردار باشد. مثلاً زئولیت‌های سدیک مناسب جهت افزایش کاتیون سدیم است. حال اگر در فرآوری زئولیت‌ها به زئولیتی با حفرات بزرگتری نیاز داشته باشیم باید رگه‌ی معدنی را با اندازه حفره‌ای بزرگتر انتخاب کنیم همچنین در فرآوری زئولیت‌ها روش‌های شیمیایی و حرارتی بسیاری جهت فعال کردن و افزایش راندمان وجود دارد و فرآوری و استفاده‌ی

تخصصی بهتر با راندمان بالاتر زئولیت‌های طبیعی که اصلاح ساختاری نامیده می‌شود. خوشبختانه شیمیست‌ها (دکتر حسین فقیهیان و دکتر علی مصطفوی، ۱۳۷۶؛ دکتر بدیعی و نعمتی، ۱۳۸۵؛ دکتر ناصر عزیزی و همکاران، ۱۳۸۹؛ دکتر نوروزی فر و خراسانی مطلق، ۱۳۹۲ و دکتر اصلانی و دکتر بحرودی، ۱۳۹۲) در ایران بر روی این موضوع به خوبی کار می‌کنند.

۵-۱۱- تخمین ذخیره

محاسبه ذخیره یکی از هدفهای مهم عملیات اکتشافی است و تنها پس از این مرحله است که می‌توان در مورد کنسار قضاوت و امکان استخراج اقتصادی آن را بررسی کرد. نکته مهمی که در مورد محاسبه ذخیره باید در نظر داشت آن است که چون ذخیره ماده معدنی بر اساس اطلاعات محدود انجام می‌گیرد، لذا به هر حال، توأم با خطا خواهد بود. البته بسته به میزان و دقت اطلاعات موجود، اعتبار ذخایر مختلف متفاوت است و به گروه‌های مختلف تقسیم می‌شوند. در واقع می‌توان گفت که ذخیره حقیقی ماده معدنی هنگامی به دست می‌آید که آخرین ذرات ماده معدنی استخراج شده باشد (ویلهمولمر، ۱۳۷۳).

برای محاسبه حجم و توناژ ذخایر معدنی روش‌های گوناگونی وجود دارد که متناسب با هر نوع ذخیره می‌توان یکی از آن‌ها را برگزید. این روش‌ها به دو گروه تقسیم می‌شوند: محاسبه ذخیره بر مبنای مقاطع عرضی و محاسبه بر مبنای مقاطع طولی یا افق‌های ذخیره (یعقوب‌پور، ۱۳۸۳).

استانداردهای گوناگون در رده‌های ذخیره وجود دارد، برای مثال، اولین تقسیم‌بندی ذخایر معدنی، در آمریکا در ۱۹۰۲ توسط آرگال انجام شد. تقسیم‌بندی متداول‌تر از آن، که به نام هوور معروف است، در سال ۱۹۰۹ ارائه شد که طی آن، تمام ذخایر معدنی به سه دسته قطعی، احتمالی و ممکن تقسیم می‌شد و این تقسیم‌بندی، تا سال‌های ۱۹۳۴ در کشور انگلستان مورد استفاده بود. از جمله روش‌های محاسبه ذخیره شامل: محاسبه ذخیره به وسیله روش مقاطع، روش مثلث بندی، روش چند ضلعی، چند ضلعی قطعه ماتریس، روش منحنی‌های تراز و تخمین ذخیره به روش زمین آمار (یعقوب‌پور، ۱۳۸۳).

برای محاسبه ذخیره کانسار به روش‌های کلاسیک، ابتدا باید آن را به قسمت‌هایی که مشخصات ماده معدنی در آنها کمابیش یکنواخت باشد تقسیم کرد و در مورد هر منطقه، ابتدا وزن کانسنگ را به دست آورد و از حاصل ضرب آن در عیار، ذخیره کانسار را محاسبه کرد. ذخیره کلی کانسار از حاصل جمع ذخایر این مناطق به دست می‌آید. در مورد هر یک از مناطق روابط ساده زیر را می‌توان نوشت (ویلهم-ولمر، ۱۳۷۳):

$$V = At \quad (1-5)$$

که در آن A مساحت مقطع ماده معدنی و t ضخامت واقعی آن است.

وزن کانسنگ از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$W = VY \quad (2-5)$$

که در آن V حجم و Y وزن مخصوص ماده معدنی است.

$$P = WG \quad (3-5)$$

که در آن P وزن ماده معدنی، W وزن کانسنگ و G عیار ماده معدنی است.

بدین ترتیب، برای محاسبه ذخیره، باید عناصر اصلی کانسار را که عبارت از ضخامت، سطح، وزن مخصوص و عیار، در دست داشت و از حاصل ضرب آنها، ذخیره را به دست آورد.

روشی که اکثراً امروزه از آن برای تخمین ذخیره استفاده می‌شود روش کریجینگ می‌باشد، که در واقع ابزار زمین‌آماري به منظور تخمین عیار (یا هر مشخصه دیگر) یک قطعه به عنوان یک تابع خطی از نمونه‌های موجود در حوالی آن قطعه است. این روش نا اریب بوده (تغییر عیار تخمینی، در حول و حوش عیار واقعی پراکنده است) و کمترین واریانس را دارد. در واقع تفاوت اصلی روش کریجینگ با سایر روش‌های تخمین ذخایر معدنی این است که در روش‌های کلاسیک، عیار یک قطعه از متوسط‌گیری ریاضی عیار نمونه‌های داخل آن قسمت به دست می‌آید (در روش چند ضلعی تمام وزن آماری به نمونه

مرکزی قطعه نسبت داده می‌شود) اما در کریجینگ، به هریک از نمونه‌های داخل و خارج قطعه، وزن آماری متفاوتی نسبت داده می‌شود. واضح است که وزن آماری نمونه‌های نزدیک، بیش از نمونه‌های دور است. از سوی دیگر، این وزن‌های آماری به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که واریانس تخمینی که بر اساس آن‌ها زده می‌شود، حداقل باشد (یعقوب‌پور، ۱۳۸۳).

۵-۱۲- پراکندگی زئولیت‌ها در ایران

ذخایر زئولیتی در جهان و ایران فراوانند، ولیکن نقاط و زون‌های مهم زئولیتی در ایران (سنگ‌های آتشفشانی ائوسن) در سه منطقه متمرکز شده‌اند: ۱- منطقه آذربایجان شرقی (میانه) ۲- منطقه تهران (دماوند) ۳- منطقه سمنان، لازم به یادآوری است که منطقه سمنان، به دلیل کیفیت بالا و ذخایر زیاد به عنوان قطب زئولیتی کشور معرفی شده است. کیفیت و کمیت بالای پتانسیل‌های زئولیتی ایران طوری است که حتی منابع خارجی هم روی آن تأکید ویژه دارند (پور مقدم، ۱۳۸۹). در ایران، تاکنون گزارش‌های فراوانی از پتانسیل‌های زئولیتی ارائه شده است و تعداد زیادی از پتانسیل‌های مذکور، مورد مطالعات اکتشافی قرار گرفته‌اند و هم‌اکنون به عنوان معادن زئولیتی مشغول فعالیت می‌باشند که مختصراً به برخی از آنها در زیر پرداخته شده است.

۵-۱۲-۱- منطقه میانه

در منطقه میانه ذخایر گسترده‌ای از زئولیت شناخته شده است که عمده‌ترین انباشتگی آنها در شمال رودخانه شهری چای و جنوب شهری چای می‌باشد. زئولیت‌های این ناحیه همراه با توف‌هایی است که روی آندزیت‌های ائوسن جای می‌گیرند. رخنمون سنگ‌های زئولیت‌دار این ناحیه ابعادی نزدیک به ۸۰۰ * ۸۰۰ متر و ضخامتی نزدیک به ۳۰ متر دارند. بر پایه بررسی‌های انجام شده زئولیت‌های این منطقه از نوع کلینوپتیلولیت بوده و به طور عمده با کانیه‌های کوارتز، کریستوبالیت، فلدسپار و مونت‌موریلونیت همراه هستند.

۵-۱۲-۲- منطقه نی باغ

این کانسار در منطقه میانه و نزدیکی نی باغ واقع است. در این منطقه رسوب‌ها، سنگ‌های آتشفشانی و توف‌های اسیدی جوان در قسمت‌های پایین قرار گرفته که از میان آنها گدازه‌ها و توف‌های ریولیتی میوسن به صورت موضعی زئولیتی شده‌اند.

۵-۱۲-۳- غرب روستای مریم

در شمال شرقی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ شاهین دژ غرب روستای مریم توف‌های ریولیتی به سن تقریبی میوسن تحتانی رخنمون دارند که تحت تأثیر پدیده زئولیت‌زایی قرار گرفته‌اند و زئولیت نوع کلینوپتیلولیت در آنها تشکیل شده است. در این محل سه لایه زئولیت‌دار با ضخامت ۲ تا ۴ متر وجود دارد که بین ماسه‌سنگ‌ها قرار گرفته است. دو لایه پایینی نسبت به لایه بالایی از زئولیت غنی‌تر هستند.

۵-۱۲-۴- منطقه طالقان

ناحیه زئولیت‌دار منطقه طالقان در شمال شرقی شهرستان شهرک در محدوده بین دو روستای کرکبود و کرود واقع است. در بخش‌های شمالی منطقه، یک سری سنگ‌های آتشفشانی بازیک با فنوکریست‌های درشت پلاژیوکلاز و پیروکسن با ماهیت آکالن وجود دارد. در حفرات این سنگ‌ها بلورهای درشت زئولیت‌ها یافت می‌شوند. این زئولیت‌ها دارای پراکندگی زیادی در سنگ‌های منطقه می‌باشند و بنابراین قابل استخراج نبوده است. چنانچه از کیفیت بالایی برخوردار باشند بهره برداری آنها به روش سنگ جوری، شاید اقتصادی باشد.

۵-۱۲-۵- منطقه جنوب شرق سمنان

از نظر تکتونیکی منطقه سرتخت در شمال ایران مرکزی، شمال دشت کویر بزرگ واقع شده است. کانسار زئولیت در افق‌هایی از سنگ‌های رسوبی-آتشفشانی مربوط به ائوسن یافت می‌شود. این کانسار مورد بحث در ساختمانی تاقدیسی، با شیب ملایم، حدود ۱۰ تا ۱۵ درجه، جای گرفته است که سطح بهره

برداری گسترده را در دسترس قرار می‌دهد. تناوب طبقاتی با رنگ سبز، نارنجی و قرمز در قاعده آن دیده می‌شود. موقعیت تاقدیس سر تخت با روند شمال غرب- جنوب شرق می‌باشد، که هسته تاقدیس از رسوبات ولکانو کلاستیک ائوسن به رنگ سبز، هم‌ارز توف‌های سبز سازند کرج در البرز می‌باشد. لایه‌های آهکی و شیلی بین لایه‌ای درون زئولیت‌ها و مارن‌های ژیبسی معمولاً با امتداد تقریبی شرقی- غربی و با شیب ۴۰- ۱۵ درجه به سمت جنوب متغیر می‌باشند (رضایی و همکاران، ۱۳۸۶).

ضخامت افق‌های زئولیت‌دار از ۳۰ متر کمتر نیست. زئولیت‌های این کانسار از انواع کلینوپتیلولیت می‌باشد و با کوارتز، هالیت سولفات سدیم، گلوبریت، تناردیت و همچنین کریستوبالیت همراه است. تمام زئولیت‌ها در قطب Al_2O_3 قرار می‌گیرند و به این معنا است که توف اولیه ترکیب اسیدی داشته است. فراوانی زئولیت تقریباً خالص در توالی مورد نظر و وجود مواد آذرین در اندازه ماسه در بعضی نمونه‌ها (کوارتز و پلاژیوکلاز پیروژنیک) و همین‌طور وجود آثاری از شاردهای شیشه‌ای اولیه به طور واضح بیان می‌دارد که ماده اولیه‌ای که زئولیت‌ها از آن تشکیل شده‌اند، خاکسترهای آتشفشانی و شارهای شیشه‌ای می‌باشند (رضایی و همکاران، ۱۳۸۶).

۵-۱۲-۶- منطقه فیروزکوه

توف‌های ائوسن سازند کرج با ترکیب ریولیت، ریوداسیت، داسیت و تراکیت سنگ‌های غالب در این منطقه هستند. به نظر می‌رسد که زئولیت‌های این منطقه ادامه زئولیت‌های شمال سمنان بوده و از نوع کلیپتیلولیت و زئولیت‌های اسفرولیتی ناترولیت می‌باشند. سیالات هیدروترمال چرخه طولانی را در شکاف و گسل‌ها طی می‌کنند و وجود دریا‌های کم عمق یا دریاچه‌های شور منبعی برای سیالات گرمابی می‌باشد که گرمای ژئوترمال منطقه نقش شستشو و انحلال مواد و نهایتاً رسوب‌گذاری کانی‌های زئولیتی در pH خنثی تا اسیدی را در آن داشته است (مهرپویا و همکاران، ۱۳۹۴).

۵-۱۲-۷- منطقه رودهن

ژئولیت‌های فیبری که در بادامک‌ها، حفرات و شکستگی‌های سنگ‌های بازیک ائوسن در مناطق شرقی تهران در محدوده شهری بومهن- رودهن که در بالای سکناس توف‌های سبز سازند کرج قابل مشاهده است. بر اساس نتایج XRD، ژئولیت‌ها شامل آنالسیم، تامسونیت و مزولیت که گاهی با کانی‌های ثانوی نظیر کلسیت و سیلیس همراهی می‌شوند. تشکیل این کانی‌ها احتمالاً باید نتیجه فعالیت مراحل تأخیری هیدروترمال باشد. لیتواستراتیگرافی ناحیه شامل سازند کرج، آگلومرها و گدازه‌های قسمت انتهایی سازند و نیز دایک‌هایی با روند شمال غربی- جنوب شرقی است که دیگر سنگ‌های منطقه را قطع کرده‌اند. با استناد به بررسی‌های زمین‌شناسی، سنگ‌های آذرین منطقه را می‌توان به سه گروه سنی تقسیم کرد: ۱- گدازه‌های قبل از ائوسن میانی ۲- گدازه‌های بین لایه‌ای با سازند کرج (ائوسن میانی) ۳- سنگ‌های ساب‌ولکانیک و گدازه‌های پس از ائوسن میانی (خرم آبادی، ۱۳۹۴).

۵-۱۲-۸- منطقه کرمان

منطقه گود بیابانی در ۱۵ کیلومتری شمال غربی شهرستان بردسیر استان کرمان واقع شده است. بین طول‌های شرقی $۵۶^{\circ} ۰۶'$ تا $۵۶^{\circ} ۲۵'$ و عرض‌های شمالی $۳۰^{\circ} ۰۰'$ تا $۳۰^{\circ} ۶۰'$ واقع شده است. سنگ‌های رخنمون یافته در ناحیه گود بیابانی عبارتند از: تراکی‌آندزیت، تراکی‌بازالت، آندزیت‌بازالت، توف‌های داسیتی- آندزیتی. یک واحد کم ضخامت (۵۰ متر) آنالسیم شوشونیت در این منطقه وجود دارد که جوانترین بخش سنگ‌های آتشفشانی در این ناحیه است. ژئولیت‌ها به صورت رگه یا پرکننده حفرات هستند و با کلسیت همراه می‌باشند. ژئولیت‌های منطقه بردسیر عموماً از نوع ناترولیت می‌باشند. برای چگونگی تشکیل ژئولیت‌های این مناطق دو منشاء زیر پیشنهاد شده است:

- فرایندهای گرمابی ناشی از تفریق شدید ماگماهای قلیایی
- دگرسانی پلاژیوکلازها و تبدیل آنها به ژئولیت

به دلیل فراوانی و گستردگی زیاد زئولیت در مناطق مشابه، زئولیت‌های این منطقه از اهمیت اقتصادی بالایی برخوردار هستند.

۵-۱۲-۹- منطقه شمال زاهدان

در حاشیه غربی فرونشست هیرمند واقع در لبه شرقی گسل زاهدان در منطقه حرمت در میان واحدهای تخریبی و ندرتاً مارنی سازند الیگومیوسن شمال زاهدان میان لایه‌هایی از جریان‌های گدازه و به میزان کمتر سنگ‌های آذرآواری به چشم می‌خورد که ورقه‌های گسترده‌ای را تشکیل می‌دهند. ترکیب سنگ-شناسی این مجموعه بازیک، آکالن بوده و ساختاری شبیه به توالی‌های بازالتی قاره‌ای نشان می‌دهد. زئولیت‌های مختلفی از جمله گروه ناترولیت، مزولیت، آنالسیم و تامسونیت را به صورت درجا، به شکل رگه‌ای، اسفرولیتی و جایگزین زمینه به وجود آورده است. طول افق زئولیتی به بیش از ۱۰ کیلومتر می‌رسد و از روستای حرمت تا لواری آب قابل پیگیری است. زئولیت‌های شمال زاهدان حاصل تراوش آبهای جوی یا زیرزمینی به درون سنگ‌های آتشفشانی و واکنش با آنها می‌باشند. در رابطه با میزان ذخیره زئولیت این منطقه اطلاعاتی منتشر نشده است (علافر و همکاران، ۱۳۹۲).

۵-۱۲-۱۰- سایر مناطق

از نواحی دیگر همانند علی‌آباد قم، کهریزک و گردنه نعل شکن در جنوب تهران، ناحیه چالوس، جنوب دماوند، منطقه کلچک، منطقه راین، قلعه عسگر (بافت کرمان)، منطقه شهر بابک، منطقه حسین‌آباد نطنز، طقه شرقی دیان- رباعی و ... نیز رخنمون‌هایی از سنگ‌های زئولیت‌دار در آنها مشاهده شده است (جدول ۵-۶).

جدول ۵-۶- توزیع ژئولیت‌ها در ایران

منشاء	سنگ میزبان	نوع ژئولیت	سن	منطقه	
-	آندزیت، بازالت، ریولیت، ریوداسیک، توف-های اسیدی	کلینوپتیلولولیت	اولیگومیوسن	میانه (اشلق چای)	۱
-	توف، گدازه‌های تراکیتی، آندزیتی	کلینوپتیلولیت	اولیگومیوسن	میانه (نی‌باغ)	۲
محیط گرمابی و واکنش بین مواد جامد در مسیر جریان گدازه‌ها	شوشونیت	آنالسیم، هولاندیت، لئوناردیت، لامونیت، موردنیت	ائوسن - الیگومیوسن	شمال شرقی آذربایجان	۳
-	سنگ‌های رسوبی، آتشفشانی	کلینوپتیلولیت	ائوسن	جنوب شرقی سمنان (کوه سرتخت)	۴
-	توف، ریوداسیت	استیلبیت، کلینوپتیلولیت	ائوسن	ورامین (طلحه)	۵
فرایندهای گرمابی	توف‌های سبز کرج	ناترولیت، تامسونیت	ائوسن	رودهن	۶
فرایندهای گرمابی	سنگ‌های آتشفشانی	-	-	طالقان	۷
فرایندهای گرمابی	آندزی بازالت، بازانیت	اسکولسیت	ائوسن - الیگوسن	شهر بابک (کرمان)	۸
-	توف‌های دگرسان شده	کلینوپتیلولیت	ائوسن	قلعه عسکر (بافت کرمان)	۹
فرایندهای گرمابی	شوشونیت	ناترولیت	ائوسن - الیگوسن	بردسیر (کرمان)	۱۰
فرایندهای گرمابی	شوشونیت	مزولیت - ناترولیت	ائوسن	سرچشمه (مغوئیه، کرمان)	۱۱
واکنش گدازه‌ها با آب-های جوی و یا آب‌های زیرزمینی	تراکی بازالت، فنولیت	آنالسیم، ناترولیت، مزولیت، تامسونیت، فیلیپسیت	الیگومیوسن	شمال زاهدان (حرمک)	۱۲
-	-	ناترولیت	-	راین کرمان	۱۳
-	توف	کلینوپتیلولیت	ائوسن	افتر سمنان	۱۴
-	توف‌های ریولیتی	کلینوپتیلولیت	میوسن	غرب روستای مریم (شاهین دژ)	۱۵
-	-	مزولیت	-	عرب‌آباد (طبس)	۱۶
-	-	کلینوپتیلولیت	-	فیروزکوه	۱۷
اولیه (ماگمایی)	سنگ‌های حد واسط تحت الشعاع و غنی از آلکان	آنالسیم سدیک	کرتاسه و ائوسن	سیلان، میانه، کوه‌های بزگوش، عقدا و شمال شهر بابک	۱۸

۱۹	گرم علیا	اٹوسن	-	آندزیت، داسیت، توفهای آندزیتی- داسیتی، اسیدی	گرمایی
۲۰	کلجک	اٹوسن- الیگوسن	-	آندزیت، توفهای اسیدی	گرمایی
۲۱	علی آباد قم، کهریزک، گردنه نعل شکن در جنوب تهران، ناحیه چالوس، جنوب دماوند	-	-	-	-

۵-۱۳- نتیجه گیری فصل:

با توجه به این نکته که همه موارد گفته شده نیاز به یک پیمایش دقیق و بازدید صحرائی جامع بر روی سنگ میزبان زئولیتها نیاز دارد، بنابراین با توجه به میزان زئولیت موجود در نمونه دستی و همچنین مقاطع میکروسکوپی از نظر زمین شناسی می توان ذخیره زئولیت های محدوده مورد مطالعه در منطقه عباس آباد را به میزان ۱۰% تخمین زد. با توجه به پراکندگی زئولیتها در منطقه، دانه ریز بودن آنها، حضور زئولیت های ناخالص، چند فازی بودن آنها و میزان ذخیره پایین زئولیتها در سنگ میزبان، از نقطه نظر اقتصادی زئولیت های منطقه عباس آباد قابل بهره برداری و استخراج نمی باشند ولی به طور محلی و محدود به روش سنگ جوری قابل استفاده هستند.

فصل ششم

بحث، نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱- بحث

در منطقه عباس‌آباد، زئولیت با بافت شعاعی و به رنگ سفید به صورت پراکنده ولی فراوان، در داخل برخی واحدهای آتشفشانی (عمدتاً تراکی آندزیتی) دیده می‌شود، اما به دلیل ذخیره کم، از نظر اقتصادی قابل بهره‌برداری نیست. زئولیت‌ها، حفرات و شکاف‌های سنگ‌های آتشفشانی را در مراحل آخر فعالیت‌های گرمایی پر می‌کنند. در اثر واکنش‌های شیمیایی بین سیالات قلیایی با شیشه‌های آتشفشانی و پلاژیوکلازها، محلول‌های غنی از مواد قلیایی به وجود می‌آیند که در شرایط فیزیکی شیمیایی خاص امکان نهشته شدن زئولیت‌ها را از این محلول‌ها فراهم می‌کنند. به عبارت دیگر، شیشه‌های آتشفشانی و پلاژیوکلازها به مرور زمان در محلول‌های قلیایی انحلال می‌یابند. این عمل باعث افزایش غلظت یون‌های سدیم و آلومینیوم در داخل آب‌های درون منفذی شده و در مراحل بعدی، زئولیت از این محلول‌ها رسوب می‌کند.

سنگ‌های واقع در نزدیکی سطح زمین بیشتر مستعد تغییر توسط واکنش‌های خاص بین سنگ‌های آتشفشانی و سیال‌های زیرزمینی یا محلول‌های هیدروترمال هستند (Weisenberger et al., 2014) و (Neuhoff et al., 1999). جریان گرمایی محلی، فعالیت یونی سیال منفذی (حفره‌ای)، نفوذپذیری و تخلخل سنگ میزبان در پراکندگی زئولیت‌ها و توزیع کانی‌های همراه موثر است. مسیر محلول‌های گرمایی ممکن است تفاوت قابل ملاحظه‌ای داشته باشند، حتی برای حفره‌های کاملاً نزدیک به هم این احتمال وجود دارد که یک تغییر در ماهیت تبادل یونی زئولیت‌های یک حفره رخ دهد. عناصر شیمیایی لازم جهت تشکیل این فازهای کانیایی می‌تواند بطور مستقیم در نتیجه شیشه‌زدایی آزاد شود. در واقع مهم‌ترین عامل تعیین ترکیب شیمیایی زئولیت‌ها، ماده دگرسان شده و ترکیب محلول دگرسان کننده است (Deer et al., 2004). ترکیب سیال می‌تواند در تعیین نوع زئولیت تأثیر بسزایی داشته است. فعالیت بالای $\text{Na}^+ \text{K}^+ \text{Ca}^+ / \text{H}^+$ پارامتر مهمی محسوب می‌شود، همچنین pH بالای ۹ سرعت تشکیل زئولیت‌ها را بیشتر می‌کند (Taylor et al., 1981). شپرد و هی (Sheppard and Hay) در یک ستون

سنگی با شیب عمودی وقوع زئولیت‌های آبدارتر در سطح و زئولیت‌ها با حداقل آب در عمق را پیشنهاد می‌کنند.

همچنین نسبت Si/ Al در تعیین نوع و ترکیب زئولیت‌ها موثر است (Weisenberger et al., 2014)، بطوریکه پس از تشکیل زئولیت‌های سدیک، کاهش آلکالینیته سیال سبب می‌شود در شرایط مساعد تشکیل زئولیت‌های کلسیک- سدیک فراهم آید (Weisenberger et al., 2014). تامسونیت کلسیم بالا، سدیم کمی دارد که در اثر فعالیت بالای Ca در حفره‌ها و شکستگی‌ها نهشته شده است. کاهش آلکالینیته سبب افزایش Si (Chipera et al., 2001) و در نتیجه افزایش نسبت Si/ Al می‌شود.

برای تشکیل زئولیت‌ها می‌توان تصور کرد: آنالسیم با منشأ دیاژنتیک Si/ Al بیشتر از ۲/۲ که وقوع آنها عموماً در توف‌ها و توفیت‌ها رخ می‌دهد (Bazargani – Guilani et al., 2004 و Iijima et al., 1968)، به علاوه زئولیت‌هایی مانند ناترولیت به عنوان کانی‌های دیاژنتیک به ندرت رخ می‌دهد (Gottardi et al., 2012). در دگرگونی دفنی زئولیت‌ها همراه با کانی پره‌نیت و پومپله‌ایت دیده می‌شوند. با توجه به درشت و کشیده بودن زئولیت‌ها و انباشت آنها در بادامک‌ها و حفره‌ها (Pe- و Gottardi et al., 2012) Piper, 2000)، همچنین به اعتقاد (Graham et al., 2003) ناترولیت منشأ گرمابی دارد. شایان ذکر است که نبود کانی‌های معرف دگرگونی مانند پره‌نیت- پومپله‌ایت منشأ گرمابی را تقویت می‌کند. زئولیت‌ها ممکن است در طول یا بعد از فعالیت آتشفشانی تشکیل شوند اما بر اثر دگرسانی گرمابی مقدم‌تر می‌باشد (Graham et al., 2003). با توجه به وجود پره‌نیت، کلسیت و زئولیت در نتایج حاصل از XRD، بسیار کم پیش می‌آید که با هم تشکیل شوند و اگر آنها با هم در یک سنگ مشاهده شوند احتمالاً در زمان‌های متفاوتی به وجود آمده‌اند. معمولاً در محیطی که پره‌نیت تشکیل می‌شود، باید میزان CO₂ کم و pH سیال خنثی تا اندکی قلیایی باشد. جایی که میزان CO₂ بالا رود پره‌نیت تشکیل نمی‌شود و اگر میزان Ca مناسب باشد، کلسیت به وجود می‌آید (Bazargani – Guilani et al., 2004). بنابراین می‌توان چنین استنباط کرد که با توجه به پایین بودن میزان کلسیت در منطقه معلوم می‌شود

که این شرایط در یک زمان کوتاهی در سیال به وجود آمده است. در حالیکه بیشتر زئولیت‌ها نیز در فشار CO_2 پایین، دمای پایین و pH خنثی - قلیایی شکل می‌گیرند (Weisenberger et al., 2010). pH خنثی در سنگ‌های آتشفشانی موجب جابه‌جایی و تمرکز Na، K و Ca در نقاط خاصی شده که باعث تشکیل کانی‌های خانواده‌ی زئولیت می‌شود. شیمی سیال مدام در حال تغییر بوده، همین امر باعث تشکیل کانی‌های مختلف در درز و شکاف‌ها و حفرات در زمان‌های مختلف شده است، ولی در کل این کانی‌ها تحت شرایط CO_2 پایین و pH خنثی تا اندکی قلیایی (۷ و کمی بالاتر از آن) تشکیل شده‌اند. ارزیابی دما برای گونه‌های زئولیتی به وسیله مقایسه با هم‌ارز طبیعی خود سنجیده شده است. دمای گزارش شده از زئولیت‌های مختلف در سیستم‌های زمین گرمایی فعال (Kristmannsodottir et al., 1978) بدین شرح است: آنالسیم ۶۵ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد که در صورت پاراژنز بودن آن با ناتروولیت دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد پیشنهاد شده است و عموماً در دمای کمتر از ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد تشکیل می‌شود (Evans et al., 2000). در زون زمین گرمایی تامسونیت در ۶۰ تا ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد تشکیل می‌شود (Passaglia et al., 2001). با توجه به نوع زئولیت‌ها و کانی‌های ثانویه مرتبط، همچنین با توجه به دماهای زئولیت‌زایی گزارش شده از منابع مختلف، دمای زئولیت‌زایی در مرحله اول بین ۵۰ تا ۱۵۰ و مرحله دوم کمتر از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد پیشنهاد می‌شود.

به طور کلی در سنگ‌های حدواسط تا بازی، آنالسیم‌ها دارای نسبت Si/Al نزدیک به ۲ هستند، در صورتی که این نسبت در آنالسیم‌های با خاستگاه رسوبی و دگرگونی بالاتر از ۲/۲ است، از طرفی عدم وجود کانی‌هایی که نماینگر دگرگونی تدفینی یا مجاورتی در سنگ‌های میزبان این زئولیت‌ها باشند و مشاهدات صحرایی و چگونگی تشکیل زئولیت‌ها به صورت رشته‌ای در رگه‌ها و پرشدگی حفره‌های سنگ‌های منطقه، همچنین پاراژنز بودن کانی آنالسیم با ناتروولیت که به اعتقاد گوتاردی و گالی (۱۹۸۵) تنها به صورت کانی با خاستگاه گرمایی شناخته شده است و دگرسانی شدید اغلب سنگ‌های آندزیتی و بازالتی (کمتر) که حاصل دگرسانی شدید بلورهای پلاژیوکلاز است که در بعضی مناطق تماماً با زئولیت

جایگزین شده‌اند، همگی از دلایل اصلی خاستگاه گرمایی این زئولیت‌ها هستند. وجود زئولیت‌های رشته-ای معمولاً همراه آنالسیم (میزان Ba و Sr در زئولیت‌های رشته‌ای ۰/۰۱ و در بعضی موارد حدود ۰/۰۲ بر مبنای ۸۰ اتم اکسیژن است (Bazargani et al., 2004)) می‌تواند ناشی از فزونی عناصر Sr, Ba و Rb در گدازه‌های منطقه باشد. ضمناً میزان قلیایی‌ها، Si و Al در گدازه‌های منطقه بالا بود، که مواد آغازین مناسب برای تبلور آنالسیم‌اند، از طرفی دما و فشار شاره نیز برای تبلور آن مهیا است. پس آنالسیم در دمای بین ۱۰۰-۳۰۰ درجه سانتی‌گراد از گرمایی‌ها متبلور می‌شود و تشکیل آنالسیم گویای فزونی سدیم در مواد آغازین است (Bazargani et al., 2004).

می‌توان چهار فرآیند متمایز را برای نحوه تشکیل زئولیت در گدازه‌های عباس‌آباد پیشنهاد کرد:

۱- فراهم شدن عناصر لازم برای تشکیل زئولیت همزمان با خروج گدازه‌ها از محیط رسوبی که کنگلومرا در حال تشکیل بوده است، ۲- عملکرد فازهای گرمایی ۳- دگرگونی تدفینی بازالت و ۴- آبشویی تدریجی عناصر لازم برای تشکیل زئولیت از رسوبات بالایی و رسوب آن‌ها درون حفرات بازالت در یک مرحله زمانی طولانی پس از بیرون ریختن گدازه‌ها.

فراهم‌شدن عناصر لازم برای تشکیل زئولیت، تنها از محیط رسوبی محل بیرون‌ریزی گدازه‌ها بسیار بعید است. واحد بازالتی به هنگام رسوب‌گذاری کنگلومرای عباس‌آباد و ردیف رسوبی الیگومیوسن تشکیل شده‌اند. از آنجا که ویژگی‌های چینه‌ای رسوب‌شناختی این واحد رسوبی و به ویژه بخش کنگلومرای آن یکنواخت است، ترکیب شیمیایی آب‌های موجود در محیط تشکیل بازالت‌ها احتمالاً تغییرات زیادی نداشته‌اند. از نظر بافتی نیز سنگ‌های هر واحد حفره‌دار هستند. بنابراین، فراونی بیشتر زئولیت‌ها در واحد الیوین‌بازالت و تراکی‌بازالت احتمال تأمین عناصر، فقط از محیط فوران بازالت را با تردید جدی روبرو می‌کند.

عملکرد فازهای گرمایی، همزمان و در نتیجه تشکیل زئولیت‌ها نیز نمی‌تواند توضیحی مناسب برای زئولیت-زایی را فراهم آورد. نخست آن که سنگ‌های خروجی به ویژه بازالت‌ها، بر خلاف سنگ‌های نفوذی با

فعالیت گرمایی قابل توجه فراهم نیستند (Robb, 2005). به علاوه، فوران در محیط‌های آبی باعث استهلاک سریع گازها و بخارات آتشفشانی می‌شود.

دگرگونی تدفینی همواره منجر به تشکیل کانی‌های زئولیت در سنگ‌های بازالتی می‌گردد. اگر بازالت در قسمت‌های تحتانی یک ردیف ضخیم از سنگ‌ها باشد، معمولاً تحت تأثیر دگرگونی تدفینی قرار می‌گیرد (Neuhoff et al., 2006) که رخساره زئولیتی در متابازالت‌ها را نشان می‌دهد. کانی‌های شاخص رخساره زئولیتی در منطقه عباس‌آباد دیده نمی‌شوند.

حجم گدازه‌های عباس‌آباد آنچنان است که بخارات و سیالات همراه آن، پس از انتشار در محیط، سبب تشکیل زئولیت گردد. از طرفی با توجه به نزدیکی روانه بازالتی به رسوبات مارنی و آواری به احتمال زیاد عناصر لازم برای تشکیل زئولیت از انحلال سنگ‌ها و رسوبات رویین تأمین شده است. به این صورت که سیالات حاصل از رسوبات بالایی با چرخش در قسمت‌های تحتانی رسوبات و در حد فاصل آنها با روانه بازالتی باعث رشد زئولیت در حفرات بازالت شده است. در نتیجه این فرآیند، زئولیت‌هایی تشکیل شده‌اند که از نوع پر کننده حفرات و شکاف‌ها هستند. شکاف‌های بازالت عباس‌آباد که گاه ابعاد میکروسکوپی دارند، ثانویه و پس از تبلور کامل سنگ به وجود آمده‌اند. پس، پر شدن شکاف‌ها توسط زئولیت نشان می‌دهد که زئولیت‌های یاد شده مدت‌ها پس از زئولیت فوق اشباع می‌شود، هسته‌های بسیاری متبلور شده و بلورهای کوچک فراوانی در کناره حفرات شکل می‌گیرند. رشد سریع بلورهای کوچک زئولیتی، اشکال بلوری ساده‌ای دارد که از تعداد زیادی هسته‌های زئولیتی تشکیل شده و بیشتر به شکل دندریتی رشد می‌کنند. تغییر کوچک در ترکیب شیمیایی محلول به ویژه مقدار سیلیس، pH و ویژگی‌های هیدروژنوشیمیایی و دما، باعث نطفه‌بندی متفاوت از کانی‌های زئولیتی می‌شود. این تغییر ممکن است بر اثر حرکت سیال در رسوبات و واکنش با اجزای شیشه‌ای و یا ورود یون‌های مختلف به سیال ایجاد شود. به این ترتیب شاهد تغییرات شیمیایی، هر چند اندک، در ترکیب سیال زئولیت‌ساز و متعاقب آن رشد چند نوع زئولیت مختلف به صورت متوالی در یک حفره خواهیم بود.

۶-۲- نتیجه‌گیری

- ✓ برون‌زدهای سنگی منطقه از قدیم به جدید شامل، شیل، سیلتستون، ماسه‌سنگ و کنگلومرای زیرین، برش آذرآوری، آگلومرا و توف، الیوین بازالت با میان لایه‌های تراکی‌بازالت، آهک نومولیت‌دار، تراکی‌اندزی‌بازالت، تراکی‌اندزیت، آهک توفی، کنگلومرای چندزادی، توالی شیل و ماسه‌سنگ بالایی و مارن‌های آهکی ائوسن بالایی به همراه کنگلومرا، ماسه‌سنگ، سیلتستون و گل‌سنگ و مارن الیگومیوسن و پادگانه‌های آبرفتی عهد حاضر هستند.
- ✓ مجموعه ماگمایی منطقه عباس‌آباد، یک طیف تفریقی متشکل از الیوین‌بازالت، تراکی‌بازالت، تراکی‌اندزی‌بازالت و تراکی‌اندزیت را در امتداد خط نزول مایع (تفریق بلور- مایع) نشان می‌دهند.
- ✓ در بررسی‌های میکروسکوپی سنگ‌های آتشفشانی منطقه، بافت غالب از نوع پورفیری، میکرولیتی پورفیری، گلوپورپورفیری، تراکیتی و غربالی است.
- ✓ مطالعات پتروگرافی انجام‌شده بر روی سنگ‌های بازالتی ائوسن عباس‌آباد، نشان می‌دهد که کانی‌های اصلی این سنگ‌ها را درشت بلورهای کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز تشکیل می‌دهند. در سنگ‌های با بافت مگاپورفیری، درشت بلورهای الیوین ایدنگزیتی شده قرمز رنگ در مقیاس میلی‌متری، و بلورهای پلاژیوکلاز و پیروکسن در مقیاس چند سانتیمتری در نمونه‌های دستی آن‌ها قابل مشاهده هستند. به عبارت دیگر در این گروه‌های سنگی با پیشرفت فرآیند تفریق از مقدار الیوین کاسته و بر میزان پلاژیوکلاز افزوده شده است.
- ✓ از مهم‌ترین ویژگی‌های میکروسکوپی در تمام نمونه‌های مورد مطالعه می‌توان به وجود ادخال، بافت غربالی، منطقه‌بندی، خلیج‌خوردگی و گردشدگی در فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن و گردشدگی و حالت اسکلتی در بلورهای الیوین اشاره کرد.

- ✓ واحدهای جریان‌ی مختلف میزبان زئولیت‌ها، ترکیب کانی‌شناسی تقریباً یکسانی را نشان می‌دهند. اما این گدازه‌ها از نظر بافت سنگ، ابعاد، درصد و انواع دگرسانی درشت بلورها، درجه دگرسانی و تبلور مجدد زمینه، میزان تخلخل و در نهایت میزان زئولیت‌زایی، نوسان چشم‌گیری نشان می‌دهند. در منطقه‌ی عباس‌آباد، زئولیت‌ها با بافت شعاعی و به رنگ سفید به صورت پراکنده ولی فراوان در داخل برخی واحدهای آتشفشانی (عمدتاً تراکی‌آندزیتی) دیده شده است.
- ✓ الگوهای پراش پرتو ایکس حاصل از زئولیت‌های سنگ‌های نوار آتشفشانی - رسوبی عباس‌آباد، حضور فازهای تامسونیت - ناترولیت - آنالسیم، آنالسیم - ناترولیت و ناترولیت - تامسونیت همراه با کانی‌های پرهنیت، ژهلنیت، کلسیت و اتوکلاز را به اثبات رسانده است.
- ✓ بیشتر زئولیت‌های مشاهده شده در منطقه عباس‌آباد، به شکل رشته‌ای و سوزنی و به گروه ناترولیت متعلق هستند. اعضای این گروه طبق طبقه‌بندی Breck (۱۹۸۴) شامل ناترولیت، مزولیت، تامسونیت، اسکولسیت، گوناردیت و ادینگتونیت است.
- ✓ شکل‌گیری توالی زئولیت‌ها و کانی‌های همراه آن‌ها در بادامک‌ها، رگه‌ها و رگچه‌ها در سنگ‌های آتشفشانی ائوسن میانی تا بالایی منطقه عباس‌آباد از خارجی‌ترین تا داخلی‌ترین به ترتیب شامل کلسیت I، آنالسیم، ناترولیت، تامسونیت و کلسیت II می‌شود.
- ✓ واکنش‌های بین سنگ‌های آتشفشانی و محلول‌های هیدروترمال وابسته به دما، فشار، ترکیب سنگ میزبان و سیال وابسته است.
- ✓ شکل‌گیری زئولیت‌ها در طول دگرسانی محلول گرمابی در دمای کمتر از ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد و در شرایط قلیایی رخ داده است. بعلاوه وقوع و ترکیب شیمیایی آن‌ها توسط نفوذپذیری سنگ میزبان، شرایط هیدرولوژی محلی، گرمایی، تخلخل سنگ میزبان، دما و فعالیت سیلیس محلول کنترل می‌شود.

✓ به طور کلی شواهد محکمی از جمله بافت رگه- رگچه ای و اسفرولیتی، بلورهای درشت و شکل دار زئولیت‌ها و نبود کانی‌های دگرگونی تدفینی از خاستگاه گرمابی زئولیت‌های عباس‌آباد حمایت می‌کند.

✓ به طور کلی، نحوه تشکیل زئولیت‌های مختلف در سنگ‌های آتشفشانی منطقه عباس‌آباد را می‌توان این طور بیان کرد که وقتی محلول‌های غنی از مواد قلیایی حاصل واکنش‌های شیمیایی بین سیالات قلیایی با شیشه‌آتشفشانی و پلاژیوکلازها به وجود می‌آیند هسته‌های بسیاری متبلور شده و بلورهای کوچک فراوانی در کناره حفرات شکل می‌گیرند. تغییر کوچک در ترکیب شیمیایی محلول به ویژه مقدار سیلیس، pH و ویژگی‌های هیدروژنوشیمیایی و دما، باعث نطفه-بندی متفاوت از کانی‌های زئولیتی می‌شود. به این ترتیب شاهد تغییرات شیمیایی، هر چند اندک، در ترکیب سیال زئولیت‌ساز و متعاقب آن رشد چند نوع زئولیت مختلف به صورت متوالی در یک حفره خواهیم بود.

✓ باتوجه به اینکه فعالیت بالای CO₂ در سیال حاوی Ca می‌تواند منجر به تشکیل کلسیت شود، در حالیکه بیشتر زئولیت‌ها در فشار CO₂ پایین شکل می‌گیرند. بنا بر مطلب ارائه شده به نظر می‌رسد شکل‌گیری زئولیت‌ها طی دو مرحله فعالیت محلول‌های گرمابی رخ داده باشد.

✓ با توجه به نوع زئولیت‌های موجود تخمین زده می‌شود که شکل‌گیری زئولیت‌ها در طول دگرسانی محلول گرمابی در دمای کمتر از ۱۵۰ درجه درجه سانتی‌گراد و در شرایط قلیایی رخ داده است.

✓ صادرات زئولیت‌های طبیعی در جهان به حدود شش میلیون تن در سال با متوسط خلوص ۶۵-۶۰ درصد می‌رسد. با توجه به تنوع آن‌ها، زئولیت‌های ایران (سمنان) یکی از بهترین نوع زئولیت‌ها جهت صادرات هستند. با توجه به پراکندگی زئولیت‌ها در منطقه، دانه ریز بودن آن‌ها، حضور زئولیت‌های ناخالص، چند فاز بودن آن‌ها و میزان ذخیره پایین زئولیت‌ها در سنگ میزبان، از نقطه نظر اقتصادی و به صورت صنعتی زئولیت‌های منطقه عباس‌آباد قابل بهره‌برداری

و استخراج نمی‌باشند. اما به صورت محدود و به روش سنگ‌جوری برای مصارف خاص قابل بهره‌برداری هستند ولی این امر به مطالعات کلی- اقتصادی دقیق نیاز دارد.

۶-۳- پیشنهادات

- ✓ انجام آزمایشات میکروپروپ بر روی زئولیت‌های موجود در سنگ‌های آتشفشانی عباس‌آباد، برای تعیین ترکیب شیمیایی دقیق کانی‌ها.
- ✓ با توجه به این که کانه‌زایی در این مناطق بیشتر در امتداد گسل‌ها صورت گرفته است، مناطق دارای گسل‌ها باید شناسایی شده و نقشه دقیق آن‌ها تهیه گردد.
- ✓ با توجه به وجود ذخایر اقتصادی مس در سنگ‌های این نوار، انجام مطالعات تکمیلی بر روی پتانسل کانه‌زایی این نوار و ارتباط دقیق آن با زئولیت‌زایی موجود در سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی پیشنهاد می‌شود.

منابع

منابع فارسی

۱. آقنابتی ع، (۱۳۸۳)، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، چاپ اول، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۵۸۶ ص.
۲. آقنابتی ع، (۱۳۴۹)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "زمین‌شناسی منطقه فرومد و عباس‌آباد"، دانشکده علوم، دانشگاه تهران، ۷۴ ص.
۳. احمدزاده فرد پ، (۱۳۸۸)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "کاربرد ناترولیت اصلاح شده برای حذف آنیون‌های سیانید و کرومات"، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۹۳ ص.
۴. آزادی ع، رهگشای م، علیرضایی س و امامی م، (۱۳۹۴)، "بررسی رخداد آنالسیم در تفریت‌های رشته کوه بزقوش، شمال میانه، شمال غرب ایران"، مجله پژوهش‌های دانش زمین، سال ششم، شماره ۲۲، ۳۰-۱۶ ص.
۵. اصلانی س، بحرودی ع، (۱۳۹۲)، "بررسی توف‌های زئولیت‌دار طارم به عنوان پوزولان طبیعی برای استفاده در صنعت سیمان"، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی معدن، شماره ۱۹، ۸۵-۷۷ ص.
۶. افتخارنژاد ج، آقنابتی ع، خان ناظر ن.ه، (۱۳۷۱)، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ جاجرم"، سازمان زمین‌شناسی کشور.
۷. الهیاری س، (۱۳۸۹)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "پتروژنز، سنگ‌های آذرین ائوسن فوقانی نوار ماگمایی کاهک-عباس‌آباد"، دانشکده علوم، دانشگاه صنعتی شاهرود.
۸. امامی م.ه، (۱۳۷۹)، "ماگماتیسزم در ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۰۸ ص.
۹. بادامه ع، (۱۳۸۲)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "پتروژنز سنگ‌های آتشفشانی منطقه میان‌دشت (شرق شاهرود)"، دانشکده علوم، دانشگاه صنعتی شاهرود.

۱۰. باروویان و، (۱۹۷۱)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "زمین‌شناسی و تکتونیک منطقه غرب عباس-آباد"، دانشکده علوم، دانشگاه تهران، ۷۶ ص.
۱۱. بازرگانی‌گیلانی ک، رضایی س، (۱۳۸۶)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "کانی‌شناسی و طرز تشکیل توالی زئولیت‌دار منطقه سرتخت، جنوب شرقی سمنان، شمال ایران مرکزی"، دانشکده علوم، دانشگاه تهران، ۶۵-۷۳ ص.
۱۲. بدیعی ع، نعمتی ع، (۱۳۸۵)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "سنتز آنالسیم بلوری از کلینوپتیلولیت طبیعی به روش هیدروترمال در محلول قلیایی"، دانشگاه تهران، دانشکده شیمی، ۶۱ ص.
۱۳. برزگری ل، (۱۳۹۴)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "تعیین نرخ رشد و هسته‌بندی بلورهای پلاژیوکلاز و پیروکسن در سنگ‌های آندزیتی و بازالتی منطقه عباس‌آباد"، دانشکده علوم، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۲۰۷ ص.
۱۴. بهرامی ش، طوطی ف، برقی م، پورمقدم م و ولایتی س، (۱۳۹۴)، "کانی‌شناسی زئولیت‌ها و طرز تشکیل آن در توف‌های سبز سازند کرج در منطقه معدنی حصاربن، جنوب غرب فیروزکوه"، نوزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ۶۴۷ تا ۶۵۳ ص.
۱۵. پروین ح، (۱۳۸۵)، "سنگ‌شناسی رسوبی"، چاپ ششم، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۳۰۲ ص.
۱۶. پورمقدم م، (۱۳۸۹)، "نگاهی به پتانسیل‌های مهم زئولیتی ایران"، **مجله تولید**، شماره ۶۲، ۷۲-۷۵ ص.
۱۷. پورکرمانی م و ادیب ا، (۱۳۹۰)، "زمین‌شناسی ساختمانی"، چاپ هشتم، انتشارات دانشگاه پیام نور تهران، ۲۹۲ ص.
۱۸. پیروی س، ظهیری ر، مرادی هرسینی ک و عظیمیان ح، (۱۳۹۳)، "ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانی‌شناسی زئولیت‌های معدن افتر سمنان"، **مجله علوم زمین**، بیست و چهارمین همایش سنگ و کانی، شماره ۹۴، ۲۷ تا ۳۶ ص.

۱۹. توسلی ع، لطفی م، (۱۳۸۷)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "مطالعات دورسنجی در پی جویی و اکتشافات معدنی در محدوده عباس آباد سمنان"، دانشگاه آزاد شمال تهران، ۶۳-۷۹ ص.
۲۰. حبیبی ح، (۱۳۹۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "تهیه و شناسایی زئولیت 4A و بررسی عملکرد سختی زدایی آن در مقایسه با زئولیت صنعتی"، دانشکده شیمی، دانشگاه شهید بهشتی، ۶۳ ص.
۲۱. حیدری م، معانی جو م، کاضمی مهرنیا ا، (۱۳۹۰)، "مطالعه زئولیت‌های مرتبط با کانی‌سازی مس در کنسارهای مس عباس آباد با تأکید بر کنسار معدن بزرگ (شرق شاهرود) به روش پراش اشعه ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی"، چهارمین همایش ملی زمین‌شناسی اقتصادی، ۹-۱ ص.
۲۲. حیدری م، (۱۳۸۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "سنتز آنالسیم بلوری از کلینوپتیلولیت طبیعی به روش هیدروترمال در محلول قلیایی"، دانشکده شیمی، دانشگاه تهران، ۱ تا ۶۱ ص.
۲۳. خسروتهرانی خ، (۱۳۸۴)، "زمین‌شناسی ایران، مزوزوئیک و سنوزوئیک"، جلد دوم، انتشارات کلیدر، ۴۵۵ ص.
۲۴. خلقی م، (۱۳۶۹)، "زئولیت‌ها و رخنمون نمونه‌هایی از آن در ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
۲۵. خرم‌آبادی و، (۱۳۹۴)، "پژوهشی حول ترکیبات زئولیت در لایه‌های سنگ بازیک منطقه رودهن"، پژوهش‌های نوین در عمران، معماری و شهرسازی، تهران- مرکز همایش‌های بین المللی صدا و سیما، ۹-۱ ص.
۲۶. خلعتبری م، (۱۳۸۰)، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ عباس‌آباد"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
۲۷. درویش‌زاده ع، (۱۳۷۲)، "ویژگی‌های آنالسیم و شرایط تشکیل آن در سنگ‌های آتشفشانی ایران"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۱، ۱۶ تا ۳۳ ص.

۲۸. درویش‌زاده، ع، (۱۳۸۲)، "زمین‌شناسی ایران"، چاپ سوم، موسسه انتشارات امیرکبیر، ۹۰۲ ص.

۲۹. دستگردی ص، (۱۳۹۵)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "حذف آلاینده‌های معدنی و رنگ‌ها از پساب با استفاده از نانو ذرات زئولیت طبیعی و اصلاح شده"، دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود.

۳۰. راضی س، خادمی‌زاده م، (۱۳۷۹)، "حذف آلاینده‌های آلی از پسابهای صنعتی پس از جذب بر روی نانو ذرات و اندازه‌گیری و پایش همزمان میزان جذب با استفاده از تکنیک الکتروفورز موئینه و مطالعه اثر آلفا سیکلودکسترین بر روی پدیده جذب"، سومین همایش کشوری بهداشت محیط، ص ۱۲۸-۱۳۶.

۳۱. رحمتی ش، (۱۳۹۱)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "ارزیابی فلزات سنگین در خاک و گیاهان بومی غالب منطقه معدنی چغندر سر (جنوب غرب عباس‌آباد)"، دانشکده علوم، دانشگاه تهران.

۳۲. رشید ح، (۱۳۷۶)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "ولکانیسم ترشیری منطقه عباس‌آباد (مرکزی)، غرب سبزوار- ایران"، دانشکده علوم، دانشگاه تبریز.

۳۳. رضایی س، بازرگانی گیلانی ک، (۱۳۸۶)، "سنگ میزبان و طرز تشکیل زئولیت‌های منطقه سرتخت، جنوب شرقی سمنان، شمال ایران مرکزی. یازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ۷۳-۶۵ ص.

۳۴. رضوی ر، (۱۳۹۰)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن ناحیه داورزن- سبزوار"، دانشکده علوم، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۶۸ ص.

۳۵. زینالی الف، (۱۳۹۳)، "زئولیت و کاربرد آن در بتن"، ماهنامه علمی- تخصصی فن‌آوری سیمان، شماره ۸۰، ص ۲۱ تا ۲۷.

۳۶. سامانی ب، (۱۳۸۶)، "گزارش زمین‌شناسی معدنی- اقتصادی منابع کانسنگ مس در میدان معدنی عباس‌آباد (شهرستان شاهرود)"، شرکت زمین‌شناسی و اکتشاف نازیل شرق، ۲۰۶ ص.

۳۷. سرابی ف، (۱۳۸۹)، "کانی شناسی نوری"، جلد وزیری، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۸۰ ص.

۳۸. سردشتی ع، (۱۳۸۳)، "شناسایی ژئولیت‌های منطقه حرمت زاهدان، بررسی امکان کاربرد آن در تصفیه فاضلاب‌های Zn, Pb, Cd, Ag"، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، شماره ۱، ۲۵-۳۲ ص.

۳۹. شاهمرادی س، افیونی م، حاج‌عباسی م، خوشگفتارمنش الف و شیروانی م، (۱۳۹۶)، "تأثیر ژئولیت و بنتونیت بر دسترسی زیستی روی، کادمیم و سرب در یک خاک آلوده تحت کشت آفتابگردان"، نشریه علوم آب و خاک، شماره ۲، ۱۶۵ تا ۱۷۳ ص.

۴۰. صادق‌زاده ش، (۱۳۷۷)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی منطقه شمال شرق میاندشت"، دانشکده زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

۴۱. صالحی ل، (۱۳۹۳) "پتروگرافی- ژئوشیمی و پتروژنز سنگ‌های آتشفشانی عباس‌آباد (شرق شاهرود) با تأکید بر دگرسانی و کانه‌زایی مس همراه آن"، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، شماره ۳۱، ۴۹-۶۳ ص.

۴۲. صالحی ل، رساء الف، علیرضایی س، مطرودی ف و توسلی ح، (۱۳۹۲)، "طیف‌سنجی رامان و کاربرد آن در شناسایی دگرسانی‌های موجود در کانسارهای مس عباس‌آباد، شمال شرق شاهرود"، مجله پژوهش‌های دانش زمین، سال چهارم، شماره ۱۳، ۸۳-۶۹ ص.

۴۳. صالحی ل، رساء الف، علیرضایی س و مهرنیا الف، (۱۳۹۴)، "کانسار مس معدن بزرگ با میزبان آتشفشانی، نمونه‌ای از کانسارهای مس نوع مانتو، خاور شاهرود"، مجله علوم زمین، سال بیست و پنجم، شماره ۹۸، ۹۳ تا ۱۰۴ ص.

۴۴. طائفی ن، (۱۳۹۳)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "بررسی ژنز کانه‌زایی مس همراه با سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی ائوسن، شمال ایران مرکزی، شرق و جنوب شرق شاهرود"، دانشکده علوم، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۶۱ ص.

۴۵. طوطی ف، کامیاب م، برقی م و بدیعی ع، (۱۳۹۰)، "تغییر فاز زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت به زئولیت‌های باریم‌دار ادینگتونیت و هارموتوم، در شرایط گرمایی قلیایی"، انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۴، ۷۳۴-۷۲۵ ص.

۴۶. عبدالله زاده م، (۱۳۹۳)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "ژئوکرونولوژی، ژئوشیمی و پتروژنز گابروهای قره قلی، افیولیت سبزوار"، دانشکده علوم، دانشگاه دامغان، ۱۸۱ ص.

۴۷. عرب‌زاده بنی‌اسدی م؛ (۱۳۹۶)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "شیمی کانی و تعیین شرایط فیزیکوشیمیایی تبلور در سنگ‌های آتشفشانی منطقه عباس‌آباد (شرق شاهرود)"، دانشکده علوم، دانشگاه صنعتی شاهرود، ص ۱۸۰.

۴۸. عزیزی ن، گلچوبیان ح، یوسف‌پور م، (۱۳۸۹)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "سنتز و شناسایی زئولیت آنالسیم و زئولیت آنالسیم اصلاح شده با برخی از عناصر واسطه و بررسی خواص آن‌ها با استفاده از روش‌های اسپکتروپی"، دانشگاه مازندران، دانشکده شیمی، ۱۳۲ ص.

۴۹. علافرع، احمدی ع و بومری م، (۱۳۹۲)، "پتروگرافی و ژئوشیمی کانی‌های زئولیتی در گدازه‌های مافیک منطقه حرمک در شمال زاهدان، جنوب شرق ایران"، مجله پتروولوژی، شماره پانزدهم، ۱ تا ۱۶ ص.

۵۰. علافرع و احمدی ع، (۱۳۹۲)، "کانی‌شناسی، ترکیب شیمیایی و چگونگی تشکیل زئولیت نوع تامسونیت در گدازه‌های مافیک منطقه حرمک (شمال زاهدان، شرق ایران)"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۲، ۲۰۰-۱۹۱ ص.

۵۱. علیدادی ح، دولت‌آبادی م، مهرباب‌پور م، دهقان ع، (۱۳۹۶)، "بررسی حذف آنتی‌بیوتیک سیپروفلوکساسین با استفاده از کامپوزیت کیتوزان/ زئولیت از محلول‌های آبی با استفاده از

- روش سطح پاسخ: بررسی سینتیک و ایزوترم‌های جذب"، فصلنامه بهداشت در عرصه، علوم پزشکی شهید بهشتی - دانشکده بهداشت، دوره ۵، شماره ۱، ۱۲-۱ ص.
۵۲. فقیهیان ح، مکی‌زاده م، (۱۳۸۱)، "شناسایی تعدادی از زئولیت‌های طبیعی ایران"، **مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران**، شماره ۲، ۱۵۶-۱۴۱ ص.
۵۳. فقیهیان ح، مصطفوی ع، (۱۳۷۶)، "بررسی خاصیت غربال مولکولی ناترولت و فرم‌های تعویض شده آن در فرآیند جذب"، **دومین کنگره بین‌المللی و دوازدهمین کنگره ملی شیمی و مهندسی شیمی، کرمان**، ۱۱-۹ ص.
۵۴. فدائیان م، جهانگیری ا، موید م، (۱۳۹۵)، "شیمی کانی و شکل‌گیری بلورهای آنالسیم در سنگ‌های آذرین شمال شرق مشکین شهر، شمال غرب ایران"، **بیست و چهارمین انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران**، ۳۹۸-۳۸۵ ص.
۵۵. فقیهیان ح، (۱۳۷۲)، "تعیین فرمول و ساختار یک زئولیت طبیعی، **مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران**"، شماره ۱، ۵۴-۴۸ ص.
۵۶. فقیهیان ح، (۱۳۷۴)، "بررسی ساختمانی و خواص شیمیایی تامسونیت منطقه سرچشمه رفسنجان"، **ششمین سمینار شیمی تجزیه**، ۲۹ ص.
۵۷. قاسمی ح، الهیاری س و صادقیان م، (۱۳۹۲)، "موقعیت چینه‌شناختی و تحلیل یافتگی سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی عباس‌آباد، شمال شرق شاهرود"، **پژوهش‌های چینه‌شناسی و رسوب‌شناسی**، سال بیست و نهم، ۴۲-۲۵ ص.
۵۸. قاسمی ح، برهمند ب و صادقیان م، (۱۳۹۰)، "گدازه‌های بازالتی الیگوسن شرق شاهرود: شاهدهی بر جایگاه پشت کمانی حوضه الیگو- میوسن ایران مرکزی"، **مجله پترولوژی**، سال دوم، شماره هفتم، ۹۴-۷۷ ص.

۵۹. قربانی م، (۱۳۸۶)، "زمین‌شناسی اقتصادی ذخایر معدنی و طبیعی ایران"، چاپ اول، آراین زمین، ۵۲۲ ص.
۶۰. کریمی ش، (۱۳۹۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی کارایی و خصوصیات ژئولیت منطقه سمنان در رفع آلودگی زیست محیطی برخی از ترکیبات گوگرددار"، دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۱۳۸ ص.
۶۱. کسرای پ، (۱۳۸۸)، "ژئولیت"، نشریه آموزشی - پژوهشی کشاورزی و توسعه پایدار، شماره ۲۷، ۲۵-۲۲ ص.
۶۲. کوهفر س، طبخ‌شعبانی الف، بازرگانی‌گیلانی ک و دلاوری‌کوشان م، (۱۳۹۷)، "ژئولیت‌های پرکننده‌ی حفره‌ها و بادامک‌ها در سنگ‌های آتشفشانی شمال غرب کوه دوازده امام"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره سوم، ۶۱۰-۵۹۷ ص.
۶۳. کهنسال ر، رادفر ج، (۱۳۸۱)، "ورقه زمین‌شناسی داورزن به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، وزارت صنایع و معادن.
۶۴. مرعشی پ، کاویانی س، ذوالفقاری ع، سرپولکی ح، (۱۳۸۳)، "میکروسکوپ‌های الکترونی و روش‌های نوین آنالیز ابزار شناسایی دنیای نانو"، چاپ اول، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۳۵۲ ص
۶۵. محمدخانی ب، تابش ه، هوشمند ب، محمدخانی ب، (۱۳۹۵)، "بررسی کاربردهای نوین زیست ماده ژئولیت در علوم پیشرفته پزشکی"، فصلنامه علمی پژوهشی دانشکده پزشکی، شماره ۳، ۱۰۸-۹۶ ص.
۶۶. معصومی ع، (۱۳۷۴)، "شیمی دستگاهی"، جلد ۱، چاپ اول، دانشگاه آزاد اسلامی تهران شمال، ۵۵۱ ص.

۶۷. معین وزیری ح، احمدی ع، (۱۳۸۰)، "پتروگرافی و پترولوژی سنگ‌های آذرین"، انتشارات دانشگاه تربیت معلم، چاپ اول، ۵۴۴ ص.
۶۸. مغفوری س، (۱۳۹۱)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی ژنز کانه‌زایی مس در توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین در جنوب غرب سبزوار، با تأکید بر کانسار نوده"، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۸۰ ص.
۶۹. ملاح م، (۱۳۷۷)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "تعیین ساختار و بررسی خواص تبادل یونی یک نوع زئولیت"، دانشگاه تهران، ۹۴ ص.
۷۰. منهای بنا ر، کاظمیان ح، قاضی خوانساری م، (۱۳۸۲)، "چشم‌اندازی به کاربرد زئولیت‌ها در داروسازی و پزشکی"، ماهنامه رازی، شماره ۵، ۳۹۶-۴۰۲ ص.
۷۱. موسوی ا، (۱۳۸۸)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی منطقه چغندرسر (جنوب غرب عباس‌آباد) و کانه‌زایی وابسته به آن"، دانشکده علوم، دانشگاه شاهرود، ۱۴۸ ص.
۷۲. مهرپویا ز، طوطی ف، کاظمی ک، برقی م، (۱۳۹۶)، "زمین‌شیمی و زئولیت‌زایی توف‌ها در محدوده معدنی زرین‌دشت (فیروزکوه، پهنه البرز مرکزی)"، مجله پترولوژی، سال هشتم، شماره ۳۱، ۱۲۶-۱۱۱ ص.
۷۳. مهرپویا ز، طوطی ف، برقی م، پورمقدم م، کاظمی ک، (۱۳۹۴)، "کانی‌شناسی و ژنز زئولیت‌های معدن زرین‌دشت فیروزکوه"، نوزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران و نهمین همایش ملی زمین‌شناسی دانشگاه پیام‌نور، ۴۲۷-۴۲۲ ص.
۷۴. نوروزی فر م، خراسانی مطلق م، (۱۳۹۲)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "کاربرد زئولیت اصلاح شده با نمک معدنی، نانو ذرات فلزی و سورفکتانت آلی و جاذب کربنی برای حذف آلاینده‌ها از آب"، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده شیمی، ۱۸۱ ص.

۷۵. ویلهلم وولمر ف، (۱۳۷۳)، "ارزیابی اقتصادی در اکتشاف"، ترجمه یعقوب پور، انتشارات

دانشگاه شیراز، چاپ اول، ۲۲۰ ص.

۷۶. یعقوب پور م، (۱۳۸۳)، "تخمین و ارزیابی ذخایر معدنی"، انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ

۴، ۲۲۰ ص.

References:

1. Abdioglu, E., (2011), "Mineralogy and chemistry of zeolites and associated minerals in Tertiary alkaline volcanics from the Eastern Pontides, NE Turkey", N. Jb. Miner: Journal of Mineralogy and Geochemistry, 189/1, 35-47 pp.
2. Akinremi C, Obaleye J, Amolegbe S, Adediji J, Bamigboye M., (2012), "Biological activities of some fluoroquinolonesmetal complexes", International Journal of Medicine and Biomedical Research; 1(1):24-34 pp.
3. Alavi, M., (1991), "Tectonic Map of Middle East", Tehran, GSI, Scale, 1:50000.
4. Amidi, S.M., Emami, M.H. and Michel, R., (1984), "Alkaline character of Eocene volcanism in the Middle part of Central Iran and its geodynamic situation", Geology, Rundschau, v. 73, p. 917-932 pp.
5. Annells, R.N., Arthurton, R.S., Bazley, R.A. and Davies, R.G., (1975), "Explanatory text of the Qazvin and Rasht Quadrangles Map": Geological Survey of Iran, Tehran.
6. Arthur, W., Derouane, E.G., (2009), "Zeolite Characterization and Catalysis", Chester 7, 378 pp.
7. Artioli, G., Smith J. V., Pluth, J., (1986) "Acta Cryst", 42, 937 pp.
8. Auerback, S. M., K. M. Carrado, P. K. Dutta. (2003), "Handbook of Zeolite Science and Technology", Marcel Dekker, Inc., New York, 32 pp.
9. Azizi H., Jahangiri A., (2008), "Cretaceous subduction-related volcanism in the northern Sanandaj-Sirjan Zone", Iran. Journal of Geodynamics 45, 178–190 pp.
10. Bajpai SK, Bajpai M, Rai N., (2012), "Sorbitive removal of ciprofloxacin hydrochloride from simulated wastewater using sawdust: Kinetic study and effect of pH", Water SA; 38(5):673-82 pp.
11. Barrer, R.M., (1982), "Hydrothermal chemistry of zeolite", Academic press, London 360.

12. Barrer, R. M., (1978), "Zeolites and Clay Minerals as Sorbents and Molecular Sieves", Academic press London.
13. Barrer, R. M., (1979), "Chemical nomenclature and formulation of compositions of synthetic and natural zeolites", *Pure Appl. Chem*, 51(5), 1091-1100 pp.
14. Bazargani-Guilani, K., Rabani, M.S., (2004), "Amigdaloidal and other cavity filling Zeolites of Kuh-e-Arاده, Central Iran", *Jornal of Scinces, Islamic Republic of Iran* 152, 149-157 pp.
15. Berberian, M., King, G. C. P., (1981), "Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran: Reply". *J. Canadian Journal of Earth Sciences*, 18 (11), 210 – 256 pp.
16. Best, M.G., (2013), "Igneous and metamorphic petrology", John Wiley & Sons, 717 pp.
17. Bradl, H., (2005), "Sources and origins of heavy metals", *Int. Sci. Technology*, 6: 1-27 pp.
18. Bradl, H., Xenidis, A., (2005), "Remediation techniques", *Int. Sci. Technology*, 6: 165-261 pp.
19. Breck, D. W., (1984), "Zeolite molecular sieves. John Wiley & Sons, Inc., New York, 771 pp.
20. Braun, R. D., (1987), "Introduction to Instrumental Analysis", McGraw-Hill, New York.
21. Chavvel, A., Lefebvre, B., (1989), "Petrochemical Process", *Gulf*, Vol. 1-2, 395 pp.
22. Chen, N. Y., T. F., Degnan, C. M., Smith, (1994), "Molocular Transport and Reaction in Zeolites: Design and Application of Shape Selective Catalysis", John Wiley & Sons, VCH, Hoboken, NJ, 299 pp.
23. Chen, H., Xu R., Pang, W., Yu J., Huo, Q., (2009), "Chemistry of Zeolites and Related Porous Materials: Synthesis and Structure", John Wiley & Sons, Singapore, 679 pp.
24. Chipera, S., Apps, J., (2001), "Geochemical stability of natural zeolite", *Reviews in mineralogy and geochemistry*, 45 (1), 117-161 pp.
25. Cho, M., Maruyama, S., Liou, J.G., (1987), "An experimental investigation of Heulandite- Laumontite equilibrium at 1000 to 2000 bar P- fluid", *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 97 (1), 43-50 pp.

26. Ch. Baerlocher, L.B., McCusker, D.H., Olson, (2007), "Atlas of Zeolite framework", Types, Sixth Revised Edition, 286 pp.
27. Ch., Baerlocher, W.M., Meier, D.H, Olson, (2001), "Atlas of Zeolite Framework Types", Amsterdam: Elsevier, 232 pp.
28. Coombs, D.S., Alberti A., Armbruster, T., Artioli G., Colella, C., Galli, E., Grice J.D., Liebau, F., Mandarino, J.A., Minato, H., Nickel, E.H., Passaglia, E., Peacor, D.R., Quartieri, S., Rinaldi, R., Ross M., Sheppard, R.A., Tillamanns, E., Vezzalini ,G., (1997), "Recommended nomenclature for zeolite minerals: report of the Subcommittee on Zeolites of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names", Canadian Mineralogis 35, 1571-1606 pp.
29. Cronsttat, A. F., (1756), "On em obekant bary art, son kallas zeolites: Akad. Handl. Stocolm 17, 120- 123 pp.
30. Cusker, L.B.Mc., Baerlocher, Ch., (2007), "Zeolite structures." Studies in surface science and catalysis, 2nd edn Elsevier, 13-37 pp.
31. Deckers, J., Spaargaren, O., and Nachtergaele, F. (2001), "Vertisols: Genesis, properties and soils cape management for sustainable development", The sustainable management of Vertisols, 3-20 pp.
32. Deer, W. A., Howie, R. A. and Zussman, J. (1992), "An introduction to the rock forming minerals", 2nd edition, Longman, London, 347 pp.
33. Deer, W A, Howie, R A, Zussman J, (1963), "Ruck forming minerals", 5 vol, John Wiley and sons. Inc.
34. Demina, Y., Frolova, J., Rychagov, S., (2015), "Hydrothermal alterations and petrophysical properties: A case study of Yagodninskoe zeolite deposit, Kamchatka Peninsula", World Geothermal Congress, 1- 7 pp.
35. Doltabadi, M., Alidadi, H., Davoudi, M., (2016). "Comparative study of cationic and anionic dye removal from aqueous solutions using sawdust- based adsorbent", Environmental Progress & Sustainable Energy; 35(4):1078-90 pp.
36. Donna, L.W., Bernard, W.E., (2010), "Abbreviations for names of rock- forming minerals", American Mineralogist, Volume 95, 185-187 pp.
37. Dyer, A., Faghihian, H., (1998), "Diffusion in heteroionic zeolites: part 1: Diffusion of water in heteroionic natrolites", Microporous and Mesoporous Materials, 21.1-3, 27 pp.

38. Evans, JR, H. T., Judith, A., Konnert, J. A., Ross, M., (2000), "The crystal structure of tetranatrolite from Mont Saint-Hilaire, Quebec, and its chemical and structural relationship to paranatrolite and gonnardite", *American Mineralogist* 85, 1808-1815 pp.
39. Farhoudi, G., (1978), "A comparison of Zagros geology to Island arcs", *Journal Geology*, 86: (3), 323-334 pp.
40. Farpoor, M.H., (2007), "Physicochemical properties and clay mineralogy of Shahdad yardangs. Proceeding of the 10th Iranian Soil Science Congress", 210-211 pp.
41. Farpoor, M.H., Eghbal, M.K., and Khademi, H., (2003), "Genesis and micromorphology of saline and gypsiferous Aridisols of Nough area, Rafsanjan related to geomorphic surfaces", *J. Sci. Technology. Agric. Natur. Resour. Water and Soil Science*. 7: (3), 71-92 pp.
42. Frost, C. D., Frost, B. R., (2014), "Essentials of igneous and metamorphic petrology. Cambridge University Press", University of Cambridge, 297 pp.
43. Ghasemi, H., and Rezaei Kakhaei, M., (2015), "Petrochemistry and tectonic setting of the Davarzan-Abbasabad Eocene Volcanic (DAEV) rocks, NE Iran ", *Miner and Petrol* 109(2): 235-252 pp.
44. Gill, R., (2010), "Igneous rocks and processes apractical guide", Department of Earth Sciences Royal Holloway University of London, 472 pp.
45. Githinji, L J., Musey, MK., Ankumah, RO., (2011), "Evaluation of the fate of ciprofloxacin and amoxicillin in domestic wastewater", *Water, Air, & Soil Pollution*, 219 (1-4):191-201.
46. Gottardi, G., Galli, E., (2012), "Natural Zeolites", Springer, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 409 pp.
47. Graham, I. T., Pogson, R. E., Colchster, D. M. Baines, A., (2003) "Zeolite crystal habits, compositions, and paragenesis; Blackhead Quarry, Dunedin, New Zealand", *Mineral Magazin*, 67 (4), 625-637 pp.
48. Guthrie, G.D., (1997), "Mineral properties and their contributions to particle toxicity", *Environmental Health Perspectives*, 105 (suppl 5), 1003–1011 pp.
49. Hamidpour, M., M. Kalbasi, M., Afyuni, H., Shariatmadari, P. E. Holm & H. C. B. Hansen, (2010), "Sorption hysteresis of Cd (II) and Pb (II) on natural zeolite and bentonite", *J. Hazard. Material*, 181 (1- 3), 686-691 pp.

50. Heydari, M, Hajar, S., (2011), "Inhibition effect of antibiotics ciprofloxacin and ofloxacin and hormone stradiol 17 valerat on the methanogenic activity of anaerobic biomass", *Iranian Journal of Health and Environment*, 4(2):189-200 pp.
51. Iijima, A., Hay, R.L., (1968), "Analcime composition in tuffs of Green River Formation of Wyoming", *American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials*, 53 (1-2), 184-200 pp.
52. Jihong, Yu., (2007), "Synthesis of zeolites", *Introduction to zeolite science and practice* 168, 39 pp.
53. Karimi, A., Khademi, H., Kehl, M., and Jalalian, A. (2009), "Distribution, lithology and provenance of peridesert loess deposits in northeastern Iran", *Geoderma*. 148: (3-8), 241-250 pp.
54. Karlsson, H. R., Clayton, R. N., (1991), "Analcime phenocrysts in igneous rocks; primary or secondary?", *American Mineralogist*, 76: (1-2), 189-199
55. Kawamura, S., (2000), "Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities", John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 683 pp.
56. Kerry, F. G., (2007), "Industrial Gas Handbook: Gas Separation and Purification", CRC Press, Boca Raton, FL, 511 pp.
57. Kim, K.T. and Burley, B.J., (1971), "Phase equilibria in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - NaAlSiO_4 - H_2O with special emphasis on the stability of analcites", *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 8 (3), 311-337 pp.
58. Kogel, J. E., Trivedi, N. C., Barker, J. M., & Krukowski, S. T. (Eds.). (2006). *Industrial minerals & rocks: commodities, markets, and uses*. SME.
59. Kousehlar, M., Weisenberger, T. B., Tutti, F. and Mirnejad, H. (2012), "Fluid control on low-temperature mineral formation in volcanic rocks of Kahrizak, Iran", *Geofluids* 12: (4), 295-311 pp.
60. Kristmannsodottir, H., Tomasson, J., (1978), "Zeolite zones in geothermal areas in Iceland", *Natural Zeolites, Occurrence, Properties, Use* LB Sand, FA Mumpton, 277-284 pp.
61. Line, C.M.B., Putnis, A., Putnis, C. and Giampaolo, C., (1995), "The dehydration kinetics and microtexture of analcite from two paragenesis", *American Mineralogist*, v.80 (3-4), 268-279 pp.

62. Lobomira, T., (1999), "Zeolite Macrostructures, Division of Chemical Technology, Department of Chemical and metallurgical engineering", Lulea University of Technology, 18 pp.
63. Luher, J.F., Kyser, T.K., (1989), "Primary igneous analcime: The Colima minettes", *American Mineralogist* 74 (1-2), 216-223 pp.
64. Malkpoor, A., Momenzadeh, H., Hubner, H., Bazin, D., Rico, L.R. (1979), "Copper deposit project in Iran. Report of geological", survey no, 64 pp.
65. Mariner, R. H., Surdam, R. C., (1970), "Alkalinity and formation of zeolites in saline alkaline lakes", *Science* 170 (3961), 977-980 pp.
66. Mcketta, J. J., (1999), "Encyclopedia of Chemical Processing and Design", Volume 67- Water and Wastewater Treatment: Protective Coating Systems to Zeolite, 1 st Edition, CRC Press, Boca Raton, FL, 11 pp.
67. Meier, W. M., (1986), "Zeolites and zeolite-like materials", *Pure and Applied Chemistry* 58 (10), 1323-1328 pp.
68. Mohajjel, M., Fergusson, C.L., (2000), "Dextral transpression in Late-Cretaceous continental collision, Sanandaj-Sirjan zone", *Western Iran. J. Struct. Geology.* 22 (8), 1125-1139 pp.
69. Neuhoff, P.S., Fridriksson, T., Arnorsson, S., (1999), "Porosity evolution and mineral paragenesis during low-grade metamorphism of basaltic lavas at Teigarhorn, Eastern Iceland", *American Journal of Science* 299 (6), 467-501 pp.
70. Newsam, J.M., Cheetham, In: A K., Day, eds, P., (1992), "Solid State Chemistry: Compounds", New York: Oxford University Press, 234-280 pp.
71. Nesse, W. D., (2012), "Introduction to mineralogy", Oxford University Press, New York, No 549, 480 pp.
72. Norish, K., and Chappell, B.W., (1977), "X-ray fluorescence spectrometry", In: Zussman J. (Ed.), *Physical Methods in Determinative Mineralogy*, 2nd Ed, Academic Press, London, 71 pp.
73. O'Brien, H.E., Irving, A.J. Mc-Callum, I.S., (1988), "Complex zoning and resorption of phenocrysts in mixed potassic mafic magmas of the Highwood Mountains, Montana", *American Mineralogist* 73, no. 9-10, 1007-1024 pp.
74. Passaglia, E., Sheppard, R. A., (2001), "The Crystal Chemistry of Zeolites", In: *Natural Zeolites: Occurrence, Properties, Applications* (D.L. Bish, D.W. Ming,

- editors), Mineralogical Society of America, Geochemical Society, 45 (1), 69-116 pp.
75. Pearce, T.H., (1970), "The analcite-bearing volcanic rocks of the Crowsnest Formation", Alberta: Canadian Journal of Earth Sciences, v. 7 (1), 46-66 pp.
 76. Pearce, T.H., (1993), "Analcime phenocrysts in igneous rocks; primary or secondary", Discussion: American Mineralogist, v. 78 (1-2), 225-229 pp.
 77. Pe-Piper, G., (2000), "Mode of occurrence, chemical variation and genesis of mordenite and associated zeolites from the Morden area, Nova Scotia, Canada", The Canadian Mineralogist, 38 (5), 1215-1232 pp.
 78. Pichler, H., and Schmitt-Reigraf, C., (1997), "Rock forming minerals in thin section", Chapman and Hall, London, 217 pp.
 79. Prelevic, D., foley, S. F., Lvetkonic, V, Romer, R. L., (2004), "The analcime problem and its impact on the geochemistry of ultra potassic rocks from Serbia", Mineralogical Magazine, Vol 68(4), 633-648 pp.
 80. Ramazani, J., Toker, R.D., (2003), "The saghand region, central Iran: U-Pb Geochronology, Petrogenesis and Implications for Gondwana Tectonics", American journal of Science, 303 (7), 622-665 pp.
 81. Redkin, A.F. and Hemley, J.J., (2000), "Experimental Cs and Sr sorption on analcime in rock-buffered systems at 250-300 degrees C and P sat and the thermodynamic evaluation of mineral solubilities and phase relations", European Journal of Mineralogy, v. 12 (5), 999-1014 pp.
 82. Saha, P., (1961), "The system NaAlSiO₄ (nepheline)-NaAlSi₃O₈, (albite)-H₂O", American Mineralogist, v. 46 (7-8), 859-884 pp.
 83. Senderov, E.E., (1974), "Experimental study of silicon and aluminum ordering phenomena in aluminosilicates", Bull. Soc. Fr. Mineral, Cristallogr, 97 (2-5), 393, 402 pp.
 84. Sengor, A. M. C., (1984), "The Cimmeridge orogenic system and the tectonic of Eurasia", Geol. Soc. Am. Special, 195, 82 pp.
 85. Shahabpour. J., (2007), "Island – arc affinity of the central Iranian volcanic belt", Journal of Asian Earth. Sci. 30 (5-6), 652 – 665 pp.
 86. Shelly, D., (1993), "Igneous and metamorphic rocks under microscope classification features, microstructures and mineral preferred orientations", Chapman & Hall, London, 405 pp.

87. Shojaat, B., Hassanipak, A., Mobasher, k., Ghazi, A.M., (2003), "Petrology, geochemistry and tectonics of the sabzevar ophiolite's North Central Iran", *Journal of Asian Earth Science*, 21 (9), 1053 – 1067 pp.
88. Shukla, A., Zhang, Y-H., Dubey, P., Margrave, J., Shukla, SS., (2002), "The role of sawdust in the removal of unwanted materials from water", *Journal of Hazardous Materials*; 95(1-2):137-52 pp.
89. Siivola, J., Rolf, S., (2007), "List of Mineral Abbreviations: Recommendations by the IUGS Subcommittee on the Systematics of Metamorphic Rocks", Web version 1-14 pp.
90. Spies, O., Lensch, G., Miha, A., (1984), "Geochemistry of the post- ophiolite Tertiary volcanic between Sabzevar and Quchan, NE Iran", *Geology Survey Iran, Report No. 51*, 247- 265 pp.
91. Stalder, P., (1971), "Magmatisme tertiaire et subrecent entre Taleghan et Alamout, Elbourz Central (Iran)", *Schweitz. Min. Petr. Mitt*, v. 51, 138 pp.
92. St. Cloud., (2007), "Zeolite", Website, Accessed October.
93. Stocklin, J., (1968), "Structural history and tectonics of Iran, a review", *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 52 (7), 1229–1285 pp.
94. Stocklin, J., (1974), "Possible ancient continental margins in Iran In: Burk, C. A. and Drake", C. A. (Eds), *The geology of continental margins*, Springer – Verlag, Berline, 873- 887 pp.
95. Stocklin, J., and Nabavi, M.H., (1973), "Tectonic Map of Iran 1:2500000 Geological Survey of Iran".
96. Takin, M., (1972), "Iranian geology and continental drift im the Middle East", *Nature* 235 (5334), 147-150 pp.
97. Taylor, M. W., Surdam, R C., (1981), "Zeolite reaction in tuffaceous sediments Teels Marsh, Nevada", *Clays and Clay Minerals*, 29 (5), 341-352 pp.
98. Teertstra, D.K., Sherriff, B.L., Xu Zhi., Cerny, P., (1994), "MAS and DOR NMR study of Al-Si order in the analcime-pollucite series", *Can. Mineral*, 32 (1), 3269-80 pp.
99. Tschernich, R.W., (1992), "Zeolites of the world", *Geoscience Press, Inc*, 565 pp.
100. Venuto, P. B., and Dekker, M., (1979), "Fluid Catalytic Cracking with Zeolite Catalysts", *Washington, Report HW- 76449*, 3 pp.

101. Weisenberger, T., Spurgin, S., (2009), "Zeolites in Alkaline Rocks of the Kaiserstuhl Volcanic complex, SW Germany–New Microprobe Investigation and the Relationship of Zeolite Mineralogy to the Host Rock", *Geologica Belgica*, 75-91 pp.
102. Weisenberger, T. B., Spurgin, S., Lahaye, Y., (2014), "Hydrothermal alteration and zeolitization of the Fohberg phonolite, Kaiserstuhl Volcanic Complex, Germany", *International Journal Earth Science (Geology Rundsch)*, 103 (8), 2273-2300 pp.
103. Weisenberger, T., Bucher, K., (2010), "Zeolites in fissures of granites and gneisses of the Central Alps", *Journal of metamorphic Geology*, 28 (8), 825-847 pp.
104. Wise, W. S., and Tschernich, R. W., (1978), "Habites, crystal forms and composition of thomsonite", *Canadian Mineralogist*, 16 (3), 487-493 pp.
105. Xioliang, Ma; King, S., (1997), "Determination of sulfur Compounds in Non-Polar Fraction of Vacuum Gas Oil", *Fuel*, Vol 76 (4), 329 pp.
106. Yücel, C., Temizel, R., AbdioRlu, E., Arslan, M., YaRcSoRlu, U.C., (2014), "Origin of analcimes in the Tertiary volcanic rocks from the Eastern Pontides (NE Turkey): a textural, mineralogical and geochemical approach", *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen: Journal of Mineralogy and Geochemistry*, 191 (3), 277-299 pp.

Abstract:

The Abbasabad Eocene volcano-sedimentary belt is located about 130 km NE Shahrood in the northeastern edge of Central Iran structural zone, including a sequence of Middle-Late Eocene volcanic rocks with interlayers of sedimentary rocks. The volcanic rocks are olivine basalt, trachybasalt, trachyandesite basalt, trachyandesite and andesite in compositions with plagioclase, pyroxene and olivine. There are significant abundance of spherulitic and veinlets zeolites and associated minerals such as calcite in the cavities and fractures of the trachybasalt and related pyroclastic host rocks in the particular horizons. Zeolites are the most commonly chemical reaction products between hydrothermal fluids and crustal rocks during hydrothermal, diagenesis and low-temperature metamorphic processes. Changing in temperature, pH, CO₂ and H₂O, Si/ Al ratio and the type of host rock are factors involved in diversity of zeolite mineralization in the area. Based on the results of X-ray diffraction (XRD) and thin section observations, the most common zeolites in the region are analcime, natrolite, prehnite and thomsonite that consequently growth as several different types of zeolites in one cavity. These types of zeolites are often formed in the cavities of alkaline-alkali rock compounds during low-temperature and diagenetic alterations, which is consistent with the geological facts, existing in the study region. Natrolite is the most zeolite species in the region, which can be applied for removing of water hardness. It can also be used as absorber for organic pollutions from the household and industrial wastewaters, filler in the paper industry, detergents and intake of heavy metals in the agricultural industry, livestock and poultry.

Keywords: Zeolites, Abbas-abad volcanic rocks, Analcime, Natrolite, Thomsonite, XRD.



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

M.Sc. Thesis in Geochemistry

**Geochemistry of zeolites from Abbasabad volcanic rocks,
Northeast Shahrood: Implication for genesis conditions and
their applications.**

By:

Somayeh Naderi Dastgerdi

Supervisor:

Dr. Habibullah. Ghasemi

Advisor:

Dr. Mehdi. Rezaei-Kahkhaei

January 2019