



دانشگاه سیستان و بلوچستان
تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته زمین شناسی (گرایش ژئوشیمی)

عنوان:

بررسی ژئوشیمی و نحوه تشکیل زئولیت‌های منطقه حرمک، شمال زاهدان، شرق ایران

استاد راهنما:

دکتر علی احمدی

اساتید مشاور:

دکتر محمد بومری

دکتر علی اصغر مریدی فریمانی

تحقیق و نگارش:

عذرا علافر

(این پایان نامه از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان بهره مند شده است)

شهریور ۱۳۹۰

بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان بررسی ژئوشیمی و نحوه تشکیل ژئولیت های منطقه حرمک، شمال زاهدان، شرق ایران قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد زمین شناسی (ژئوشیمی) توسط دانشجو عذرا علافر با راهنمایی استاد پایان نامه دکتر علی احمدی تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.



عذرا علافر

این پایان نامه ... واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ ۱۳۹۰/۰۳/۰۴ توسط هیئت داوران بررسی و درجه ... به آن تعلق گرفت.

تاریخ

امضاء

نام و نام خانوادگی




دکتر علی احمدی

استاد راهنما:

استاد راهنما:

دکتر محمد بومری

استاد مشاور:



دکتر علی اصغر مریدی فریمانی

استاد مشاور:

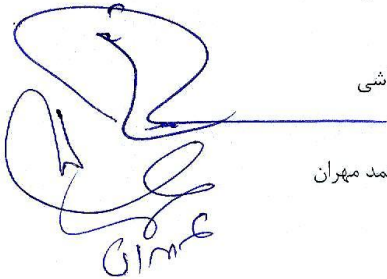
میثم نوروزی فر

داور ۱:

مصطفی قماش

داور ۲:

نماینده تحصیلات تکمیلی: مهندس محمد مهران



۱۳۹۰/۰۳/۰۴



تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب عذرا علافر تأیید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان‌نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می‌باشد.

عذرا علافر

امضاء

تقدیم به:

پدر و مادر مهربانم

عاشقانی که فروغ مهرشان از آینه چشمانشان جاریست
و هر چه دارم از برکت وجود آن‌هاست

و تقدیم به

روح پاک و عزیز برادرم که یادش همیشه در قلم خواهد ماند

و تقدیم به برادر دل‌سوز و خواهران پر مهر و محبتم

همراهان و یاوران همیشگی سخط‌های تلخ و شیرین زندگیم

سیاسگزاری

﴿ اِلهی عَلَمِنِی مِنْ عَمَلِکَ الْمَخْرُوجِ ﴾
خدایا مرا از اسرار نشان آگاه فرما

حمد و سپاس بی کران پروردگاری بهمتکه، هستی ام، بخشید و مرابہ طریق علم و دانش را، نمونه ساخت.

اینکه که بالطف و عنایت خداوند متعال نخواست این پایان نامه به اتمام رسیده است بر خود لازم می دانم از زحمات همه عزیزانی که در به ثمر رسیدن آن مرایاری نموده اند تشکر و قدر دانی بنمایم. از استاد کرامتدر جناب آقای دکتر علی احمدی که به عنوان استاد راهنما، هدایت گر این رساله بوده و با نظرات حکیمانه و ارزنده خویش راحکشا و مشوق من در انجام این تحقیق بوده اند سپاسگزاری می نمایم. از رهنمودها و مساعدت های دلسوزانه اساتید محترم مشاور جناب دکتر محمد بومری و دکتر علی اصغر مریدی صمیمانه تشکر می کنم. از جناب مهندس محمد مهران مدیر محترم گروه زمین شناسی، و از اساتید گرامی جناب دکتر مصطفی قاشی و جناب دکتر ششم نوروزی فر که زحمت داوری را قبل نموده اند کمال تشکر را دارم.

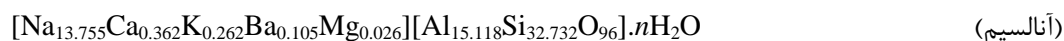
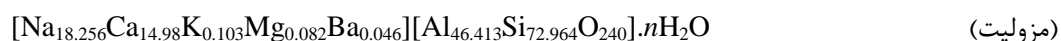
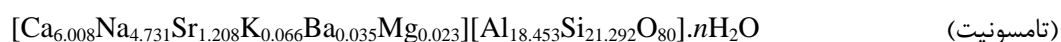
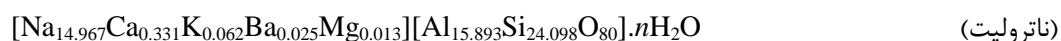
از آقای دکتر تویاس و ایزنبرگر استاد محترم دانشگاه فرایسبرگ آلمان به دلیل مساعدت های بی دریغ در ارسال مقالات و پاسخ به سوالات متعدد، از اساتید گرامی دکتر فرامر زلطی، دکتر حسن میرزاد و دکتر ساسان باقری، و همچنین از دوست عزیزم خانم معصومه کوسه لر به دلیل در اختیار گذاشتن تجارب ارزنده خویش بسیار ممنون و سپاسگزارم.

به کام بودن با قدم های سست در ابتدای راهی پر فراز و نشیب، سخت و شایسته سپاس بسیار است. از همراهی دوستان عزیزم خانم هارویه سهرابی - زاده، سیمه سراوانی، فاطمه پور مظفری، ندا واحدیان، زهرا مختاری، فاطمه کلگری، نجمه اشرف عسکری، رضوان میرزایی و دوستان مهربانی که در شرایط دشوار عملیات صحرائی نیز یاور بنده بودند به خصوص آقای آزاد کرمی و خانم نازد مختاری، زهرا فیروز کوهی، مروش نبینی، و آقایان آوات کرمی و مسعود فخرزاد صمیمانه تشکر و آرزوی شادی و سلامتی برای همه این عزیزان دارم.

در پایان بر خود لازم می دانم بار دیگر از زحمات فراوان والدین عزیزم، برادر و خواهران فدککار، و خواهرزاده های مهربان و دوست داشتنی ام تشکر و قدر دانی بنمایم. آمان که گرامی وجودشان همواره امید بخش من بوده و با حمایت و دلگرمی های بی پایانشان توانستم این پژوهش را به سرانجام رسانم.

چکیده

گدازه‌های مافیک آلکالن منطقه حرمک، شمال زاهدان، جنوب شرق ایران، میزبان گونه‌های مختلف از زئولیت‌ها و کانی‌های ثانویه هستند. زئولیت‌ها به سه صورت آمیگدالوئیدال، رگه‌ای، جایگزینی فازهای اولیه و زمینه تشکیل شده‌اند. بر اساس مطالعات صحرایی، سنگ‌شناسی، پراش اشعه ایکس (XRD)، تصاویر BSE، و تجزیه ریزکاو الکترونی، زئولیت‌های ناترولیت (فراوان‌ترین زئولیت)، آنالسیم (با سه رخداد متفاوت به صورت فنوکریست، آمیگدالوئیدی، و دگرسانی مستقیم از شیشه)، تامسونیت (در سه فرم بلوکی، تیغه‌ای، و مومی-شکل)، و به ندرت مزولیت و استلریت در این گدازه‌ها شناسایی شده‌اند. متوسط فرمول شیمیایی محاسبه شده برای زئولیت‌های ناترولیت، تامسونیت، مزولیت، و آنالسیم به ترتیب عبارتند از:



میانگین نسبت Si/Al برای ناترولیت، تامسونیت، مزولیت، و آنالسیم به ترتیب ۱/۵۲، ۱/۱۶، ۱/۵۷، و ۲/۱۷ محاسبه شده است. شواهدی نظیر پالائونیتی شدن شیشه زمینه، عدم حضور کانی‌های آب‌دار اولیه، و شکستگی‌های ریز در بلورها نشان می‌دهند که فنوکریست‌های آنالسیم منشأ ثانویه دارند و بر اثر تبدیل لوسیت به آنالسیم تشکیل شده‌اند. زئولیت‌های رشته‌ای بر اثر ته‌نشست از سیالات سطحی در حال گردش در طول شکستگی‌ها و در حفرات گدازه‌های متخلخل شکل گرفته‌اند. روند تشکیل کانی‌های ثانویه در آمیگدال‌ها به صورت فلدسپار (ارتوکلاز) ← کانی رسی (ورمیکولیت) ← آنالسیم ← مزولیت/تامسونیت ← ناترولیت ← کلسیت است. این توالی متأثر از تغییرات اکتیویته سیلیس و تمرکز کاتیون در سیالات زئولیت‌ساز، تغییرات pH، و یا دما بوده است. زئولیت‌های حرمک، به احتمال زیاد، در حین سرد شدن گدازه‌های میزبان و یا پس از آن، بر اثر ته‌نشست از سیالات شور و قلیایی در یک محیط دریاچه‌ای کم‌عمق، و در دمای کم، حدود ± 40 درجه سانتیگراد، شکل گرفته‌اند.

کلمات کلیدی: زئولیت - ناترولیت - تامسونیت - آنالسیم - گدازه‌های زئولیت‌دار

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: کلیات
۲	۱-۱- مقدمه
۳	۲-۱- ساختار پایان نامه
۴	۳-۱- اهداف تحقیق
۵	۴-۱- روش و ابزار انجام پژوهش
۶	۵-۱- موقعیت جغرافیایی
۷	۶-۱- مطالعات پیشین
۱۰	فصل دوم: زئولیت‌ها
۱۱	۱-۲- مقدمه
۱۱	۲-۲- تعریف زئولیت
۱۳	۳-۲- خواص فیزیکی زئولیت‌ها
۱۳	۴-۲- ساختمان و ترکیب شیمیایی زئولیت‌ها
۱۷	۵-۲- طبقه‌بندی
۱۹	۶-۲- چگونگی تشکیل زئولیت‌های طبیعی
۲۰	۷-۲- محیط‌های پیدایش زئولیت
۲۱	۱-۷-۲- زئولیت در محیط آذرین و جریان‌های گدازه
۲۱	۲-۷-۲- زئولیت در محیط‌های رسوبی و دگرگونی
۲۲	۱-۲-۷-۲- زئولیت در نهشته‌های دریایی شور و قلیایی
۲۳	۲-۲-۷-۲- زئولیت در خاک و نهشته‌های سطحی
۲۳	۳-۲-۷-۲- زئولیت در رسوبات دریایی عمیق
۲۴	۴-۲-۷-۲- زئولیت در دمای پایین، سیستم‌های تغذایی باز تا بسته
۲۴	۵-۲-۷-۲- دپازنر دفنی
۲۴	۶-۲-۷-۲- دگرسانی گرمایی
۲۵	۸-۲- کاربرد زئولیت‌ها
۲۵	۱-۸-۲- تبادل یون در زئولیت‌ها و کاربردهای آن
۲۷	۲-۸-۲- کاربرد زئولیت‌ها به عنوان جاذب‌های گزینشی
۲۷	۳-۸-۲- کاربردهای کاتالیتیکی
۲۸	۹-۲- پراکندگی زئولیت‌های طبیعی در ایران

۳۰	..... فصل سوم: زمین شناسی عمومی منطقه
۳۱	..... ۱-۳ - مقدمه
۳۱	..... ۲-۳ - پهنه توریدایت شرق ایران
۳۱	..... ۱-۲-۳ - زمین ساخت پهنه توریدایت شرق ایران
۳۲	..... ۲-۲-۳ - چینه شناسی حوضه توریدایت شرق ایران
۳۴	..... ۳-۲-۳ - ماگماتیسم در حوضه توریدایت شرق ایران
۳۵	..... ۳-۳ - زمین شناسی منطقه حرمک
۳۷	..... ۴-۳ - چینه شناسی منطقه حرمک
۳۷	..... ۱-۴-۳ - حوضه سفیدابه
۳۷	..... ۲-۴-۳ - سازند الیگومیوسن - میوسن
۳۸	..... ۳-۴-۳ - گدازه های حرمک
۴۰	..... ۱-۳-۴-۳ - سکانس جریان‌ی تحتانی
۴۱	..... ۲-۳-۴-۳ - سکانس جریان‌ی فوقانی
۴۵	..... ۴-۴-۳ - سازندهای کواترنری
۴۶	..... فصل چهارم: مطالعات صحرایی و سنگ شناسی
۴۷	..... ۱-۴ - مقدمه
۵۰	..... ۲-۴ - شواهد صحرایی و نمونه برداری
۵۴	..... ۳-۴ - مطالعات میکروسکوپی
۵۴	..... ۱-۳-۴ - گروه اول
۵۷	..... ۲-۳-۴ - گروه دوم
۵۹	..... ۳-۳-۴ - گروه سوم
۶۳	..... ۴-۳-۴ - گروه چهارم
۶۴	..... ۵-۳-۴ - گروه پنجم
۶۶	..... ۴-۴ - سنگ شناسی و معرفی زئولیت‌ها
۶۷	..... ۱-۴-۴ - آنالسیم
۶۸	..... ۲-۴-۴ - ناترولیت
۷۱	..... ۳-۴-۴ - تامسونیت
۷۳	..... ۴-۴-۴ - مزولیت
۷۴	..... ۵-۴-۴ - استلریت
۷۵	..... ۵-۴ - سایر کانی‌های ثانویه
۷۵	..... ۱-۵-۴ - کانی‌های فلدسپاتی
۷۷	..... ۲-۵-۴ - کانی‌های رسی
۷۸	..... ۳-۵-۴ - کلسیت
۷۹	..... فصل پنجم: ژئوشیمی و نحوه تشکیل زئولیت‌های حرمک
۸۰	..... ۱-۵ - مقدمه
۸۰	..... ۲-۵ - ترکیب شیمیایی زئولیت‌ها

۸۳	..... ۱-۲-۵ آنالسیم
۸۶	..... ۲-۲-۵ ناترولیت
۸۸	..... ۳-۲-۵ تامسونیت
۹۱	..... ۴-۲-۵ مزولیت
۹۲	..... ۳-۵ نحوه تشکیل زئولیت‌ها
۹۷	..... ۱-۳-۵ تشکیل آنالسیم
۱۰۳	..... ۲-۳-۵ رخداد و نحوه تشکیل زئولیت‌های رشته‌ای
۱۰۳	..... ۱-۲-۳-۵ تشکیل ناترولیت
۱۰۷	..... ۲-۲-۳-۵ تشکیل تامسونیت
۱۱۰	..... ۳-۳-۵ توالی تشکیل و ژئوشیمی سیال
۱۱۳	..... ۴-۵ مدل ترمودینامیکی و تخمین محدوده پایداری زئولیت‌ها
۱۱۷	..... ۵-۵ محیط تشکیل و منشأ زئولیت‌های منطقه مطالعاتی و ارائه مدل
۱۲۴	..... فصل ششم: نتیجه‌گیری
۱۳۰	..... مراجع
۱۴۱	..... پیوست‌ها
۱۴۲	..... پیوست (الف) - نمودارهای XRD از نمونه‌های زئولیتی حرمت
۱۴۶	..... پیوست (ب) - نتایج تجزیه ریزکاو الکترونی از فلدسپارها و کانی‌های رسی منطقه حرمت .

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان جدول
۱۸	جدول ۱-۲. طبقه‌بندی زئولیت‌ها بر اساس برک ۱۹۷۴ بر پایه واحدهای ساختاری ثانویه
۱۹	جدول ۲-۲. طبقه‌بندی زئولیت‌ها بر اساس رده‌بندی گوتاردی و گالی (۱۹۸۵)
۸۵	جدول ۱-۵. نتایج تجزیه ریزکاو الکترونی مربوط به آنالسیم‌های منطقه حرمت
۸۷	جدول ۲-۵. نتایج تجزیه ریزکاو الکترونی مربوط به ناترولیت‌های منطقه حرمت
۹۰	جدول ۳-۵. نتایج تجزیه ریزکاو الکترونی مربوط به تامسونیت‌های منطقه حرمت
۹۱	جدول ۴-۵. نتایج تجزیه ریزکاو الکترونی مربوط به مزولیت‌های منطقه حرمت
۱۰۰	جدول ۵-۵. نتایج تجزیه ریزکاو الکترونی از شیشه پالاگونیتی شده به همراه یک نمونه آنالسیم

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان شکل
۶	شکل ۱-۱. راه دسترسی به منطقه مورد مطالعه
۱۴	شکل ۱-۲. واحدهای ساختمانی اولیه متشکل از تتراهدرهای SiO_4 و AlO_4
۱۵	شکل ۲-۲. برخی واحدهای ساختاری ثانویه (SBU) در زئولیت‌ها
۱۵	شکل ۲-۳. واحد ساختاری ثانویه از نوع $4=1$ در زئولیت گروه ناترولیت
۲۲	شکل ۲-۴. دیاگرام‌های شماتیک نشان‌دهنده منطقه‌بندی زئولیت در نهشته‌های آذرآواری
۳۳	شکل ۳-۱. زون زمین‌درز سیستان و جایگاه دو مجموعه افیولیتی و مجموعه رسوبی سفیدابه
۳۶	شکل ۳-۲. نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه حرماک
۳۹	شکل ۳-۳. تصویر ماهواره‌ای از منطقه مورد مطالعه
۴۰	شکل ۳-۴. نمایی از سطح تماس گدازه‌های واحد تحتانی بر روی رسوبات تخریبی
۴۱	شکل ۳-۵. نمای عرضی از گدازه‌های سکانس فوقانی
۴۲	شکل ۳-۶. میان‌لابه‌هایی از شیل، مارن، و ماسه‌سنگ در بین واحدهای گدازه‌ای
۴۳	شکل ۳-۷. جایگیری گدازه‌های منطقه حرماک بر روی رسوبات تخریبی الیگومیوسن
۴۴	شکل ۳-۸. تصویری از ساخت‌های ستونی که بر اثر انقباض سریع به وجود آمده‌اند
۴۴	شکل ۳-۹. تصویری از رگه‌های روشن زئولیتی - فلدسپاتی
۴۵	شکل ۳-۱۰. گردشگری بلوک‌های سخت گدازه‌ای بر اثر نیروهای تکتونیکی - فرسایشی
۵۱	شکل ۴-۱. تصاویر مختلف از رشد زئولیت در گدازه‌های منطقه حرماک
۵۷	شکل ۴-۲. تصاویر مربوط به سنگ‌های گروه اول
۵۹	شکل ۴-۳. تصاویر میکروسکوپی مربوط به مقاطع گروه دوم
۶۲	شکل ۴-۴. تصاویری از سنگ‌های گروه سوم

- شکل ۴-۵. مقطع میکروسکوپی از سنگ فنولیتی ۶۴
- شکل ۴-۶. تصاویر مربوط به نمونه‌های برداشت شده از درزه‌های کششی افقی ۶۵
- شکل ۴-۷. بلورهای بی‌شکل آنالسیم به صورت پر کننده فضاهای خالی سنگ ۶۷
- شکل ۴-۸. بلورهای ناترولیت در نمونه دستی و مقاطع میکروسکوپی ۶۹
- شکل ۴-۹. نمودار XRD از آمیگدال زئولیتی شامل دو فاز تامسونیت و ناترولیت ۷۰
- شکل ۴-۱۰. تصویر میکروسکوپی از زئولیت تامسونیت به فرم بلوکی ۷۲
- شکل ۴-۱۱. تصویر میکروسکوپی از رشته‌های تیغه‌ای شکل تامسونیت در کنار ناترولیت ۷۲
- شکل ۴-۱۲. نمودار XRD از آمیگدال زئولیتی شامل دو فاز آنالسیم و تامسونیت ۷۳
- شکل ۴-۱۳. نمودار XRD از آمیگدال زئولیتی شامل دو فاز تامسونیت و استلریت ۷۵
- شکل ۴-۱۴. حفره مدور پر شده با کانی‌های ثانویه (هیالوفان و تالک) ۷۶
- شکل ۴-۱۵. تصویر میکروسکوپی از حفره زئولیتی به همراه ورمیکولیت و فلدسپات آلکالن ۷۸
- شکل ۴-۱۶. تصویر میکروسکوپی از زئولیت‌های رشته‌ای در زمینه‌ای از سیمان کربناتی ۷۸
- شکل ۵-۱. نمودار سه تایی Si_4O_8 - $\text{D}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$ - $\text{M}_2(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$ ۸۲
- شکل ۵-۲. نمودار سه تایی $(\text{Ca}+\text{Ba}+\text{Sr}+\text{Mg})$ - Na - K ۸۲
- شکل ۵-۳. تصاویر میکروسکوپی از فنوکریست‌های کوبیک و مدور آنالسیم ۱۰۰
- شکل ۵-۴. تصویر میکروسکوپی از رخداد آنالسیم بر اثر دگرسانی مستقیم شیشه آتشفشانی ۱۰۱
- شکل ۵-۵. تصویر BSE از حفره هموزن پر شده با آنالسیم ۱۰۲
- شکل ۵-۶. تصاویر BSE (نمونه‌های Z6، Z6-1 و Z13) از توالی کانی‌های ثانویه و زئولیت ۱۰۴
- شکل ۵-۷. تامسونیت به فرم بلوکی، تیغه‌ای، و مومی شکل در سنگ‌های حرمت ۱۰۸
- شکل ۵-۸. نمودارهای مقادیر $\log[(a\text{K}^+)^2/a\text{Ca}^{2+}]$ در مقابل $\log[(a\text{Na}^+)^2/a\text{Ca}^{2+}]$ ۱۱۴
- شکل ۵-۹. نمودارهای $\log a(\text{Na}^+)$ در مقابل $\log a(\text{SiO}_2)$ ۱۱۵
- شکل ۵-۱۰. دامنه پایداری دما برای کانی‌های زئولیتی شناخته شده در سنگ‌های آتشفشانی ۱۱۶

فهرست علائم اختصاری کانی‌ها (Kretz, 1983)

نشانه	علامت
کلینوپیروکسن	Cpx
الیون	Ol
آنالسیم	Anl
آپاتیت	Ap
کلسیت	Cal
ارتوکلاز	Or
آلیت	Ab
آنورتیت	An
فلدسپات آلکالن	Kfs
لوسیت	Lct



The University of Sistan & Baluchestan
Graduate School

The Dissertation of M.Sc. in geology (Geochemistry)

Title:

**Geochemistry and Genesis of Zeolite
in Hormak Area, North of Zahedan,
Eastern Iran**

Supervisor:

Dr. Ali Ahmadi

Advisors:

Dr. Mohamad Boomeri

Dr. Ali Asghar Moridi

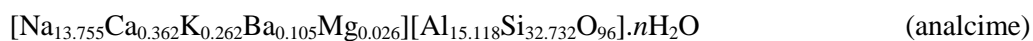
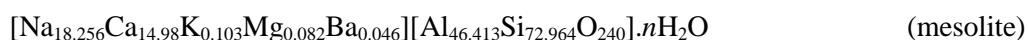
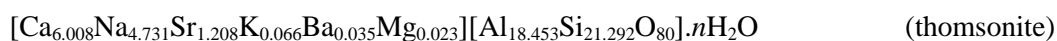
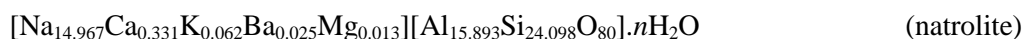
Research by:

Ozra Alafar

Sep. 2011

ABSTRACT

Mafic alkaline lavas in Hormack area, North of Zahedan, SE Iran, are host of zeolites and secondary minerals. Zeolites are formed in three forms: amygdaloidal, vein-type, and as replacement of both primary phases and groundmass. Based on field, petrographic, X-Ray diffraction (XRD), and Backscattered Secondary Electron (BSE) studies, and electron microprobe analyses, the identified zeolites are natrolite (the most abundant), analcime (occurring as phenocryst, amygdaloidal, and direct alteration of glass), thomsonite (in three blocky, bladed, and waxy-growth habits), and minor mesolite and stellerite. Average chemical formulae, calculated for natrolite, thomsonite, mesolite, and analcime, respectively, are:



Mean Si/Al ratios calculated for natrolite, thomsonite, mesolite, and analcime are 1.52, 1.16, 1.57, and 2.17, respectively. Evidence such as palagonitization of groundmass glass, absence of hydrous igneous minerals, and microcrystalline cracks in analcime phenocrysts indicate secondary origin for this mineral, forming as a result of leucite-analcime transformation. Fibrous zeolites have formed due to precipitation from the percolating surface fluids along fissures and in cavities of the porous lavas. Paragenetic sequence of secondary minerals in amigdals is: feldspar (orthoclase) → clay mineral (vermiculite) → analcime → mesolite/thomsonite → natrolite → calcite. This sequence is the result of changes in silica activity, cation concentrations in zeolite-forming fluids, variations of pH and or temperature. The zeolites most probably have formed during or after post-magmatic cooling of the host lava flows, and as the result of precipitation from shallow-lake-related, saline, alkaline fluids at low temperatures, about 100 ± 40 °C.

Keywords: Zeolite – Natrolite – thomsonite – analcime – Zeolite bearing lavas

فصل اول

کلیات

زئولیت‌ها دسته‌ای از آلومینوسیلیکات‌های بلورین و آبدار، و دارای کاتیون‌های قابل تعویض از عناصری مانند سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، استرانسیم، و باریم هستند. این کانی‌ها به طور برگشت‌پذیر توانایی جذب و واجذب آب را دارند. این مواد از دیدگاه ساختاری پلیمرهای بلورین پیچیده با شبکه سه‌بعدی شامل چهاروجهی‌های $[\text{SiO}_4]^{4-}$ و $[\text{AlO}_4]^{5-}$ هستند که از طریق به اشتراک گذاشتن یون‌های اکسیژن به هم متصل می‌شوند.

اهمیت زیاد زئولیت‌ها از وجود مجراهای وسیع در آن‌ها سرچشمه می‌گیرد. ساختار این کانی‌ها شامل کانال‌ها و منفذهایی است که به وسیله آب و یا کاتیون‌های قابل تعویض پر شده است. هم‌چنین برخی کاتیون‌های موجود در کانال‌ها قادر به تعویض و تبادل، بدون تغییر در ساختار اصلی کانی‌های زئولیت هستند. خواص کم نظیر این کانی‌ها توجه بسیاری از دانشمندان و محققان در زمینه‌های مختلف را به خود معطوف ساخته است.

در سال‌های اخیر، همگام با توسعه صنعت و تکنولوژی، استفاده از ترکیباتی که دارای خصوصیات جذب سطحی و تبادل یونی بوده و از مواد طبیعی مشتق شده باشند حائز اهمیت گردیده‌اند. در این میان مبادله‌کننده‌های معدنی، مانند زئولیت‌ها، و مخصوصاً انواع طبیعی آن‌ها، به دلایلی چون قدرت انتخاب‌گری بالا نسبت به کاتیون‌های مختلف فلزات سنگین، پایداری شیمیایی، فیزیکی و حرارتی مطلوب، قیمت بسیار ارزان، دسترسی آسان و انحصاری نبودن آنها (برخلاف مبادله‌کننده‌های رزین مصنوعی) مورد توجه هستند (اصیلیان و همکاران، ۱۳۸۲).

از آنجا که خصوصیات زئولیت‌های موجود در مناطق مختلف، به دلیل ویژگی‌های خاص ساختار شیمیایی با هم متفاوت هستند، می‌بایست مطالعات جداگانه‌ای در هر منطقه صورت پذیرد. زئولیت‌های موجود در سنگ‌های آذرین از لحاظ مطالعاتی، کمک به تجزیه و تحلیل فرایندهای زمین‌شناختی مؤثر در تشکیل زئولیت‌ها، و همچنین شناخت سیالات موجود در شرایط زمین‌شناسی مختلف از جایگاه و اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. شناسایی نوع و ترکیب شیمیایی زئولیت‌های موجود در هر منطقه، بررسی ژئوشیمی و نحوه تشکیل آن‌ها می‌تواند اطلاعات مفیدی برای مطالعات بعدی نظیر خواص ساختاری، قدرت جذب و تبادل یونی، شرایط سنتز مصنوعی و در مجموع امکان بهره‌مندی مطلوب‌تر از این مواد را فراهم آورد.

در این پژوهش که نخستین پایان‌نامه زمین‌شناسی صورت گرفته بر روی ژئولیت‌های منطقه حرمک است، سعی بر آن است که با مطالعه شیمی ژئولیت‌ها، به فهم فرایندهای ژئوشیمیایی تشکیل آنها نزدیک شویم. منطقه مورد مطالعه در حوالی روستای حرمک و در ۵۰ کیلومتری شمال زاهدان قرار گرفته است. در میان واحدهای تخریبی و ندرتا مارنی رخساره‌های الیگومیوسن این منطقه، میان لایه‌هایی از جریان‌های گدازه‌ای به چشم می‌خورند که وسعت تقریبی آنها تنها بر اساس رخنمون به ۴۰ کیلومتر می‌رسد (باقری و بخشی، ۱۳۸۰). این گدازه‌های مافیک میزبان انواع مختلفی از کانی‌های ثانویه از جمله ژئولیت‌ها هستند.

۱-۲- ساختار پایان‌نامه

این رساله در ۶ فصل به شرح زیر ارائه می‌گردد:

❖ فصل اول: کلیاتی در مورد پژوهش، اهداف، روش‌ها، موقعیت جغرافیایی و سوابق مطالعاتی منطقه آورده شده است.

❖ فصل دوم: در این فصل به طور خلاصه مطالبی جهت معرفی ژئولیت، خواص فیزیکی، ساختمان و ترکیب شیمیایی، رده‌بندی، محیط پیدایش، کاربرد و در نهایت پراکندگی ژئولیت‌های طبیعی در ایران آورده شده است. در این فصل سعی شده است که از جامع‌ترین و معتبرترین منابع و کتب انتشار یافته در مقوله ژئولیت‌ها استفاده گردد.

❖ فصل سوم: به بررسی زمین‌شناسی منطقه شمال زاهدان و به خصوص منطقه حرمک پرداخته شده است.

❖ فصل چهارم: شواهد صحرایی و نتایج حاصل از مطالعات میکروسکوپی و سنگ‌شناسی در قالب تصاویر و تفسیرهای انجام گرفته، ارائه شده است.

❖ فصل پنجم: با تکیه بر نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی و تلفیق آنها با مطالعات صحرایی و سنگ‌شناسی، به شناسایی دقیق ژئولیت‌های موجود در منطقه، محاسبه فرمول شیمیایی و نحوه رخداد آنها پرداخته شده است. هم‌چنین سعی شده است در مورد محیط و نحوه تشکیل ژئولیت‌های منطقه نیز بحث و گفتگو شود.

❖ فصل ششم: نتایج حاصل از این پژوهش به صورت خلاصه آورده شده است.

۱-۳- اهداف تحقیق

اهداف مورد نظر در این پژوهش عبارتند از:

- ۱- بررسی شواهد صحرایی و توصیف نحوه رخداد و شکل‌گیری زئولیت‌ها در سنگ میزبان آتشفشانی
- ۲- انجام مطالعات سنگ‌شناسی و بررسی روابط بافتی از مقاطع زئولیتی و سنگ میزبان آن‌ها
- ۳- شناسایی فازهای مختلف از کانی‌های زئولیتی موجود در حفرات سنگ با استفاده از نتایج پراش پرتو ایکس (XRD)
- ۴- شناسایی نوع زئولیت‌های منطقه و محاسبه فرمول شیمیایی دقیق آن‌ها با استفاده از نتایج تجزیه ریزکاو الکترونی (*Electron microprobe analyses*)
- ۵- مطالعات ژئوشیمی و تشخیص فرایندهای مؤثر در تشکیل کانی‌های زئولیتی با استناد به شواهد و آنالیزهای صورت گرفته
- ۶- تشخیص توالی پاراژنزی در آمیگدال‌های زئولیتی و پی بردن به شیمی سیال زئولیت‌ساز و تغییرات هیدروژئوشیمیایی آن، طی ته‌نشست کانی‌های ثانویه در حفرات و آمیگدال‌ها
- ۷- بررسی منشأ و محیط تشکیل احتمالی زئولیت‌های منطقه

۱-۴- روش و ابزار انجام پژوهش

به منظور پیشبرد اهداف پژوهش، پس از بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی، جهت بررسی‌های صحرایی و نمونه-برداری بازدیدهایی صورت گرفت و نمونه‌برداری در امتداد طول و به خصوص عمود بر گدازه‌های ژئولیت‌دار انجام پذیرفت. لازم به ذکر است که طی شناسایی مقدماتی از منطقه مسیرهایی جهت نمونه‌برداری انتخاب گردید که بیشترین میزان ژئولیت‌زایی در آن مشاهده شده بود. بیش از ۷۰ نمونه، شامل ژئولیت و سنگ میزبان آن به آزمایشگاه منتقل گردید. پس از بررسی دقیق نمونه‌های دستی حدود ۴۱ نمونه شامل ژئولیت و سنگ میزبان انتخاب و برای تهیه مقاطع نازک صیقلی به دانشگاه تربیت معلم تهران ارسال گردید. این نمونه‌ها از آمیگدال‌هایی که در ظاهر تغییراتی در رنگ و نوع کانی ژئولیتی نشان می‌دادند، نمونه‌های خالص ژئولیتی، تعدادی نمونه از رگه‌ها، و تعدادی هم از سنگ میزبان ژئولیت‌دار انتخاب شدند. پس از آماده شدن مقاطع، مطالعات دقیق سنگ‌شناسی بر روی آن‌ها آغاز شد. با تلفیق مشاهدات میکروسکوپی و نمونه‌های دستی و به منظور شناسایی برخی فازهای تشکیل دهنده آمیگدال‌ها، ۷ نمونه جهت تجزیه XRD انتخاب شدند. این نمونه‌ها حدود ۱ ساعت در اسید کلریدریک ۰/۱ مولار قرار گرفتند تا ناخالصی‌های کربنات آن تا حد مقدور خارج شود. سپس در هاون آگاتی به دقت پودر شده و به آزمایشگاه طیف کانساران بینالود مشهد فرستاده شد (تجزیه‌ها توسط دستگاه مدل Philips PW1840، تیوپ اشعه مس، طول موج ۱/۵۴ آنگستروم، و با استفاده از معادله براگ $n\lambda = 2d \sin\theta$ انجام گردید).

جهت انجام مطالعات ژئوشیمی، شامل شناسایی دقیق ژئولیت‌ها، نحوه رشد و شکل‌گیری آن‌ها تعدادی از مقاطع نازک صیقلی مربوط به ژئولیت‌های موجود در زمینه شیشه‌ای، ژئولیت‌های پرکننده حفرات و کانی‌های ثانویه همراه آن توسط مطالعات دقیق میکروسکوپی انتخاب گردیده و حدود ۶۵ نقطه از این نمونه‌ها مورد تجزیه ریزکاو الکترونی قرار گرفت. این تجزیه‌ها توسط دکتر علی احمدی در دانشگاه نیوبرانزویک کانادا و توسط دستگاه ریزکاو الکترونی JEOL مدل Superprobe733 صورت پذیرفت. از این نقاط، ۲۳ تصویر میکروسکوپ الکترونی، BSE (*Back scattered electron*) نیز تهیه شده است.