دانشگاه سیستان و بلوچستان

تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته زمین‌شناسی (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 زئولیت های منطقه حرمک، شمال زاهدان، شرق ایران** قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد **زمین‌شناسی (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 ۸ واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ ۹۰/۶/۳۱ توسط هیئت داوران بررسی و درجه عالی به آن تعلق گرفت.

	نام و نام خانوادگی	امضاء	تاریخ
استاد راهنما:	دکتر علی احمدی		
استاد راهنما:			
استاد مشاور:	دکتر محمد بومری		
استاد مشاور:	دکتر علی اصغر مریدی فریمانی		
داور ۱:	میثم نوروزی‌فر		
داور ۲:	مصطفی قماشی		
نماینده تحصیلات تکمیلی:	مهندس محمد مهران		۹۰/۶/۳۱

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب عذرا علافر تأیید می کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه 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 پایان نامه 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 می باشد.

عذرا علافر

امضاء

تقدیم به:

پدر و مادر مهربانم

عاشقانی که فروغ مهرشان از آئینه چشمانشان جاریست

وهرچه دارم از برکت وجود آن هاست

وتقدیم به

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

وتقدیم به برادر دلسوز و خواهران پر مهر و محبتم

همراهان و یاوران همیشگی لحظه های تلخ و شیرین زندگیم

سپاسگزاری

﴿ إلهی علّمنی من علمک المخزون ﴾ خدایا مرا از اسرار نهان آگاه فرما

حمد و سپاس بی کران پروردگار بی همتا که هستی ام بخشید و مرا به طریق علم و دانش رهنمون ساخت.

اینک که با لطف و عنایت خداوند متعال نگارش این پایان نامه به اتمام رسیده است بر خود لازم می دانم از زحمات همه عزیزانی که در به ثمر رسیدن آن مرا یاری نموده اند تشکر و قدردانی نمایم. از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر علی احمدی که به عنوان استاد راهنما، هدایت گر این رساله بوده و با نظرات حکیمانه و ارزنده خویش راهگشا 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 یثم نوروزی فرکه زحمت داوری را تقبل نموده اند کمال تشکر را دارم.

از آقای دکتر توبیاس وایزنبرگر استاد محترم دانشگاه فرایبرگ آلمان به دلیل مساعدت های بی دریغ در ارسال مقالات و پاسخ به سؤالات متعدد، از اساتید گرامی دکتر فرامرز طوطی، دکتر حسن میرنژاد 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.

همگام بودن با قدم هایی سست در ابتدای راهی پر فراز و نشیب، سخت و شایسته سپاس بسیار است. از همراهی دوستان عزیزم خانم ها مرضیه سهرابی-زاده، سمیه سرداوانی، فاطمه پور مظفری، ندا واحدیان، زهرا مختاری، فاطمه کارگری، نجمه اشرف عسگری، رضوان میرزایی و دوستان مهربانی که در شرایط دشوار عملیات صحرایی نیز یاور بنده بودند به خصوص آقای آزاد کریمی و خانم ها ندا مختاری، زهرا فیروزکوهی، مهروش نیسئی، و آقایان آوات کریمی و مسعود فرخ نژاد صمیمانه تشکرم 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 فداکار، و خواهرزاده های مهربان و دوست داشتنی ام تشکر و قدردانی نمایم. آنان که گرمای وجودشان همواره امید بخش من بوده و با حمایت و دلگرمی های بی پایانشان توانستم این پژوهش را به سرانجام رسانم.

عذرا علافر، شهریور ۹۰

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:

$[Na_{14.967}Ca_{0.331}K_{0.062}Ba_{0.025}Mg_{0.013}][Al_{15.893}Si_{24.098}O_{80}].nH_2O$ (ناترولیت)

$[Ca_{6.008}Na_{4.731}Sr_{1.208}K_{0.066}Ba_{0.035}Mg_{0.023}][Al_{18.453}Si_{21.292}O_{80}].nH_2O$ (تامسونیت)

$[Na_{18.256}Ca_{14.98}K_{0.103}Mg_{0.082}Ba_{0.046}][Al_{46.413}Si_{72.964}O_{240}].nH_2O$ (مزولیت)

$[Na_{13.755}Ca_{0.362}K_{0.262}Ba_{0.105}Mg_{0.026}][Al_{15.118}Si_{32.732}O_{96}].nH_2O$ (آنالسیم)

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 پالاگونیتی 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 وتمرکز 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 ۴۰ ± ۱۰۰ درجه سانتیگراد، شکل گرفته‌اند.

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

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

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

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

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

فهرست جدول‌ها

عنوان جدول **صفحه**

جدول ۲-۱. طبقه‌بندی زئولیت‌ها بر اساس برک ۱۹۷۴ بر پایه واحدهای ساختاری ثانویه ۱۸

جدول ۲-۲. طبقه‌بندی زئولیت‌ها بر اساس رده‌بندی گوتاردی و گالی (۱۹۸۵) ۱۹

جدول ۵-۱. نتایج تجزیه ریزکاو الکترونی مربوط به آنالسیم‌های منطقه حرمک ۸۵

جدول ۵-۲. نتایج تجزیه ریزکاو الکترونی مربوط به ناترولیت‌های منطقه حرمک ۸۷

جدول ۵-۳. نتایج تجزیه ریزکاو الکترونی مربوط به تامسونیت‌های منطقه حرمک ۹۰

جدول ۵-۴. نتایج تجزیه ریزکاو الکترونی مربوط به مزولیت‌های منطقه حرمک ۹۱

جدول ۵-۵. نتایج تجزیه ریزکاو الکترونی از شیشه پالاگونیتی شده به همراه یک نمونه آنالسیم ۱۰۰

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۱-۱. راه دسترسی به منطقه مورد مطالعه ۶

شکل ۲-۱. واحدهای ساختمانی اولیه متشکل از تتراهدرهای SiO_4 و AlO_4 ۱۴

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 ۱۵

شکل ۲-۴. دیاگرام‌های شماتیک نشان‌دهنده منطقه‌بندی زئولیت در نهشته‌های آذرآواری ۲۲

شکل ۳-۱. زون زمین‌درز سیستان و جایگاه دو مجموعه افیولیتی و مجموعه رسوبی سفیدابه ۳۳

شکل ۳-۲. نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه حرمک ۳۶

شکل ۳-۳. تصویر ماهواره‌ای از منطقه مورد مطالعه ۳۹

شکل۳-۴. نمایی از سطح تماس گدازه‌های واحد تحتانی بر روی رسوبات تخریبی ۴۰

شکل ۳-۵. نمای عرضی از گدازه‌های سکانس فوقانی ۴۱

شکل ۳-۶. میان‌لایه‌هایی از شیل، مارن، و ماسه‌سنگ در بین واحدهای گدازه‌ای ۴۲

شکل ۳-۷. جایگیری گدازه‌های منطقه حرمک بر روی رسوبات تخریبی الیگومیوسن ۴۳

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 ۴۴

شکل ۳-۱۰. گردشدگی بلوک‌های سخت گدازه‌ای بر اثر نیروهای تکتونیکی- فرسایشی ۴۵

شکل ۴-۱. تصاویر مختلف از رشد زئولیت در گدازه‌های منطقه حرمک ۵۱

شکل ۴-۲. تصاویر مربوط به سنگ‌های گروه اول ۵۷

شکل ۴-۳. تصاویر میکروسکوپی مربوط به مقاطع گروه دوم ۵۹

شکل ۴-۴. تصاویری از سنگ‌های گروه سوم ۶۲

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- $D(Al_2Si_2O_8)$- $M_2(Al_2Si_2O_8)$ ۸۲
شکل ۵-۲. نمودار سه‌تایی (Ca+Ba+Sr+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 هموژن 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 حرمک ۱۰۸
شکل ۵-۸. نمودارهای مقادیر $\log[(aK^+)^2/aCa^{2+}]$ در مقابل $\log[(aNa^+)^2/aCa^{2+}]$ ۱۱۴
شکل ۵-۹. نمودارهای $\log a(Na^+)$ در مقابل $\log a(SiO_2)$ ۱۱۵
شکل ۵-۱۰. دامنه پایداری دما برای کانی‌های زئولیتی شناخته شده در سنگ‌های آتشفشانی ۱۱۶

فهرست علائم اختصاری کانی‌ها (Kretz, 1983)

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

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:

$[Na_{14.967}Ca_{0.331}K_{0.062}Ba_{0.025}Mg_{0.013}][Al_{15.893}Si_{24.098}O_{80}].nH_2O$ (natrolite)

$[Ca_{6.008}Na_{4.731}Sr_{1.208}K_{0.066}Ba_{0.035}Mg_{0.023}][Al_{18.453}Si_{21.292}O_{80}].nH_2O$ (thomsonite)

$[Na_{18.256}Ca_{14.98}K_{0.103}Mg_{0.082}Ba_{0.046}][Al_{46.413}Si_{72.964}O_{240}].nH_2O$ (mesolite)

$[Na_{13.755}Ca_{0.362}K_{0.262}Ba_{0.105}Mg_{0.026}][Al_{15.118}Si_{32.732}O_{96}].nH_2O$ (analcime)

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 microcrystaline 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 ^{o}C.

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

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

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 $[SiO_4]^{4-}$ و $[AlO_4]^{5-}$ 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 مبادله کننده‌های معدنی، مانند زئولیت‌ها، و مخصوصا 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 مبادله کننده‌های 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، می بایست 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 زئولیت‌های منطقه حرمک است، سعی بر آن است که با مطالعه شیمی زئولیت‌ها، 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 زئولیت‌ها 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 زئولیت، خواص فیزیکی، ساختمان و ترکیب شیمیایی، رده‌بندی، محیط پیدایش، کاربرد و در نهایت پراکندگی زئولیت‌های طبیعی در ایران آورده شده است. در این فصل سعی شده است که از جامع‌ترین و معتبرترین منابع و کتب انتشار یافته در مقوله زئولیت‌ها 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 زئولیت‌های موجود در منطقه، محاسبه فرمول شیمیایی و نحوه رخداد آن‌ها پرداخته شده است. هم‌چنین سعی شده است در مورد محیط و نحوه تشکیل زئولیت‌های 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 زئولیت‌دار انجام پذیرفت. لازم به ذکر است که طی شناسایی مقدماتی از منطقه مسیرهایی جهت نمونه‌برداری انتخاب گردید که بیشترین میزان زئولیت‌زایی در آن مشاهده شده بود. بیش از ۷۰ نمونه، شامل زئولیت و سنگ میزبان آن به آزمایشگاه منتقل گردید. پس از بررسی دقیق نمونه‌های دستی حدود ۴۱ نمونه شامل زئولیت 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 زئولیتی نشان می‌دادند، نمونه‌های خالص زئولیتی، تعدادی نمونه از رگه‌ها، و تعدادی هم از سنگ میزبان زئولیت‌دار 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 زئولیت‌ها، نحوه رشد و شکل‌گیری آن‌ها تعدادی از مقاطع نازک صیقلی مربوط به زئولیت‌های موجود در زمینه شیشه‌ای، زئولیت‌های 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.