

بررسی ژئولیت‌های بادامکی ورگه‌ای منطقه‌های سیاه کوه، دوازده امام و اراده در بخش شمالی ایران مرکزی

کمال‌الدین باززرگانی گیلانی: گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران
محمدصادق ربّانی: گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران

چکیده

مشاهدات صحرایی و آزمایشگاهی نشان داده است که ژئولیت‌های موجود در سنگهای آتشفشانی بالایی واقع در سه منطقه سیاه کوه، دوازده امام و اراده در بخش شمالی ایران مرکزی دارای ساختار و بافت بسیار مشابهی هستند. ژئولیت‌ها از دیگر کانی‌های همراه، عمدتاً در سنگهای آندزیتی و بازالتی و فایده صنعتی سبکی خاص سده‌ایند. ژئولیت‌ها و کانی‌های همراه به ترتیب اولویت تشکیل، بدون در نظر گرفتن تنوع با فراوانی هر یک از کانی‌ها، عبارتند از: اسکیت، ناکلس، مامولیت، آبالسیم، تتراناترولیت، ناترولیت، سزولیت، استیلیت، اسکولیت، کلسیت، اوبال، کوآرتز و پیرولوسیت. تشکیل ژئولیت‌ها و سایر کانی‌های همراه در مناطق مورد مطالعه در شرایط گرمایی (هیدروترمال) مراحل تأخیری صورت گرفته است. به نظر می‌رسد که گستره دمای تشکیل انواع ژئولیت‌ها از اراده به سوی دوازده امام تا سیاه کوه به تدریج کاهش یافته است. نمونه خالصی از ناترولیت در ساد کوه یافت شده که فرمول آن بر مبنای ۸۰ اتم اکسیژن به صورت $(\text{Si}_{24.20}\text{Al}_{15.80}\text{Fe}_{0.40})(\text{Na}_{15.5})\text{O}_{80.16}.82\text{H}_2\text{O}$ است. واژه‌های کلیدی: آبالسیم، اراده، ایران مرکزی، دوازده امام، گرمایی، ناترولیت، ساد کوه، اسکیت، ژئولیت

Study of amygdaloidal and cavity zeolites of Siah Kuh, Davazdah Emam and Aradeh Mountain, north of Central Iran

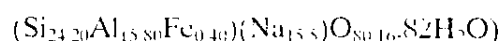
Bazargani-Guilani: Department of Geology, Faculty of Science, Tehran University, Tehran-Iran

M.S. Rabbani: Department of Chemistry, Faculty of Science, Tehran University, Tehran-Iran

E-mail: mrabbani@chamran.ut.ac.ir

Abstract

Laboratory and field evidences showed that the zeolites of upper Eocene rocks of the title localities have relatively similar structures and textures. The zeolites and other associated minerals are found in andesitic and basaltic rocks without any apparent zoning. The zeolites and other associated minerals, regardless of their relative abundances or number of different species in each region, sequentially are: smectite and/or calcite, thomsonite, analcime, tetranatrolite, natrolite, mesolite, stilbite, scolecite, calcite, opal, quartz and pyrolusite. They are formed in the late hydrothermal stage. The heat expanse of the zeolite formation from Aradeh towards Davazdah Emam till Siah Kuh has been reduced gradually. A relatively pure natrolite sample was found in Siah Kuh, only. Chemical analysis of the natrolite sample was compared with those of other regions. The formula, based on 80 oxygen atoms, is:



۱- مقدمه

ژئولیت‌ها دسته‌ای از کانیهای متشکل از آلومینوسیلیکاتهای حفره‌دارند که در این حفره‌ها مولکول‌های آب و کاتیون‌های متفاوتی مانند لیتیم، سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، استرانسیم، باریوم، همچنین منگنز و آهن به مقدار محدودتری جای دارند. ژئولیت‌ها به سبب سهولت تبادل کاتیون‌های مربوط شاخص بوده و به جهت پایداری حرارتی نسبتاً بالا، دارا بودن حفره‌هایی به اندازه‌های معین و شکل‌های مشخص و قابلیت گزینشی تبادل یون، مصارف متنوع و متعددی در صنعت، کشاورزی، خوراک دام و طیور، حفاظت محیط زیست، مصالح ساختمانی و غیره دارند. ژئولیت‌های مورد مطالعه در این پژوهش از کانی‌های عمومی و عادی و غیر رسوبی پوسته زمین می‌باشند که در شرایط گرمایی مراحل پایانی و یا در نتیجه دگرسانی^(۱) در حفره‌ها و رگه‌های سنگهای آتشفشانی تشکیل شده‌اند. این کانی‌ها در بخش شمالی ایران مرکزی، در بیرون زدگیهای سنگهای آتشفشانی دوران سوم به صورت بادامک یا رگه و در موارد نادری به صورت جانشینی کانیهای اولیه یافت می‌شوند. سنگهای ژئولیت‌دار کوههای اراده، دوازدهامام و سیاه‌کوه عمدتاً آندزیت‌ها و بازالت‌ها و به مقدار بسیار کمتری سنگهای آتشفشانی دیگر می‌باشند.

حجازی و قربانی به ژئولیت‌های سنگهای آتشفشانی بخش شمالی ایران مرکزی اشاره کرده‌اند [۴]؛ ژئولیت‌های منطقه کهریزک واقع در این بخش به توسط نویسندگان این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است [۲].

محققان بسیاری درباره ژئولیت‌های موجود در حفره‌ها و رگه‌های سنگهای آتشفشانی مطالعه کرده‌اند و بیشتر آنان ژئولیت‌ها را در بازالت‌ها یافته‌اند [۳۸، ۴۱، ۳۹، ۲۳، ۲۰، ۱۵، ۳۰، ۱۸، ۴۶، ۴۰، ۴۳، ۴۴، ۲۱، ۹، ۲۷، ۲۸، ۳۵، ۲۲، ۱۲]؛ معدودی از محققان ژئولیت‌های موجود در اندزیت‌ها را گزارش داده‌اند [۴۵، ۳۲، ۳۷، ۲]؛ تعدادی از پژوهندگان هم تجمع کانی‌های ژئولیتی و کانی‌های ثانویه دیگر را در انواع سنگهای بازالتی و اندزیتی موجود در محیط‌های زمین‌شناسی تقریباً مشابه مورد مطالعه قرار داده‌اند [۴۱، ۴۰].

۱۴، ۱۱، ۰ در چند گزارش، ژئولیت‌ها به صورت منطقه‌بندی^(۲) عرضه شده‌اند [۴۰، ۴۱، ۱۰]. در گزارش حاضر سنگهای ژئولیت‌دار و ترکیب شیمیایی تعداد مشخصی از آنها در سه ناحیه برگزیده مورد بررسی قرار گرفته و برای نخستین بار درباره تنوع ژئولیت‌ها، با توجه به دامنه دمای تشکیل آنها در هر منطقه، اظهار نظر شده است.

۲- مشاهدات صحرایی

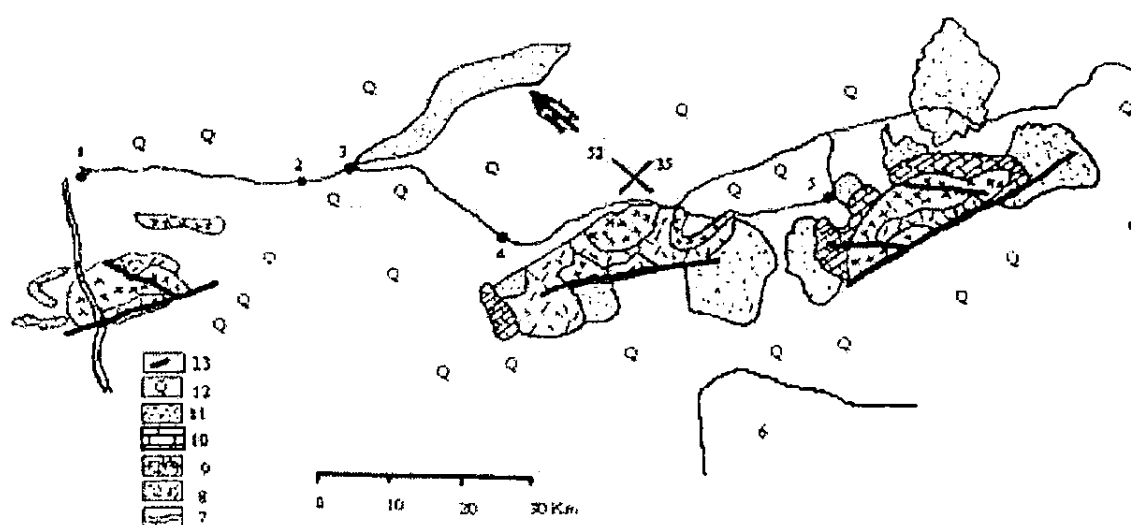
۲-۱- زمین‌شناسی بخش شمال ایران مرکزی

در واحدهای رسوبی و آتشفشانی حوض‌های فرارانی سب چس خوردگی و آتشفشانی در ایران مرکزی شده است. مناطق شمالی ایران مرکزی از جمله سیه‌کوه تا کوه اراده در ائوس به صورت حوضه رسوبی فرازمین^(۳) و فروزمین^(۴) درآمده و بازشدگی و گسترش آنها با فعالیت‌های آتشفشانی همراه بوده است [۱].

۲-۲- زمین‌شناسی مناطق مورد مطالعه

سه منطقه مورد مطالعه با پشته زمین‌شناختی تقریباً مشابه عبارتند از کوه اراده در جنوب کهریزک (جنوب تهران) کوه دوازدهامام در جنوب ورامین (شمال دریاچه نمک) و سیاه‌کوه در شرق و شمال شرق دریاچه نمک (شکل ۱). توانی‌های آتشفشانی این مناطق که زمان تشکیل آنها یکی است در شرایط زمین‌شناختی و زمین‌شناختی تقریباً مشابهی شکل گرفته‌اند. پس از فاز لارامی، دریای ائوس در این مناطق گسترش یافته و سنگهای آتشفشانی - رسوبی به ضخامت زیاد بجای گذاشته است که عمدتاً ترکیب امیدی داشته و طی دوره ائوس پسین سنگهای آتشفشانی با ضخامت نسبتاً زیاد و با ترکیب‌های متفاوت (بازی، مایه و اسیدی) در این مناطق گسترده شده‌اند و سرانجام در اواخر این دوره فعالیت آتشفشانی اولکائیسیم) بازوند شوشونیتی خاتمه می‌یابد [۱].

۱- Valuation
۲- zone
۳- horst
۴- graben



شکل ۱- ساده شده از نقشه یک منطقه زمین‌شناسی شرکت ملی نفت ایران، بیرون زدگیهای سنگهای آتشفشانی و بیروکلانیتک (اوسن)، به ترتیب از چپ به راست، کوههای اراده، دوازده امام و ساه کورد. ۱- شهر ری، ۲- وراسن، ۳- بفتوا، ۴- پاسگاه مبارکه، ۵- کاروانسرای شاه عباسی (قلعه بهرام)، ۶- دریاچه نمک، ۷- جاده قدیم تهران - قم، ۸- بیروکلانیت (اوسن)، ۹- گذاره (اوسن)، ۱۰- الیگوسوس، ۱۱- نوژن، ۱۲- کوآترنر، ۱۳- گل

نقاط به صورت هوازده و به رنگهای کرم تا قهوه‌ای روشن دیده می‌شود. بخش وسیعی از کوه اراده از همین سنگها تشکیل شده که شیب متوسط آن تقریباً ۱۵ درجه به طرف غرب است.

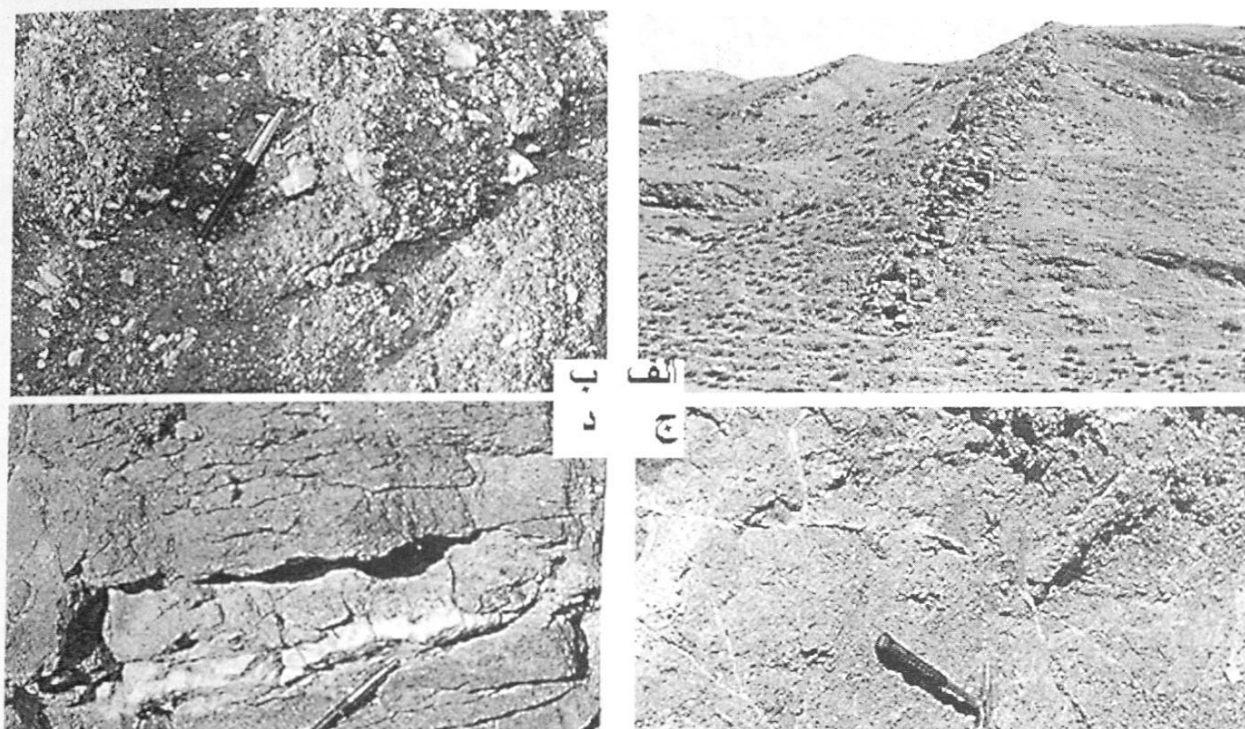
ب - دوازده امام: سنگهای آتشفشانی و زمین‌شناختی دوازده امام به توسط Hajian و امامی [۱۹ و ۱] مطالعه شده است. بررسی‌های حسینی [۵] در دوازده امام نشان می‌دهد که سری سبز تحتانی مستقیماً زیر سنگهای آتشفشانی فوقانی قرار گرفته است. این سنگها از نوع الیون بازالت، آندزیت بازالتی، تراکی اندزیت، تفری فنولیت، تراکی بازالت، توف، توفیت و ایگنمبریت هستند. ضخامت سنگهای آتشفشانی این منطقه در پاره‌ای از نقاط به بیش از ۵۰۰ متر می‌رسد. ژئولیت‌ها بیشتر در تراکی بازالت، بازالتیک تراکی بازالت و تفری فنولیت یافت می‌شوند. لازم به یادآوری است که در کوه دوازده امام کانی آنالسیم به صورت اولیه و دوتریک^(۱) در بستر سنگ آتشفشانی نیز یافت می‌شود.

الف - کوه اراده: زمین‌شناسی منطقه اراده به توسط رضوی (۱۳۵۳)، Riechen (۱۹۵۵) و Hajian (۱۹۷۲) مطالعه شده است [۶، ۳۳ و ۱۹]. سنگهای آتشفشانی اوسن این منطقه به وسیله دیواره‌های (۵) متعددی (شکل ۲-الف) با ترکیب اسیدی-بازی در راستاهای متفاوت قطع شده است. این سنگها از بالا به پائین و از جدید به قدیم دارای توالی زیر است:

- ۱- توده‌های سنگی با ضخامت بیش از ۵۰ متر اندزیت‌های پیروکسن دار، داسیت، تراکیت و اندزیت بازالت با دگرسانی اندک به رنگهای خاکستری. قهوه‌ای روشن تا قهوه‌ای تیره.
- ۲- توده‌هایی به ضخامت تقریباً ۱۳۰ متر اندزیت‌ها و بازالت‌های ژئولیت‌دار و اگلومرای اندزیتی - بازالتی با دگرسانی شدید به رنگهای خاکستری تیره. خاکستری متمایل به قهوه‌ای و سبز. ژئولیت‌ها در بادمک‌ها و حفره‌هایی به ابعاد از چند میلی‌متر تا ۲۰ سانتی‌متر (شکل ۲-ب) و رگه‌هایی به ضخامت تا ۵ سانتی‌متر و به طول حداکثر دو متر که گاهی تا ۱۵ درصد سنگ بستر را تشکیل می‌دهند (شکل ۲-ج و د).
- ۳- لایه‌ای به ضخامت حدود ۳۰۰ متر از توفهای داسیتی تا اندزیتی با رنگ‌های سفید، خاکستری تا سبز که در بعضی

۵- dyke (dike)

۶- deuteric



شکل ۲- الف: تعدادی از دیواره‌های واقع در حدود یک کیلومتری غرب حاده تهران - قم. ضخامت دیواره وسط، که به سوی یال کوه امتداد یافته است به ۳ متر هم می‌رسد. ب: در سمت چپ عکس ژئولیت‌های بادامکی به شکلهای و اندازه‌های مختلف و در وسط یک نمونه ژئولیت اسفروئیتی دیده می‌شود (غرب کوه اراده). ج: رگه‌ها و رگچه‌های پر شده از ژئولیت با ابعاد مختلف. بادامک‌های ژئولیت‌دار به ابعاد بسیار کوچک در کل بستر پراکنده است (شرق کوه اراده). د: یک رگه از ژئولیت به ضخامت بیش از ۵ سانتیمتر به طول بیش از ۵۰ سانتیمتر (یک کیلومتری شرق حاده تهران - قم).

ج - سیاه‌کوه: سنگهای آتشفشانی و زمین‌شناختی سیاه‌کوه به توسط بنی طباء بیدگلی [۳] و امامی [۱] مطالعه شده‌اند. سیاه‌کوه به صورت تاق‌دیزی است که هسته آن از توفها و توفیت‌هایی به رنگ سفید با ترکیب ریولیتی تشکیل یافته است. روی این هسته را به طور کلی سنگهای آتشفشانی از نوع اندزیت، تراکی اندزیت، اندزیت بازالتی، ایگنمبریت با ترکیب ریولیتی تاداسیتی پوشانده است. ضخامت سنگهای آتشفشانی در این منطقه بیش از ۴۰۰ متر است. مقدار ژئولیت‌ها در سنگهای تراکی اندزیت، که در فاصله تقریباً ۱۰ کیلومتری جنوب کاروانسرای شاه‌عباسی (قلعه بهرام) واقعند، نسبت به کوه‌های اراده و دوازده‌امام بسیار کمتر است. در غرب سیاه‌کوه یک توده نفوذی با ترکیب اسیدی نیز وجود دارد.

۳- نمونه‌برداری و روش‌های آزمایشگاهی

بیش از ۱۰۰ نمونه سنگ ژئولیت‌دار برای تشخیص نوع سنگ میزبان، کانی‌های ژئولیتی و دگر کانی‌های همراه از سه منطقه مورد بررسی برداشت شد. ۳۵ نمونه به پودر نرم تبدیل و به وسیله روش پراش پرتو ایکس، با استفاده از تشعشع $\text{CuK-}\alpha$ شناسایی شدند. حدود ۴۰ مقطع نازک و ۳ مقطع صیقلی برای تشخیص سنگها و کانی‌های دیگر به وسیله میکروسکوپ قطبنده

(پلاریزان) مورد بررسی قرار گرفتند. سپس ۵ نمونه از سنگهای زئولیت دار کوه دوازده امام و سیاه کوه و یک نمونه ناترولیت خالص از منطقه سیاه کوه مورد تجزیه شیمیایی مرطوب قرار گرفته و دو نمونه از کانیه‌های زئولیتی و دو نمونه از کانیه‌های غیر زئولیتی کوه دوازده امام به روش «الکترون میکروپروپ» تجزیه عنصری شده‌اند. آب نمونه زئولیتی به روش حرارتی تعیین شده و تشخیص و نامگذاری سنگها عمدتاً بر مبنای تجزیه شیمیایی و تقسیم‌بندی‌های Le Bas و همکاران [۲۴] انجام گرفته است.

۳-۱- انباشت زئولیت‌ها و سایر کانی‌های ثانویه همراه

بسیاری از زئولیت‌ها و سایر کانی‌های ثانویه در مناطق مورد مطالعه و در نواحی دگرسان شده به شکل‌های زیر وجود دارند:

الف - پرشدگی حفره‌ها و بادامک‌ها

ب - رگه‌ای و پرشدگی شکستگی‌ها

ج - جانشینی درشت بلورهای پلاژیوکلاز

د - در سیمان برش‌ها^(۷) (به ندرت)

شکلهای زئولیتی نوع الف و ب در منطقه مورد مطالعه فراوان‌ترند، بنابراین تنها به توضیح این نوع زئولیتها پرداخته می‌شود:

بلورهای زئولیتی بیشتر در مرکز حفره‌ها و بادامک‌ها و کمتر در رگه‌های سنگهای آتشفشانی سه منطقه مورد مطالعه یافت می‌شوند. حفره‌ها اغلب بیضوی و کروی شکند، برخی هم دارای شکلهای نامشخص، جدا از هم یا بهم پیوسته‌اند. ابعاد آنها از حدود میلی‌متر تا ۲۰ سانتی‌متر متغیر بوده و عموماً با زئولیت‌ها و دیگر کانی‌های همراه پر شده‌اند. حفره بدون کانی بسیار کم دیده می‌شود، دیواره حفره‌ها اغلب با لایه‌ای از کلسیت و/یا اسمکتیت به ضخامت حداکثر ۲ میلی‌متر پوشیده شده و باقی مانده آنها با انواع زئولیت‌ها پر شده است. رشد بلورهای زئولیتی درون حفره در جهات مختلف یکسان است اما لایه‌ای به ضخامت نسبتاً غیریکنواخت به سوی مرکز حفره ایجاد می‌شود. و در مواردی هم زئولیت‌ها بخش زیرین حفره‌ها را فرا می‌گیرند. گاهی هم زئولیت‌های سوزنی و رشته‌ای ظریف باریک و بلند^(۸) به طول

چند سانتیمتر درون حفره‌ها یافت می‌شوند. بادامک‌ها و حفره‌ها یا رگه‌ها در هر منطقه حتی در یک نمونه منفرد، ممکن است از یک یا چند کانی متفاوت پر شده باشند. گرچه تشکیل یک کانی (آنالسیم به عنوان مثال) در یک بادامک، تشکیل ناترولیت و/یا ترانترولیت در بادامکی دیگر و حتی تشکیل مجموعه‌ای از کانی‌های همراه در نمونه‌ها ممکن است به علت حساسیت زئولیت‌زایی در اثر تغییرات جزئی شرایط فیزیکی و/یا شیمیایی محلولها و مواد آغازکننده^(۹) باشند [۲۶ و ۳۴]، با وجود این، تناوب تشکیل کلی کانی‌های ثانویه موجود در یک منطقه عموماً بدون تغییر می‌ماند. بنابراین به نظر می‌رسد که ترتیب تشکیل کانی‌های ثانویه تابع عواملی به ویژه تغییرات دما باشد. معمولاً نخستین کلسیت، تاسونیت، آنالسیم و/یا ترانترولیت در دمای بالا، استیلیت و/یا اسکولسیت در دمای متوسط و دومین کلسیت، کوارتز و پیرولوزیت در دمای پایین، حفره‌ها و بادامک‌ها را پر می‌کند.

زئولیت‌ها و کانی‌های همراه در بادامک‌ها متنوع‌ترند. در حالیکه آنها در رگه‌ها تنوع کمتری دارند و تشخیص تناوبشان آسان‌تر است. زئولیت‌های موجود در هر یک از سه منطقه مورد مطالعه به لحاظ ردیف تشکیل و یا میزان فراوانی با یکدیگر متفاوتند. بنابراین، زئولیت‌های هر سه منطقه به شرح زیر (به ترتیب حروف الفبا) مقایسه شده‌اند.

آنالسیم

آنالسیم با بلورهای خود شکل گرفته^(۱۰) که هر یک از پهلوه‌های آنها دوزنقه^(۱۱) است در کوههای اراده و دوازده امام یافت می‌شود. این کانی علاوه بر پرشدگی بادامکی به صورت کانی اولیه یا دوتریک و خود شکل گرفته سنگ‌ساز در تفری فونولیت خاکستری رنگ متمایل به زرد در کوه دوازده امام نیز دیده شده است. آنالسیم در بادامک‌ها معمولاً ریز و کوچک است و حداکثر به قطر ۳ میلی‌متر می‌رسد. در حالیکه آنالسیم‌های

v- breccia

۸- fine large

۹- starting material

۱۰- automorphous

۱۱- trapezohedron

این کانی همچنین به صورت شعاعی و تیغه‌ای ظریف به رنگ سفید در کوه اراده دیده شده است. تراناترولیت از کانی‌هایی است که تشکیل آن صرفاً گرمایی است [۱۷].

مزولیت:

مزولیت در کوه اراده به ویژه در دو طرف جاده قدیم تهران - قم فراوان است. این نوع ژئولیت به شکل میله‌هایی به طول حداکثر ۴ سانتی‌متر و به ضخامت یک میلی‌متر قابل تشخیص است. بلورهای ریز آن در زیر میکروسکوپ همراه کانی‌های ناترولیت و تراناترولیت به خوبی شناخته شده است. در مواردی هم اسکولیت «هم رشد» با مزولیت دیده شده است. در کوه دوازدهامام و سیاه‌کوه مزولیت بسیار کم یافت شده است.

ناترولیت:

ناترولیت اغلب به صورت بلورهای منشوری یا سوزنی سفیدرنگ در کوه اراده و سیاه‌کوه یافت شده است. در بیشتر موارد به همراه تراناترولیت به صورت شعاعی و اسفرولیتی در رگه‌ها و بادمک‌ها رشد کرده است (شکل ۲- ب، ج، د). طول بلور آن متغیر بوده و به یک سانتی‌متر هم می‌رسد. ناترولیت سوزنی شکل باریک و بلند به هم فشرده با جلای ابریشمی و به رنگ سفید با فراوانی کمتری مشاهده شده است. این نوع ناترولیت که گاه به صورت نافشرده و شکننده به رنگ زرد متمایل به قهوه‌ای در مرکز رگه‌ها یافت می‌شود، تنها در تعدادی از نمونه‌های کوه دوازدهامام دیده شده است. ناترولیت فراوان‌ترین نوع ژئولیت منطقه سیاه‌کوه را تشکیل می‌دهد.

۳-۲- تجزیه شیمیایی کانی‌ها

تجزیه شیمیایی بعضی از کانی‌های موجود در حفره‌ها و رگه‌ها را می‌توان برای پی بردن به پیدایش^(۱۲) ژئولیت‌ها بکار برد. برای این منظور، از میان این کانی‌ها آنالسیم، اسمکتیت و ناترولیت انتخاب شده‌اند و نتایج بررسی‌های به عمل آمده در مقایسه با تجزیه و تحلیل نمونه‌های سایر مناطق جهان عرضه می‌شود. دو نمونه از آنالسیم‌های کوه دوازدهامام به روش

اولیه و دوتریک کوه دوازدهامام تا قطر ۳ سانتی‌متر نیز دیده شده‌اند. آنالسیم در اندکی از نمونه‌های سیاه‌کوه هم دیده شده است.

اسکولیت:

اسکولیت در نمونه‌های برداشت شده از کوه اراده و به مقدار بسیار کم در نمونه‌های کوه دوازدهامام دیده شده است. اما در هیچ‌یک از نمونه‌های مورد مطالعه سیاه‌کوه تشخیص داده نشده است.

استیلیت:

استیلیت در بالاترین قسمت ژئولیت‌دار کوه اراده، دو طرف جاده قدیم تهران - قم و به مقدار فراوانتر در بخش‌های مرکزی کوه اراده به صورت تیغه‌ای به طول تا ۲ سانتی‌متر و به رنگ‌های سفید و صورتی کم‌رنگ، و همچنین به مقدار کمتر در غرب کوه اراده یافت می‌شود. استیلیت به صورت رگه‌ای همراه با کلسیت، در مرکز و دیواره رگه‌ها نیز دیده می‌شود. استیلیت در بادمک‌ها، بعد از ناترولیت، تراناترولیت، آنالسیم و مزولیت و اغلب در مرکز آنها تشکیل شده است. تنها یک نمونه از استیلیت اسفرولیتی با قطر ۳ سانتی‌متر در شرق کوه اراده به علت آغشتگی با پیرولولزیت به رنگ متمایل به سیاه یافت شده است. استیلیت در منطقه دوازدهامام کمتر یافت شده و در سیاه‌کوه این نوع ژئولیت دیده نشده است.

تامسونیت:

تامسونیت بیشتر با ناترولیت و در موارد کمتری با تراناترولیت و آنالسیم، تنها در کوه دوازدهامام دیده شده است. بلورهای آن اغلب سوزنی و تیغه‌ای به طول یک سانتی‌متر بوده و به صورت اسفرولیتی به رنگ صورتی می‌باشد. اسفرولیت‌ها در بعضی از موارد صورت منطقه‌بندی از خود نشان می‌دهند. تشکیل آن قبل از آنالسیم، تراناترولیت و ناترولیت صورت گرفته است.

تراناترولیت:

تراناترولیت با بلورهای سفید رنگ رشته‌ای در هر سه منطقه مورد مطالعه همراه با ناترولیت قابل دسترسی است. فراوانی آن در کوه دوازدهامام و سیاه‌کوه کمتر از ناترولیت است. تراناترولیت با رشته‌های ظریف همراه ناترولیت در کوه اراده یافت شده است.



در محیط قلیایی نمکی دارای مقادیر سیلیکون بالاتری نسبت به آنالسیم‌های گرمایی می‌باشد [۲۹]. بنابراین، طبق پیش‌داده‌های این پژوهش گران و تجزیه شیمیایی آنالسیم کوه دوازدهامام، گرمایی بودن آن تأیید می‌شود.

تعدادی از کانی‌های غیر زئولیتی نیز در منطقه اراده مورد بررسی قرار گرفته است [۲]. اسمکتیت از کانی‌های غیر زئولیتی حفردها و بادامک‌ها و رگه‌ها است که در کوه دوازدهامام و به

الکترون میکروپروب مورد تجزیه قرار گرفته‌اند و نتیجه تجزیه اکسیدهای مهم آنها در مقایسه با تجزیه‌های مشابه در سایر مناطق در جدول ۱ درج شده است. نتایج نشان می‌دهند که مقادیر اکسیدها در همه نمونه‌ها کمابیش مشابه می‌باشند. بنابر اصل پیدایش، عقیده بر این است که اگر نسبت Si/Al در آنالسیم معادل ۲ یا کمتر باشد آن آنالسیم دارای منشأ گرمایی است [۸]. در حالی که همین نسبت برای آنالسیم با منشأ رسوبی نزدیک به ۲.۵ است. Luhr and Kyser نیز معتقدند که تشکیل آنالسیم

جدول ۱- درصد تجزیه شیمیایی آنالسیم منطقه دوازدهامام در مقایسه با انواع آنالسیم سایر مناطق و منابع

کبید	D27	44	KH	BP	DS	Mont St.Hilaire
SiO ₂	۵۴.۵۱	۴۷.۰۴	۵۴.۸۷	۵۴.۰۶	۵۵.۳۵	۵۵.۱۵
Al ₂ O ₃	۲۳.۲۳	۲۰.۲۳	۲۲.۲۱	۲۲.۴۹	۲۲.۵۲	۲۳.۱۶
Fe ₂ O ₃	۰.۰۰	۱.۰۶	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۲
CaO	۰.۰۱	۰.۵۰	۰.۰۲	۰.۱۸	۰.۰۳	۰.۱۰
Na ₂ O	۱۰.۸۰	۲۲.۷۷	۱۳.۰۳	۱۳.۲۰	۱۳.۰۲	۱۴.۰۳
K ₂ O	۰.۰۱	۰.۷۷	۰.۱۴	۰.۰۵	۰.۰۰	۰.۱۰
مجموع	۸۸.۵۶	۹۲.۳۷	۹۰.۲۹	۹۰.۰۱	۹۰.۹۴	۹۲.۵۶
Si/Al	۱.۹۹	۱.۹۸	۲.۰۴	۲.۰۴	۲.۰۹	۲.۰۲

مقادیر این جدول از داده‌های مقاله محاسبه شده و برای مقایسه از ذکر مقادیر سایر کانیون‌های نامبروط صرف نظر شده است.

[۲۹] Luhr and Kyser (Bald Peak): BP
 [۲۵] Line et al. (1995) Dippin Sill (1989): DS
 [۴۲] (Wilkin and Barenz 1998) Mont St.Hilaire

D27: کوه دوازدهامام
 [۸] Alberti and Brigatti, 1985: 44
 [۲۹] Kilpatrick Hills: KH

جدول ۲- درصد تجزیه شیمیایی اسمکتیت‌های منطقه دوازدهامام به روش الکترون میکروپروب در مقایسه با اسمکتیت‌های مشابه

کبید	D27/1	D27/4	۳	۴	۵	۶	۷
SiO ₂	۳۶.۹۸	۳۹.۶۷	۴۳.۹۱	۳۵.۳۲	۴۱.۵۰	۴۶.۵۸	۴۲.۲۲
Al ₂ O ₃	۱۳.۸۶	۱۲.۷۴	۱۲.۵۳	۱۲.۴۹	۳۱.۹۶	۳۰.۸۸	۳۲.۵۵
Fe ₂ O ₃	۱۷.۴۳	۱۵.۳۱	۹.۷۵	۲۹.۵۱	۳.۲۸	۴.۲۰	۲.۲۳
FeO	-	-	۱.۳۵	۴.۰۰	۰.۲۸	۰.۳۶	۰.۱۹
TiO ₂	-	-	۰.۶۰	-	۰.۳۵	۰.۱۸	۰.۱۰
CaO	۰.۵۲	۰.۹۴	۰.۵۳	۱.۲۴	۱.۶۶	۱.۴۳	۱.۲۶
MgO	۱۹.۶۵	۱۵.۰۷	۱۰.۷۸	۲.۸۳	۰.۶۳	۳.۱۸	۱.۲۵
MnO	-	-	۰.۲۰	-	۰.۰۴	۰.۰۱	-
Na ₂ O	۰.۳۶	۰.۰۸	۰.۶۴	۰.۴۱	۰.۰۱	-	۰.۱۰
K ₂ O	۰.۱۷	۰.۳۳	۲.۰۳	۰.۶۲	۰.۵۵	۰.۳۳	۰.۲۰
مجموع	۸۸.۹۷	۸۴.۱۴	۸۲.۳۲	۸۷.۵۰	۸۰.۲۶	۸۷.۱۵	۸۰.۱۰

D27/1 و D27/4: منطقه دوازدهامام، نمونه‌های ۳ تا ۷ از منطقه Coirons [۳۵]، نمونه‌های ۳ و ۴ و ۵ از نوع بادامکی و ۶ و ۷ حفره‌ای‌اند.

جدول ۳- درصد تجزیه شیمیایی نمونه نانولیت سباده کوه در مقایسه با نانولیت‌های سایر مناطق

کد نمونه	S4	۱	۲	۳	۴	۵
SiO _۲	۴۷.۶۷	۴۷.۶۰	۴۶.۶۲	۴۶.۱۲	۴۵.۸۰	۴۶.۳۷
Al _۲ O _۳	۲۶.۵۲	۲۶.۴۰	۲۷.۰۹	۲۶.۲۵	۲۶.۲۸	۲۵.۴۴
Fe _۲ O _۳	۰.۱۱	۰.۵۱	-	n.d.	n.d.	n.d.
CaO	n.d.	۰.۱۰	۱.۳۵	n.d.	n.d.	n.d.
MgO	n.d.	-	۰.۳۶	n.d.	n.d.	n.d.
Na _۲ O	۱۵.۶۹	۱۵.۴۱	۱۴.۲۸	۱۵.۴۱	۱۵.۴۶	۱۴.۹۹
K _۲ O	۰.۰۹	۰.۰۱	۰.۰۷	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲
SrO	-	۰.۰۲	-	۰.۰۵	۰.۰۵	۰.۰۶
Li _۲ O	۹.۷۶	۹.۸۵	۱۰.۲۳	۹.۶۱	۹.۶۸	۹.۴۸
جمع	۹۹.۸۴	۹۹.۹۰	۱۰۰.۰۰	۹۷.۳۳	۸۷.۰۹	۹۶.۳۶

 تعداد کاتیون‌ها بر مبنای واحد فرمولی: ۴ SiO_۲ Al_۲O_۳

	Si	۲۴.۲	۲۴.۱۷	۲۳.۱۵	۲۳.۹۴	۲۳.۸۶	۲۴.۲۹
Al	۱۵.۸	۱۵.۸۰	۱۶.۲۷	۱۶.۰۶	۱۶.۱۴	۱۶.۱۴	۱۵.۷۱
Fe ^{۳+}	۰.۰۴	۰.۲۰	-	-	-	-	-
Ca	n.d.	۰.۰۶	۱.۳	-	-	-	-
Mg	n.d.	-	۰.۲۷	-	-	-	-
Na	۱۵.۵	۱۵.۱۸	۱۴.۱۲	۱۵.۵۱	۱۵.۶۲	۱۵.۶۲	۱۵.۲۳
K	۰.۰۶	۰.۰۱	۰.۰۵	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱
Sr	-	۰.۰۱	-	-	-	-	-
Li _۲ O	۱۶.۸۲	۱۶.۶۸	۱۷.۴۲	۱۶.۴۹	۱۶.۶۲	۱۶.۵۹	۱۶.۵۹
Li	۰.۰۶	۰.۴۳	۰.۹۳	۰.۸۵	۰.۸۵	۰.۸۵	۰.۰۶
Si:Al	۱.۵۳	۱.۵۲	۱.۴۶	۱.۵۱	۱.۴۹	۱.۴۹	۱.۵۴

S4: سباده کوه، ۱- منطقه [۱۷]، ۲- منطقه Magheramourne [۳۸]، ۳ و ۴ و ۵ به ترتیب مناطق Mont Saint-lulure, Bound Brock و Puy de Dome [۳۶].

مقداری اندک در کوه اراده، که پیش از ژئولیت‌ها تشکیل شده است، به رنگهای سبز روشن تا سبز تیره به صورت نوارهای راد راه یافت می‌شود. تجزیه دو نوع اسمکتیت بادمکی کوه دوازدهامام به روش الکترون میکروپروب به موازات تجزیه تعدادی دیگر از اسمکتیت‌های بادمکی گرمایی سایر مناطق در جدول ۲ آورده شده است. مقادیر تعیین شده سدیم به روش الکترون میکروپروب بسیار اندکند، لذا ریزش^(۱۳) سدیم [۲۵] در تجزیه به روش الکترون میکروپروب تغییر چندانی در نتیجه تجزیه ایجاد نمی‌کند.

دو گونه اسمکتیت تجزیه شده کوه دوازدهامام به لحاظ شیمیایی به همدیگر شبیه‌اند و دارای مقادیر Mg و Fe بالایی بوده و به گونه‌های ۳ و ۴ (جدول ۲) شباهت بیشتری دارند. این

گونه‌ها به علت بالا بودن مقادیر آهن و منیزیم در آنها، به اسمکتیت‌های Fe-Mg معروفند [۳۵]. سایر گونه‌های مندرج در این جدول، اسمکتیت‌های Al نامیده می‌شوند. نحوه تشکیل اسمکتیت‌های منطقه دوازدهامام در بادمک‌ها و رنگه‌ها، از نظر تناوب تشکیل نسبت به ژئولیت‌ها و لایه‌ای بودن و رنگشان شبیه به انواع اسمکتیت منطقه Goble می‌باشند. چنین ترتیبی از تشکیل اسمکتیت و ژئولیت، به گرمایی بودن آنها نسبت داده شده است [۲۲] و از سوی دیگر شباهت ترکیب شیمیایی اسمکتیت‌ها با گونه‌هایی از اسمکتیت ذکر شده در مقارنه Robert و همکاران [۳۵] و گرمایی بودن گونه‌های اخیر، به نظر می‌رسد که



جدول ۴- درصد تجزیه شیمیایی سنگهای در برگزیده زئولیت‌های کوههای اراده، دوازده امام و سیاه کوه

کد	S2	D2	D20	D29	۷	۵۷	۶۹
SiO _۲	۴۹.۴۹	۴۴.۵۶	۵۱.۷۲	۴۶.۹۳	۴۹.۳۸	۴۶.۱۶	۴۵.۱۵
Al _۲ O _۳	۱۶.۴۵	۱۴.۲۴	۱۸.۹۳	۹.۸۴	۱۴.۵۳	۱۹.۷۱	۲۳.۰۰
Fe _۲ O _۳	۸.۲۷	۱۰.۶۰	۴.۳۵	۱۷.۳۰	۱۳.۹۳	۹.۹۲	۷.۴۷
CaO	۲.۶۸	۶.۲۶	۲.۶۵	۶.۷۷	۲.۴۳	۷.۳۲	۹.۶۰
MgO	۵.۷۸	۹.۴۱	۲.۸۶	۵.۵۰	۴.۴۷	۳.۲۹	۴.۵۰
TiO _۲	۰.۹۴	۰.۹۸	۰.۶۲	۱.۰۸	۱.۱۴	۱.۱۰	۰.۸۳
P _۲ O _۵	۰.۴۰	۰.۹۸	۰.۵۴	۰.۴۳	۰.۶۲	۰.۱۰	۰.۲۶
MnO	۰.۱۱	۰.۲۷	۰.۰۹	۰.۱۳	۰.۱۸	۰.۱۷	۰.۱۸
Na _۲ O	۲.۵۰	۴.۳۸	۷.۹۶	۴.۱۷	۵.۳۹	۳.۴۲	۳.۰۰
K _۲ O	۵.۲۵	۱.۵۹	۲.۸۵	۲.۴۰	۲.۲۱	۲.۲۶	۰.۵۱
H _۲ O	۰.۰۵	۰.۰۳	۰.۰۴	۰.۰۳	-	-	-
LiOH	۷.۰۴	۶.۱۷	۶.۵۴	۴.۶۲	۴.۷۶	۵.۰۲	۴.۱۰
جمع	۹۹.۰۴	۹۹.۴۷	۹۹.۱۵	۹۹.۲۰	۹۹.۰۴	۹۹.۵۱	۹۸.۵۳

S2: سیاه کوه، D2، D20 و D29: دوازده امام، ۷ و ۵۷ و ۶۹: کوه اراده، (Bazargani-Guilani and Rabbani, in preparation)، (بازرگانی گیلانی و ربانی در دست تهیه).

دوازده امام و سیاه کوه حاصل از بررسی حاضر در کنار داده‌های مربوط به تجزیه شیمیایی سنگهای زئولیت دار کوه اراده توسط نویسندگان، در جدول ۴ درج شده است. بر مبنای تقسیم‌بندی Le Bas و همکاران [۲۴] سنگهای تجزیه شده سیاه کوه تراکی اندزیت، دوازده امام تراکی بازالت، تفری فوولیت و بازالتیک تراکی اندزیت و کوه اراده بازالتیک تراکی اندزیت، تراکی بازالت و بازالت می‌باشند.

بحث و نتیجه‌گیری

سنگهای میزبان و زمین‌شناسی سه منطقه مورد مطالعه کمابیش به همدیگر شبیه‌اند. زئولیت‌های موجود در این مناطق عمدتاً از نوع حفره‌ای، بادامکی و رگه‌ای هستند. در میان این زئولیت‌های حفره‌ای، وجود زئولیت‌های رشته‌ای مانند ناتروولیت، به عنوان کانیهای حفره‌ای بسیار رایج‌تر از کانیهای ترازیشی^(۱۴) می‌باشند [۱۶]. داده‌های مربوط به تجزیه و تحلیل شیمیایی اسمکتیت و آلالسیم، آنها را از کانیهای رسوبی متمایز می‌سازد [۸]. از طرف دیگر وجود بلورهای درشت یا باریک و بلند زئولیتی، وجود جانشینی بلورهای درشت پلاجیوکلاز^(۱۵) به وسیله زئولیت،

اسمکت‌های منطقه دوازده امام نیز گرمایی باشند. تجزیه شیمیایی یکی از نمونه‌های ناتروولیت خالص منطقه سیاه کوه به روش مربوط، که برای نخستین بار از ایران گزارش می‌شود، در مقایسه با ناتروولیت‌های سایر مناطق در جدول ۳ درج شده است. بر مبنای درصد خطای محاسبه شده [۱۷] درصد خطا برای ناتروولیت رقم ۶ و ۲ بدست آمده که در ردیف خطای مجاز، یعنی کمتر از ۱۰ است. ناتروولیت تجزیه شده به لحاظ نسبت Si/Al، با عدد ۱/۵۳ در محدوده معمول از ۱/۴ تا ۱/۸ [۱۳]، فاقد Ca و حاوی K به مقدار بسیار اندک می‌باشد. تجزیه شیمیایی ناتروولیت منطقه سیاه کوه بر مبنای ۸۰ اتم اکسیژن به صورت $(\text{Si}_{21.26}\text{Al}_{15.80}\text{Fe}_{0.04})(\text{Na}_{15.8}\text{O})_{80.16}\cdot 82\text{H}_2\text{O}$ است.

۳-۳- تجزیه شیمیایی سنگهای میزبان زئولیت در مناطق

مورد بررسی

چون تشکیل زئولیت‌ها به نوع سنگ میزبان وابسته است، برای تشخیص نوع آنها تعداد شاخصی از سنگهای میزبان مورد تجزیه و شناسایی قرار گرفته است. به لحاظ آشنایی با سابقه امر می‌توان به تجزیه شیمیایی سنگهای آتشفشانی سه منطقه ارائه شده به توسط حسینی [۵] و بنی‌طیاء بیدگلی [۳] مراجعه کرد. نتایج تجزیه شیمیایی چهار سنگ میزبان زئولیتی از منطقه‌های

۱۴- (diagenetic) diagenesis

۱۵- plagioclase



آغازین، مناسب نسبت داد. برعکس در منطقه سیاه‌کوه کاهش مقدار ژئولیت و کاهش تنوع آن را می‌توان کمبود مایع گرمایی و به تبع آن سرد شدن سریعتر این مایع دانست که منجر به از دست رفتن فرصت تشکیل ژئولیت‌های دمای پایین شده است.

۴- تشکر و قدردانی

نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از سازمان زمین‌شناسی کشور به جهت همکاری در تجزیه شیمیایی نمونه‌ها و تهیه طیف‌های XRD و SEM، از سازمان حفاظت محیط زیست به سبب موافقت در مطالعه زمین شناختی مناطق حفاظت شده، از همکاران گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم دانشگاه تهران برای تهیه مقاطع صیقلی و نازک نمونه‌ها و همچنین از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران به جهت حمایت‌های مالی، صمیمانه اعلام می‌نماید.

انباشت ژئولیت‌ها در رگه‌ها و بادمکها، وجود تتراناترولیت، فراوانی اسمکتیت تشکیل ژئولیت‌ها را از طریق واکنشهای گرمایی تایید می‌کند.

با توجه به اینکه تشکیل ژئولیت‌هایی مانند آنالسیم و ناترولیت در دمای نسبتاً بالایی صورت می‌گیرد [۱۳، ۱۵، ۲۶] و این گونه‌ها در هر سه منطقه مورد مطالعه یافت شده‌اند می‌توان پی برد که از آغاز، محلول گرمایی در دمای بالا در این مناطق وجود داشته است. از سوی دیگر، با توجه به میزان فراوانی متفاوت ژئولیت‌ها در این مناطق می‌توان نتیجه گرفت که مقدار مایع گرمایی احتمالاً به علت خاصیت نفوذپذیری متفاوت بستر مسیر مایع در همه جا یکسان نبوده است. تفاوت در مقدار مایع گرمایی طبعاً در سرعت سرد شدن آنها مؤثر بوده است. به این جهت تنوع و فراوانی بیشتر ژئولیت‌ها در منطقه‌های اراده و تا حدودی دوازدهام را می‌توان به فراوانی مقدار مایع گرمایی و در عین حال به وجود گستره حرارتی مناسب برای تشکیل ژئولیت‌ها و فراهم بودن مواد

References

- ۱- محمد هاشم امامی، "شرح نقشه زمین‌شناسی (شماره E6) چهارگوش قم"، مقیاس ۱:۲۵۰/۰۰۰، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۷۹ صفحه، (۱۳۷۰).
- ۲- کمال‌الدین بازرگانی، محمدصادق ربانی، "ژئولیت‌زایی اندزیت‌های جنوب کهریزک"، نشریه علمی سازمان انرژی اتمی ایران، شماره ۱۵، صفحات ۷۷-۶۳، (۱۳۷۶).
- ۳- علی بنی‌طباء بیدگلی، "مطالعه پتروگرافی و پترولوژی و ژئوشیمی مجموعه آتشفشانی منطقه سیاه‌کوه (شمال شرق دریاچه نمک)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت معلم تهران، (۱۳۶۸).
- ۴- م. حجازی، م. قربانی، سازمان زمین‌شناسی ایران، "بتونیت-ژئولیت"، ۱۵۰، الف، ۲۰-۱، (۱۳۷۳).
- ۵- مهدی حسینی، پتروگرافی، "پترولوژی و ژئوشیمی مجموعه آتشفشانی منطقه دوازدهام (شمال دریاچه نمک)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت معلم تهران، (۱۳۶۷).
- ۶- محمدحسین رضوی، "بررسی کانسار منگنز محمدآباد و سنگهای اطراف آن (جنوب تهران - منطقه حسن آباد)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده علوم، ۱۳۰ صفحه، (۱۳۵۳).
- ۷- حسین معین وزیری، "دیاچهای بر ماگماتیسزم در ایران"، انتشارات دانشگاه تربیت معلم (۱۳۰)، ۴۴۰ صفحه، (۱۳۷۵).



8. A. Alberti and M.F. Brigatti, "Dependence of chemistry on genesis in zeolites: multivariate analysis of variance and discriminant analysis," *Amer. Miner.* 70, 805-813 (1985).
9. A. Alberti, G. Hentschel and G. Vezzalini, "Amicite, a new zeolite," *N. Jb. Miner. Mh. H.11*, 481-488 (1979).
10. J.C. Alt, J. Honnorez, Ch. Laverne and R. Emmermann, "Hydrothermal alteration of a 1 Km section through the upper oceanic crust," deep sea drilling project Hole 5048 B: "Mineralogy: chemistry, and evolution of seawater-basalt interaction", *J. Geoph. Research.* 91, 10, 309-10, 335 (1986).
11. V. Betz, "Zeolites from iceland and the Faeroes," *Miner. Record.* 5-29 (1981).
12. R.C. Boggs, D.G. Howard, J.V. Smith and G.L. Klein, "Tschernichite, a new zeolite from Goble, Columbia County, Oregon," *Amer. Miner.* 78, 822-826 (1993).
13. D.W. Breck, "Zeolite molecular sieves. Krieger publishing company," Malabar, Florida; 771 pp (1974).
14. P. Comin-Chiaramonti, D. Pongiluppi and G. Vezzalini, "Zeolites in shoshonitic volcanics of the north eastern Azerbaijan (Iran)," *Bull. Miner.* 102, 386-390 (1979).
15. E. Galli and G. Loschi Ghittoni, "The crystal chemistry of phillipsites," *Amer. Miner.* 57, 1125-1145 (1972).
16. G. Gottardi, "The genesis of zeolites," *Eur. J. Mineral.* 1, 479-487 (1989).
17. G. Gottardi and E. Galli, "Natural zeolites, Springer; Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo." 409 pp (1985).
18. M. Groben, "Natrolite and Analcime from Eckman Creek Quarry, Waldport, Oregon," *Miner. Record*, 153, 173, 176, 178 (1971).
19. J. Hajian, "Geological reconnaissance on a trip in the southern sector of Tehran quadrangle map," Geological Survey of Iran, 14 pp; (internal report), (1972).
20. K. Harada, Sh. Iwamoto and K. Kihara, "Erionite, phillipsite and gonnardite in the amygdaloids of altered basalt from Maze Niigata Prefecture, Japan," *Amer. Miner.* 52, 1785-1794 (1967).
21. G. Hentschel and R. Vollrath, "Die Zeolithe im Basalt von Ober-Widdersheim, Vogelsberg," *Aufschluß*, 28, 409-412 (1977).
22. D.G. Howard, R.W. Tschernich, J.V. Smith and G.L. Klein, "Boggsite, a new high-silica zeolite from Goble, Columbia County, Oregon," *Amer. Mineral.* 75, 1200-1204 (1990).
23. W.B. Kamb and W.C. Oke, "Paulingite, a new zeolite, in association with erionite and filifrome pyrite", *Amer. Miner.* 45, 79-91 (1960).
24. M.J. Le Bas, R.W. Lemaitre, A. Streckeisen and B. Zanettin, "A chemical classification of volcanic rocks based on total alkali-silica diagram," *J. Petrology*, 27, 745-750 (1986).
25. Ch.M.B. Line, A. Putins, Ch. Putins and C. Giampaolo, "The dehydration kinetics and microtexture of analcime from two parageneses," *Amer. Miner.* 80, 268-279 (1995).
26. J.G. Liou, "Stilbite-Laumontite Equilibrium," *Contr. Mineral and Petrol.* 31, 171-177 (1971).
27. J.G. Liou, "Zeolite facies metamorphism of basaltic rocks from the East Taiwan Ophiolite," *Amer. Miner.* 64, 1-14 (1979).



- 28.A. Livingstone, "Reyerite, tobermorite, calcian analcime and bytownite from amygdalites in a Skye basalt," *Miner. Mag.* 52, 711-713 (1988).
- 29.J.F. Luhr and T.K. Kyser, "Primary igneous analcime: The Colima minettes," *Amer. Miner.* 74, 216-223 (1989).
- 30.U. Müller and H. Deisinger, "Strontium-Thomsonit aus dem Roßbergbasalt von Roßdorf bei Darmstadt," *Aufschluß*, 22, 145-148 (1971).
- 31.R. Nawaz, "Gonnadite and disordered natrolite-group minerals; their distinction and relations with mesolite, natrolite and thomsonite," *Miner. Mag.* 52, 207-219 (1988).
- 32.D. Pongiluppi, "A new occurrence of yugawaralite at Osilo, Sardinia," *Canad. Miner.* 15, 113-114 (1977).
- 33.H. Rieben, "The geology of Tehran plain," *Amer Jour. Sci.* 253, 617-639 (1955).
- 34.Ch. Robert and B. Goffé, "Zeolitization of basalts in subaqueous freshwater settings: Field observation and experimental study," *Geochimica et Cosmochimica Acta* 57, 3597-3612 (1993).
- 35.Ch. Robert, B. Goffé and P. Saliot, "Zeolitisation of a basaltic flow in a continental environment: An example of mass transfer under thermal control," *Bull. Minéral.* 111, 207-223 (1988).
- 36.M. Ross, M.J.K. Flohr and D.R. Ross, "Crystalline solution series and order-disorder within the natrolite mineral group," *Amer. Miner.* 77, 685-703 (1992).
- 37.T. Sameshima, "Ferrierite from Tapu, Coromandel Peninsula, New Zealand. and a crystal chemical study of known occurrences," *Miner. Mag.* 50, 63-68 (1986).
- 38.L.W. Staples, "Origin of spheroidal clusters of analcime from Benton County, Oregon" *Amer. Miner.* 31, 574-581 (1946).
- 39.L.W. Staples, "X-ray investigation of ferrierite, a zeolite," *Amer. Miner.* 40, 1095-1099 (1955).
- 40.R.N. Sukheswala, R.K. Avasia and M. Gangopadhyay, "Zeolites and associated secondary minerals in the Deccan Traps of western India," *Miner. Mag.* 39, 658-671 (1974).
- 41.G.P.L. Walker, "The amygdale minerals in the Tertiary lava of Ireland. I. The distribution of chabazite habits and zeolites in the Garron plateau area, County Antrim," *Miner. Mag.* 29, 773-791 (1951).
- 42.R.T. Wilkin and H.L. Barnes "Solubility and stability of zeolites in aqueous solution: I. Analcime, Na-, and K-clinoptilolite," *Amer. Miner.* 83, 746-761 (1998).
- 43.J.S. White, "Levyne-offretite from Beech Creek, Oregon", *Miner. Record* 6, 171-173 (1975).
- 44.W.S. Wise and R.W. Tschernich, "Cowlesite, a new Ca-zeolite," *Amer. Miner.* 60, 951-956 (1975).
- 45.W.S. Wise, W.J. Nokleberg and M. Kokinos, "Clinoptilolite and ferrierite from Agoura, California," *Amer. Miner.* 54, 887-895 (1969).
- 46.E.J. Zirkel, "Ferrierit im Basalt von Weitendorf, Steiermark: Austria," *Neues Jahrb. Miner. Monatsh.* 11, 524-528 (1973).

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۷۹/۱۰/۱۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۰/۵/۱۵