

گزارشی از آنالسیم و لوین در مجموعه زئولیت‌های گرمابی جنوب تهران

فرامرزطوطی، سیما یزدانی و کمال‌الدین بازرگانی گیلانی
دانشگاه تهران، دانشکده زمین‌شناسی

چکیده

کانی‌های زئولیتی نظیر تتراناترولیت، آنالسیم، لوین، ناترولیت، مزولیت، کلسیم - هیولندیت، اسکولسیت و کلسیم - استیلیت عمدتاً حفرات و بخش کمی رگه‌های سنگ‌های آتشفشانی حدواسط تا بازیک موجود در جنوب کهریزک را پر نموده است. از جمله کانی‌های دیگری که زئولیت‌های مزبور را در رگه‌ها و بخصوص حفرات همراهی می‌کنند می‌توان کلسیت، اوپال، کوارتز و پیرولوسیت را نام برد. در حفرات سنگ‌های آندزی‌بازالتی در غرب توده آتشفشانی لوین بصورت همزیست با آنالسیم یافت شد و برای اولین بار در این منطقه گزارش می‌شود. بطور کلی در سنگ‌های حدواسط تا بازیک جنوب کهریزک، زئولیت‌ها دارای منشأ گرمابی می‌باشند. براساس آنالیزهای شیمیایی، مطالعات XRD و SEM بر روی برخی از نمونه‌های زئولیت‌ها ویژگی بلورشناسی آنها در مقیاس دقیق‌تر بررسی شده است. از جمله ابعاد واحد سلولی آنالسیم با روش محاسباتی Least-Squares برآورد شده است. این کانی دارای تقارن سودوکوبیک Pseudocubic و

$$a=13.6974(51) \text{ \AA}, b=13.6874(124) \text{ \AA}, C=13.6637(311) \text{ \AA}, V=2561.695 \text{ \AA}^3$$

می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: زئولیت، تتراناترولیت، آنالسیم، لوین، ناترولیت، مزولیت، هیولندیت، اسکولسیت، استیلیت، گرمابی، واحد سلولی.

Report of analcime and levyne in hydrothermal zeolite assemblage in volcanic rocks of South Tehran

Abstrac:

Zeolite and secondary minerals such as analcime, levyne, tetranatrolite, natrolite, mesolite, scolcite, heulandite, stilbite and calcite, opal, quartz, pyrosolite are present in basic to intermediate rocks filling the amygdals, cavities and veins. Levyne existing with analcim found in amygdals of andesibasalt rocks and is reported for the first time in this area. It is likely that some late stage hydrothermal events have been responsible for the formation of the zeolite assemblages. Crystallographic investigations reveal an orthorhombic symmetry for Pseudocubic crystals of analcime with unit- cell parameters of:

$$a=13.6974(51) \text{ \AA}, b=13.6874(124) \text{ \AA}, C=13.6637(311) \text{ \AA}, V=2561.695 \text{ \AA}^3$$

Key words: Zeolite, analcime, Levyne, amygdal, hydrothermal, unit- cell parameter, tetranatrolite, heulandite.

مقدمه

زئولیت‌ها آلومینوسیلیکات‌های کریستالین و هیدراته فلزات قلیایی و قلیایی خاکی با شبکه سه بعدی هستند که دارای توانایی تبادل و جذب کاتیونی می‌باشند. زئولیت‌ها به طور کلی به دو دسته طبیعی و سنتزی تقسیم می‌شوند. تاکنون بیش از ۶۰ نوع زئولیت طبیعی شناخته شده است. و بعلاوه ساده بودن سنتز زئولیت‌ها و ارزان تمام شدن تهیه آنها در عرصه تکنولوژی انواع جدیدی از زئولیت‌ها برای کارهای خاص کشف و تاکنون حدود ۱۰۰ ساختمان مولکولی متفاوت برای آنها ساخته شده است. زئولیت‌های طبیعی به مقدار زیاد در سراسر جهان وجود دارد. در کشور ما نیز در سنگ‌های آتشفشانی ائوسن بخصوص سنگ‌های آذرآواری به فراوانی یافت می‌شود، که به عنوان ماده معدنی در بعضی از نقاط ایران از جمله سمنان و میانه استخراج و بهره‌برداری می‌شود. بنا به گزارش سازمان زمین‌شناسی کشور توف‌های ائوسن و شکاف سنگ‌های آتشفشانی دوران سوم محیط‌های مناسبی برای زئولیت‌زایی در ایران شناخته شده‌اند. توده آتشفشانی مورد مطالعه در جنوب تهران (بخش جنوبی ناحیه کهریزک) واقع شده است. وسعت آن تقریباً ۷۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد. مناسبترین راه رسیدن به منطقه از طریق جاده قدیم تهران - قم است. زئولیت‌های آتشفشان‌زا در سنگ‌های حد واسط و بازیک جنوب کهریزک وجود دارند. محل مورد، یکی از نواحی نمونه زئولیت‌زایی در ایران می‌باشد.

نمونه برداری و روش‌های آزمایشگاهی

بیش از ۵۰ نمونه زئولیتی موجود در رگه‌ها و حفرات سنگ‌های آتشفشانی جنوب کهریزک، برداشت شد.

پراش پرتوی ایکس: بر روی نمونه‌های پودر شده بوسیله طیف‌سنج XRD مدل XD-5A Shimadzu, و چشمه α CuK با طول موج ۱/۰۵۴۰۵۸ آنگستروم بین زوایای ۴ تا ۶۴ درجه با سرعت ۱ درجه بر دقیقه، آنالیز بعمل آمد. طیف‌های بدست آمده با الگوهای استاندارد هر کانی مقایسه و شناسایی شدند.

بررسی میکروسکوپ الکترونی (SEM): نمونه‌ها تحت حالت خلاء پوشش طلا داده شد و توسط میکروسکوپ الکترونی DSM960A که به اسپکترومتر WEDX مجهز شده، اسکن گردیدند و فراوانی نسبی عناصر آن آنالیز شد.

روش محاسباتی: برای بدست آوردن پارامترهای سلولی (Unit-Cell Parameters)، از ارتباط بین d-spacing ها، اندیس‌های میلر، پارامترهای سلولی و از رابطه‌های

$$1/d_{hkl}^2 = h^2/a^2 + k^2/b^2 + l^2/c^2 \quad (1)$$

$$1/d_{hkl}^2 = 1/\sin^2\beta(h^2/a^2 + k^2\sin^2\beta/b^2 + l^2/c^2 - 2hl \cos \beta/ac) \quad (2)$$

به ترتیب برای سیستم‌های تقارن ارتورومبیک و مونوکلینیک استفاده شده است. اندیس‌های میلر با استفاده از الگوی پراش پرتو ایکس و تطابق d-spacing های مربوطه با استفاده از کارت های اشعه ایکس استاندارد (powder Diffraction Files) به شماره های JCPDS, 19- 1180 و JCPDS, 18-1203 به ترتیب برای آنالسیم و استیلینیت تعیین گردیده و سپس به روش آزمون و خطا (least squares) پارامترهای سلول واحد از معادلات فوق محاسبه شده است.

- آنالسیم (Analcime)

این کانی گاهی به صورت درشت بلورهای منفرد شکل‌دار وجوه دوزنقه، برنگ شیری تا روشن هستند که اندازه آنها حداکثر به ۲ سانتی‌متر نیز می‌رسد ولی غالباً بلورهای ریز توده‌ای را در بادامک‌های سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه تشکیل می‌دهند. آنالسیم عموماً با تتراناترولیت و ناترولت همراه است و فیبرهایی از کانی‌های اخیر به درون آنالسیم رسوخ کرده‌اند. در مشاهدات پتروگرافی آنالسیم به صورت یک کانی شاخص همراه با کانی‌های اصلی یا فرعی در زمینه سنگ‌های بازالتی و یا آندزیتی مشاهده نشد و تنها به همراه سایر زئولیت‌ها و یا منفرد، در حفرات و رگه‌ها بعنوان کانی پرکننده فضای خالی وجود داشت. ساختار آنالسیم از شبکه‌های چهار وجهی SiO_4 و AlO_4 با حلقه‌های چهاروجهی، چهار و شش عضوی تشکیل شده است. این شبکه حاوی، کانال‌های پیوسته‌ای در امتداد محورهای درجه ۳ ساختاری است که با مولکول های H_2O اشغال می‌شوند (لاین و همکاران، ۱۹۹۵). تغییرات T_{Si} ، T_{Al} و افزایش H_2O همراه است (کومیز و همکاران، ۱۹۹۷). این نسبت برای آنالسیم موجود در منطقه مورد مطالعه با توجه به تجزیه شیمی انجام گرفته بر روی آنها (بازرگانی گیلانی و ربانی، ۲۰۰۴)، برابر با ۰/۶۸ می‌باشد. تقارن توپولوژیکی آنالسیم کوبیک، $Ia3d$ ، است. تقارن واقعی آن متغیر و می‌تواند ارتورومبیک، مونوکلینیک، تری‌کلینیک و تتراگونال باشد. آنالسیم احتمالاً علاوه بر سیستم‌های تقارن گفته شده دارای تقارن تری‌گونال با تغییر ترتیب Si و Al، نیز است (ترتاسترا و همکاران، ۱۹۹۴).

با استفاده از الگوی پراش پرتو ایکس نمونه‌هایی از آنالسیم موجود در حفرات سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه (شکل ۱) ابعاد واحد سلولی آنالسیم با روش محاسباتی Least-Squarers برآورد شده است (جدول ۱).

این کانی دارای تقارن سودوکوبیک Pseudocubic و

$$a=13.6974(51) \text{ \AA}, b=13.6874(124) \text{ \AA}, c=13.6637(311) \text{ \AA},$$

$$V=2561.695 \text{ \AA}^3$$

می‌باشد. اندیس میلر محاسبه شده در جدول (۲) آورده شده است. برای تعیین اندیس میلر از کارت شماره JCPDS, 19- 1180 استفاده شده است. آنالسیم‌های موجود در منطقه دارای ترکیبی با Na غالب در مقایسه با سایر کاتیون‌ها می‌باشد، و میزان Na_2O در آنها برابر $12/73$ درصد وزنی است. ترکیب شیمیایی بیشتر آنالسیم‌ها تقریباً ثابت است و مقادیر اندکی K و Ca جانشین Na و نیز مقداری Al بدلیل شباهت تقریبی شعاع و بار یونی، جانشین Si می‌شود (کلین و هالپوت، ۱۹۹۹).

- لوین (Levyne)

این کانی بهمراه آنالسیم در حفرات سنگ‌های آندزی بازالتی در غرب توده آتشفشانی یافت شد و برای اولین بار در این منطقه گزارش می‌شود. الگوی پراش پرتوی ایکس لوین بهمراه آنالسیم در شکل (۲) آورده شده است. نسبت Si/Al در لوین متغییر و T_{Si} آن بین $0/70-0/62$ است (کومبز و همکاران، ۱۹۹۷). لوین در ساختار خود سرشار از سدیم، کلسیم و پتاسیم است و در محدوده دمایی بین $170-190$ درجه سانتیگراد سنتز شده است (دی لاک و همکاران، ۲۰۰۴). به نظر گوتاردی و گالی (۱۹۸۵) لوین معمولاً از سیالات گرمایی تشکیل می‌شود. در کانادا و آمریکا شپارد و همکاران (۱۹۷۴) هم‌رشدی لوین و ابرونیت را در بادامک‌های بازالت‌ها مشاهده کردند که با ژئولیت‌های دیگر مانند آنالسیم، تامسونیت و شابازیت همراه بودند.

علاوه بر آنالسیم و لوین ژئولیت‌های گوناگونی در این منطقه وجود دارد، از آنجمله ژئولیت‌های رشته‌ای فراوانترین نوع ژئولیت‌های مشاهده شده در گدازه‌های جنوب کهریزک می‌باشند. در نمونه‌های بسیار تپیک که توالی کاملی از ژئولیت‌های رشته‌ای را نشان می‌دهند (شکل ۳)، اولین ژئولیت بعد از کلسیت که بر روی دیواره حفرات، رگه‌ها و رگچه‌های سنگ‌های جنوب کهریزک مشاهده می‌شود، تتراناترولیت با بلورهای سفید رنگ رشته‌ای، است. تتراناترولیت همراه با ناترولیت و مزولیت و نیز به شکل‌های شعاعی و تیغه‌ای ظریف به رنگ سفید مشاهده می‌شود. مزولیت غالباً به شکل رشته‌های قطورتر و شفاف‌تر نسبت به سایرین است. اسکولسیت نیز جزء ژئولیت‌های کلسیم‌دار و احتمالاً در حفرات بعد از مزولیت تشکیل شده است. همچنین استیلبیت به صورت الواری یا انبوهه‌های دسته گندمی و برنگ صورتی و ندرتاً در رگه‌ها صورتی نیمه شفاف است. با توجه به ترکیب شیمیایی استیلبیت‌های موجود در منطقه (بازرگانی گیلانی و ربانی، ۲۰۰۴)، آنها در زمره کلسیم-استیلبیت‌ها قرار می‌گیرند. شکل (۴) سطوح بلور استیلبیت موجود در بازالت‌ها را نمایش می‌دهد. هیولندیت در حفرات همراه با استیلبیت و جزء آخرین فازهای تبلور یافته است. این کانی به فرم صفحه‌ای شیری تا صورتی رنگ با جلای شیشه‌ای و مرواریدی و به قطر چند میلی‌متر است.

- ژئوشیمی سنگ میزبان ژئولیت‌ها

در توده آتشفشانی جنوب تهران (جنوب کهریزک) سنگ‌های آتشفشانی به دو دسته آذرآواری‌ها و گدازه‌ها قابل تفکیک می‌باشند. آذرآواری‌ها شامل ایگنیمبریت‌ها و توف‌ها می‌شوند که در زیر گدازه‌ها واقع شده‌اند. در مشاهدات صحرائی و میکروسکوپی سنگ‌های مزبور ژئولیت به طوری که در گدازه‌ها وجود دارد، مشاهده نشد، البته در این رابطه مطالعات دقیق‌تر ژئوشیمیایی ضروری به نظر می‌رسد. گدازه‌ها بر اساس ترکیب از اسیدی به بازیکی شامل سنگ‌های ریولیتی، آندزیتی، تراکی‌آندزیتی، تراکی‌آندزیت بازالتی و بازالت است. در گدازه‌های ریولیتی رگه‌ها، رگچه‌ها و یا حفرات پر شده با ژئولیت یافت نشد. گدازه‌های آندزیتی موجود در منطقه شدیداً دگرسان شده‌اند و غالباً

بافت بادامکي (آمیگدالوئیدال) داشته و رگه‌ها و رگچه‌های زئولیتی در تمام آنها گسترش یافته است. در بین انواع گوناگون گدازه‌ها که در این منطقه وجود دارد سنگ‌های حدواسط بیشترین فراوانی زئولیت‌ها را دارا هستند. گدازه‌های بازالتی دونوع هستند؛ دارای زئولیت و فاقد زئولیت. به طور کلی گدازه‌های بازالتی نسبت به ریولیت‌ها و آندزیت‌ها کمتر دگرسان شده‌اند. در جدول (۳) ترکیب شیمیایی بازالت‌های فاقد زئولیت (B.2)، (B.3) و بازالت دارای زئولیت (B.12) همچنین ریولیت و تراکی‌آندزیت بازالتی مشاهده می‌شود. سنگ‌های بازالتی که در محدوده آنها زئولیت یافت شده نسبت به بازالت‌های فاقد زئولیت، عناصر لیتوفیل یون بزرگ (LILE) مانند (K, Rb, Pb, Ba, Cs, LREE) مقدار کمتری دارند. این عناصر ناسازگار و به علت شعاع یونی بزرگشان متحرک هستند. همچنین عناصر اصلی مانند قلیایی‌ها، آهن و منگنز در نمونه‌های مزبور نسبت به نمونه‌های فاقد زئولیت کمتر است. به نظر می‌رسد تحرك عناصر در طی واکنش با سیالات گرمایی، منجر به تغییرات شیمیایی این سنگ‌ها پس از تشکیل شده است. تحرك عناصر اصلی توسط سه عامل اصلی کنترل می‌شود: پایداری و ترکیب کانی‌ها در سنگ دگرسان نشده، پایداری و ترکیب کانی‌ها در محصول دگرسانی و ترکیب، حرارت و حجم فاز سیال (رولینسون، ۱۹۹۳). تحقیقات مک گیهان و مک‌لین (۱۹۸۰) و موتل (۱۹۸۳)، در مورد تأثیرات سیالات گرمایی بر سنگ‌های بازالتی (جدول ۴) نشان می‌دهد Ca و Na تقریباً همیشه متحرک‌اند. با نگاهی به ترکیب شیمیایی کانی‌های زئولیتی (بازرگانی و ربانی، ۲۰۰۴) ملاحظه می‌شود میزان Na، K و Ca در آنها بالا می‌باشد. همچنین بعضی عناصر کمیاب نیز در طی تأثیر فاز سیال متحرک بوده (مانند Rb, Ba, Sr, K, Ca)، ولی عناصر HFS غیر متحرک‌اند (پیرس، ۱۹۸۳).

- بحث و نتیجه‌گیری

در سنگ‌های حدواسط تا بازیک جنوب کهریزک، آنالسیم و لوین به‌مراه سایر زئولیت‌ها دارای منشأ گرمایی می‌باشند. آنالسیم‌های موجود در منطقه دارای نسبت Si/Al نزدیک به ۲ هستند، در صورتیکه این نسبت در آنالسیم‌های با منشأ رسوبی و دگرگونی بالاتر از ۲/۲ می‌باشد. همچنین با توجه به بلورهای منفرد آنالسیم، سطوح [211] منظم و لامیناسیونی که می‌تواند نتیجه‌ای از فازهای مختلف رشد بلور باشد، آنالسیم دارای منشأ گرمایی است (طوطی و همکاران، ۱۳۸۳). از طرفی عدم وجود کانی‌هایی که نمایانگر دگرگونی تدفینی یا مجاورتی در سنگ‌های میزبان این زئولیت‌ها باشند و مشاهدات صحرایی و نحوه تشکیل زئولیت‌ها به صورت رشته‌های ظریف، باریک و بلند (Fine-large) عمدتاً در رگه‌ها و رگچه‌ها و پرشدگی حفرات سنگ‌های منطقه، همچنین پاراژنز بودن دو کانی همزیست آنالسیم و لوین با تتراناترولیت که به اعتقاد گوتاردی و گالی (۱۹۸۵) تنها به صورت کانی با منشأ گرمایی شناخته شده است و دگرسانی شدید اغلب سنگ‌های آندزیتی و بازالتی (کمتر) که حاصل دگرسانی شدید درشت بلورهای پلاژیوکلاز است که در بعضی مناطق تماماً با زئولیت جایگزین شده‌اند، همگی از دلایل عمده منشأ گرمایی این زئولیت‌ها می‌باشند.

در سنگی‌های موجود در توده آتشفشانی مورد نظر Ba با افزایش مقدار SiO_2 ، روند افزایشی نشان می‌دهد و در سنگ‌های حاصل از مراحل پسین توالی تبلور تفریقی ماگمای مادر، متمرکز می‌شود. Sr نیز در کانی‌های پتاسیم‌دار می‌تواند جانشین K شود (بصورت اسیر شده captured)، ولی در کانی‌های کلسیم‌دار جایگاه مشابه با Ca را اشغال می‌کند و در این کانی‌ها به شکل پذیرفته شده (admitted) می‌باشد. وجود زئولیت‌های رشته‌ای معمولاً همراه آنالسیم در ابتدای توالی در نظر گرفته شده برای زئولیت‌های موجود در منطقه (میزان Ba و Sr در زئولیت‌های رشته‌ای ۰/۰۱ و در بعضی موارد حدود ۰/۰۲ بر مبنای ۸۰ اتم اکسیژن است، گوتاردی و گالی، ۱۹۸۵) می‌تواند ناشی از فزونی عناصر Ba، Sr و Rb در گدازه‌های منطقه باشد. باتشکیل هر نوع زئولیت تغییری در محتوای فلیائیت سیال گرمایی ایجاد می‌شود. در ابتدای ایجاد زئولیت‌ها به دلیل تأثیر سیالات بر روی سنگ میزان خود مقدار Ca، Na و K در سیال زیاد و سنگ از این عناصر تهی شده است. سپس با تشکیل آنالسیم، لوین، تراناترولیت و ناترولیت از فراوانی این عناصر نسبتاً متحرک کاسته شده و سیلیس زیاد شده است که باعث تشکیل زئولیت‌های بعدی مزولیت، کلسیم - استیلیت و کلسیم - هیولندیت با محتوی سیلیس نسبتاً بیشتر شده است. با توجه به تغییرات مشاهده شده در میزان Al، Si و کاتیون‌های موجود در انواع زئولیت‌ها احتمالاً هر گونه زئولیتی در یک محدوده دمایی معین که می‌تواند منطبق با دمای توده آتشفشانی و گرادیان زمین گرمایی باشد و با ترکیب شیمیایی مشخصی از مواد اولیه، تشکیل شده است.

منابع:

- طوطی، ف.، و بازرگانی گیلانی، ک.، و یزدانی، س.، (۱۳۸۳) سنگ‌شناسی توده آتشفشانی زئولیت‌دار جنوب کهریزک (جنوب تهران) با نگرشی به منشأ آنالسیم، بیست و سومین گردهمایی علوم زمین.

References:

- Bazargani-Guilani, K. and Rabani, M. S., (2004) Amigdaloidal and other cavity filling Zeolites of Kuh-e-Ara-deh, Central Iran. *Jornal of Scinces, Islamic Republic of Iran.*, 152:149-157.
- Coombs, D. S., et al., (1997) Recommended nomenclature for zeolite minerals. *The Canadian Mineralogist.*, 35: 1571-1606.
- De Luca, P., Violante, D., Vuono, D., Catanzaro, L., Nagy, J. B. and Nastro, A., (2004) Synthesis and characterization of Al, B-levyne type crystals from gels containing melthyl-quinuclidinium ions. *Microporous and Mesoporous Materials.* 71: 39-49.
- Gottardi, G. and Galli, E., (1985) *Natural Zeolites*, Springer; Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo., 409p.

- Klein, C. and Hulbut, S. C., (1999) Manual of mineralogy, Jr John Wiley and Sons, 765p.
- Line, M. B. C., Putins, A., Putins, C. and Giampaolo, C., (1995) The dehydration kinetics and microtexture of analcime from two parageneses. American Mineralogist. 80:268-279.
- MacGeenhan, P. J. and MacLean, W. H., (1980) An Archaean sub-seafloor geothermal system, calc-alkali trends, and massive subphide genesis. Nature. 286: 767-771.
- Mottle, M. J., (1983) Metabasalts, axial hot springs, and the structure of hydrothermal systems at mid-ocean ridges. Geol. Soc. Amer. Bull., 94: 161-180.
- Pearce, J. A., (1983) Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Rollinson, h. R., (1993) Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. John Wiley and Sons, 325p.
- Rollinson, h. R., (1993) Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. John Wiley and Sons, 325p.

شرح تصاویر:

شکل ۱- الگوی پراش پرتوی X برای آنالسیم موجود در حفرات سنگ‌های آندزیتی جنوب کهریزک.

جدول ۱- پارامترهای واحد سلولی آنالسیم که برای نمونه‌های منطقه محاسبه شده‌اند. مقادیر درون پرانتز بیانگر انحراف معیار می‌باشند. پارامترهای برآورد شده با داده‌های مزی و گالی (۱۹۷۸) مقایسه شده‌اند.

جدول ۲- مقایسه داده‌های پراش (اندیس‌های میلر و d-spacing ها) مشاهده شده و محاسبه شده در آنالسیم موجود در منطقه مورد مطالعه.

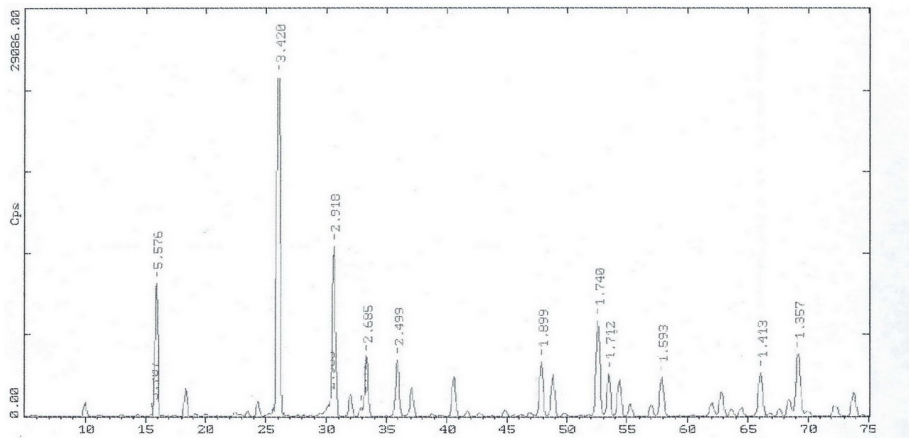
شکل ۲- الگوی پراش پرتوی X برای یک نمونه لوین به‌مراه آنالسیم موجود در حفرات سنگ‌های بازالتی و آندزیتی جنوب کهریزک. پیک‌های مربوط به لوین با علامت (*) و پیک‌های مربوط به آنالسیم با (*) مشخص شده است.

شکل ۳- مزولیت غالباً به شکل رشته‌های قطور و با میله‌هایی به قطر یک میلی‌متر و طول ۲ سانتیمتر یا بیشتر به همراه سایر زئولیت‌ها تشکیل می‌شود.

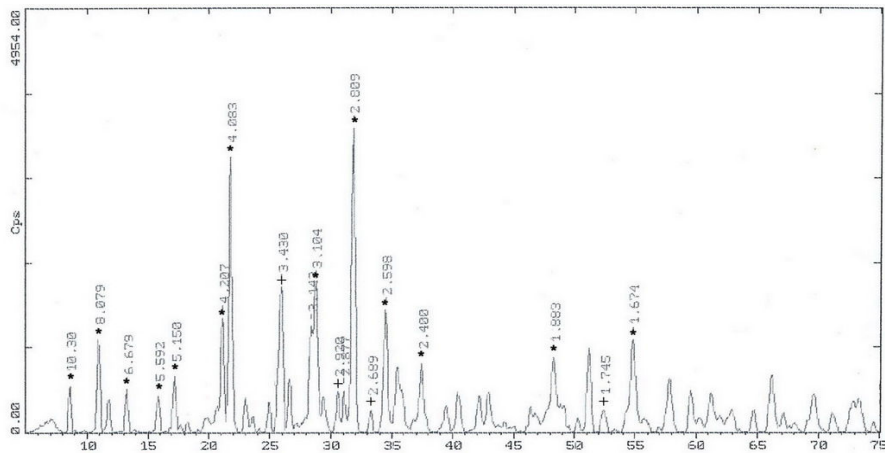
شکل ۴- میکروفوتوگراف‌های SEM از بلورهای مونوکلینیک استیلیت موجود در سنگ‌های ولکانیکی منطقه مورد مطالعه.

جدول ۳- نتایج آنالیز شیمیایی عناصر اصلی، کمیاب موجود در گدازه‌های جنوب کهریزک.

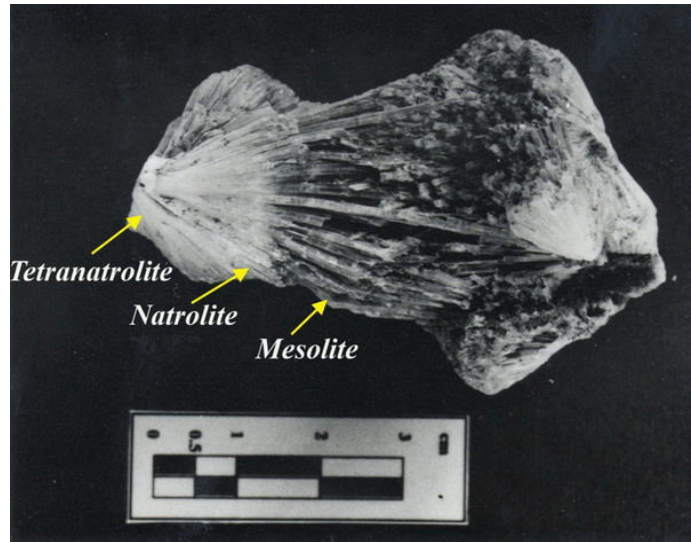
جدول ۴- تحرك عناصر اصلي در سنگ‌های بازالتی تحت شرایط گرمایی. علامت (-) عنصر تهی شده (فقر شده)، (+)، عنصر غنی‌شده است.



Pic-1



Pic-2



Pic-3



Pic-4

Table-1

	a(Å)	b(Å)	c(Å)	V(A³)
Analcime ‡	13.6974(51)	13.6874(124)	13.6637(311)	2561.695
Analcime †	13.733(1)	13.729(1)	13.712(1)	
Analcime *	13.727(2)	13.714(2)	13.740(2)	

‡ = this work, † = Massi & Galli(1978), * = Massi & Galli(1978)

Table-2

d-spacing obs	h	k	l	d-spacing calc
6.836	2	0	0	6.8487
6.181	2	1	0	6.1248
5.583	2	1	1	5.5890
4.836	2	2	0	4.8410
3.660	3	2	1	3.6594
3.424	4	0	0	3.4243
2.919	3	3	2	2.9181
2.797	4	2	2	2.7945
2.686	4	3	1	2.6853
2.686	5	1	0	2.6862
2.501	5	2	1	2.5003
2.223	6	1	1	2.2218
2.223	5	3	2	2.2210
2.164	6	2	0	2.1656
2.115	5	4	1	2.1128
2.020	6	3	1	2.0192
1.936	5	4	3	1.9358
1.901	6	4	0	1.8991
1.866	6	3	3	1.8630
1.833	6	4	2	1.8297
1.741	7	3	2	1.7391
1.741	6	5	1	1.7390
1.687	7	4	1	1.6857
1.478	7	6	1	1.4765
1.461	6	6	4	1.4591
1.445	7	5	4	1.4429
1.414	9	3	2	1.4125
1.357	10	1	1	1.3562

1.307	10	3	1	1.3059
1.284	8	7	1	1.2824

d-spacing obs = d-spacing observed, d-spacing calc = d-spacing calculated.

Table-3

SAMPLE	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	MgO	CaO	Na₂O
Basalt-B.2	49.61	19.83	3.69	3.99	10.82	2.87
Basalt-B.3	50.1	17.29	3.92	6.73	9.72	2.58
Basaltic trachyandesit e-	51.25	21.43	3.45	4.28	7.55	4.63
Basalt-B.12	50.54	21	3.08	4.14	10.77	2.58
Rhyolite	72.56	14.18	1.32	0.63	2.36	3.75

SAMPLE	Be	Co	Cs	Ga	Hf	Nb	Rb	Sr	Ta	Th	U	V	Ho	Er	Tm
Basalt-B.2	1	35.5	0.5	18.9	2.2	6.9	30.3	641.8	0.4	2.6	0.6	256	0.72	1.98	0.34
Basalt-B.3	1	48.1	1	18.2	1.9	5.5	26.4	603	0.4	2	0.6	264	0.74	2.06	0.3
Basaltic trachyandesite-	1	26.2	0.8	15.6	1.7	5.7	22.6	1206.3	0.3	2.5	0.8	163	0.57	1.6	0.26
Basalt-B.12	1	36.8	0.3	18	1.7	6	24.6	667.6	0.5	2.6	0.6	254	0.63	1.73	0.23
Rhyolite	2	17.9	48	14	5.4	11.9	142.8	406.5	1	12.8	4.8	29	0.66	2.02	0.33

SAMPLE	W	Zr	Y	La	Ce	Pb	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Yb	Lu	Ba	Dy
Basalt-B.2	95.9	75.8	20.4	15	31.8	3.4	17.1	4.1	1.36	4.16	0.65	1.99	0.29	311.2	3.71
Basalt-B.3	86.3	70.3	21.2	15.7	32.4	1.6	16.8	4.5	1.32	4.16	0.68	1.92	0.28	382	3.84
Basaltic trachyandesite-	44.7	63.8	15.9	13.4	28	3.4	14.2	3.2	1.04	3.01	0.5	1.66	0.23	284.1	2.82
Basalt-B.12	125.9	67.4	17.1	14.1	29.8	2	14	3.5	1.18	3.39	0.54	1.62	0.26	295.8	2.97
Rhyolite	131	191.3	20.7	26.9	50.8	6.8	19.4	3.7	0.74	3.37	0.6	2.37	0.4	697.9	3.27

Table-4

نوع سنگ	Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	P	مأخذ
بازالت	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	موتل (١٩٨٢)
بازالت	+		-	-	-	-	-	-	+		مك گيهان و مك لين (١٩٨٠)