



ویژگی‌های کانی‌شناختی آنالسیم‌های گرمابی در سنگ‌های آتشفشانی جنوب کهریزک

فرامر زطوطی*، سیما یزدانی، کمال‌الدین بازرگانی گیلانی

دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران

(دریافت مقاله: ۸۸/۱۲/۲۶، نسخه نهایی: ۸۹/۵/۱۶)

چکیده: آنالسیم به همراه زئولیت‌هایی نظیر تتراناترولیت، ناترولیت، مزولیت، کلسیم - هیولندیت، اسکولسیت، کلسیم - استیلیت و لوین، در حفره‌های و رگه‌های سنگ‌های آتشفشانی حدواسط و بازی جنوب کهریزک مشاهده می‌شود. تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) بلورهای آنالسیم نشانگر آن است که سطوح [۲۱۱] منظم و بافت‌های نازک ناشی از فازهای مختلف رشد بلوری تحت تأثیر گرمایی‌ها قرار گرفته‌اند. بررسی‌های XRD نشان می‌دهد که این کانی دارای تقارن شبه مکعبی بوده و مقادیر $(51) 13.6974$ ، $(124) 13.6874$ ، $(311) 13.6637$ آنگسترم به ترتیب برای ابعاد یاخته‌ی یکی a ، b ، c و 2561.695 آنگسترم مکعب برای حجم آن محاسبه شدند. طیف رامان بسامد ارتعاشی مولکول‌های H_2O موجود در ساختار آنالسیم را در بسامد حدود 3500 cm^{-1} نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: زئولیت؛ تتراناترولیت؛ آنالسیم؛ لوین؛ ناترولیت؛ مزولیت؛ هیولندیت؛ اسکولسیت؛ استیلیت؛ گرمابی‌ها؛ کهریزک.

مقدمه

کاتیون اصلی در خارج از شبکه‌ی کاتیونی است [۲]. آنالسیم می‌تواند مستقیماً از ماگما متبلور شود، و یا در محیط‌های دریاچه‌های شور قلیایی، محیط‌های گرمابی و یا دگرگونی در دمای پائین و جانشین شدن به جای کانی‌هایی مانند لوسیت تشکیل شود. واکنش آنالسیم - لوسیت در شرایط آزمایشگاهی بسیار سریع و در مدت ۳ روز، و در دمای 300°C ۱ کیلو بار فشار رخ می‌دهد. در شرایط مشابه $(30^\circ\text{C}$ تا 60°C ساعت و دمای 180°C - 270°C) تشکیل آنالسیم از گرمابی‌ها (آنالسیم نوع H) دانه‌هایی به اندازه‌ی ۲۰-۱۵ میلی‌میکرون فراهم می‌کند [۳].

به عقیده‌ی کارلسون و کلیتون (۱۹۹۱) [۴] به علت تشابه

آنالسیم غالباً عضوی از گروه زئولیت‌ها در نظر گرفته شده، درحالی‌که بعضی مؤلفین آن را جزء فلدسپاتوئیدها می‌دانند. این کانی با فرمول ساختاری $Na_{16}(Al_{16}Si_{32}O_{96}) \cdot 16H_2O$ و سری پیوسته‌ای را با پلوسیت و وایراکیت تشکیل می‌دهد [۱]. 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 راستای محورهای درجه‌ی ۳ ساختاری است که با مولکول‌های H_2O اشغال می‌شوند. Na با همارایی هشت وجهی در حفره‌های کمی کوچکتر، جای می‌گیرد. در برخی نمونه‌های آنالسیم، Na تنها

* نویسنده مسئول، تلفن: ۶۱۱۱۲۷۱۵ (۰۲۱)، نمابر: ۶۶۴۹۱۶۲۳ (۰۲۱)، پست الکترونیکی: tutti@khayam.ut.ac.ir

طول موج ۰۵۴۰۵۸ آنکستروم بین زوایای ۴ تا ۶۴ درجه با سرعت ۱ درجه بر دقیقه، در آزمایشگاه XRD گروه زمین-شناسی دانشگاه تهران انجام گرفت. طیف‌های به‌دست آمده با الگوهای استاندارد هر کانی مقایسه و شناسایی شدند.

بررسی میکروسکوپ الکترونی (SEM): نمونه‌ها در حالت خلاء با طلا پوشش داده شدند و به وسیله‌ی میکروسکوپ الکترونی DSM960A که به طیف‌سنج EDX مجهز بود بررسی شدند و فراوانی نسبی عناصر آن مورد بررسی قرار گرفتند.

همچنین طیف رامان چند نمونه‌ی آنالسیم در آزمایشگاه رامان اسپکتروسکوپی اوپسالا (سوئد) گرفته شدند. سیستم رامان مورد استفاده مجهز به طیف‌سنج تصویری (HoloSpec, Kaiser) و شبکه‌ی عبور دهنده‌ی تمام نگار (HoloPlex) و آشکارساز CCD (Andor) بوده است. طراحی شبکه‌ی عبور دهنده بگونه‌ای بوده است که طیف گسترده‌ای از بسامدهای ارتعاشی بین $500 - 250 \text{ cm}^{-1}$ را در یک تک بازتاب دریافت می‌کند. قدرت پرتو لیزری که با یون آرگون تولید می‌شد بین ۴ تا ۱۰ میلی وات قابل تغییر بوده است. طیف‌های رامان آنالسیم در دمای اتاق و با قدرت لیزر ۵ میلی وات در طول زمان تابش ۶۰ ثانیه گرفته شدند.

ژئوشیمی سنگ میزبان

بنابر طبق بررسی‌های طوطی و همکاران (۱۳۸۷) [۸]، سنگ-های آتشفشانی جنوب تهران (جنوب کهریزک) به دو دسته‌ی آذرآواری‌ها (توفاها و ایگنیمبریت‌ها) و گدازه‌ها قابل تفکیک‌اند. در مشاهدات صحرایی و میکروسکوپی آذرآواری‌های ژئولیت که باید در گدازه‌ها وجود داشته باشند، مشاهده نشدند، ولی به نظر می‌رسد که بررسی‌های دقیق‌تر ژئوشیمیایی ضروری باشد. گدازه‌ها بر اساس ترکیب شیمیایی از اسیدی به بازی شامل سنگ‌های ریولیت، تراکی‌آندزیت، تراکی‌آندزیت بازالتی و بازالت می‌شوند و ماهیت نیمه قلیایی و قلیایی دارند. این گدازه‌ها شواهد سنگ‌شناسی (زونینگ، بافت غربالی و گردشگی سطح بلور در بلورهای پلاژیوکلاز و پیروکسن) حاکی از عدم تعادل

ریخت‌شناختی آنالسیم و لوسیت، تشخیص آنالسیمی که در سنگ‌های آذرین مستقیماً از گدازه متبلور شده (نوع-I) با آنالسیمی که حاصل دگرسان شدن لوسیت در شرایط نیمه جامد است (آنالسیم ثانویه-نوع-X)، مشکل است. از طرفی تبدیل لوسیت به آنالسیم سریع و با انرژی فعال‌سازی کوچک انجام می‌گیرد، و در صورت وجود آبگون‌های غنی از Na^+ در جانشینی (X) را با بررسی‌های میکروسکوپ الکترونی (SEM) می‌دانند. از طرف دیگر تقارن متفاوت بلورهای آنالسیم شامل مکعبی، چهار گوش، راست گوش، و سه میل می‌تواند معرف تغییرات دمای تشکیل این بلورها باشد. به‌عنوان مثال همراه با افزایش دما تقارن راستگوشی در این بلورها به مکعبی تغییر می‌کند [۶].

مشابه بسیاری از مناطق آتشفشانی دنیا، توف‌های ائوسن و سنگ‌های آتشفشانی دوران سوم ایران نیز محیط مناسبی برای ژئولیت‌زایی شناخته شده‌اند [۷]. از آن جمله می‌توان به سری-های آتشفشانی ژئولیت‌دار جنوب کهریزک اشاره کرد.

که انواع گوناگونی از ژئولیت‌های آتشفشان‌زاد در سنگ‌های حدواسط و بازی آن‌ها به وفور یافت می‌شود. بیشتر این ژئولیت‌ها شامل: آنالسیم، لوین، تتراناترولیت، ناترولیت، مزولیت، کلسیم - هیولندیت، اسکولسیت و کلسیم - استیلیت هستند که در این پژوهش ویژگی‌های کانی‌شناختی آنالسیم را با استفاده از روش‌های مختلف بررسی می‌کنیم.

نمونه برداری و روش‌های آزمایشگاهی

بیش از تهیه‌ی ۲۷۰ نمونه‌ی دستی از سنگ‌های منطقه در ۵ مسیر متفاوت کوه‌های جنوب کهریزک، ۱۴ نمونه غیر هوازده سنگ‌های آتشفشانی از همان مسیرها انتخاب و پس از پودر کردن، مورد آنالیز شیمی کل به روش ICP-ES در آزمایشگاه ACME کانادا صورت گرفت [۸]. همچنین غالب بر ۵۰ نمونه ژئولیتی موجود در رگه‌ها و حفره‌های سنگ‌های آتشفشانی، برداشت شدند.

پراش پرتو ایکس: نمونه‌های پودر شده به‌وسیله‌ی طیف‌سنج XRD مدل Shimadzu, XD-5A و چشمه‌ی $\text{CuK } \alpha$ با

برای سیستم راستگوشه استفاده شده است. شاخص‌های میلر با استفاده از الگوی پراش پرتو ایکس و برازش d -spacing های وابسته و نیز از کارت پرتو ایکس استاندارد (Powder Diffraction Files) به شماره‌ی ۱۹-۱۱۸۰ JCPDS تعیین شده و سپس به روش آزمون و خطا پارامترهای یاخته یک‌ه با استفاده از معادله‌ی بالا محاسبه شدند.

این کانی دارای تقارن شبه مکعبی با ابعاد یاخته‌ی یک‌ه‌ی:

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

است. D -spacing های محاسبه شده و شاخص‌های میلر مربوطه در جدول (۲) آورده شده است. آنالسیم‌های موجود در منطقه دارای ترکیبی با Na غالب در مقایسه با کاتیون‌ها دیگر بوده، و میزان Na_2O در آن‌ها برابر ۱۲/۷۳ درصد وزنی است. ترکیب شیمیایی بیشتر آنالسیم‌ها تقریباً ثابت است و مقادیر اندکی K و Ca جانشین Na و نیز مقداری Al جانشین Si می‌شود [۱۲].

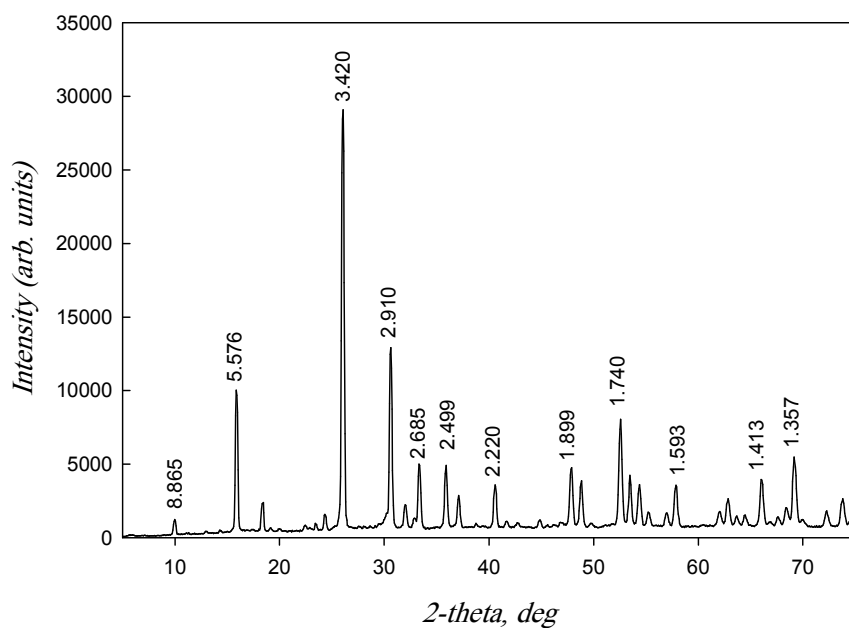
بررسی‌های میکروسکوپ الکترونی (شکل ۲-الف، ب، پ) ساختار منظم بافت لایه‌ای در سطوح [۲۱۱] بلورهای منفرد آنالسیم را به نمایش می‌گذارد که می‌تواند نتیجه‌ای از فازهای مختلف رشد بلور باشد به اعتقاد لاین و همکاران (۱۹۹۵) [۱۴] این نوع ساختار در بلورهای آنالسیم نشان‌دهنده‌ی تشکیل آن‌ها در شرایط گرمایی است. این در حالی است که آنالسیم‌های جانشینی نمی‌تواند به‌صورت بلورهای منفرد نمایان شود بلکه به‌صورت چند بلوری و با ناهموازی‌هایی در سطح ظاهراً یکنواخت آن، مشاهده می‌شود. این ناهموازی‌ها در همه‌ی مقیاس‌ها و به‌صورت منظم و ظاهر گل کلمی وجود دارند (شکل ۲-ت). این مشاهدات با اندازه‌ی سطح مقطع بزرگتر در آنالسیم نوع جانشینی و چگالی کمتر آن (در نتیجه‌ی وجود خلل و فرج فراوان) نسبت به آنالسیم نوع گرمایی همخوانی دارد. همچنین میزان سدیم در آنالسیم نوع گرمایی بسیار بالاتر از آنالسیم نوع جانشینی است، که حاصل اختلاف در خلل و فرج موجود در سطح آنالسیم نوع جانشینی و در نتیجه‌ی اختلاف در میزان Na - drift است [۲]. با توجه به آنالیز ریز پردازشی آنالسیم موجود در سنگ‌های منطقه (جدول ۳)، می‌توان دریافت که میزان Na آن بالاست.

ماگما هنگام تبلور را نشان می‌دهند. در بررسی‌های ژئوشیمیایی گدازه‌های منطقه، غنی‌شدگی از LREE در مقایسه با HREE و بالا بودن مقدار عناصر ناسازگار LILE نسبت به HFSE، و نیز بی‌هنجاری شاخص Nb، Ti و Ta در گدازه‌های منطقه از نشانه‌های سنگ‌های وابسته به فرورانش محسوب می‌شود. گرایش گدازه‌های منطقه به سمت سری‌ها قلیایی احتمالاً نشانگر یک رژیم کششی مشابه حوضه‌های پشت کمان است.

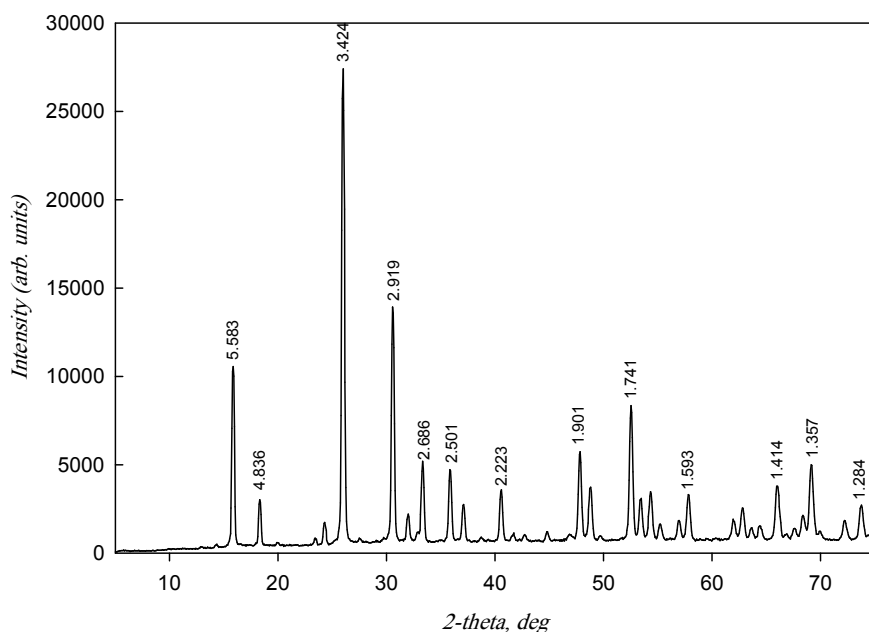
بحث و بررسی

آنالسیم‌ها گاهی به‌صورت درشت بلورهای یوهدرال با وجوه دوزنقه‌ای، به رنگ شیری تا روشن هستند که اندازه‌ی آن‌ها حداکثر به ۲ سانتی‌متر نیز می‌رسد، ولی غالباً بلورهای ریز توده‌ای را در بادامک‌های سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی مورد بررسی تشکیل می‌دهند. آنالسیم عموماً با تتراناترولیت و ناترولت همراه است و گاهی فیبرهایی از کانی‌های اخیر به درون آنالسیم رسوخ کرده‌اند. در مشاهدات سنگ‌شناسی همراه با ژئولیت‌های دیگر و یا به تنهایی و منحصراً در حفره‌ها و رگه‌ها به‌عنوان کانی پرکننده‌ی فضای خالی وجود دارند. ساختار آنالسیم دارای کانال‌های پیوسته‌ای در راستای محورهای درجه‌ی ۳ ساختاری است که با مولکول‌های H_2O اشغال می‌شوند [۲]. تغییرات $T_{\text{Si}} = \text{Si} / (\text{Si} + \text{Al})$ ، آنالسیم بین ۰/۷۳-۰/۵۹ است، به‌طوری که افزایش Si با کاهش Na و Al و افزایش H_2O همراه است [۹]. این نسبت برای آنالسیم موجود در منطقه‌ی مورد بررسی با توجه به تجزیه‌ی شیمی انجام گرفته روی آن‌ها [۱۰]، برابر با ۰/۶۸ است. تقارن مکان‌شناسی آنالسیم مکعبی، $Ia3d$ ، است. سیستم واقعی آن متغیر و می‌تواند راستگوشه، تک میل، کج وجهی و چهارگوشی باشد. آنالسیم احتمالاً علاوه بر سیستم‌های بلوری گفته شده دارای تقارن مثلثی با تغییر ترتیب Si و Al، نیز می‌تواند باشد [۱۱]. با استفاده از الگوی پراش پرتو ایکس نمونه‌هایی از آنالسیم موجود در حفره‌های سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی مورد بررسی (شکل ۱) ابعاد واحد سلولی آنالسیم با روش محاسباتی حداقل مربعات برآورد شده است (جدول ۱). برای محاسبه‌ی پارامترهای سلولی (Unit-Cell Parameters) آنالسیم، از ارتباط بین d -spacing ها، شاخص‌های میلر، پارامترهای سلولی و از رابطه‌ی:

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



شکل ۱-الف)



شکل ۱-ب)

شکل ۱ الف و ب) الگوی پراش پرتو X برای دو نمونه آنالسیم موجود در حفره‌ها الف) سنگ‌های بازالتی و ب) سنگ‌های آندزیتی جنوب کهریزک.

جدول ۱ پارامترهای یاخته‌ی یک‌ه‌ی آنالسیم که برای نمونه‌های منطقه محاسبه شده‌اند. مقادیر درون پرانتز بیانگر انحراف معیارند. پارامترهای برآورد شده با داده‌های مزی و گالی (۱۹۷۸) [۱۶] مقایسه شده‌اند.

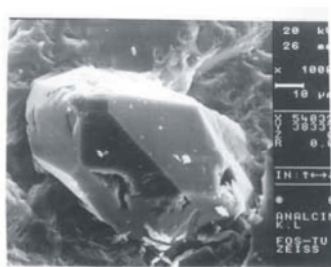
	$a(\text{\AA})$	$b(\text{\AA})$	$c(\text{\AA})$	$V(\text{\AA}^3)$
Analcime ‡	۱۳٫۶۹۷۴ (۵۱)	۱۳٫۶۸۷۴ (۱۲۴)	۱۳٫۶۶۳۷ (۳۱۱)	۲۵۶۱٫۶۹۵
Analcime †	۱۳٫۷۳۳ (۱)	۱۳٫۷۲۹ (۱)	۱۳٫۷۱۲ (۱)	
Analcime *	۱۳٫۷۲۷ (۲)	۱۳٫۷۱۴ (۲)	۱۳٫۷۴۰ (۱)	

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

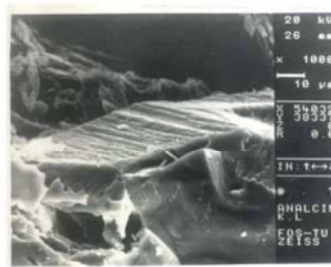
جدول ۲ مقایسه‌ی داده‌های پراش (شاخص‌های میلر و d-spacing ها) مشاهده شده و محاسبه شده در آنالسیم موجود در منطقه‌ی مورد بررسی.

d-spacing obs	h	k	l	d-spacing calc
۶,۸۳۶	۲	۰	۰	۶,۸۴۸۷
۶,۱۸۱	۲	۱	۰	۶,۱۲۴۸
۵,۵۸۳	۲	۱	۱	۵,۵۸۹۰
۴,۸۳۶	۲	۲	۰	۴,۸۴۱۰
۳,۶۶۰	۳	۲	۱	۳,۶۵۹۴
۳,۴۲۴	۴	۰	۰	۳,۴۲۴۳
۲,۹۱۹	۳	۳	۲	۲,۹۱۸۱
۲,۷۹۷	۴	۲	۲	۲,۷۹۴۵
۲,۶۸۶	۴	۳	۱	۲,۶۸۵۳
۲,۶۸۶	۵	۱	۰	۲,۶۸۶۲
۲,۵۰۱	۵	۲	۱	۲,۵۰۰۳
۲,۲۲۳	۶	۱	۱	۲,۲۲۱۸
۲,۲۲۳	۵	۳	۲	۲,۲۲۱۰
۲,۱۶۴	۶	۲	۰	۲,۱۶۵۶
۲,۱۱۵	۵	۴	۱	۲,۱۱۲۸
۲,۰۲۰	۶	۳	۱	۲,۰۱۹۲
۱,۹۳۶	۵	۴	۳	۱,۹۳۵۸
۱,۹۰۱	۶	۴	۰	۱,۸۹۹۱
۱,۸۶۶	۶	۳	۳	۱,۸۶۳۰
۱,۸۳۳	۶	۴	۲	۱,۸۲۹۷
۱,۷۴۱	۷	۳	۲	۱,۷۳۹۱
۱,۷۴۱	۶	۵	۱	۱,۷۳۹۰
۱,۶۸۷	۷	۴	۱	۱,۶۸۵۷
۱,۴۸۷	۷	۶	۱	۱,۴۷۶۵
۱,۴۶۱	۶	۶	۴	۱,۴۵۹۱
۱,۴۴۵	۷	۵	۴	۱,۴۴۲۹
۱,۴۱۴	۹	۳	۲	۱,۴۱۲۵
۱,۳۵۷	۱۰	۱	۱	۱,۳۵۶۲
۱,۳۰۷	۱۰	۳	۱	۱,۳۰۵۹
۱,۲۸۴	۸	۷	۱	۱,۲۸۲۴

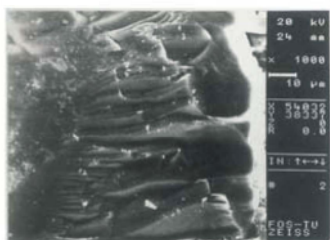
D-spacing obs = D-spacing observed, D-spacing calc = D-spacing calculated.



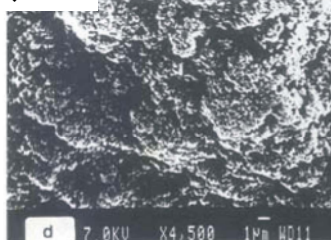
الف



ب



ج



د

شکل ۲ ریز نگاشت‌های میکروسکوپ الکترونی از (الف-ب-پ) آنالسیم‌های گرمایی (H) موجود در سنگ‌های آندزی بازالتی منطقه‌ی مورد بررسی (جنوب کهریزک). (ت) - آنالسیم نوع جانشینی (X) لاین و همکاران (۱۹۹۵) [۲].

جدول ۳ تجزیه‌ی شیمیایی وابسته به آنالسیم موجود سنگ‌های بازالتی و تراکی آندزیت بازالتی جنوب کهریزک که با آنالسیم‌های نوع گرمایی (H) و جانشینی (X) به جای لوسیت مقایسه شده است. میزان Na در آنالسیم نوع (H) بسیار بالاتر از نوع (X) است (لاین و همکاران ۱۹۹۵) [۲].

Oxide	An.	H-type(lab)	X-type(lab)
SiO ₂	۵۲٫۹	۵۵٫۵۳	۵۷٫۷۶
Al ₂ O ₃	۲۴٫۸۵	۲۲٫۵۲	۲۴٫۳۸
Fe ₂ O ₃	۰٫۰۲	-	-
MgO	۰٫۴۸	-	-
CaO	۰٫۳۹	۰٫۰۳	۰٫۰۲
Na ₂ O	۱۲٫۷۳	۱۳٫۰۲	۴٫۳۶
K ₂ O	۰٫۰۹	۰٫۰۰۱	۱٫۱۸
H ₂ O	۸٫۵۴	-	-
Total	۱۰۰	۹۰٫۹۴	۸۸٫۲۸
تعداد یونها بر مبنای ۹۶ اتم اکسیژن			
Si	۳۰٫۹۲		
Al	۱۷٫۰۸		
Fe ³⁺	۰٫۰۱		
Mg	۰٫۴۲		
Ca	۰٫۲۴		
Na	۱۴٫۴		
K	۰٫۰۷		
H ₂ O	۱۶٫۵۴		
Si/Al	۱٫۸۱		
E%	۸٫۲۸		

An=Analtime (South Kahrizak), Bazargani-Guilani & Rabbani (2004), H-type(lab)= Hydrothermal Analtime(laboratory), Line et al.,(1995), X-type(lab)= Analtime (laboratory), Line et al.,(1995)

از گرمایی‌ها تشکیل می‌شود.

به‌طور کلی در سنگ‌های حدواسط تا بازی جنوب کهریزک آنالسیم‌ها دارای نسبت Si/Al نزدیک به ۲ هستند، در صورتی- که این نسبت در آنالسیم‌های با خاستگاه رسوبی و دگرگونی بالاتر از ۲/۲ است، همچنین بلورهای منفرد آنالسیم، سطوح [۲۱۱] منظم و بافت لایه‌ای که می‌تواند نتیجه‌ای از فازهای مختلف رشد بلور باشد، از طرفی عدم وجود کانی‌هایی که نمایانگر دگرگونی تدفینی یا مجاورتی در سنگ‌های میزبان این ژئولیت‌ها باشند و مشاهدات صحرایی و چگونگی تشکیل ژئولیت‌ها به‌صورت رشته‌ای در رگه‌ها و پرشدگی حفره‌ها سنگ‌های منطقه، همچنین پاراژنز بودن دو کانی همزیست آنالسیم ولوین با تترانترولیت که به اعتقاد گوتاردی و گالی (۱۹۸۵) [۱۰] تنها به صورت کانی با خاستگاه 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 ژئولیت جایگزین شده‌اند، همگی از دلایل اصلی خاستگاه گرمایی این ژئولیت‌ها هستند.

شکل (۳-الف) طیف رامان یکی از نمونه‌های آنالسیم را در دامنه‌ی بسامدهای پایین (کم) نشان می‌دهد. بسامدهای ارتعاشی موجود در این بخش از طیف، مربوط به ارتعاش‌های مولکول‌ها در جهت‌های مختلف بلورشناسی است. در حالی‌که شکل (۳-ب) نشان‌دهنده‌ی دامنه بسامدهای بالا بوده و بسامد ارتعاشی مولکول‌های H₂O موجود در آنالسیم را در بسامدی در حدود ۳۵۰۰ cm⁻¹ به نشان می‌دهد.

همراه با آنالسیم و به‌صورت همزیست با آن، لوین در حفره- های سنگ‌های آندزی بازالتی در غرب توده‌ی آتشفشانی یافت شده و برای اولین بار در این منطقه گزارش شد [۱۳]. در نمونه‌های دستی لوین و آنالسیم غیر قابل تفکیک بوده و فقط در آنالیزهای XRD قابل شناسایی و تفکیک است. الگوی پراش پرتو ایکس لوین در شکل (۴) آورده شده است. نسبت Si/Al در لوین متغیر و T_{Si} آن بین ۰٫۷۰-۰٫۶۲ است [۹]. لوین در ساختار خود سرشار از سدیم، کلسیم و پتاسیم است و در گستره‌ی دمایی بین ۱۷۰-۱۹۰ درجه سانتیگراد سنتز شده است [۹]. به نظر گوتاردی و گالی (۱۹۸۵) [۱۰] لوین معمولاً

عناصر نسبتاً متحرک کاسته شده و سیلیس زیاد شده است که باعث تشکیل ژئولیت‌های بعدی مزولیت، کلسیم - استیلبیت و کلسیم - هیولندیت با محتوی سیلیس نسبتاً بیشتر شده است.

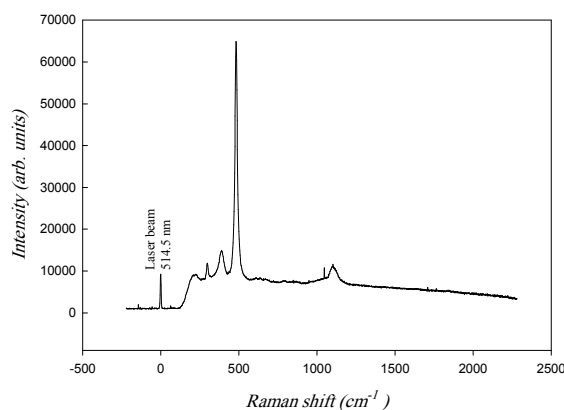
برداشت

در سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی تا بازالتی جنوب کهریزک، آنالسیم به‌همراه ژئولیت‌های دیگر مانند استیلبیت، تتراناترولیت، ناترولیت، مزولیت و هیولندیت به دلایل زیر دارای خاستگاه گرمایی هستند:

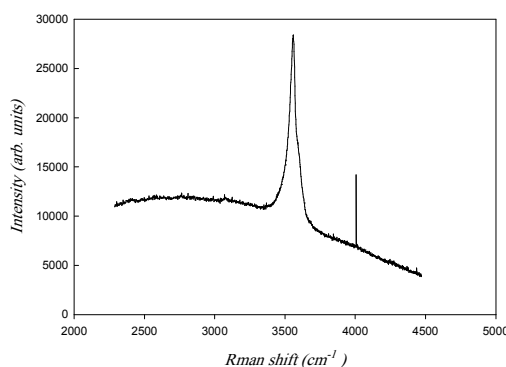
عدم وجود کانی‌های نمایانگر دگرگونی تدفینی یا مجاورتی در سنگ‌های میزبان، مشاهدات صحرایی و نحوه‌ی تشکیل ژئولیت‌ها بیشتر در رگه‌ها و رگچه‌ها و پرشدگی حفره‌های سنگ‌های آتشفشانی، پاراژنز بودن آنالسیم با تتراناترولیت که به اعتقاد گوتاردی و گالی (۱۹۸۵) [۱۵] تنها به‌صورت کانی با خاستگاه گرمایی شناخته شده است، نسبت Si/Al نزدیک به ۲ آنالسیم و نیز بلورهای آنالسیم با سطوح [۲۱۱] منظم و بافت لایه‌ای که می‌تواند حاصل فازهای مختلف رشد بلور باشد. لوین به‌همراه آنالسیم و به‌صورت همزیست با آن، در حفره‌های سنگ‌های آندزیتی بازالتی یافت می‌شود. گستره‌ی دمایی ژئولیت‌زایی در سنگ‌های آتشفشانی جنوب کهریزک ۶۵ تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد برآورد شده‌است [۱۰].

وجود ژئولیت‌های رشته‌ای معمولاً همراه آنالسیم (میزان Ba و Sr در ژئولیت‌های رشته‌ای ۰/۱ و در بعضی موارد حدود ۰/۲ بر مبنای ۸۰ اتم اکسیژن است [۱۰]) می‌تواند ناشی از فزونی عناصر Sr، Ba و Rb در گدازه‌های منطقه باشد. ضمناً میزان قلیایی‌ها، Si و Al در گدازه‌های منطقه بالا بود، که مواد آغازین مناسب برای تبلور آنالسیم‌اند، از طرفی دما و فشار شاره نیز برای تبلور آن مهیا است. پس آنالسیم در دما بین ۳۰۰-۱۰۰ °C از گرمایی‌ها متبلور می‌شود و تشکیل آنالسیم گویای فزونی سدیم در مواد آغازین است [۱۰].

ترکیب شیمیایی آنالسیم موجود در سنگ‌های منطقه (جدول ۳) نیز میزان بالای Na را در ترکیب خود نشان می‌دهد. آنالسیم و کانی‌های ناترولیت، تتراناترولیت جزء ژئولیت‌های با دمای بالا هستند [۱۵]. بر اساس توالی مجموعه‌های ژئولیتی و کانی‌های همراه دیگر که در مراحل اولیه و پایانی فعالیت‌های گرمایی ممکن است تشکیل شوند، بازرگانی و ربانی (۲۰۰۴) [۱۰] گستره‌ی دمایی ژئولیت‌زایی در رگه‌ها و حفره‌های سنگ‌های آتشفشانی کوه اراده (جنوب کهریزک) را ۶۵ تا ۱۵۰ درجه‌ی سانتیگراد برآورد کرده‌اند. در آغاز ایجاد ژئولیت‌ها به دلیل تأثیر شاره‌ها روی سنگ میزبان خود مقدار Ca، Na و K در شاره زیاد و سنگ از این عناصر تهی شده است. سپس با تشکیل آنالسیم، لوین، تتراناترولیت و ناترولیت از فراوانی این

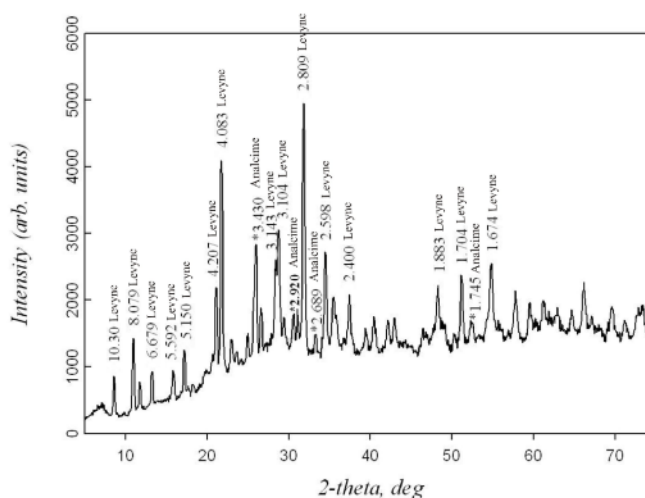


شکل ۳- الف)



شکل ۳-ب)

شکل ۳ الف) طیف رامان آنالسیم با دامنه‌ی بسامدهای ارتعاشی کم و شکل ۳-ب) طیف رامان آنالسیم در دامنه‌ی بسامدهای ارتعاشی بالا.



شکل ۴ الگوی پراش پرتوی X برای یک نمونه‌ی لوین به‌همراه آنالسیم موجود در حفره‌های سنگ‌های بازالتی و آندزیتی جنوب کهریزک. قله‌های مربوط به آنالسیم با (*) مشخص شده است.

قدردانی

نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران به خاطر تأمین هزینه‌ها صمیمانه اعلام می‌نماید.

مراجع

[۸] طوطی ف.، یزدانی س.، بازرگانی گیلانی ک.، "ژئوشیمی و پتروژنز مجموعه آتشفشانی قلیایی-نیمه قلیایی شمال ایران مرکزی: نقش فرایندهای تفریق بلوری و غنی‌شدگی سنگ‌های اسیدی تا تا بازیک در یک محیط پشت کمان"، فصلنامه علوم زمین، (۱۳۸۷) (زیر چاپ).

[9] Coombs D. S., et al., "Recommended nomenclature for zeolite minerals", The Canadian Mineralogist 35 (1997) 1571-1606.

[10] Bazargani-Guilani K., Rabani M.S., "Amigdaloidal and other cavity filling Zeolites of Kuh-e-Aradeh, Central Iran", Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran 152 (2004) 149-157.

[11] Teertstra D.K., Sherriff B.L., Xu Zhi., Cerny P., "MAS and DOR NMR study of Al-Si order in the analcime-pollucite series", Can. Mineral. 32 (1994) 69-80.

[12] Klein C., Hulbut S.C., "Manual of mineralogy", Jr John Wiley and Sons (1999) 765.

[۱۳] طوطی ف.، یزدانی س.، بازرگانی گیلانی ک.، "گزارشی از آنالسیم و لوین در مجموعه ژئولیت‌های گرمایی جنوب تهران"، بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین (۱۳۸۴).

[14] De Luca P., Violante D., Vuono D., Catanzaro L., Nagy J. B., Nastro A., "Synthesis and characterization of Al, B-levyne type crystals from gels containing methyl-quinuclidinium ions", Microporous and Mesoporous Materials 71 (2004) 39-49.

[15] Gottardi G., Galli E., "Natural Zeolites", Springer; Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo (1985) 409.

[16] Mazzi F., Galli E., "Is each analcime different?", Am. Mineral. 63 (1978) 448-460.

[1] Cho M., Maruyama S., Liou J.G., "An experimental investigation of Heulandite-Laumontite equilibrium at 1000 to 2000 bar P-fluid", Contrib. Mineral. Petrol. 97 (1987) 43-50.

[2] Line M.B.C., Putins A., Putins C., Giampaolo C., "The dehydration kinetics and microtexture of analcime from two parageneses", American Mineralogist 80 (1995) 268-279.

[3] Barrer R.M., White E.A.D., "The hydrothermal chemistry of the silicates. Part II. Synthetic crystalline sodium aluminosilicates", J. Chem. Soc. 286 (1952) 1561-1571.

[4] Karlsson H. R., Clayton R. N., "Analcime phenocrysts in igneous rocks-primary or secondary", American Mineralogist 76 (1-2) (1991) 189-199.

[5] Gupta A.K., Fyfe W.S., "Leucite survival: the alteration to analcime", Can. Miner. 13 (1975) 361-363.

[6] Barrer R.M., "Hydrothermal chemistry of zeolite", Academic press, London (1982) 360.

[۷] حق‌پور ع.، تراز ه.، وحدتی دانشمند ف.، "تلفیق و بازنگری نقشه زمین‌شناسی چهارگوش شماره F5 (نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ تهران)"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، (۱۳۶۵).