

ویژگی‌های کانی‌شناختی آنالسیم‌های گرمابی در سنگ‌های آتشفسانی جنوب کهریزک

فرامرز طوطی^{*}، سیما یزدانی، کمال الدین بازرگانی گیلانی

دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران

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

چکیده: آنالسیم به همراه زئولیت‌های نظری تتراتناترولیت، ناترولیت، مزولیت، کلسیم - هیولندیت، اسکولسیت، کلسیم - استیلیت و لوین، در حفره‌های و رگه‌های سنگ‌های آتشفسانی حدواتسط 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 گرمابی‌ها قرار گرفته‌اند. بررسی‌های XRD نشان می‌دهد که این کانی دارای تقارن شبه مکعبی بوده و مقادیر (۵۱)، (۱۲۴)، (۱۳.۶۸۷۴)، (۱۳.۶۶۳۷)، (۳۱۱) آنگسترم به ترتیب برای ابعاد یاخته‌ی یکه‌ی a، b، c و ۲۵۶۱.۶۹۵ آنگسترم مکعب برای حجم آن محاسبه شدند. طیف رaman بسامد ارتعاشی مولکول‌های H_2O موجود در ساختار آنالسیم را در بسامد حدود 3500 cm^{-1} نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: زئولیت، تتراتناترولیت، آنالسیم، لوین، ناترولیت، مزولیت، هیولندیت، اسکولسیت، استیلیت، گرمابی‌ها، کهریزک.

کاتیون اصلی در خارج از شبکه‌ی کاتیونی است [۲]. آنالسیم می‌تواند مستقیماً از ماقماً متبلور شود، و یا در محیط‌های دریاچه‌های شور قلیایی، محیط‌های گرمابی و یا دگرگونی در دمای پائین و جاشین شدن به جای کانی‌هایی مانند لوسیت تشکیل شود. واکنش آنالسیم - لوسیت در شرایط آزمایشگاهی بسیار سریع و در مدت ۳ روز، و در دمای $300^\circ C$ ۱ کیلو بار فشار رخ می‌دهد. در شرایط مشابه ($30^\circ C$ تا $60^\circ C$ و دمای $270^\circ C$ - $180^\circ C$) تشکیل آنالسیم از گرمابی‌ها (آنالسیم نوع H) دانه‌هایی به اندازه‌ی $15-20$ میلی‌میکرون فراهم می‌کند [۳].

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

مقدمه

آنالسیم غالباً عضوی از گروه زئولیت‌ها در نظر گرفته شده، در حالی که بعضی مؤلفین آن را جزء فلدسپاتوئیدها می‌دانند. این کانی با فرمول ساختاری $Na_{16}(Al_{16}Si_{32}O_{96}).16H_2O$ و سری پیوسته‌ای را با پلوسیت و وایراکیت تشکیل می‌دهد [۱]. ساختار آنالسیم از شبکه‌های جهار وجهی AlO_4 و SiO_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 هماری هشت وجهی در حفره‌های کمی کوچکتر، جای می‌گیرد. در برخی نمونه‌های آنالسیم، Na تنها

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

طول موج $1,054058\text{ Å}$ آنگستروم بین زوایای 4° تا 64° درجه با سرعت 1 درجه بر دقیقه، در آزمایشگاه XRD گروه زمین-شناسی دانشگاه تهران انجام گرفت. طیف‌های به دست آمده با الگوهای استاندارد هر کانی مقایسه و شناسایی شدند.

بررسی میکروسکوپ الکترونی (SEM): نمونه‌ها در حالت خلا، 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.

همچین طیف رaman چند نمونه‌ی آنالسیم در آزمایشگاه رامان اسپکتروسکوپی اوپسالا (سوئد) گرفته شدند. سیستم Raman 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 گستره‌های از بسامدهای ارتعاشی بین $500 - 250\text{ cm}^{-1}$ را در یک تک بازتاب دریافت می‌کرد. قدرت پرتو لیزری که با یون آرگون تولید می‌شد بین 4 تا 10 میلی وات قابل تغییر بوده است. طیف‌های رامان آنالسیم در دمای اتاق و با قدرت لیزر 5 میلی وات در طول زمان تابش 60 ثانیه گرفته شدند.

ژئوشیمی سنگ میزبان

بنابر طبق بررسی‌های طوطی و همکاران (۱۳۸۷) [۸]، سنگ‌های آتشفشاری جنوب تهران (جنوب کهریزک) به دو دسته‌ی آذرآواری‌ها (توفها و ایگنیمیریت‌ها) و گدازه‌ها قابل تفکیک‌اند. در مشاهدات صحرایی و میکروسکوپی آذرآواری‌های زئولیت که باید در گدازه‌ها وجود داشته باشند، مشاهده نشدن، 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 پلازیوکلاز و پیروکسن) حاکی از عدم تعادل

ریخت‌شناختی آنالسیم و لوسيت، تشخيص آنالسیمی که در سنگ‌های آذرین مستقیماً از گدازه متبول شده (نوع-I) با آنالسیمی که حاصل دگرسان شدن لوسيت در شرایط نیمه جامد است (آنالسیم ثانویه-نوع-X)، مشکل است. از طرفی تبدیل لوسيت 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 گوشی، راست گوشی، و سه میل می‌تواند معرف تغییرات دمای تشکیل این بلورها باشد. به عنوان مثال همراه با افزایش دما تقارن راستگوشی در این بلورها به مکعبی تغییر می‌کند [۶].

مشابه بسیاری از مناطق آتشفشاری دنیا، توف‌های ائوسن و سنگ‌های آتشفشاری دوران سوم ایران نیز محیط مناسبی برای زئولیتزایی شناخته شده‌اند [۷]. از آن جمله می‌توان به سری‌های آتشفشاری زئولیت‌دار جنوب کهریزک اشاره کرد. که انواع گوناگونی از زئولیت‌های آتشفشار زاد در سنگ‌های حدوداً و بازی آن‌ها به وفور یافته می‌شود. بیشتر این زئولیت‌ها شامل: آنالسیم، لوین، تتراناترونیت، مزولیت، کلسیم - هیولنیدیت، اسکولسیت و کلسیم - استیلیبیت هستند که در این پژوهش ویژگی‌های کانی‌شناختی آنالسیم را با استفاده از روش‌های مختلف بررسی می‌کنیم.

نمونه برداری و روش‌های آزمایشگاهی

بیش از تهیه‌ی 270 نمونه‌ی دستی از سنگ‌های منطقه در 5 مسیر متفاوت کوههای جنوب کهریزک، 14 نمونه غیر هوازده سنگ‌های آتشفشاری 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 غالباً بر 50 نمونه زئولیتی موجود در رگه‌ها و حفره‌های سنگ‌های آتشفشاری، برداشت شدند.

پراش پرتو ایکس: نمونه‌های پودر شده به وسیله‌ی طیفسنج XD-5A، Shimadzu مدل $\text{CuK}\alpha$ با

برای سیستم راستگوش استفاده شده است. شاخص‌های میلر با استفاده از الگوی پراش پرتو ایکس و برازش d-spacing های (Powder Diffraction Files) به شماره‌ی 1180-19 JCPDS، شده و سپس به روش آزمون و خطأ پارامترهای یاخته یکه با استفاده از معادله‌ی بالا محاسبه شدند.

این کانی دارای تقارن شبه مکعبی با ابعاد یاخته‌ی یکه‌ی: $a = 13.6974(51)$ Å, $b = 13.6874(124)$ Å, $c = 13.6637(311)$ Å, $V = 2561.695$ Å³

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 Na₂O در آن‌ها برابر ۱۲/۷۳ درصد وزنی است. ترکیب شیمیایی بیشتر آنالسیم‌ها تقریباً ثابت است و مقداری Si اندکی K و Ca جانشین Na و نیز مقداری Al جانشین [۱۲].

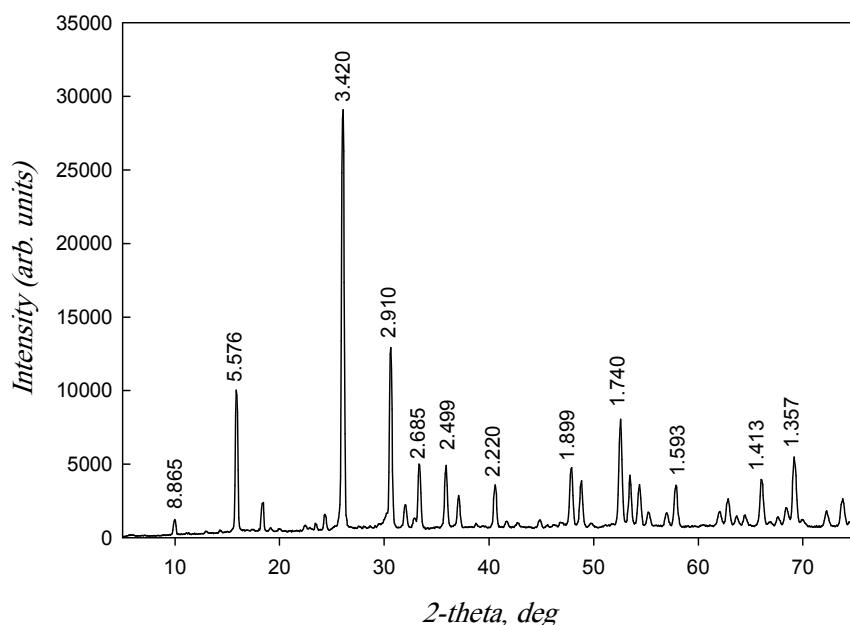
بررسی‌های میکروسکوپ الکترونی (شکل ۲-الف، ب، پ) ساختار منظم بافت لایه‌ای در سطح [۲۱۱] بلورهای منفرد آنالسیم را به نمایش می‌گذارد که می‌تواند نتیجه‌ای از فازهای مختلف رشد بلور باشد به اعتقاد لاین و همکاران (۱۹۹۵) [۱۴] این نوع ساختار در بلورهای آنالسیم نشان‌دهنده‌ی تشکیل آن‌ها در شرایط گرمابی است. این در حالی است که آنالسیم‌های جانشینی نمی‌تواند به صورت بلورهای منفرد نمایان شود بلکه به صورت چند بلوری و با ناهمواری‌هایی در سطح ظاهرآ یکنواخت آن، مشاهده می‌شود. این ناهمواری‌ها در همه مقیاس‌ها و به صورت 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 گرمابی همخوانی دارد. همچنین میزان سدیم در آنالسیم نوع گرمابی 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 گذاره‌های منطقه، غنی‌شدنگی از LREE در مقایسه با HFSE و بالا بودن مقدار عناصر ناسازگار LILE نسبت به Ta در گذاره‌های منطقه از نشانه‌های سنگ‌های وابسته به فرورانش محسوب می‌شود. گرایش گذاره‌های منطقه به سمت سری‌ها قلیایی احتمالاً نشانگر یک رژیم کششی مشابه حوضه‌های پشت کمان است.

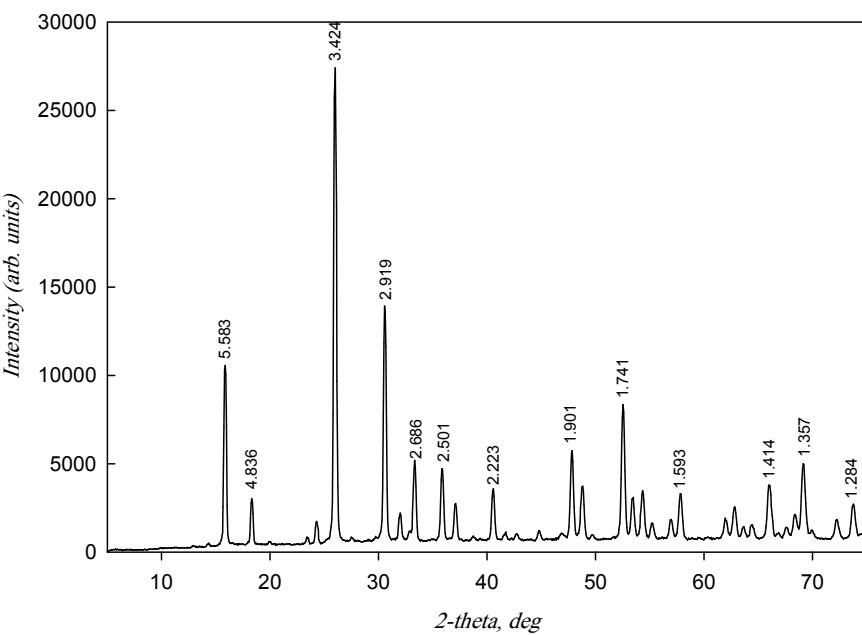
بحث و بررسی

آنالسیم‌ها گاهی به صورت درشت بلورهای یوهدرال با وجود ذوزنقه‌ای، به رنگ شیری تا روشن هستند که اندازه‌ی آن‌ها حداقل به ۲ سانتی‌متر نیز می‌رسد، ولی غالباً بلورهای ریز توده‌ای را در بادامک‌های سنگ‌های آتشفشاری 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 زئولیت‌های دیگر و یا به تنها یا و منحصراً در حفره‌ها و رگه‌ها به عنوان کانی پرکننده‌ی فضای خالی وجود دارند. ساختار آنالسیم دارای کانال‌های پیوسته‌ای در راستای محورهای درجه‌ی ۳ ساختاری است که با مولکول‌های H₂O (T_{Si} = Si / Si + Al), T_{Si} اشغال می‌شوند [۲]. تغییرات، این نسبت به طوری که افزایش Si با کاهش Na و Al و افزایش H₂O 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 راستگوش، 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 آتشفشاری 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، شاخص‌های میلر، پارامترهای سلولی و از رابطه‌ی:

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



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 بیانگران‌حرف معیارند. پارامترهای برآورد شده با داده‌های مزی و گالی (۱۹۷۸) [۱۶] مقایسه شده‌اند.

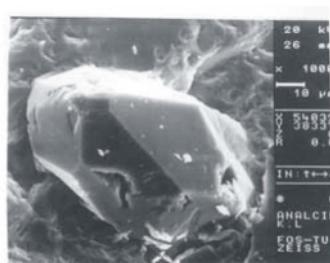
	$a(\text{\AA})$	$b(\text{\AA})$	$c(\text{\AA})$	$V(\text{\AA}^3)$
Analcime #	۱۳.۶۹۷۴ (۵۱)	۱۳.۶۸۷۴ (۱۲۴)	۱۳.۶۶۳۷ (۳۱۱)	۲۵۶۱.۶۹۵
Analcime †	۱۳.۷۳۳ (۱)	۱۳.۷۲۹ (۱)	۱۳.۷۱۲ (۱)	
Analcime *	۱۳.۷۲۷ (۲)	۱۳.۷۱۴ (۲)	۱۳.۷۴۰ (۱)	

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

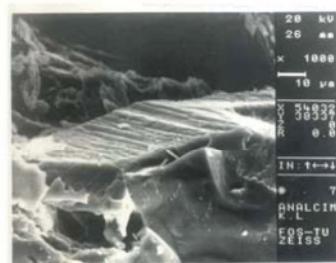
جدول ۲ مقایسه‌ی داده‌های پراش (شاخص‌های میلر و d-spacing ها) مشاهده شده و محاسبه شده در آنالسیم موجود در منطقه‌ی مورد بررسی.

d-spacing obs	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	d-spacing calc
۶,۸۲۶	۲	.	.	۶,۸۴۸۷
۶,۱۸۱	۲	۱	.	۶,۱۲۴۸
۵,۵۸۳	۲	۱	۱	۵,۵۸۹۰
۴,۸۳۶	۲	۲	.	۴,۸۴۱۰
۳,۶۶۰	۳	۲	۱	۲,۶۵۹۴
۳,۴۲۴	۴	.	.	۲,۴۲۴۴
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	.	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	.	۲,۱۶۵۶
۲,۱۱۵	۵	۴	۱	۲,۱۱۲۸
۲,۰۲۰	۶	۳	۱	۲,۰۱۹۲
۱,۹۳۶	۵	۴	۲	۲,۹۳۵۸
۱,۹۰۱	۶	۴	.	۱,۸۹۹۱
۱,۸۶۶	۶	۳	۳	۱,۸۶۳۰
۱,۸۳۳	۶	۴	۲	۱,۸۲۹۷
۱,۷۴۱	۷	۳	۲	۱,۷۳۹۱
۱,۷۲۱	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

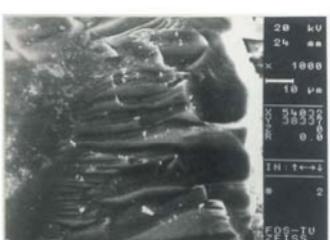
D-spacing obs = D-spacing observed, D-spacing calc = D-spacing calculated.



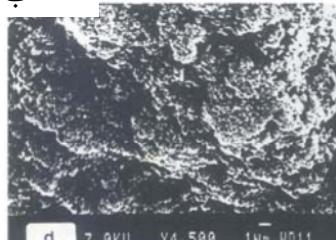
الف



ب



ج



ت

شکل ۲ ریز نگاشتهای میکروسکوپ الکترونی از (الف-ب-پ) آنالسیم‌های گرمابی (H) موجود در سنگ‌های آندزی بازالتی منطقه‌ی مورد بررسی (جنوب کهریزک). (ت) - آنالسیم نوع جانشینی (X) لاین و همکاران (1995) [۲].

جدول ۳ تجزیه‌ی شیمیابی وابسته به آنالسیم موجود سنگ‌های بازالتی و تراکی آندزیت بازالتی جنوب کهریزک که با آنالسیم‌های نوع گرمابی (H) و جانشینی (X) به جای لوسيت مقایسه شده است. میزان Na در آنالسیم نوع (H) بسیار بالاتر از نوع (X) است (لاین و همکاران 1995) [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=Analcime (South Kahrizak), Bazargani-Guilani & Rabbani (2004), H-type(lab)= Hydrothermal Analcime(laboratory), Line et al.,(1995), X-type(lab)= Analcime (laboratory), Line et al.,(1995)

از گرمابی‌ها تشکیل می‌شود. به طور کلی در سنگ‌های حدوات است تا بازی جنوب کهریزک آنالسیم‌ها دارای نسبت Si/Al نزدیک به ۲ هستند، در صورتی که این نسبت در آنالسیم‌های با خاستگاه رسوی 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 زئولیتها باشند و مشاهدات صحرایی و چگونگی تشکیل زئولیتها به صورت رشتہ‌ای در رگه‌ها و پرشدگی حفره‌ها سنگ‌های منطقه، همچنین پاراژنز بودن دو کانی همزیست آنالسیم و لوین با تراناترولیت که به اعتقاد گوتاردی و گالی (۱۹۸۵) [۱۰] تنها به صورت کانی با خاستگاه گرمابی شناخته شده است و دگرسانی شدید اغلب سنگ‌های آندزیتی و بازالتی (کمتر) که حاصل دگرسانی شدید درشت بلورهای پلازیوکلاز است که در بعضی مناطق تماماً با زئولیت جایگزین شده‌اند، همگی از دلایل اصلی خاستگاه گرمابی این زئولیتها 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 حالي که شکل (۳-ب) نشان‌دهنده‌ی دامنه بسامدهای بالا بوده و بسامد ارتعاشی مولکول‌های H₂O موجود در آنالسیم را در بسامدی در حدود ۳۵۰۰ cm^{-۱} به نشان می‌دهد.

همراه با آنالسیم و به صورت همزیست با آن، لوین در حفره‌های سنگ‌های آندزی بازالتی در غرب توده‌ی آتش‌نشانی 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 Si/Al پرتو ایکس لوین در شکل (۴) آورده شده است. نسبت T_{Si} آن بین ۷۰-۷۶ در لوین متغیر و T_{Si} آن بین ۷۰-۷۶ است [۹]. لوین در ساختار خود سرشار از سدیم، کلسیم و پتاسیم است و در گستره‌ی دماهی 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 زئولیت‌های بعدی مزولیت، کلسیم - استیلیبیت و کلسیم - هیولندیت با محتوى سیلیس نسبتاً بیشتر شده است.

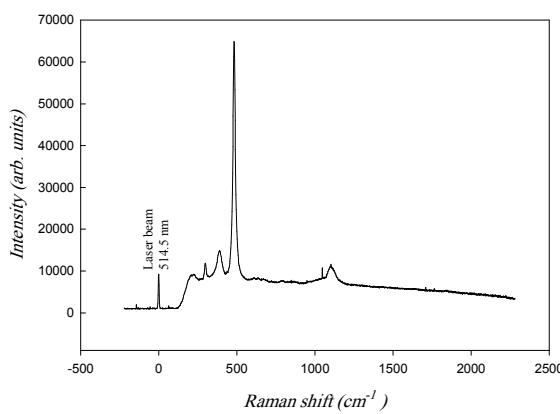
برداشت

در سنگ‌های آتشفسانی آندزیتی تا بازالتی جنوب کهریزک، آنالسیم به همراه زئولیت‌های دیگر مانند استیلیبیت، تتراناترولیت، ناترولیت، مزولیت و هیولندیت به دلایل زیر دارای خاستگاه گرمابی هستند:

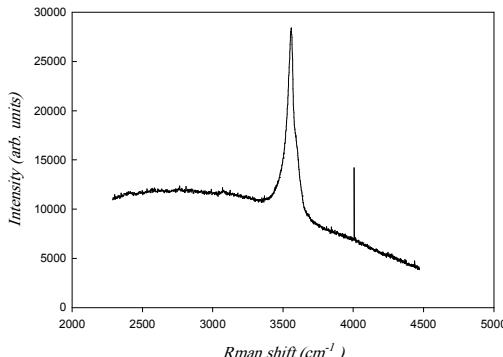
عدم وجود کانی‌های نمایانگر دگرگونی تدفینی یا مجاورتی در سنگ‌های میزان، مشاهدات صحرائی و نحوهٔ تشکیل زئولیت‌ها بیشتر در رگه‌ها و رگچه‌ها و پرشدگی حفره‌های سنگ‌های آتشفسانی، پارازنز بودن آنالسیم با تتراناترولیت که به اعتقاد گوتاردی و گالی [۱۹۸۵] تنها به صورت کانی با خاستگاه گرمابی شناخته شده است، نسبت Si/Al نزدیک به ۲۰ آنالسیم و نیز بلورهای آنالسیم با سطوح [۲۱۱] منظم و بافت لایه‌ای که می‌تواند حاصل فازهای مختلف رشد بلور باشد. لوین به همراه آنالسیم و به صورت همزیست با آن، در حفره‌های سنگ‌های آندزی بازالتی یافت می‌شود. گستره‌ی دمایی زئولیت‌زایی در سنگ‌های آندزی در سنگ‌های آتشفسانی جنوب کهریزک ۶۵ تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد برآورد شده است [۱۰].

وجود زئولیت‌های رشته‌ای معمولاً همراه آنالسیم (میزان Ba و Sr در زئولیت‌های رشته‌ای ۰۰۱ و در بعضی موارد حدود ۰۰۲ بر مبنای ۸۰ اتم اکسیژن است [۱۰]) می‌تواند ناشی از فزونی عناصر 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 ۱۰۰-۳۰۰°C از گرمابی‌ها 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 زئولیت‌های با دمای بالا هستند [۱۵]. بر اساس توالی مجموعه‌های زئولیتی و کانی‌های همراه دیگر که در مراحل اولیه و پایانی فعالیت‌های گرمابی ممکن است تشکیل شوند، بازگانی و ربانی (۲۰۰۴) [۱۰] گستره‌ی دمایی زئولیت‌زایی در رگه‌ها و حفره‌های سنگ‌های آتشفسانی کوه اراده (جنوب کهریزک) را ۶۵ تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد برآورد کرده‌اند. در آغاز ایجاد زئولیت‌ها به دلیل تأثیر شاره‌ها روی سنگ میزان خود مقدار K، Na و Ca در شاره زیاد و سنگ از این عناصر تهی شده است. سپس با تشکیل آنالسیم، لوین، تتراناترولیت و ناترولیت از فراوانی این

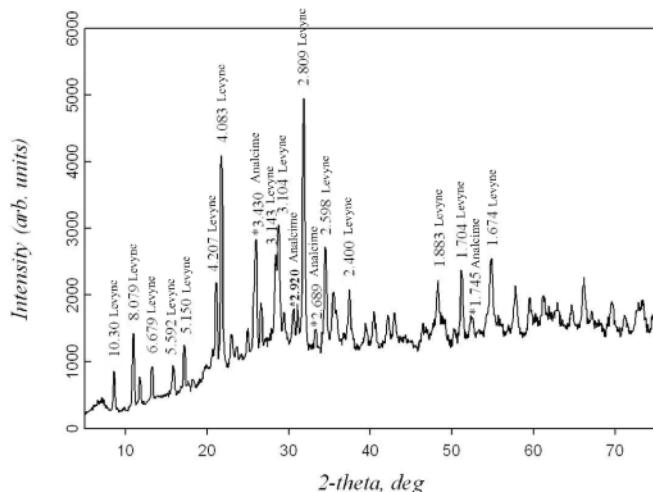


شکل ۳-الف)



شکل ۳-ب)

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



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

[۸] طوطی ف، یزدانی س، بازرگانی گیلانی ک، "ژئوشیمی و پتروزنر مجموعه آتشفشاری قلیایی نیمه قلیایی شمال ایران مرکزی: نقش فرایندهای تفرقی بلوری و غنی شدگی 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", *Jornal 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., Hulbert S.C., "Manual of mineralogy", Jr John Wiley and Sons (1999) 765.

[۱۳] طوطی ف، یزدانی س، بازرگانی گیلانی ک، "گزارشی از آنالسیم و لوبین در مجموعه زئولیت‌های گرمابی 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.

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

مراجع

- [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 alumino-silicates", *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] حقی پورع، ترازه، وحدتی دانشمند ف، "توفيق و بازنگري نقشه زمین‌شناسی چهارگوش شماره F5 (نقشه زمین‌شناسی ۱/۱ تهران)، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، (۱۳۶۵).