

شیمی کانی و شکل‌گیری بلورهای آنالسیم در سنگ‌های آذرین شمال شرق مشکین شهر، شمال غرب ایران

محمد فدائیان*^۱، احمد جهانگیری^۱، محسن مؤید^۱

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۹۴/۶/۱۵، نسخه نهایی: ۹۴/۹/۲)

چکیده: مجموعه سنگ‌های آذرین به سن ائوسن در شمال شرق مشکین شهر رخنمون دارند و بیشتر شامل آندزیت، بازالت، بازالت آندزیتی، تفریت و گاهی آنالسیم تفریت هستند. این سنگ‌ها سرشت قلیایی با پتاسیم بالا و شوشونیتی از خود نشان می‌دهند. بلورهای آنالسیم به صورت فنوکریست‌های درشت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار به همراه کلینوپیروکسن در بیشتر سنگ‌های تفریتی و فلدسپاتوئیددار این منطقه حضور دارند. عدم وجود کانی‌های آبدار اولیه مانند آمفیبول و میکا، وجود شکستگی‌های فراوان در آنالسیم‌های مورد بررسی ناشی از افزایش حجم در خلال جانشینی سدیم به جای پتاسیم، وجود کلینوپیروکسن‌های کلسیم‌دار و پلاژیوکلاز به جای معادل سدیم‌دار آن‌ها نشانگر کافی نبودن سدیم اولیه و آب در ماگمای والد این سنگ‌ها برای تبلور اولیه آنالسیم است. نتایج حاصل از بررسی‌های پراش پرتو ایکس که وجود بی‌نظمی ناشی از جانشینی در ساختار آنالسیم را مشخص می‌کند، و نیز وجود کانی‌لوسیت به صورت میانبار در آنالسیم و وجود آثاری از لوسیت اولیه در حاشیه کانی‌های آنالسیم، نشان‌دهنده‌ی تاثیر فرآیندهای ماگمایی تاخیری و ثانویه در ماگما در خلال سرد شدن و تبدیل کانی‌لوسیت به آنالسیم در اثر فرآیند جانشینی سدیم به جای پتاسیم در سنگ‌های مورد بررسی است.

واژه‌های کلیدی: آنالسیم، شیمی کانی، خاستگاه، مشکین شهر، ایران.

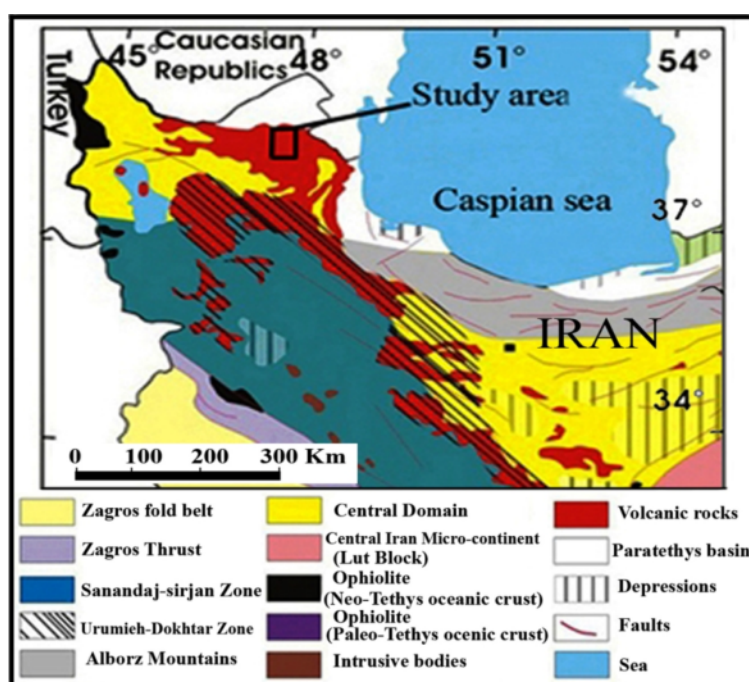
مقدمه

آنالسیم، به عنوان یک کانی آلومینوسیلیکات سدیم آبدار در سنگ‌های آذرین قلیایی به عنوان یک کانی معمول حاصل دگرسانی فرآیندهای گرمایی با دمای پایین است. تشابه ساختاری و ترکیب شیمیایی آنالسیم با کانی‌های گروه فلدسپاتوئیدی و نیز پیدایش آن در سنگ‌های آذرین اشباع شده همانند سایر فلدسپاتوئیدها سبب شد که برخی از کانی‌شناسان این کانی را در گروه تکتوسیلیکات‌ها و خانواده‌ی فلدسپاتوئیدها رده‌بندی کنند. در حالی که برخی دیگر از ویژگی‌های ساختاری و نیز پیدایش این کانی در سنگ‌های رسوبی و دگرگونی‌های خفیف همراه با سایر زئولیت‌های دیگر باعث شده است که در سال‌های اخیر گرایش زیادی بین کانی‌

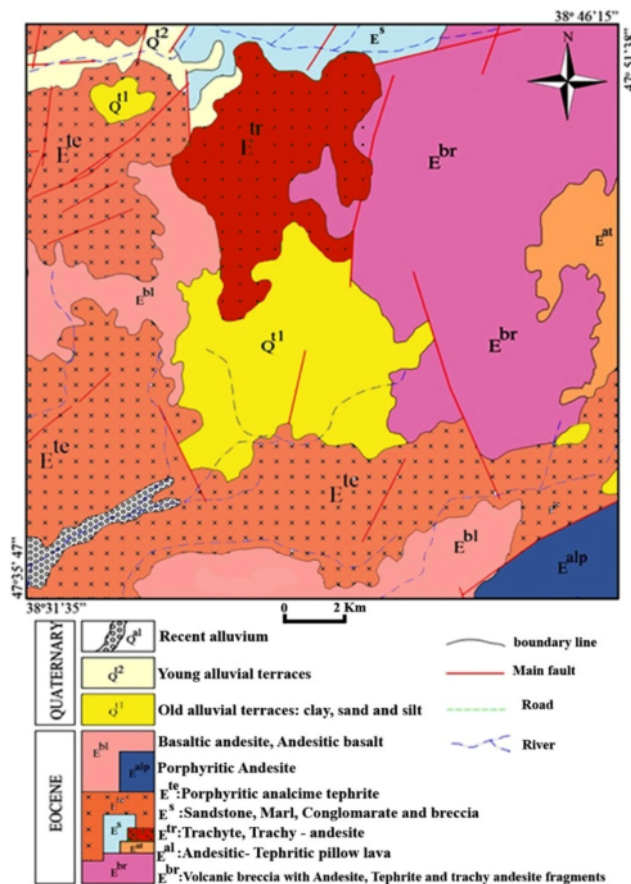
شناسان برای قرار دادن این کانی در سری کانی‌های زئولیتی به وجود آید [۱ - ۱۰]. علاوه بر بررسی‌های زیادی که روی نمونه‌های طبیعی این کانی از جنبه‌های مختلف انجام گرفته، بررسی‌های آزمایشگاهی در مورد شرایط پایداری ترمودینامیکی و ژئوشیمیایی کانی آنالسیم نیز انجام گرفته که به نوبه‌ی خود می‌تواند رهیافتی برای تعیین خاستگاه این کانی در سنگ‌های مختلف باشد. خاستگاه آنالسیم چه به صورت یک کانی اولیه و یا ثانویه در سنگ‌های آذرین قلیایی، برای سالیان متمادی بر اساس بررسی‌های کانی‌شناسی، شیمی کانی و ایزوتوپی توسط پژوهشگران زیادی مورد بررسی قرار گرفته است [۱ - ۱۰].

آندزیت‌های ائوسن فوقانی باختر میانه، ناحیه عجمی [۲۲]، فنوکریست‌های آنالسیم درون سری شوشونیتی ائوسن فوقانی در جنوب عقدا (بین نائین و یزد) [۲۳]، درشت بلورهای آنالسیم به سن ائوسن فوقانی در درون فنولیت‌ها و تفریت‌ها واقع در شمال شهر بابک [۸]، آنالسیم‌های شمال باختری کرمان (ناحیه قلعه حسن علی) به سن دوران چهارم [۲۴]، همچنین در کوه‌های قفقاز ترکیه نیز وجود آنالسیم گلی رنگ در سنگ‌هایی با ترکیب حد واسط در منطقه‌ی ترازان ترکیه [۲۵] و نیز در منطقه پونتید در شمال شرق ترکیه [۱۰] گزارش شده‌اند. منطقه‌ی مورد بررسی در شمال غرب ایران و شمال شرق مشکین شهر در گستره $47^{\circ} 35' 47''$ - $47^{\circ} 51' 38''$ طول جغرافیایی شرقی و $38^{\circ} 31' 35''$ - $38^{\circ} 46' 15''$ عرض جغرافیایی شمالی در نقشه زمین‌شناسی منطقه لاهرود به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ [۲۶]، در منطقه‌ی البرز غربی و آذربایجان و منطقه‌ی ماگمایی ترشیاری قرار گرفته است [۲۷-۲۹] (شکل ۱). به عقیده [۳۰] این ناحیه در ایالت ماگمایی آذربایجان که بین دریای خزر و دریای سیاه قرار گرفته و به سمت غرب به داخل آناتولی مرکزی کشیده شده است، قرارداد. بخش بزرگی از این ناحیه را سنگ‌های آذرین به سن ائوسن تشکیل داده است، که شامل تراکی آندزیت، آندزیت بازالتی، بازالت، تفریت و گاهی آنالسیم تفریت است (شکل ۲).

هرچند تغییرات ژئوشیمیایی رخ داده در تشکیل آنالسیم-های ثانویه در سنگ‌های قلیایی به‌طور کامل روشن نشده‌اند، ولی بررسی‌های آزمایشگاهی روی بلورهای آنالسیم و یا بررسی سیستم دگرسانی لوسیت- آنالسیم به‌منظور مشخص کردن خاستگاه ماگمایی اولیه و یا گرمایی ثانویه بلورهای آنالسیم انجام می‌گیرد [۱۱ - ۱۷]. آنالسیم‌ها را براساس محیط تشکیل آن‌ها به ۵ نوع رده بندی کرده‌اند [۲] که شامل: نوع P (آنالسیم‌های شکل داری هستند که به طور اولیه از یک گدازه سیلیکاتی متبلور شده‌اند)، نوع S (آنالسیم تشکیل شده در شیشه‌های آتشفشانی یا ژئولیت‌های موجود در دریاچه‌های شور قلیایی)، نوع H (آنالسیم‌های ناشی از فرایندهای گرمایی)، نوع M (آنالسیم تشکیل شده در دنباله‌های دگرگونی خفیف) و نوع L (آنالسیم‌های حاصل از جایگزینی یونی در کانی لوسیت و احتمالاً دیگر فلدسپاتوئیدهای سنگ‌های آذرین). مناطقی از ایران که بلور آنالسیم در آن‌ها مشاهده و گزارش شده است شامل: آنالسیم‌های ناحیه‌ی کوه‌های طالقان (منطقه جویستان) البرز مرکزی [۱۸] به سن ائوسن پایانی، آنالسیم درون تفریت‌ها به سن کرتاسه فوقانی واقع در شمال خاوری آذربایجان رشته کوه‌های صلوات [۱۹]، آنالسیم‌های رشته کوه‌های بزقوش جنوب سراب به سن ائوسن میانی و درون سنگ‌های بازائیت و موژه آریث [۲۰، ۲۱]، فنوکریست‌های آنالسیم در تراکی



شکل ۱ موقعیت منطقه‌ی مورد بررسی در نقشه تقسیمات ساختاری ایران [۲۸].



شکل ۲ نقشه‌ی زمین‌شناسی ساده شده منطقه‌ی مورد بررسی برگرفته از [۲۶].

[۳۱]، محاسبه و برای محاسبات از برنامه‌های کامپیوتری Minpet 2.0 و Excel استفاده شد.

زمین‌شناسی

زمین ریخت‌شناسی منطقه با دو عامل زمین‌شناسی ساختاری و جنس سنگ‌های مختلف کنترل شد. عملکرد گسل‌های متعدد با روند عمومی شمالی- جنوبی و شمال باختری- جنوب خاوری سبب جابجایی‌های قائم و ایجاد پرتگاه‌های گسلی شده است. تنوع سنگ‌شناسی در ریخت‌شناسی منطقه مؤثر بوده است، به طوری که برش‌های آتشفشانی با گسترش وسیع و فرسایش- پذیری بالا، مناطق پست و کم ارتفاع را به وجود آورده‌اند. برش‌هایی که به صورت میان لایه‌ای با گدازه‌های آتشفشانی قرار گرفتند و دستخوش فرسایش کمتری شدند و حالت پله‌ای را در منطقه ایجاد کرده‌اند.

وجود برش‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیت بازالتی با سیمان توفی و هیالوکلاستیکی، اولین نشان از فعالیت آتشفشانی در منطقه‌ی مورد بررسی و نیز کهن‌ترین سنگ‌های منطقه را شامل می‌شوند.

در این مقاله، ویژگی‌های کانی‌شناسی، شیمی کانی و ترکیب شیمیایی آنالسیم‌های موجود در سنگ‌های آذرین این منطقه به منظور بررسی وابستگی ژنتیکی این کانی با سنگ‌های مورد بررسی و نیز خاستگاه اولیه یا ثانویه آنالسیم‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

روش بررسی

در این بررسی، ۶۰ قطعه از سنگ‌های حاوی بلورهای آنالسیم که شامل تفریت، فنولیت و آنالسیم تفریت هستند، نمونه برداری انجام گرفت، سپس مقاطع میکروسکوپی سنگ‌های حاوی بلور آنالسیم با میکروسکوپ قطبنده مورد بررسی و سنگ‌نگاری قرار گرفت. نمونه‌های مناسبی نیز برای تجزیه‌ی نقطه‌ای انتخاب شدند و تعداد ۳۹ مورد تجزیه‌ی نقطه‌ای در پژوهشکده‌ی زمین‌شناسی و ژئوفیزیک آکادمی علوم چین، پکن (IGGCAS) با ریزپردازنده‌ی الکترونی JEOL, JXA-8100، و با ولتاژ 20 kV، شدت جریان 20 nA و قطر نقطه آنالیز 3 μm، صورت گرفت. نتایج آنالیز نقطه‌ای در جدول ۱ ارائه شده‌اند. فرمول ساختاری آنالسیم‌ها بر اساس ۹۶ اکسیژن

جدول ۱ نتایج آنالیز ریزپردازش الکترونی کانی آنالسیم و فرمول ساختاری آن‌ها بر اساس ۹۶ اکسیژن [۳۱].

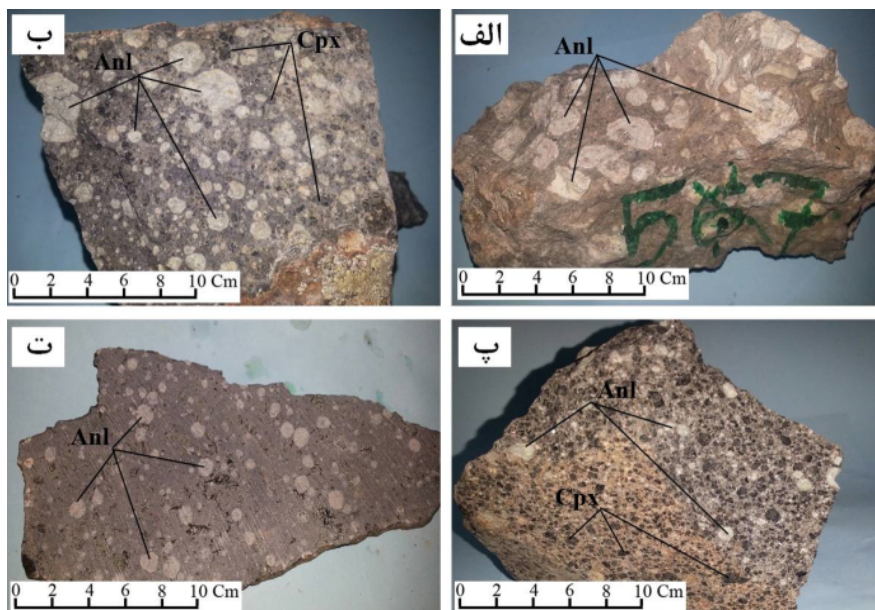
Sample No	9	10	13	81	83	84	89	90	170	171	172	173	174	175	176	188	189	191	541	
SiO ₂	۵۲,۳۰	۵۱,۷۷	۴۴,۶۵	۵۳,۵۰	۵۱,۶۵	۵۲,۴۷	۵۵,۴۲	۴۸,۰۱	۵۴,۴۸	۵۴,۵۴	۵۴,۰۹	۵۴,۲۸	۵۴,۶۸	۵۲,۹۷	۵۶,۰۵	۵۱,۸۰	۴۸,۸۷	۵۳,۴۸	۶۵,۵۳	
TiO ₂	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۴	۰,۰۷	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۷	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۴	
Al ₂ O ₃	۲۵,۰۵	۲۴,۶۰	۳۱,۰۴	۲۵,۵۷	۲۷,۲۹	۲۶,۴۱	۲۴,۳۳	۲۸,۳۴	۲۵,۱۲	۲۴,۸۱	۲۴,۵۹	۲۴,۶۲	۲۴,۵۶	۲۵,۶۲	۲۴,۶۶	۲۵,۱۹	۲۵,۷۳	۲۴,۹۱	۲۶,۷۸	
Cr ₂ O ₃	۰,۰۴	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۴	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۰	
FeO	۰,۱۲	۰,۰۷	۱,۲۵	۰,۴۲	۰,۰۹	۰,۲۰	۱,۵۱	۰,۲۹	۰,۳۴	۰,۲۶	۰,۳۳	۰,۳۹	۰,۴۴	۰,۳۶	۰,۳۸	۰,۴۲	۰,۲۱	۰,۲۰	۰,۳۷	
Fe ₂ O ₃	۰,۱۳	۰,۰۸	۰,۸۷	۰,۴۶	۰,۱۰	۰,۲۲	۰,۲۹	۰,۳۲	۰,۳۸	۰,۲۹	۰,۳۶	۰,۴۳	۰,۴۹	۰,۴۰	۰,۴۲	۰,۴۶	۰,۲۳	۰,۲۳	۰,۴۱	
MnO	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۵	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	
MgO	۰,۰۲	۰,۱۱	۰,۶۵	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۹	۰,۲۰	۰,۰۸	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۵	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۵	۰,۰۱	۰,۰۰	
CaO	۰,۶۳	۰,۲۸	۳,۶۳	۰,۵۸	۰,۵۹	۰,۳۵	۰,۸۰	۱,۱۷	۰,۴۸	۰,۳۵	۰,۵۱	۰,۶۸	۰,۴۸	۱,۲۴	۰,۵۰	۰,۶۶	۰,۱۵	۰,۴۵	۰,۱۵	
Na ₂ O	۱۱,۴۴	۱۲,۳۲	۵,۶۸	۸,۴۱	۱۰,۵۰	۱۰,۹۶	۹,۰۶	۸,۱۰	۹,۵۴	۱۰,۴۴	۸,۷۲	۸,۵۴	۸,۸۵	۱۰,۲۶	۶,۴۴	۱۱,۹۴	۱۰,۴۶	۱۰,۲۱	۴,۴۲	
K ₂ O	۰,۷۸	۰,۰۹	۴,۰۷	۰,۲۶	۱,۵۴	۱,۳۶	۱,۸۳	۱,۶۹	۰,۸۸	۰,۸۲	۱,۰۷	۱,۲۰	۰,۹۴	۰,۸۹	۰,۹۰	۰,۴۶	۱,۰۳	۰,۴۴	۰,۰۵	
Total	۹۰,۳۷	۸۹,۲۷	۹۱,۰۶	۸۸,۸۲	۹۱,۶۸	۹۱,۸۶	۹۳,۲۴	۸۷,۷۴	۹۰,۸۹	۹۱,۳۰	۸۹,۳۹	۸۹,۷۶	۹۰,۰۱	۹۱,۴۲	۸۹,۰۰	۹۰,۵۲	۸۶,۵۳	۸۹,۷۱	۹۷,۳۴	
Formula on the basis of 96(O)																				
Si	۳۱,۱۲	۳۱,۱۴	۲۷,۰۸	۳۱,۷۸	۳۰,۳۴	۳۰,۷۵	۳۱,۹۹	۲۹,۴۱	۳۱,۸۸	۳۱,۸۷	۳۲,۱۱	۳۲,۱۱	۳۲,۲۲	۳۱,۱۱	۳۲,۹۲	۳۰,۸۶	۳۰,۳۷	۳۱,۷۲	۳۴,۳۳	
Ti	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۳	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۲	
Al	۱۷,۵۷	۱۷,۴۴	۲۲,۱۹	۱۷,۹۰	۱۸,۸۹	۱۸,۲۴	۱۶,۵۵	۲۰,۴۶	۱۷,۳۳	۱۷,۰۹	۱۷,۲۱	۱۷,۱۷	۱۷,۰۶	۱۷,۷۳	۱۷,۰۷	۱۷,۶۹	۱۸,۸۵	۱۷,۴۲	۱۶,۵۳	
Cr	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	
Fe ²⁺	۰,۰۶	۰,۰۳	۰,۶۳	۰,۲۱	۰,۰۴	۰,۱۰	۰,۷۳	۰,۱۵	۰,۱۷	۰,۱۳	۰,۱۶	۰,۱۹	۰,۲۲	۰,۱۸	۰,۱۹	۰,۲۱	۰,۱۱	۰,۱۰	۰,۱۶	
Mn	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	
Mg	۰,۰۲	۰,۱۰	۰,۵۹	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۸	۰,۱۷	۰,۰۷	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۴	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۵	۰,۰۱	۰,۰۰	
Ca	۰,۴۰	۰,۱۸	۲,۳۶	۰,۳۷	۰,۳۷	۰,۲۲	۰,۵۰	۰,۷۷	۰,۳۰	۰,۲۲	۰,۳۲	۰,۴۳	۰,۳۰	۰,۷۸	۰,۳۱	۰,۴۲	۰,۱۰	۰,۲۹	۰,۰۸	
Na	۱۳,۲۰	۱۴,۳۷	۶,۶۸	۹,۶۹	۱۱,۹۶	۱۲,۴۶	۱۰,۱۴	۹,۶۱	۱۰,۸۲	۱۱,۸۳	۱۰,۰۳	۹,۸۰	۱۰,۱۱	۱۱,۶۹	۷,۳۴	۱۳,۷۹	۱۲,۶۱	۱۱,۷۴	۴,۴۹	
K	۰,۵۹	۰,۰۷	۳,۱۵	۰,۲۰	۱,۱۵	۱,۰۲	۱,۳۵	۱,۳۲	۰,۶۶	۰,۶۱	۰,۸۱	۰,۹۱	۰,۷۰	۰,۶۶	۰,۶۷	۰,۳۵	۰,۸۲	۰,۳۳	۰,۰۳	
Total	۶۲,۹۸	۶۳,۳۵	۶۲,۷۲	۶۰,۱۸	۶۲,۷۷	۶۲,۸۶	۶۱,۴۵	۶۱,۸۲	۶۱,۱۸	۶۱,۷۹	۶۰,۷۰	۶۰,۶۵	۶۰,۶۵	۶۲,۱۹	۵۸,۵۴	۶۳,۳۵	۶۲,۹۱	۶۱,۶۰	۵۵,۶۵	
Na/(Na+K+Ca)	۰,۹۳	۰,۹۸	۰,۵۵	۰,۹۴	۰,۸۹	۰,۹۱	۰,۸۵	۰,۸۲	۰,۹۲	۰,۹۳	۰,۹۰	۰,۸۸	۰,۹۱	۰,۸۹	۰,۸۸	۰,۹۵	۰,۹۳	۰,۹۵	۰,۹۷	
Na/(Na+Ca)	۰,۹۷	۰,۹۹	۰,۷۴	۰,۹۶	۰,۹۷	۰,۹۸	۰,۹۵	۰,۹۳	۰,۹۷	۰,۹۸	۰,۹۷	۰,۹۶	۰,۹۷	۰,۹۴	۰,۹۶	۰,۹۷	۰,۹۹	۰,۹۸	۰,۹۸	
Si/Al	۱,۷۷	۱,۷۹	۱,۲۲	۱,۷۸	۱,۶۱	۱,۶۹	۱,۹۳	۱,۴۴	۱,۸۴	۱,۸۶	۱,۸۷	۱,۸۷	۱,۸۹	۱,۷۵	۱,۹۳	۱,۷۴	۱,۶۱	۱,۸۲	۲,۰۸	
K/Na	۰,۰۴	۰,۰۰	۰,۴۷	۰,۰۲	۰,۱۰	۰,۰۸	۰,۱۳	۰,۱۴	۰,۰۶	۰,۰۵	۰,۰۸	۰,۰۹	۰,۰۷	۰,۰۶	۰,۰۹	۰,۰۳	۰,۰۶	۰,۰۳	۰,۰۱	
Sample No.	۵۴۲	۵۴۳	۵۴۴	۵۴۱	۵۴۲	۵۴۳	۵۴۵	۵۴۶	۵۴۷	۱۰۰۱	۱۰۰۲	۱۰۰۳	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۲۲۱	۲۲۱	۲۴۱	
SiO ₂	۶۳,۷۸	۶۱,۳۳	۶۳,۴۱	۶۲,۵۷	۶۲,۲۲	۶۰,۶۶	۶۲,۴۰	۶۲,۰۳	۶۰,۸۲	۶۷,۲۱	۶۷,۰۳	۶۷,۸۵	۶۶,۳۰	۶۶,۷۶	۶۵,۹۱	۶۷,۳۲	۶۷,۰۴	۶۱,۲۵	۶۱,۸۲	۵۹,۱۶
TiO ₂	۰,۰۵	۰,۰۲	۰,۰۴	۰,۰۳	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۴	۰,۰۳	۰,۰۵	۰,۰۳	۰,۰۵	۰,۰۰	۰,۰۵	۰,۰۷	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۷	۰,۰۳	۰,۰۵	۰,۰۳
Al ₂ O ₃	۲۶,۹۷	۲۷,۲۱	۲۸,۳۲	۲۵,۷۷	۲۶,۳۱	۲۴,۸۳	۲۷,۱۶	۲۶,۰۹	۲۶,۰۷	۲۵,۴۶	۲۴,۷۳	۲۶,۶۷	۲۵,۹۰	۲۵,۶۱	۲۴,۵۶	۲۶,۰۰	۲۶,۱۶	۲۶,۴۶	۲۵,۹۷	۲۷,۵۰
Cr ₂ O ₃	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۴	۰,۰۰	
FeO	۰,۴۵	۰,۴۰	۰,۴۱	۰,۳۳	۰,۵۸	۰,۱۱	۰,۳۵	۰,۲۵	۰,۱۲	۰,۱۸	۰,۲۱	۰,۴۲	۰,۳۰	۰,۴۳	۰,۲۷	۰,۱۹	۰,۴۹	۰,۱۰	۰,۱۱	۰,۰۴
Fe ₂ O ₃	۰,۵۰	۰,۴۴	۰,۴۶	۰,۲۰	۰,۴۴	۰,۱۲	۰,۳۹	۰,۲۸	۰,۱۳	۰,۲۰	۰,۲۳	۰,۴۷	۰,۳۳	۰,۴۸	۰,۳۰	۰,۲۱	۰,۵۴	۰,۱۱	۰,۱۲	۰,۰۵
MnO	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۲
MgO	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۲۳	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۹	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۱	۰,۰۰	۰,۰۵	۰,۰۳	۰,۰۴
CaO	۰,۱۰	۰,۰۹	۰,۱۹	۰,۲۵	۰,۱۵	۰,۱۶	۰,۱۲	۰,۱۰	۰,۰۶	۰,۲۸	۰,۳۱	۰,۳۱	۰,۳۶	۰,۲۴	۰,۲۶	۰,۱۶	۰,۲۱	۰,۹۸	۱,۴۲	۱,۷۰
Na ₂ O	۹,۴۵	۱۰,۷۱	۸,۹۶	۸,۸۵	۱۱,۲۴	۱۱,۵۷	۱۱,۱۴	۱۲,۰۱	۱۰,۵۴	۷,۶۵	۷,۲۶	۴,۴۱	۷,۴۱	۶,۹۲	۷,۱۲	۷,۰۵	۶,۹۶	۱۱,۲۸	۱۰,۹۱	۱۰,۴۲
K ₂ O	۰,۱۲	۰,۱۳	۰,۰۵	۰,۰۴	۰,۱۴	۰,۰۸	۰,۱۱	۰,۰۸	۰,۰۴	۰,۰۳	۰,۰۶	۰,۰۲	۰,۱۸	۰,۱۳	۰,۰۷	۰,۰۷	۰,۱۷	۰,۲۹	۰,۵۲	۰,۴۶
Total	۱۰۰,۰۹	۹۹,۹۲	۱۰۱,۰۴	۹۷,۷۴	۱۰۰,۰۸	۹۷,۴۵	۱۰۱,۰۳	۱۰۰,۰۵	۹۷,۷۰	۱۰۱,۰۰	۹۹,۶۶	۹۹,۶۸	۱۰۰,۰۵							

در سطح زمین نشان می‌دهند.

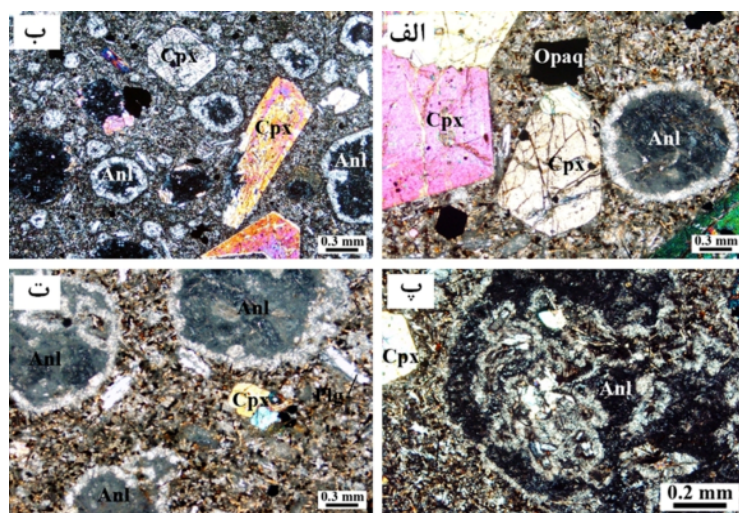
سنگ‌نگاری

سنگ‌های تفریتی در نمونه‌ی دستی به رنگ خاکستری تیره بوده و بلورهای پیروکسن، پلاژیوکلاز و آنالسیم درشت بلور در آنها به خوبی قابل تشخیص‌اند. رنگ بلورهای آنالسیم در نمونه‌های ماکروسکوپی سفید، کرم، زرد کم رنگ و سرخ گوشتی است (شکل ۳). سنگ‌های مورد بررسی اغلب بافت پورفیری با خمیره‌ی ریزبلوری و گاهی ریزبلور شیشه‌ای دارند. مقدار خمیره‌ی شیشه‌ای در آن‌ها متغیر است، گاهی انباشت خوشه‌ای فنوکریست‌های پیروکسن موجب شکل‌گیری بافت خوشه‌ای در سنگ شده است. تمام سنگ‌های آنالسیم‌دار دارای سه نوع فنوکریست پیروکسن، پلاژیوکلاز و آنالسیم هستند (شکل ۴). پیروکسن‌ها عموماً شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار بوده و اندازه آن‌ها از ۰/۲ تا ۲ میلی‌متر متغیر است. فراوانی فنوکریست‌های پیروکسن تا ۱۲ درصد می‌رسد. پیروکسن‌ها در اغلب موارد دارای ساخت ساعت شنی هستند. ماکل ساده و ماکل‌های تداخلی که در آن چند بلور شرکت دارند در این کانی‌ها متداول است.

این واحد در بعضی نقاط ویژگی آتشفشان‌های زیردریایی را نشان می‌دهد که قطر قطعات آن از ۵ تا ۲۰ سانتیمتر متغیر بوده است. دایک‌های آندزیت بازالتی و گاهی تفریتی که احتمالاً دایک‌های تغذیه‌کننده‌ی فعالیت‌های بعدی هستند به فراوانی برش‌های آتشفشانی را قطع کرده‌اند [۳۲]. تداوم فعالیت‌های آتشفشانی در منطقه با رخنمون سنگ‌های آتشفشانی زیردریایی آندزیت بازالتی با ریخت بالشی ادامه دارد که قطر آن‌ها تا ۵ متر می‌رسد. این واحد در بعضی نقاط به‌طور کامل برش‌های آتشفشانی را پوشانیده است. سنگ‌های آنالسیم‌دار منطقه از سه بخش قابل تفکیک، تشکیل شده‌اند که شامل: سنگ‌های آندزیت بازالتی که به تناوب همراه با گدازه‌های آندزیتی و برش‌های آتشفشانی در بخش پایین قرار گرفته‌اند، گدازه‌های آنالسیم‌دار و برش‌های آنالسیم‌دار در بخش میانی و برش‌های آنالسیم‌دار با سیمان هیالوکلاستیک در بخش بالایی روی واحدهای رسوبی را می‌پوشانند. ریخت صخره‌ای این واحد نشانگر سختی زیاد و مقاومت آن نسبت به فرسایش بوده و ترکیب آن از تفریت تا آنالسیم تفریت (حاوی بیش از ۵۰ درصد آنالسیم) تغییر می‌کند. سنگ‌های آذرین بیرونی با ترکیب آندزیتی و بازالتی عموماً حالت صخره‌ای و پرتگاهی را



شکل ۳ تصاویر ماکروسکوپی سنگ‌های حاوی آنالسیم. الف) بلورهای شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار آنالسیم به اندازه ۲ تا ۳ سانتیمتر در سنگ تراکی آندزیت فوئیددار با بافت پورفیری، ب) بلورهای آنالسیم ایزومتريک و شکل‌دار به اندازه ۱ تا ۲ سانتیمتر در سنگ تفریت با زمینه‌ی ریز بلور، پ) بلورهای شکل‌دار و نیمه شکل‌دار آنالسیم و پیروکسن در سنگ آندزیت فوئیددار، ت) بلورهای آنالسیم به اندازه ۵ میلی‌متر تا ۱ سانتی‌متر در سنگ تفریت.



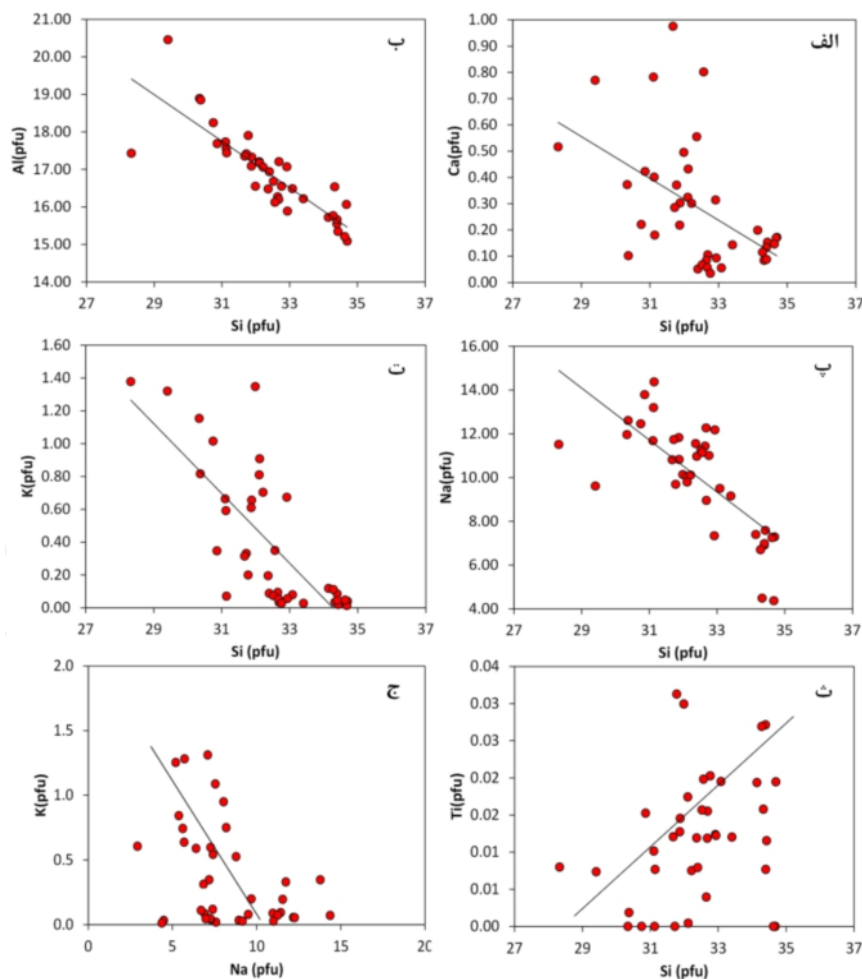
شکل ۴ تصاویر میکروسکوپی بلورهای آنالسیم در نور قطبیده متقاطع (XPL) (الف) بلورهای شکل دار کانی آنالسیم با بافت حاشیه‌ای، کلینوپروکسن و کانی‌های کدر در سنگ پیروکسن آندزیت فوئیددار با بافت پورفیری و خمیره ریز دانه، (ب) بلورهای آنالسیم درشت بلور و ریز بلور در سنگ تفریت، پ و ت) بلورهای درشت آنالسیم که در حاشیه‌ی آن‌ها آثار کانی لوسیت مشاهده می‌شوند.

مبنای ۹۶ اکسیژن محاسبه شده است (جدول ۱). ترکیب شیمیایی آنالسیم‌های مورد بررسی در گستره‌های $\text{SiO}_2(44.61-56.05)$, $\text{TiO}_2(0.00-0.93)$, $\text{Al}_2\text{O}_3(23.29-31.04)$, $\text{Cr}_2\text{O}_3(0.00-0.04)$, $\text{FeO}^{(II)}(0.07-9.28)$, $\text{MnO}(0.00-0.07)$, $\text{MgO}(0.00-0.65)$, $\text{CaO}(0.15-3.630)$, $\text{Na}_2\text{O}(5.68-12.32)$, $\text{K}_2\text{O}(0.09-4.070)$ تغییر می‌کند. تغییرات ترکیب شیمیایی آنالسیم به صورت Al , Ca , K , Na , $\text{Si}(\text{apfu})$ نسبت به سایر کاتیون‌ها مانند Ti در شکل ۵ نشان داده شده‌اند. چنانکه در شکل ۵ دیده می‌شود، با کاهش مقدار Si مقادیر Al افزایش می‌یابد که نشان دهنده‌ی جانشینی Al بجای Si در ساختار آنالسیم است. همچنین با افزایش مقادیر Si مقادیر کاتیون‌های دیگر، غیر از Na کاهش می‌یابد که احتمالاً نشان دهنده جانشینی Na بجای K در ساختار آنالسیم است. در شکل ۵ ج نمودار Na نسبت به K یک روند منفی بین سدیم و پتاسیم را نشان می‌دهد که با افزایش سدیم، مقدار پتاسیم کاهش می‌یابد و می‌تواند نشان‌دهنده‌ی جانشینی سدیم بجای پتاسیم باشد. از طرف دیگر مقادیر نسبت Si/Al در آنالسیم‌های مورد بررسی بین ۱.۲۲-۲.۲۹ تغییر می‌کند. از آنجا که بین آنالسیم و ویراکیت با جانشینی Ca بجای Na و بر عکس، سری محلول کامل جامد وجود دارد. با توجه به نسبت $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$ در نمونه‌ها که بین ۰.۷۴-۰.۹۹ تغییر می‌کند، نشان دهنده جانشینی مختصر Ca بجای Na در ساختار آنالسیم است.

بر اساس بررسی‌های سنگ‌نگاری، پیروکسن‌ها دارای میانبارهایی از کانی آپاتیت و کانی‌های کدر هستند. همچنین خود پیروکسن‌ها به صورت میانبار در پلاژیوکلازها و درشت بلورهای آنالسیم مشاهده می‌شوند. کانی پلاژیوکلاز اغلب به صورت نیمه‌شکل‌دار در این سنگ‌ها حضور دارد و حاشیه‌ی آن‌ها خردشده و بافت غربالی نشان می‌دهند. بعضی از پلاژیوکلازها دستخوش تجزیه شدیدی شده‌اند و اغلب حاوی میانبارهایی از پیروکسن، آپاتیت و کانی‌های کدر هستند. در کانی آنالسیم آثار تجزیه به کانی‌های رسی، سریسیت و کانی‌های کدر دیده می‌شود. آنالسیم‌ها اغلب حاوی میانبارهایی از کانی‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن هستند (شکل ۴). در این گروه سنگی خمیره اغلب شامل بلورهای ریزبلور و ریزدانه پلاژیوکلاز و شکل‌های کاذب لوسیت (آنالسیم) هستند و ریزبلورهای پلاژیوکلاز به صورت میانبارهایی به موازات حاشیه بلورهای آنالسیم دیده می‌شوند (شکل ۴). فنوکریست‌های شکل‌دار آنالسیم اغلب حاوی میانبارهایی از کانی‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن هستند که به‌ویژه پلاژیوکلازهای آن به موازات حاشیه‌ی بلور به صورت جهت یافته دیده می‌شوند. فراوانی کانی‌های فوئیدی در این گروه از ۶۰ درصد در آنالسیم تفریت تا حدود ۱۰٪ در تفریت‌ها تغییر می‌کند (شکل ۴).

ترکیب شیمیایی آنالسیم

فرمول ساختاری کانی آنالسیم براساس توصیه‌ی [۳۱]، بر



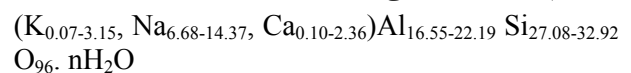
شکل ۵ الف) نمودار Si نسبت به Ca، ب) نمودار Si نسبت به Al، پ) نمودار Si نسبت به Na، ت) نمودار Si نسبت به K، ث) نمودار Si نسبت به Ti، ج) نمودار Na نسبت به K.

توسط [۳۳] ارائه شده است (شکل ۷ ب)، نمونه‌های مورد بررسی در گستره Anl (آنالسیم) قرار می‌گیرند.

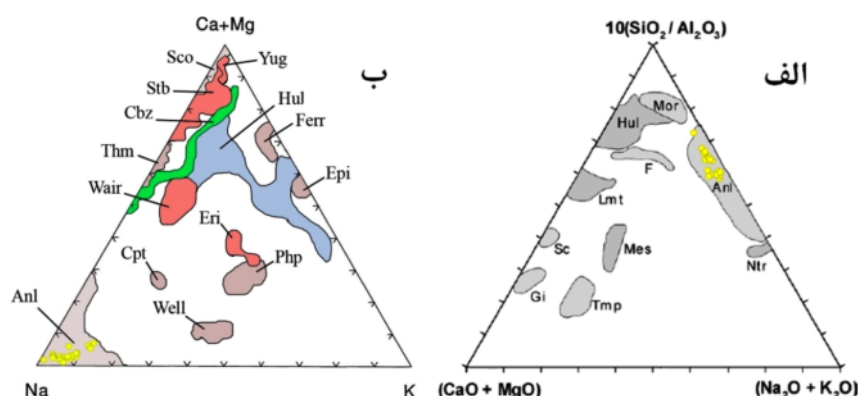
بحث و بررسی

بلورهای آنالسیم بیشتر نمونه‌ها و سنگ‌های مورد بررسی شکل‌های تبلوری مشابهی دارند. آن‌ها عموماً به صورت فنوکریست‌های درشت بلور با ابعاد ۱ تا ۳ سانتیمتر گرد به رنگ شیری و خاکستری هستند که مشابه آنالسیم‌های کاذب تغییر شکل یافته از لوسیت هستند [۳۵، ۳۴]. بلورهای آنالسیم شکل‌دار و بی شکل به صورت فنوکریست‌های هم اندازه یا شش‌گوش در زمینه‌ی سنگ‌ها مشاهده می‌شوند (شکل‌های ۳ و ۴). اکثر آن‌ها خصوصیات ایزوتروپیک یا همسانگردی از خود نشان می‌دهند (شکل ۴) ولی برخی از آن‌ها ویژگی دوشکستی (بیرفرنژانس) ضعیفی دارند که ناشی از دگرسانی آن‌ها به کانی‌های رسی است.

معمولاً آنالسیم‌هایی با خاستگاه اولیه دارای نسبت K/Na بالای یک هستند در صورتی که نسبت K/Na در آنالسیم‌های مورد بررسی کمتر از ۱ است (0.002-0.47). فرمول عمومی آنالسیم‌های مورد بررسی به صورت زیر است:



نسبت‌های $Na/(Na + K + Ca)$ بین 0.54 - 0.99، $K/(Na + K + Ca)$ بین 0.002 - 0.25 و $Ca/(Na + K + Ca)$ بین 0.003 - 0.19 درصد در نمونه‌های مورد بررسی تغییر می‌کند. برای مشخص کردن ترکیب آنالسیم‌ها از نمودار مثلی کانی‌های ژئولیتی $K + Mg - Na - Ca$ استفاده می‌شود [۳۳] که نمونه‌ها در گستره و قطب سدیم دار قرار می‌گیرند (شکل ۶ الف). همچنین در نمودار مثلی $10(SiO_2/Al_2O_3) - (CaO + MgO) - (Na_2O + K_2O)$



شکل ۶ الف) موقعیت نمونه‌های آنالسیم روی نمودار مثلثی $10(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ -($\text{CaO}+\text{MgO}$)-($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) که در گستره‌ی آنالسیم قرار می‌گیرند. گستره‌ی کانی‌های ژئولیتی برگرفته از [۳۳] است. ب) موقعیت آنالسیم‌های منطقه مورد بررسی در نمودار مثلثی $(\text{Ca} + \text{Mg}) - \text{Na} - \text{K}$ ارائه شده توسط [۳۳] و علائم به کار رفته بر اساس [۳۴] است.

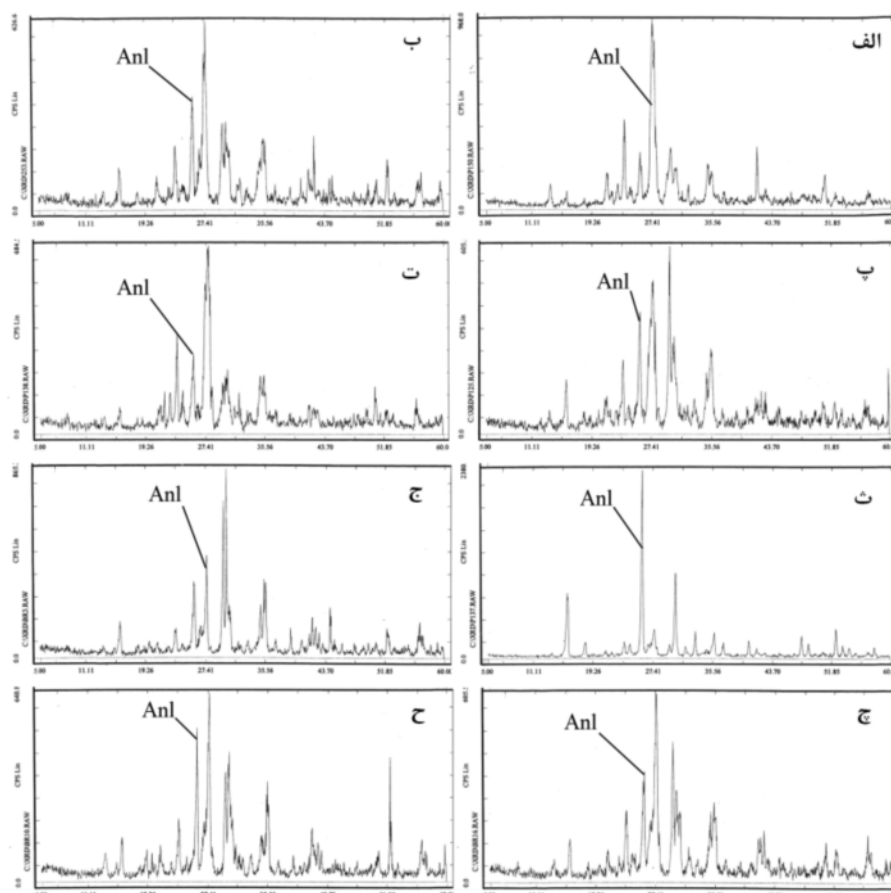
(Hul:Heulandite, Lmt:Laumontite, Ntr:Natrolite, Tmp:Thomsonite, Mor:Mordenite, F:Faujasite, Mes:Mesolite, Sc:Scolecite, Gi:Gismondine, Anl:Analcime, Wair:Wairakite, Thm:Thamsonite, Cbz:Chabazite, Stb:Stebelite, Sco:Scolecite, Yug:Yugawaralite, Ferr:Ferrierite, Epi:Epistilbite, Well:Wellsite, Cpt:Clinopitohite, Eri:Erionite)

آلومینیوم و سیلیس است و موجب کوتاه شدن واحد سلولی می‌شود. برای محاسبه‌ی اندازه‌ی (a_0) از قانون براگ بنابر رابطه‌ی $\lambda = 2d \sin \theta$ استفاده می‌شود؛ که در آن λ طول موج حاصل از نوع کاتد مورد استفاده در پراش‌سنج پرتو ایکس است (در این بررسی از کاتد مس و فیلتر نیکل استفاده شد $\lambda_{\text{CuK}\alpha} = 1.54 \text{ \AA}$ ، زاویه‌ی براگ یا زاویه‌ی برخورد پرتو ایکس با سطح اتم‌ها است که با نمودار XRD حاصل از پراش قابل محاسبه است (شکل ۷) و مقدار d فاصله‌ی بین دو اتم در شبکه‌ی بلور است. نتایج حاصل از محاسبه‌ی (a_0) و مقادیر کسر مولی XSi در جدول ۲ آورده شده است. اندازه (a_0) در سیستم تبلوری مکعبی تقریباً برابر بوده و تغییرات زیادی نشان نمی‌دهد. مقدار (a_0) در نمونه‌های مورد بررسی بین 13.673 تا 13.704 آنگستروم تغییر می‌کند.

برای بررسی نوع آنالسیم‌های اولیه یا ثانویه اولین بار توسط [۲] نمودار (a_0) بر حسب انگستروم در برابر کسر مولی سیلیس (شکل ۸) استفاده شد. در این نمودار نمونه‌های مورد بررسی در مجاورت و در گستره‌ی آنالسیم‌هایی با خاستگاه ثانویه قرار می‌گیرند. مقدار a ($\text{\AA}$) در آنالسیم‌های مکعبی معمولاً یکسان است و تغییر بسیار اندکی دارد ولی در نمونه‌های مورد بررسی تغییرات زیاد است که این تغییرات زیاد نشان دهنده‌ی تغییر در فاصله‌ی بین اتم‌های آنالسیم است که وجود فرم چارگوشی (تتراگونال) یا فرم بلوری غیر از مکعبی را در آن‌ها مشخص می‌کند.

ارتباط بافتی آنالسیم‌ها با بلورهای کلینوپیروکسن به‌عنوان یکی از روش‌های تشخیص اولیه و یا ثانویه بودن بلورهای آنالسیم است [۱۷]. معمولاً بلورهای آنالسیم که به‌صورت میانبار در کلینوپیروکسن‌ها هستند و در نتیجه‌ی تبدیل شدن کانی لوسیت به آنالسیم به علت افزایش حجم تا حدود ۱۰ درصد، باعث ترک‌ها و شکستگی در اطراف خود می‌شوند [۳۶، ۱۷]. چنین ترک‌هایی در برخی از نمونه‌های مورد بررسی که دارای میانبارهایی از کانی لوسیت هستند نیز قابل مشاهده‌اند (شکل ۴). بلورهای آنالسیم در تمام سنگ‌های مورد بررسی با مجموعه کانی‌های بی‌آب مثل کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز همراه هستند و کانی‌های آبدار مثل آمفیبول با آن‌ها همراه نیستند که این می‌تواند دلیلی بر بی‌آب بودن ماگمای مادر آن‌ها باشد که آب کافی برای تبلور کانی آبداری مثل آنالسیم به صورت اولیه وجود نداشته است. از طرف دیگر وجود کانی‌های فرومنیزین، کدر و کانی‌های کربناتی و نیز آثار خوردگی در حاشیه‌ی کانی‌های پیروکسن و پلاژیوکلاز می‌تواند نشان دهنده‌ی تاثیر یک سیستم واکنشی ثانویه تاخیری باشد که در دمای حدود 150°C درجه‌ی سانتیگراد و فشار فاز سیال بالا، بلورهای لوسیت به آنالسیم تبدیل شده باشند.

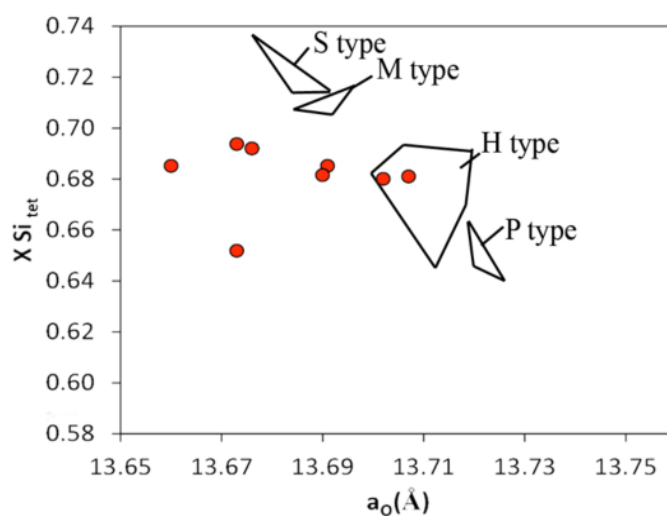
بررسی‌های [۳۸، ۳۷] نشان داد که با افزایش مقدار سیلیس در جریان جانشینی مقدار عددی واحد سلولی شبکه مکعبی (a_0) (cubic cell constant) کاهش می‌یابد، زیرا انرژی پیوندی بین سیلیس و اکسیژن قوی‌تر از انرژی پیوندی بین



شکل ۷: نمودارهای پراش پرتو ایکس نمونه‌های دارای کانال آنالسیم که برای محاسبه مقادیر واحد سلولی استفاده شده‌اند.

جدول ۲: نتایج محاسبه‌ی مقدار واحد سلولی و کسر مولی سیلیس در نمونه‌های مورد بررسی

شماره نمونه	102	103	111	121	131	141	151	221
X Si	۰.۶۹۳۶۷۱	۰.۶۸۰۹۵	۰.۶۸۰۰۴	۰.۶۸۵۱۲۴	۰.۶۹۱۹۴۴	۰.۶۸۵۱۰۷	۰.۶۸۱۵۳۷	۰.۶۵۱۸۱۵
$a_0(\text{\AA})$	۱۳.۶۷۳	۱۳.۷۰۷	۱۳.۷۰۲	۱۳.۶۹۱	۱۳.۶۷۶	۱۳.۶۶	۱۳.۶۹	۱۳.۶۷۳



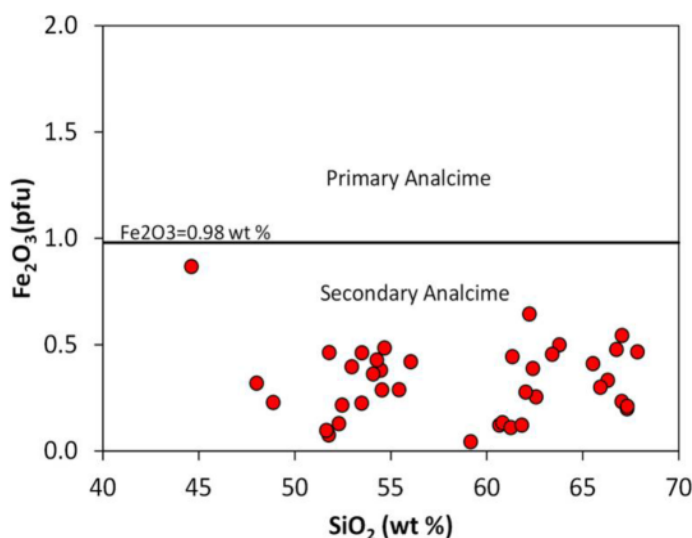
شکل ۸: نمودار $a_0(\text{\AA})$ نسبت به کسر مولی X Si و موقعیت قرار گیری انواع آنالسیم‌های اولیه و ثانویه برگرفته از [۲].

بررسی‌های انجام شده توسط [۲] نشان می‌دهد که در تبدیل لوسیت به آنالسیم (بوژه نوع L) $K_2O > 1\%$ است. [۳۸، ۳۷] نشان دادند که با افزایش مقدار Si در آنالسیم‌ها، مقدار عددی $a(\text{\AA})$ کاهش می‌یابد، که به علت کوتاه شدگی فاصله به دلیل انرژی پیوندی قویتر Si است. مقدار عددی واحد سلولی $a(\text{\AA})$ می‌تواند با نسبت Si/Al ارتباط داشته باشد [۴۹، ۳۷]، لذا آنالسیم‌های اولیه، مقدار Si کمتری نسبت به سایر آنالسیم‌ها از خود نشان می‌دهند.

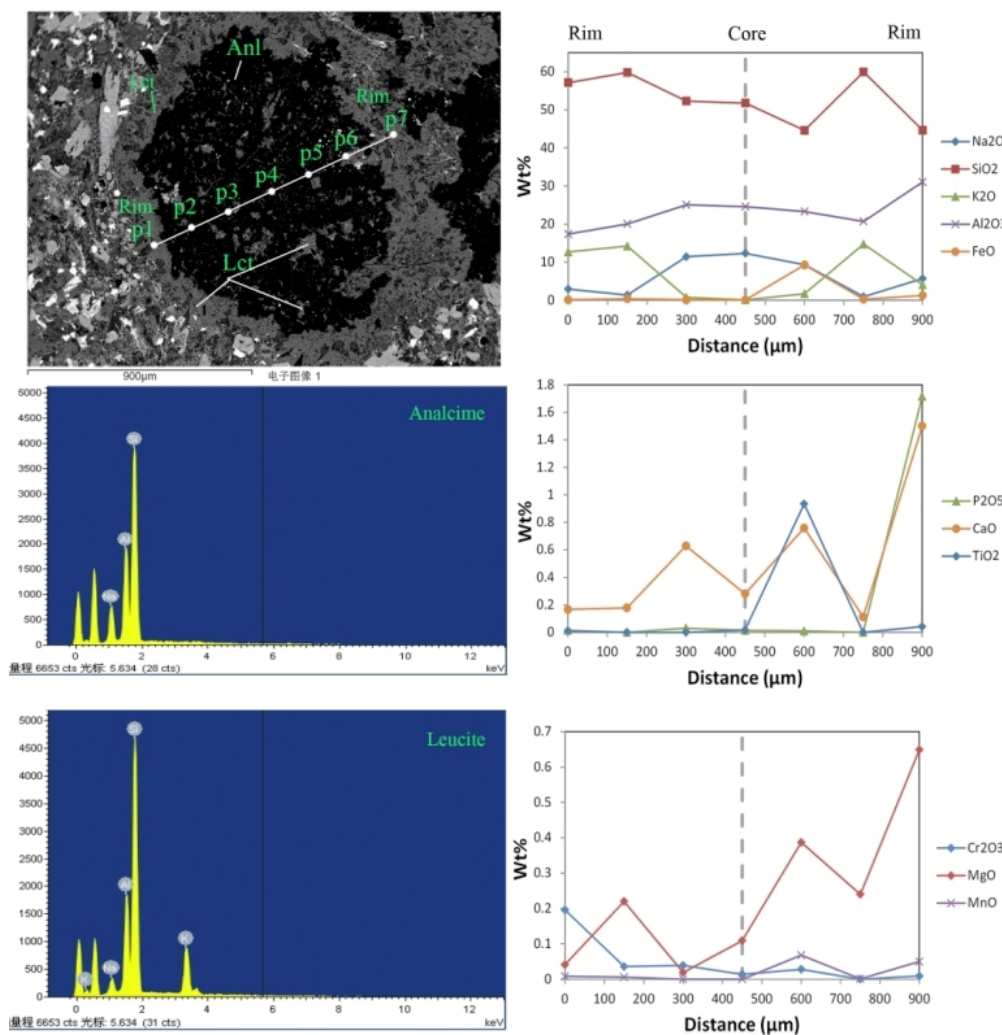
بررسی‌های [۲] نشان می‌دهد که بین مقادیر Fe^{3+} و نوع آنالسیم‌ها ارتباطی وجود دارد. به‌طوری که مقادیر Fe_2O_3 در آنالسیم‌های اولیه بیشتر از سایر آنالسیم‌ها است (بیش از ۰/۹۸ درصد). مقدار Fe_2O_3 در نمونه‌های مورد بررسی بین ۰.۰۴ تا ۰.۸۷ درصد تغییر می‌کند که می‌تواند نشان دهنده‌ی ثانویه بودن آنالسیم‌ها باشد (شکل ۹). یکی از روش‌های بررسی کانی-های فلدسپاتوئیدی به‌خصوص آنالسیم‌ها برای تعیین اولیه و یا ثانویه بودن آن‌ها، بررسی چگونگی توزیع عناصر از مرکز به حاشیه این بلورهاست. بدین منظور تعدادی از بلورهای آنالسیم برای تهیه‌ی نیمرخ خطی، با استفاده از ریزپردازنده‌ی الکترونی مورد آنالیز نقطه‌ای قرار گرفتند که نتایج آن در شکل ۱۰ نشان داده شده‌اند. چنانکه در شکل دیده می‌شود، بیشتر آنالسیم‌ها در مرکز غنی از Na هستند و در حاشیه آثاری از لوسیت اولیه با افزایش مقادیر K در آن‌ها دیده می‌شوند.

که می‌تواند ناشی از جانشینی Na بجای پتاسیم در ساختار لوسیت و تبدیل آن به آنالسیم باشد. بر اساس بررسی‌های کانی‌شناسی نوری انجام گرفته توسط [۴۰، ۳۹]، بررسی‌های ساختار لوسیت و آنالسیم توسط [۴۳-۴۱] و بررسی‌های شیمی کانی که توسط [۴۵، ۴۴] انجام شده است، نشان می‌دهند که بلورهای آنالسیم با ساختار مکعبی در مقایسه با ساختارهای چارگوشی و راستگوشی (ارتورومبیک) و تک میل (مونوکلینیک) تقارن کمتری را نسبت به جانشینی آلومینیوم در جایگاه چاروجهی و آرایش Na, Ca در جایگاه کاتیونی اضافی در شبکه‌ی بلوری از خود نشان می‌دهند [۴۶]. معمولاً بلورهای لوسیت اولیه در دماهای بین ۶۰۰-۷۰۰ درجه‌ی سانتیگراد با کاهش تقارن به شکل بلوری چارگوشی تبدیل می‌شوند [۴۷].

بررسی‌های انجام شده توسط [۴۸] نشان می‌دهند که بلورهای لوسیت آذرین اولیه در سیستم مکعبی با نسبت Si/Al متغیر متبلور می‌شوند ولی با ادامه‌ی سرد شدن ماگما به شکل چارگوشی با همان نسبت Si/Al تبدیل می‌شوند. از طرف دیگر تبدیل لوسیت به آنالسیم بدون تغییر ساختار بلوری رخ می‌دهد آنالسیم حاصل تبدیل لوسیت نیز دارای نسبت‌های Si/Al متغیر و سیستم تبلور غیر مکعبی خواهد بود. از نظر [۴۸] بلورهای آنالسیم غیر مکعبی نمی‌توانند خاستگاه آذرین داشته باشند. لذا وجود بلورهای آنالسیم چارگوشی و غیر مکعبی در نمونه‌های مورد بررسی می‌تواند نشان دهنده‌ی عدم اولیه بودن بلورهای آنالسیم باشد.



شکل ۹ نمودار SiO_2 نسبت به Fe_2O_3 برای جدایش آنالسیم‌های اولیه از آنالسیم‌های ثانویه به نقل از [۲].

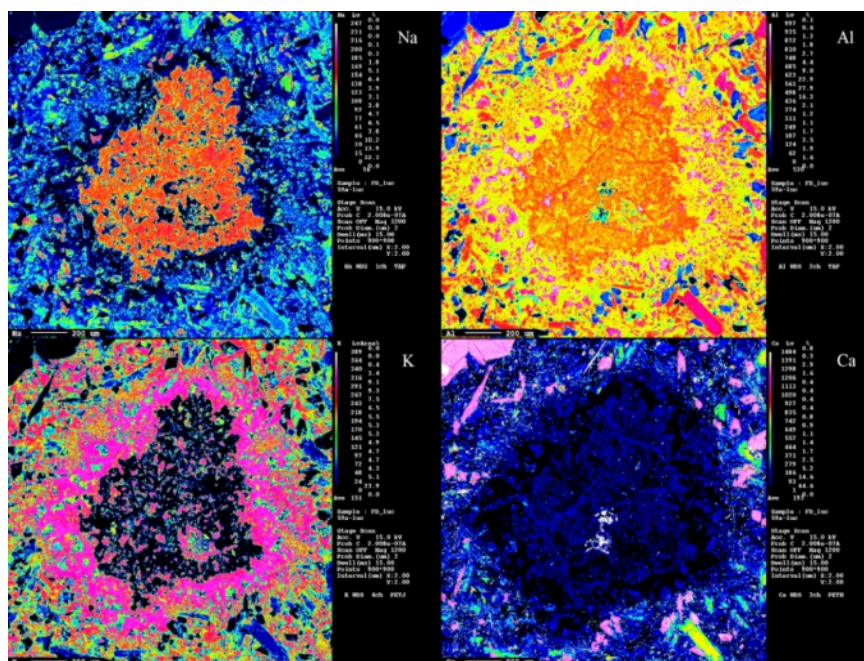


شکل ۱۰: آنالیز خطی بلور آنالسیم از یک حاشیه به حاشیه دیگر، آثار لوسیت باقیمانده در کانای آنالسیم به صورت میانبار و موقعیت کانای لوسیت باقیمانده به صورت میانبار در آن.

سنگ‌های این ناحیه کمتر است. لذا کاهش این نسبت می‌تواند نشان دهنده‌ی عملکرد فرآیند آنالسیمی شدن در این سنگ‌ها باشد که با افزایش مقادیر Na و جانشینی، مقدار K کاهش یافته است. بیشترین مقدار این نسبت به سنگ‌های بازالتی وابسته است که بین ۱/۱۴ تا ۵/۲۷ درصد تغییر می‌کند. بررسی‌های انجام شده‌ی [۵۰] روی آنالسیم‌های منطقه‌ی ارباب‌کندی شمال مشکی‌ن شهر نیز نشان می‌دهد که این آنالسیم‌ها در نتیجه تأثیر شاره‌های غنی از Na و در اثر جانشینی کانای لوسیت به آنالسیم تبدیل شده‌اند و برای آن‌ها خاستگاه ثانویه در نظر گرفته شده است، و علت آن را وجود آثار کانای لوسیت در حاشیه‌ی کانای آنالسیم و بالا بودن مقادیر K_2O در سنگ‌های آذرین این ناحیه می‌دانند.

در برخی از نمونه‌ها بقایایی از لوسیت اولیه به صورت میانبار در آنالسیم باقی مانده‌اند. همچنین نقشه‌ی عنصری تهیه شده از بلور آنالسیم (شکل ۱۱) تمرکز عنصر Na در مرکز بلور و نیز آثاری از بلور لوسیت به صورت میانبار در آنالسیم را نشان می‌دهد. در این تصاویر تمرکز عنصر پتاسیم در حاشیه‌ی کانای و نیز شکستگی‌ها و ترک‌های موجود در آنالسیم که دارای Ca هستند، مشخص شده است.

ترکیب شیمیایی سنگ‌های حاوی آنالسیم سرشت قلیایی از خود نشان می‌دهند و با توجه به میزان پایین تیتان (کمتر از ۰/۲٪) جزء سنگ‌های شوشونیتی وابسته به کمان ماگمایی هستند. در این سنگ‌ها نسبت K_2O/Na_2O بین ۰/۸۶ تا ۵/۲۷ درصد تغییر می‌کند. در سنگ‌های جدایشی حاوی آنالسیم، این نسبت بین ۰/۹۵ تا ۲/۲۷ درصد تغییر می‌کند که از میانگین



شکل ۱۱ نقشه‌ی عنصری بلور آنالسیم در سنگ تفریت بر اساس عناصر Na, Al, Ca, K با استفاده از ریزپردازنده‌ی الکترونی.

برداشت

بر اساس داده‌های شیمی کانی و پراش پرتو ایکس و نیز وجود بلورهای شکل‌دار، همگن و درشت آنالسیم می‌توان نتیجه گرفت که بلورهای آنالسیم ثانویه در نتیجه واکنش‌های ماگمایی تاخیری در شرایط گرمایی روی بلورهای لوسیت اولیه تشکیل شده‌اند. کانی‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن‌های این منطقه غنی از Ca هستند و با آنالسیم‌های غنی از Na منطبق نیستند و تایید می‌کند که تشکیل آنالسیم می‌تواند ناشی از جانشینی پتاسیم موجود در سنگ اولیه به وسیله‌ی سدیم باشد. عدم وجود کانی‌های آبدار اولیه مانند آمفیبول و میکا در سنگ‌های غنی از کانی آنالسیم می‌تواند ثانویه بودن خاستگاه آن‌ها را تقویت نماید که مقدار آب موجود در گدازه‌ها پیش از خروج آن‌ها نسبتاً پایین بوده و به احتمال زیاد برای کاهش دمای آگون به حدی که بتواند برای تبلور آنالسیم به عنوان یک فاز اولیه در سیستم باقیمانده مناسب باشد، کافی باشد.

قدردانی

از جناب آقای دکتر آو سونگ‌جیجان از آکادمی علوم زمین-شناسی و ژئوفیزیک چین که ما را در انجام تجزیه‌های ریزپردازشی یاری دادند تشکر و قدردانی می‌نماییم.

مراجع

[1] O'Brien H.E., Irving A.J. Mc-Callum I.S., "Complex zoning and resorption of phenocrysts in mixed potassic mafic magmas of the Highwood

خاستگاه سدیم و سیالات سدیم‌دار

تغییر و تبدیل کانی لوسیت به آنالسیم نیازمند تعویض یونی K با Na است. به نظر [۵۱]، اگر آب‌های حاوی مقدار کافی Na در محیط وجود داشته باشند، تبدیل لوسیت به آنالسیم حتی در دماهای پایین و سطحی انجام خواهد شد. لذا بنابر بررسی توالی چینه‌شناختی منطقه‌ی مورد بررسی [۲۶،۳۲]، در افق-های بالاتر گدازه‌های فوئیددار، تناوبی از مارن‌های ژیبسی، رس، ماسه سنگ و کنگلومرا وجود دارد که حاکی از گسترش یک محیط کم عمق لب شور در منطقه است.

چنین محیطی می‌تواند سدیم لازم برای تغییر و تبدیل کانی لوسیت به آنالسیم را فراهم کند. همچنین پی سنگ منطقه دارای دنباله‌هایی از سنگ‌های کریستالی به سن کوتاه است. به نظر [۵۲] احتمال هضم شدن این سنگ‌ها به وسیله‌ی ماگمای آبساروکیستی در این ناحیه وجود دارد که این پدیده سبب تشدید تبلور فازهای کلسیک تر (پلاژیوکلازها و پیروکسن‌ها) و موجب تمرکز سدیم در مایع باقیمانده ماگمایی شده است و چنین مایعی تحت شرایط ساب سالیدوس سبب تغییر لوسیت به آنالسیم شده است. وجود ساخت‌های بالشی در گدازه‌های آنالسیم‌دار منطقه نشان دهنده خروج این گدازه‌ها در یک محیط آبدار بوده است، که چنین محیطی شرایط فیزیکی و شیمیایی لازم برای تبدیل لوسیت به آنالسیم را داشته است.

- [13] Giampaolo C., Raimondo F.G., Di Sabatino B., Barrese E., "The alteration of leucite-bearing rocks: a possible mechanism" *European Journal of Mineralogy* (1997) 1277-1292.
- [14] Redkin A.F., Hemley J.J., "Experimental Cs and Sr sorption on analcime in rock-buffered systems at 250–300 C and Psat and the thermodynamic evaluation of mineral solubilities and phase relations" *European Journal of Mineralogy* 12, no. 5 (2000) 999-1014.
- [15] Araujo A., Carlson R.W., Gaspar J.C., Bizzi L.A., "Petrology of kamafugites and kimberlites from the Alto Paranaíba alkaline province, Minas Gerais, Brazil." *Contributions to Mineralogy and Petrology* 142, no. 2 (2001) 163-177.
- [16] Foden J., Song S.H., Turner S., Elburg M., Smith P.O., Steldt B.V., Penglis D.V., "Geochemical evolution of lithospheric mantle beneath SE South Australia" *Chemical Geology* 182, no. 2 (2002) 663-695.
- [17] Prelević D., Foley S.F., Cvetković V., Romer R.L., "The analcime problem and its impact on the geochemistry of ultrapotassic rocks from Serbia" *Mineralogical Magazine* 68, no. 4 (2004) 633-648.
- [18] Stalder P., "Magmatismes tertiaire et subrécent entre Taleghan et Alamout, Elbourz central (Iran)" PhD diss., Diss. Naturwiss, ETH Zürich, Nr. 4405 (1971).
- [19] Didon J., Gemain Y.M., "Le Sabalan, volcan plio-quatenaire de l'Azerbaïdjan oriental (Iran): étude géologique et pétrographique de l'édifice et de son environnement régional." PhD diss., Université Scientifique et Médicale de Grenoble (1976).
- [۲۰] لطفی م.، بررسی‌های زمین‌شناسی و پترولوژی منطقه شمال-شمال شرق میانه (آذربایجان خاوری)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تهران (۱۳۵۷).
- [۲۱] عبادی ل.، کمالی ا.، فردوسی ر.، فدائیان م.، حیدری م.، ویژگی‌های کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی سنگ‌های فلدسپاتوئیددار جنوب غرب سراب (شمال غرب ایران) مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۱ (۱۳۹۴) ص ۱۵-۳۰.
- [22] Lescuyer J.L., Riou R., "Géologie de la région de Mianeh (Azerbaijan): contribution à l'étude du volcanisme tertiaire de l'Iran" PhD diss., Université Scientifique et Médicale de Grenoble (1976).
- [23] Amidi S. M., Emami M.H., Michel R., "Alkaline character of Eocene volcanism in the middle part of Central Iran and its geodynamic situation." *Geologische Rundschau* 73, no. 3 (1984) 917-932.
- [24] Milton D. J., "Qal'eh hasan ali maars, central Iran." *Bulletin Volcanologique* 40, no. 3 (1977) 201-208.
- "Mountains, Montana" *American Mineralogist* 73, no. 9-10 (1988) 1007-1024.
- [2] Luher J.F., Kyser T.K. "Primary igneous analcime: The Colima minettes" *American Mineralogist* 74 (1989) 216-223.
- [3] Karlsson H.R., Robert N.C., "Analcime phenocrysts in igneous rocks; primary or secondary?" *American Mineralogist* 76, no. 1-2 (1991) 189-199.
- [4] Pearce T.H., "Analcime phenocrysts in igneous rocks; primary or secondary?, discussion" *American Mineralogist* 78, no. 1-2 (1993) 225-229.
- [5] Dostal J.K., Breitsprecher B.N., Church D.T., Hamilton T.S., "Eocene melting of Precambrian lithospheric mantle: analcime-bearing volcanic rocks from the Challis-Kamloops belt of south central British Columbia" *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 126, no. 3 (2003) 303-326.
- [6] Luth R.W., Bowerman M., "Microtextural and powder-diffraction study of analcime phenocrysts in volcanic rocks of the Crownsnest Formation, southern Alberta, Canada" *The Canadian Mineralogist* 42, no. 3 (2004) 897-903.
- [7] Prelević D., Foley S.F., Cvetković V., Romer R.L., "The analcime problem and its impact on the geochemistry of ultrapotassic rocks from Serbia" *Mineralogical Magazine* 68, no. 4 (2004) 633-648.
- [8] Moradian A., "A contribution to the genesis of analcite after leucite in potassic volcanic rocks of the Nadik area, Kerman, Iran" *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran* 19, no. 1 (2008) 31-48.
- [9] Weisenberger T., Spuerger S., "Zeolites in alkaline rocks of the Kaiserstuhl Volcanic Complex, SW Germany—new microprobe investigation and the relationship of zeolite mineralogy to the host rock" *Geologica Belgica* (2008) 1-18.
- [10] Yücel, C., Temizel R., Abdioğlu E., Arslan M., Yağcıoğlu U.C., "Origin of analcimes in the Tertiary volcanic rocks from the Eastern Pontides (NE Turkey): a textural, mineralogical and geochemical approach" *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen: Journal of Mineralogy and Geochemistry* 191, no. 3 (2014) 277-299.
- [11] Wilkinson J. F. G., "Analcimes from some potassic igneous rocks and aspects of analcime-rich igneous assemblages" *Contributions to Mineralogy and Petrology* 18, no. 3 (1968) 252-269.
- [12] Giannetti B., Masi U., "Trace-element behavior during weathering of leucite in potassic rocks from the Roccamonfina volcano (Campania, southern Italy) and environmental implications" *Lithos* 22, no. 4 (1989) 317-324.

- [38] Saha P., "The system $NaAlSiO_4$ (nepheline)- $NaAlSi_3O_8$ (albite)- H_2O " American Mineralogist 46, no. 7-8 (1961) 859-884.
- [39] Akizuki M., "Origin of optical variation in analcime and chabazite" In Proceedings of the fifth International Conference on Zeolites, Naples (1980) 171-178.
- [40] Akizuki M., "Origin of optical variation in analcime" American Mineralogist 66, no. 3-4 (1981) 403-409.
- [41] Mazzi F., Galli E., "Is each analcime different?" American Mineralogist 63, no. 5-6 (1978) 448-460.
- [42] Takeuchi Y., Mazzi F., Haga N., Galli E., "The crystal structure of wairakite" American Mineralogist 64, no. 9-10 (1979) 993-1001.
- [43] Pechar F., "The crystal structure of natural monoclinic analcime ($NaAlSi_2O_6 \cdot H_2O$)" Zeitschrift für Kristallographie-Crystalline Materials 184, no. 1-4 (1988) 63-70.
- [44] Aoki M., Minato H., "Lattice constants of wairakite as a function of chemical composition" American Mineralogist 65, no. 11-12 (1980) 1212-1216.
- [45] Papezik V. S., Elias P., "Tetragonal Analcime from southeastern Newfoundland" Canadian Mineralogist 18 (1980) 73-75.
- [46] Passaglia E., Sheppard R.A., "The crystal chemistry of zeolites" Reviews in mineralogy and geochemistry 45, no. 1 (2001) 69-116.
- [47] Heaney P.J., Veblen D.R., "A high-temperature study of the low-high leucite phase transition using the transmission electron microscope" American Mineralogist 75, no. 5-6 (1990) 464-476.
- [48] Luth R.W., Bowerman M., "Microtextural and powder-diffraction study of analcime phenocrysts in volcanic rocks of the Crowsnest Formation, southern Alberta, Canada" The Canadian Mineralogist 42, no. 3 (2004) 897-903.
- [49] Coombs D.S., Whetten T., "Composition of analcime from sedimentary and burial metamorphic rocks" Geological Society of America Bulletin 78, no. 2 (1967) 269-282.
- [50] Comin-Chiaramonti P., Meriani S., Mosca R., Sinigoi S., "On the occurrence of analcime in the northeastern Azerbaijan volcanics (northwestern Iran)" Lithos 12, no. 3 (1979) 187-198.
- [51] Gupta A.K., Fyfe W.S., "Leucite survival; the alteration to analcime" The Canadian Mineralogist 13, no. 4 (1975) 361-363.
- [۵۲] قاسمی برقی ا.، "پترولوژی و ژئوشیمی ولکانیک‌های آئوسن شمال باختری مشگین شهر" پایان نامه دکتري، دانشگاه شهيد بهشتي تهران، (۱۳۸۴) ص ۳۲۵.
- [25] Abdioglu E., "Mineralogy and chemistry of zeolites and associated minerals in Tertiary alkaline volcanics from the Eastern Pontides, NE Turkey." Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen: Journal of Mineralogy and Geochemistry 189, no. 1 (2012) 35-47.
- [۲۶] باباخانی ع.ر.، "نقشه زمین شناسی چهارگوش لاهرود به مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۷۵).
- [27] Stocklin J., "Structural history and tectonics of Iran: a review" AAPG Bulletin 52, no. 7 (1968) 1229-1258.
- [28] Nezafati N., "Au-Sn-W-Cu-Mineralization in the Astaneh-Sarband Area, West Central Iran: including a comparison of the ores with ancient bronze artifacts from Western Asia" PhD diss., Universität Tübingen (2006).
- [29] Nabavi M.H., "An introduction to the Iranian geology" Geological Survey of Iran, Tehran [in Persian] (1976).
- [30] Alberti A., Cominchiaramonti P., Dibattistini G., Fioriti R., Sinigoi S., "Crystal fractionation in the eastern Azerbaijan (Iran) lower tertiary shoshonitic suite" Neues Jahrbuch für Mineralogie-Monatshefte 1 (1981) 35-48.
- [31] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., "An introduction to the rock-forming minerals" Longman, London Vol. 696 (1992).
- [۳۲] فدائیان م.، پتروگرافی و پترولوژی سنگ های آذرین شمال مشکین شهر، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهيد بهشتي تهران، (۱۳۸۲) ص ۱۷۵.
- [33] Fuentes F., Aguirre L., Vergara M., Valdebenito L., Fonseca E., "Miocene fossil hydrothermal system associated with a volcanic complex in the Andes of central Chile" Journal of volcanology and geothermal research 138, no. 1 (2004) 139-161.
- [34] Kretz R., "Symbols for rock-forming minerals" American mineralogist 68, no. 1-2 (1983) 277-279.
- [35] Luhr J.F., Giannetti B., "The brown leucitic tuff of Roccamonfina Volcano (Roman region, Italy)" Contributions to Mineralogy and Petrology 95, no. 4 (1987) 420-436.
- [36] Putnis C.V., Geisler T., Schmid-Beurmann P., Stephan T., Giampaolo C., "An experimental study of the replacement of leucite by analcime" American Mineralogist 92, no. 1 (2007) 19-26.
- [37] Saha P., "Geochemical and X-ray investigation of natural and synthetic analcites" American Mineralogist 44, no. 3-4 (1959) 300-313.